

KARINA DE MACEDO SOARES PIRES CONDEIXA

**COMPARAÇÃO ENTRE MATERIAIS DA CONSTRUÇÃO CIVIL ATRAVÉS DA  
AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA: SISTEMA DRYWALL E ALVENARIA DE  
VEDAÇÃO.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal Fluminense, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Área de concentração: Tecnologia da Construção.

Orientador:

Prof. Assed Naked Haddad, D.Sc.

Co-orientador:

Prof. .Dieter Boer, D.Sc.

Co-orientadora:

Profa. Ana Catarina Jorge Evangelista, D.Sc.

Niterói

2013

Ficha Catalográfica elaborada pela Biblioteca da Escola de Engenharia e Instituto de Computação da UFF

C745 Condeixa, Karina de Macedo Soares Pires.

Comparação entre materiais da construção civil através da avaliação do ciclo de vida : sistema Drywall e alvenaria de vedação / Karina de Macedo Soares Pires Condeixa. – Niterói, RJ : [s.n.], 2013

210 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal Fluminense, 2013.

Orientadores: Assed Naked Haddad, Dieter Boer, Ana Catarina. Jorge Evangelista.

1. Construção civil. 2. Material de construção. 3. Impacto ambiental. 4. Sistema Drywall. I. Título.

CDD 690

KARINA DE MACEDO SOARES PIRES CONDEIXA

**COMPARAÇÃO ENTRE MATERIAIS DA CONSTRUÇÃO CIVIL ATRAVÉS DA  
AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA: SISTEMA DRYWALL E ALVENARIA DE  
VEDAÇÃO.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal Fluminense, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Área de concentração: Tecnologia da construção.

Aprovada 26 de fevereiro de 2013.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Assed Naked Haddad, D.Sc. Orientador  
Universidade Federal Fluminense

---

Prof. Ana Catarina Jorge Evangelista - D.Sc. - – Co-orientadora  
Universidade Federal do Rio de Janeiro

---

Prof. Dieter Thomas Boer, D.Sc. – Co-orientador  
Universitat Rovira i Virgili

---

Prof. Fernando Benedicto Mainier, D.Sc.  
Universidade Federal Fluminense

---

Prof. Francesc Castells i Piqué, Ph.D.  
Universitat Rovira i Virgili

---

Prof: José Manuel Vicente Gómez Soberón, D.Sc.  
Universidad Politécnica de Cataluña

Niterói  
2013

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos a todos àqueles que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho, em especial:

Ao grande amigo e mentor profissional Professor e Orientador Doutor Assed Naked Haddad e companheiro nas vitórias obtidas. Meu agradecimento especial pela confiança, pelas escolhas, indicações dos caminhos a seguir.

Ao arquiteto Fernando Condeixa por autorizar a utilização de seu projeto para ser o objeto de estudo e por fornecer dados técnicos construtivos.

A Professora e coorientadora doutora Ana Catarina Jorge Evangelista, pela atenção e pelo fornecimento de material de pesquisa.

À professora e doutora Laia Haurie Ibarra pelo convite e pela atenciosa recepção na Universitat Politècnica de Catalunya, em Barcelona, Espanha.

Ao professor e doutor Dieter Boer, pelo convite e pela atenciosa recepção na Universitat Rovira i Virgili, em Tarragona, Espanha. Assim como por ser responsável pela minha introdução ao banco de dados do Ecolnvent, em casos de avaliação de ciclo de vida de materiais.

Ao professor e doutor José Manuel Gómez Soberón, da UPC, por me acolher, me apresentar e me ceder licenças de bancos de dados de materiais de construção da Catalunya e a softwares específicos.

Ao professor e doutor Albert Castell, da Universitat de Lleida, pelo convite para visita e pela sua apresentação sobre as pesquisas experimentais dos cubículos.

À professora e doutora Lidia Rincon, da Universitat de Lleida, Espanha, por me apresentar a sua pesquisa em *Material Flow Analysis* e me inspirar a seguir este tema em futura pesquisa de doutorado.

Meu sincero agradecimento ao amigo Erick Galante pela paciência, pela brilhante ajuda na estruturação da tese e pelo grande apoio em momentos de crise.

Ao Coordenador do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal Fluminense em Engenharia Civil e aos funcionários da Pós-Graduação, à Clarice, à Sueli, à Ieda e ao Leonardo, que sempre foram solícitos, tiveram muita paciência em resolver os problemas burocráticos.

Ao vice Coordenador Professor Doutor Carlos Alberto Pereira Soares pela dedicação ao curso e aos alunos.

Aos membros da banca, pela gentileza de aceitarem o convite e por colaborarem para o enriquecimento deste trabalho.

Aos professores do curso de pós-graduação em engenharia civil da Universidade Federal Fluminense que de alguma forma colaboraram para a minha formação e constituição da ética profissional. Em especial, o professor Fernando Mainier e professora Ana Seroa que me acompanharam durante boa parte do curso e motivaram minha pesquisa no tema de sustentabilidade e impactos ambientais.

Às colegas da pós-graduação, Kelly Costa e Michele Sedrez pelo apoio e pela cooperação em ampliar o conhecimento relativo ao nosso tema de pesquisa. Em especial para Kelly pela concessão de referências bibliográficas e por esclarecimento de dúvidas acerca do tema.

Ao Gestore, na UFRJ, pelo espaço e infraestrutura cedidos.

À grande amiga e prima mestre Eliane Glória dos Reis da Silva Souza pelo seu exemplo de dedicação e entusiasmo, quem me inspirou a atingir a realização desse trabalho.

Ao meu marido, Rafael Costa, pela paciência e motivação nas horas de ansiedade e dúvidas.

Às queridas amigas, arquitetas Vera Moledo e Juliana Guida Jacob pelo enorme carinho, pela companhia, pela motivação e pelas dicas que garantiram o sucesso da minha estadia em Barcelona, Espanha.

À CAPES, pelo apoio financeiro.

## RESUMO

Este trabalho apresentou o estudo de avaliação de impactos ambientais de uma edificação construída em no estado do Rio de Janeiro, através da metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), visando confrontar os impactos ambientais de dois sistemas construtivos de fechamento vertical: a alvenaria não estrutural e o sistema *drywall*. E ainda, identificou pontos críticos no ciclo de vida destes sistemas quanto aos desperdícios de recursos naturais e de energia e à geração e disposição de resíduos, com o propósito de embasar questionamentos para tomadas de decisões das empresas construtoras, fornecedores e entes (instituições ou entidades governamentais). A partir de diretrizes traçadas pelas normas ISO NBR 14040 e ISO NBR 14044, se estabeleceu o objetivo de identificar possíveis falhas e pontos com potencial de melhoria nos processos e na normatização pertinentes a tais sistemas construtivos. Se estabeleceu fronteira do em todo o ciclo de vida da edificação (do berço ao túmulo) para inventário e modelagem de processos da construção real em alvenaria e da construção simulada em *drywall* e a fronteira de extração ao beneficiamento ou embalagem com dados de impactos do Ecoindicador99, extraídos do banco de dados EcoInvent. Os resultados encontrados para o sistema de alvenaria foram o uso de grande quantidade de matérias-primas não renováveis; a grande quantidade de perdas na produção e no transporte de tijolo cerâmico, na execução da construção e em reformas (resultantes da falta de padronização de processos e de cuidados com transporte e armazenamento); e da má gestão do grande volume de resíduos produzidos no final da vida da edificação. Para o sistema *drywall*, os resultados encontrados estão ligados aos impactos gerados pela queima de combustíveis fósseis realizadas no transporte, por longas distâncias, de matérias-primas e de insumos importados de outros países; aos possíveis impactos gerados pelo desconhecimento de profissionais sobre características da lâ de vidro, assim como, da falta de intimidade dos usuários com o sistema. Este estudo trouxe algumas sugestões, tais como: melhoria da qualidade dos processos de produção de tijolo e de cal; produção nacional de papel cartão e de aditivos; adoção de normas nacionais de lâ de vidro; importação ou criação de tecnologia que permita o uso de material reciclado de placas de gesso acartonado na produção do mesmo produto e conseqüentemente, a inclusão de nova classificação desta modalidade na resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA).

**Palavras-chave:** Avaliação do Ciclo de Vida. Impactos Ambientais. Construção. Alvenaria. *Drywall*.

## **ABSTRACT**

This work studies the environmental impact assessment of a building in the state of Rio de Janeiro through the methodology of Life Cycle Assessment (LCA) in order to compare the environmental impacts of building with two different systems of vertical closure: a nonstructural masonry and a drywall system. Critical points in the life cycle of these systems such as the waste of natural resources, energy consumption and generation and disposal of waste have been identified, in order to base questions for decision-making of construction companies, suppliers and entities (institutions or government entities). Based on the guidelines set by ISO NBR 14040 and ISO NBR 14044, potential gaps and points to potential improvement in processes and standardization relevant to such construction systems have been identified. The boundary for inventory and modeling processes of masonry construction and for the simulated construction in drywall system was established throughout the lifecycle of the building (cradle to grave). The boundary for impact inventory with Ecoindicator99 data for these systems was established among the resource extraction and the primary products processing or packaging. The results of the masonry system show the use of large amounts of non-renewable raw materials, a lot of wastes in the production and transportation of ceramic bricks, construction and implementation of reforms processes (resulting from lack of standardization in construction, transport and storage processes), and the mismanagement of the large volume of waste produced at the building end of life. The drywall system results show the relevance of the impacts generated by fossil fuel combustion in the long distance transport, raw materials and inputs imported from other countries, the potential impacts generated by the lack of professional features on the wool glass, as well as the lack of system understanding of costumers. This study provides suggestions as improving the quality of brick and lime production processes; to start a domestic production of carton paper and additives for gypsum wallboard; to adopt national standards of glass wool; to import or develop technology that allows to use recycled gypsum wallboard in production of the same product and hence the inclusion of this new classification method in the resolution of the National Council of Environment (CONAMA).

**Keywords:** Life Cycle Assessment. Environmental Impacts. Construction . Masonry. Drywall System.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
1.1 OBJETIVOS .....	17
<b>1.1.1 Objetivo Geral</b> .....	<b>17</b>
<b>1.1.2 Objetivos Específicos</b> .....	<b>17</b>
1.2 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA .....	17
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	18
1.4 LIMITAÇÕES .....	19
1.5 HIPÓTESES E QUESTÕES .....	19
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>21</b>
2.1 SUSTENTABILIDADE .....	21
2.2 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL .....	22
2.3 PENSAMENTO DO CICLO DE VIDA .....	31
2.4 DESEMPENHO AMBIENTAL .....	33
2.5 SUSTENTABILIDADE NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO .....	38
<b>2.5.1 Logística na Construção Civil</b> .....	<b>49</b>
<b>2.5.2 ACV na Construção Civil</b> .....	<b>55</b>
2.6 A METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV) .....	65
<b>2.6.1 Uso de ferramentas no LCA</b> .....	<b>72</b>
2.6.1.1 ACV no Brasil .....	79
2.6.1.2 Energia no Brasil .....	81
2.6.1.3 Emissões de CO <sub>2</sub> e de GEE .....	84
2.6.1.4 Recursos: Matérias primas e materiais primários .....	88
2.6.1.5 Resíduos .....	88
2.6.1.6 Social .....	91
2.6.1.7 Custo .....	91
2.7 CICLO DE VIDA DAS EDIFICAÇÕES .....	92
<b>2.7.1 O planejamento</b> .....	<b>93</b>
<b>2.7.2 Construção (obra)</b> .....	<b>94</b>
<b>2.7.3 Uso, Manutenção e Reformas</b> .....	<b>95</b>
<b>2.7.4 Demolição</b> .....	<b>98</b>
<b>2.7.5 Impactos das fases da edificação</b> .....	<b>101</b>
2.8 SISTEMAS CONSTRUTIVOS .....	104
<b>2.8.1 Alvenaria</b> .....	<b>104</b>
2.8.1.1 Cadeia produtiva de insumos para alvenaria .....	106
<i>2.8.1.1.1 Tijolo cerâmico</i> .....	<i>107</i>
<i>2.8.1.1.2 Agregados Miúdos (areia)</i> .....	<i>109</i>
<i>2.8.1.1.3 Cimento</i> .....	<i>112</i>
<i>2.8.1.1.4 Cal</i> .....	<i>115</i>

<b>2.8.2 Drywall</b> .....	<b>115</b>
2.8.2.1 CADEIA PRODUTIVA DE INSUMOS PARA DRYWALL.....	122
<i>2.8.2.1.1 Gesso</i> .....	<i>123</i>
<i>2.8.2.1.2 Perfis de aço galvanizado</i> .....	<i>124</i>
<i>2.8.2.1.3 Papel cartão e aditivos</i> .....	<i>126</i>
<i>2.8.2.1.4 Lã mineral</i> .....	<i>126</i>
<i>2.8.2.1.5 O processo de produção das placas de drywall</i> .....	<i>127</i>
<i>2.8.2.1.6 Montagem das paredes</i> .....	<i>128</i>
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>130</b>
<b>4 CONSTRUÇÃO ESTUDADA</b> .....	<b>132</b>
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>138</b>
5.1 ACV DA CONSTRUÇÃO.....	138
<b>5.1.1 Fronteiras do Estudo</b> .....	<b>139</b>
5.1.1.1 Fronteiras Para alvenaria .....	139
5.1.1.2 Fronteiras para <i>drywall</i> .....	140
<b>5.1.2 Impactos identificados</b> .....	<b>141</b>
<b>5.1.3 Inventário de ciclo de vida</b> .....	<b>142</b>
5.1.3.1 Construção em Alvenaria .....	142
5.1.3.2 Construção em Drywall .....	146
5.1.3.3 Uso e Manutenção .....	153
5.1.3.4 Demolição e Descarte .....	154
<b>5.1.4 Avaliação de impactos ambientais</b> .....	<b>155</b>
5.1.4.1 Alvenaria .....	155
5.1.4.2 Drywall.....	156
5.2 MODELAGEM DOS PROCESSOS.....	156
<b>5.2.1 Alvenaria</b> .....	<b>157</b>
5.2.1.1 Processos pré-construção.....	157
5.2.1.2 Construção .....	165
5.2.1.3 Uso e Manutenção .....	166
5.2.1.4 Demolição .....	168
5.2.1.5 Descarte de material de demolição .....	169
<b>5.2.2 Drywall</b> .....	<b>170</b>
5.2.2.1 Fases Pré-construção .....	170
5.2.2.2 Construção .....	173
5.2.2.3 Uso, Manutenção e Reformas.....	175
5.2.2.4 Demolição .....	177
5.2.2.5 Descarte de material de demolição .....	179
<b>5.2.3 Modelos consolidados</b> .....	<b>180</b>
5.3 ACV – INVENTÁRIO DE IMPACTOS DO CICLO DE VIDA.....	184
<b>6 CONCLUSÕES</b> .....	<b>188</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>193</b>

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 - Integração de processos e sistemas.....	30
Figura 2.2 - Potencial de sustentabilidade da construção no seu ciclo de vida.....	34
Figura 2.3 - Fases de uma ACV.....	37
Figura 2.4 - Estratégias e Ações.....	40
Figura 2.5 - Segmentação geral da cadeia da construção civil.....	51
Figura 2.6 - Planta da cadeia de materiais de construção.....	52
Figura 2.7 - Cadeia produtiva da construção civil brasileira.....	54
Figura 2.8 – Modelo de entradas e saídas de um Inventário de Ciclo de Vida.....	66
Figura 2.9 – Exemplo de estágios tratamento do ciclo de vida de projeto.....	67
Figura 2.10 - Fluxos e categorias de impactos.....	68
Figura 2.11 - Entradas e Saídas das Fases da Avaliação do Ciclo de Vida.....	71
Figura 2.12 - O Procedimento geral para o cálculo de eco-indicadores.....	77
Figura 2.13- Representação detalhada do modelo de danos.....	77
Figura 2.14 - Aspectos de sustentabilidade no setor da construção.....	78
Figura 2.15 – Ciclo de vida de construção em nível Micro e suas fases.....	79
Figura 2.16- Consumo de energia por fonte (2011).....	81
Figura 2.17 - Participação de renováveis na Matriz Energética Brasileira.....	82
Figura 2.18 - Consumo de energia por transportes: 2011.....	83
Figura 2.19 – Evolução do consumo de energia elétrica por habitante.....	84
Figura 2.20 - Ciclo de vida de um empreendimento.....	92
Figura 2.21 - Influência de decisões entre etapas do empreendimento no IA.....	94
Figura 2.22 - Desempenho de elemento, instalação ou sistema construtivo.....	96
Figura 2.23 - Consumo de energia nas residências em 2011.....	98
Figura 2.24- Representação sistemática do ciclo de vida da edificação.....	102
Figura 2.25 – Foto ilustrativa de paredes em alvenaria de vedação.....	105
Figura 2.26 – Tijolos cerâmicos.....	105
Figura 2.27 – Modelo de inventário para paredes em tijolos cerâmicos.....	107
Figura 2.28 - Processo de fabricação de cerâmica vermelha.....	109
Figura 2.29 – Processos de extração e beneficiamento de areia.....	111
Figura 2.30 – Cadeia produtiva do cimento.....	113
Figura 2.31- Processos de construção do cimento.....	114
Figura 2.32 – Consumo de chapas de <i>drywall</i> no Brasil e em regiões.....	116
Figura 2.33 – Insumos para parede de <i>drywall</i> .....	117
Figura 2.34 – Estrutura para parede de <i>drywall</i> .....	118
Figura 2.35 - Estrutura do sistema <i>drywall</i> .....	118
Figura 2.36 – Fixação das placas de gesso acartonado.....	118
Figura 2.37 – Conduítes para instalações.....	119
Figura 2.38 – Instalação de lã mineral.....	119
Figura 2.39 – Aplicação de cerâmica.....	119

Figura 2.40 – Acabamento nas juntas das placas.....	120
Figura 2.41 - Ciclo fechado de gestão dos resíduos de gesso acartonado.....	122
Figura 2.42 – Extração de gipsita.....	123
Figura 2.43 – Moagem da gipsita.....	123
Figura 2.44 – Forno a lenha para calcinação.....	124
Figura 2.45 – Extração e beneficiamento do minério de aço.....	125
Figura 2.46 – Inventário de aço “portão a portão”.....	126
Figura 2.47- Processo de produção de placas de gesso acartonado.....	128
Figura 2.48 – Fixadores para <i>drywall</i> .....	129
Figura 4.1 – Construção estudada.....	132
Figura 4.2 – Planta do pavimento superior da casa.....	134
Figura 4.3 – Tijolo cerâmico de 8 furos – dimensão 9x19x29cm,.....	134
Figura 4.4 – Aplicação de argamassa de rejunte.....	135
Figura 4.5 – Aplicação manual de chapisco Fonte: Lanxess, 2013.....	135
Figura 4.6 – Laje treliçada.....	135
Figura 4.7 – Estrutura e fechamentos.....	136
Figura 4.8 – Recortes nos tijolos para instalações.....	136
Figura 4.9 – Casa emboçada.....	137
Figura 5.1 - Fronteiras do sistema construtivo de alvenaria.....	140
Figura 5.2 - Fronteiras do sistema construtivo de <i>drywall</i> .....	141
Figura 5.3 – Planta de construção com paredes em alvenaria.....	143
Figura 5.4 - Planta de construção com paredes em <i>drywall</i> .....	147
Figura 5.5 – Base gráfica para modelagem dos processos.....	157
Figura 5.6 – Modelagem de extração de argila.....	158
Figura 5.7 – Modelagem dos produtos primários.....	159
Figura 5.8 – Modelagem de embalagem de tijolo.....	159
Figura 5.9 – Modelagem dos processos para o insumo tijolo.....	160
Figura 5.10 – Modelagem de extração de insumos para o cimento.....	161
Figura 5.11 – Modelagem da produção do cimento.....	161
Figura 5.12 - modelagem da embalagem do cimento.....	162
Figura 5.13 - Modelagem comércio atacadista do cimento.....	162
Figura 5.14 – Modelagem de extração de areia.....	163
Figura 5.15 - Modelagem dos processos para o insumo areia.....	164
Figura 5.16 – Modelagem para extração de calcário.....	164
Figura 5.17 - Modelagem produção do cal hidratado.....	165
Figura 5.18 - Modelagem dos processos da execução de paredes.....	165
Figura 5.19- Modelagem da execução de pintura.....	166
Figura 5.20- Modelagem da execução de pintura.....	166
Figura 5.21 - Modelagem dos processos do uso, manutenção e reforma.....	167
Figura 5.22 - Modelagem da Pintura.....	167
Figura 5.23 - Modelagem de Cerâmica.....	168
Figura 5.24 - Modelagem dos processos da demolição.....	168
Figura 5.25 - - Modelagem dos processos de descarte em aterro.....	169
Figura 5.26 - Modelagem dos processos de descarte em usina de reciclagem.....	169
Figura 5.27 – Modelagem de extração da gipsita.....	170
Figura 5.28– Modelagem do beneficiamento e produção do gesso.....	171
Figura 5.29 – Modelagem para importação de papel cartão e aditivos.....	171
Figura 5.30 – Modelagem da fabricação de placas de gesso acartonado e aditivos.....	172
Figura 5.31 – Modelagem da extração de minério de ferro.....	172

Figura 5.32 - Modelagem do beneficiamento e produção para o aço. ....	173
Figura 5.33 – Modelagem para a construção. ....	174
Figura 5.34 – Modelagem para pintura. ....	174
Figura 5.35– Modelagem para cerâmica. ....	175
Figura 5.36 – Modelagem para manutenção, uso e reforma. ....	176
Figura 5.37– Modelagem para Pintura. ....	177
Figura 5.38- Modelagem para Cerâmica. ....	177
Figura 5.39 – Modelagem para demolição de <i>drywall</i> . ....	178
Figura 5.40 – Modelagem para descarte em aterro. ....	179
Figura 5.41 – Modelagem para descarte em usina de reciclagem. ....	180
Figura 5.42 – Inventário dos processos para alvenaria (do berço ao túmulo). ....	180
Figura 5.43– Inventário dos processos para <i>drywall</i> (do berço ao túmulo). ....	181
Figura 5.44 – Entradas e saídas para alvenaria (do berço ao túmulo). ....	182
Figura 5.45 - Entradas e saídas para <i>drywall</i> (do berço ao túmulo). ....	183
Figura 5.46 - Impactos gerados pelos sistemas alvenaria e <i>drywall</i> . ....	187

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.2 - Blocos da agenda 21 para a construção civil brasileira.....	39
Tabela 2.3 - Desenvolvimento de novas tecnologias sustentáveis. ....	42
Tabela 2.4 - Classificação dos Resíduos de Construção e Demolição .....	46
Tabela 2.5 - Classificação dos Resíduos de Construção e Demolição. ....	47
Tabela 2.6 - Principais características destes três estudos.....	63
Tabela 2.7 – Outros trabalhos com aplicação de ACV na construção civil. ....	64
Tabela 2.8 - Relações das emissões com os efeitos nos seres humanos. ....	69
Tabela 2.9 - Diferentes tipos de Ecoindicadores e suas considerações. ....	75
Tabela 2.10 - Histórico de Ações relativas à ACV no Brasil.....	80
Tabela 2.11- Oferta Interna de Energia.....	81
Tabela 2.12 – Relação de equivalência dos GEE com o CO <sub>2</sub> .....	85
Tabela 2.13 – Ferramenta Inter setorial de cálculo de GEE.....	86
Tabela 2.14 - Ferramentas Setoriais específicas de cálculo de GEE.....	87
Tabela 2.15- Geração de RCG (t/dia). ....	89
Tabela 2.16 – Bolsas Brasileiras de Resíduos. ....	90
Tabela 2.17- Vida útil dos subsistemas de projetos segundo a NBR 15575-1.....	97
Tabela 2.18 – Equipamentos para transporte de RCC.....	99
Tabela 2.19 – Destinação de Resíduos da Construção Civil. ....	100
Tabela 2.20 – Sugestões para agregados reciclados em obras e serviços. ....	101
Tabela 2.21 - Matriz correlacional: impactos ambientais X fases da edificação.....	103
Tabela 2.23 – Fixadores para o sistema <i>drywall</i> . ....	129
Tabela 4.1 – Especificações da habitação. ....	133
Tabela 5.1 – Área de alvenaria. ....	144
Tabela 5.2 – Cálculo de tijolos. ....	144
Tabela 5.3 – Argamassa para rejunte. ....	145
Tabela 5.4 – Chapisco. ....	145
Tabela 5.5 – Cálculo de materiais de emboço. ....	145
Tabela 5.6 - Cálculo de materiais de reboco. ....	146
Tabela 5.7- Consumo total de material. ....	146
Tabela 5.8 - Planilha de Levantamentos discriminados .....	149
Tabela 5.9 – Área por tipo de parede.....	150
Tabela 5.10 – Estimativas de materiais – paredes tipo 3 .....	150
Tabela 5.11 Estimativas de materiais – paredes tipo 4 .....	150
Tabela 5.12 - Estimativas de materiais – paredes tipo 5.....	151
Tabela 5.13 - Estimativas de materiais – paredes tipo 7 .....	151
Tabela 5.14 - Estimativas de materiais – paredes tipo 11 .....	152
Tabela 5.15 – Estimativa do consumo de materiais para paredes de <i>drywall</i> .....	152
Tabela 5.16 - Consumo doméstico por residência por fonte .....	153
Tabela 5.17- Consumo médio de energia estimado para a residência. ....	154

Tabela 5.18 - Efeitos possíveis das categorias de ponto médio e de ponto final. ...	156
Tabela 5.19 - Efeitos possíveis das categorias de ponto médio e de ponto final. ...	156
Tabela 5.20 – Especificação dos materiais adotados no EcolInvent.....	185
Tabela 5.21 – Impactos gerados por alvenaria. ....	186
Tabela 5.22 – Impactos gerados por <i>drywall</i> .....	186

## **1 INTRODUÇÃO**

A construção civil impulsiona a economia mundial, gera empregos diretos e indiretos e, promove o desenvolvimento. É o maior setor econômico do país depois da agroindústria e, conforme dados da Associação Brasileira da Indústria de Materiais de Construção – Associação Brasileira da Indústria de Materiais de Construção - ABRAMAT, em parceria com a Fundação Getúlio Vargas – FGV (2011), sua cadeia produtiva representou 8,1% de todo o PIB brasileiro em 2010 e consome uma quantidade elevada de recursos naturais (ABRAMAT; FGV, 2011).

Grande parte desses recursos é destinada ao setor habitacional. O déficit habitacional brasileiro de acordo com a Pesquisa Nacional por Amostras de Domicílios - PNAD (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2007 apud Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos - DIEESE, 2011), é feito através de uma nova metodologia que engloba as inadequações (moradias improvisadas, favelas) e as coabitações (habitações que assentam mais de uma família, tendo estas a intenção de ter o seu próprio domicílio). Em 2007, esta pesquisa definiu que o Brasil atingiu 5,8 milhões de famílias, isto é, 9,3% do total de famílias do país vivem em moradias inadequadas ou compartilham de habitações de outras famílias. Este déficit habitacional se concentra principalmente nas áreas urbanas, em especial na região sudeste (região mais populosa e a mais carente de habitações do país).

Conforme dados do Produto Interno Bruto - PIB setorial (DIEESE, 2011), a construção civil brasileira estava em ascendência a partir de 2004 e desacelerou por um curto espaço de tempo por conta da crise econômico-financeira internacional em 2009, mas voltou a se aquecer e em 2010 teve uma taxa de crescimento de 11,6%. O Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos - DIEESE (2011) afirma que este rápido retorno ao crescimento se deu por fatores como

aumento do crédito (incluindo o apoio dos bancos públicos ao setor produtivo no momento mais agudo da crise financeira de 2009), queda nas taxas de juros, obras públicas (Programa de Aceleração do Crescimento - PAC1 e o atual PAC2), o setor de habitação (com o Programa Minha Casa, Minha Vida, lançado em 2009), a redução de impostos (Impostos sobre Produtos Industrializados - IPI) e as obras para copa do mundo de 2014 e para as olimpíadas de 2016.

O Governo Federal Brasileiro, no Portal da Copa de 2014, seu site oficial, cita que:

Estima-se que a Copa do Mundo da FIFA 2014 agregará 183 bilhões de reais ao PIB do país e mobilizará 33 bilhões de reais em investimento em infraestrutura, com destaque para a área de transporte e sistemas viários. Aproximadamente 3,7 milhões de turistas, brasileiros e estrangeiros, deverão gerar, no período do evento, R\$ 9,4 bilhões.

Esta ascendência da construção civil no Brasil resulta em imensurável quantidade de resíduos e Impactos ao Meio Ambiente. Segundo dados da *United Nations Environment Programme* - UNEP (COMITÊ BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL - CBCS, 2012), globalmente os edifícios são responsáveis por 40% do consumo anual de energia e responsáveis por até 30% do consumo de energia relacionado à emissão de gases de efeito estufa. O setor da construção é responsável por um terço do consumo de recursos naturais, incluindo 12% de todo o uso de água doce, e pela produção de até 40% de resíduos sólidos.

A ação antropológica depreda e polui o meio ambiente, resultando em mudanças climáticas, no aumento de desastres naturais que afetam a saúde do ser humano e a biodiversidade do planeta. No 4º. Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas – IPCC de 2007, os cientistas apontam que os anos entre 1995 e 2006 foram os mais quentes da história, considerando a temperatura média global da superfície da Terra e dos oceanos no período desde 1850, e preveem que a temperatura média do planeta pode se elevar entre 1,8°C e 4°C até 2100, o que causaria uma alteração drástica no meio ambiente, comprometendo a existência das futuras gerações.

Dentre os gases causadores do aquecimento global, chamados de Gases relativos ao Efeito Estufa – GEE, os citados no Protocolo de Quioto são: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>); metano (CH<sub>4</sub>); óxido nitroso (N<sub>2</sub>O); hidrocarbonetos fluorados (HFC); hidrocarbonetos perfluorados (PFC); hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>). Estes são

produzidos, em grande parte, pelo consumo de energia pela queima de combustíveis nas indústrias, nos transportes e na manufatura relativas à construção (UNFCCC, 2008).

Os edifícios são responsáveis por mais de um terço do consumo total de energia e de emissão de GEEs, tanto em países desenvolvidos e em desenvolvimento. Grande parte do consumo de energia é em função da necessidade de aquecer, refrigerar, ventilar e iluminar edifícios. De dez a vinte por cento da energia consumida neste sector é usado para a fabricação de materiais, construção e demolição de edifícios, e uma grande quantidade de energia é consumida pelos aparelhos usados em edifícios (UNEP, 2012).

O setor imobiliário e da construção civil tem grande potencial para reduzir as emissões de GEEs responsáveis pelo aquecimento global, utilizando tecnologias comprovadas e comercialmente disponíveis, o consumo de energia em edifícios novos e antigos podem ser diminuídos entre trinta e cinquenta por cento, sem aumentar significativamente o investimento custos. Contudo, a natureza fragmentada do setor, as políticas de mudança climática negligentes em muitos países, e falta de conscientização sobre os requisitos de desempenham da linha de base são entraves na redução de emissões de GEEs (UNEP, 2012).

Desde a década de 1960 e, principalmente em 1970, se discute sobre as questões da poluição ambientais, da escassez de recursos, do desenvolvimento e da sustentabilidade, criticando o modelo de consumo existente e debatendo definições e metas a serem cumpridas.

A cada ano se torna mais evidente a necessidade de promover a recuperação do Meio Ambiente e de diminuir impactos ambientais na busca da sustentabilidade na construção. Para tal, é importante pensar aperfeiçoar as cadeias produtivas dos materiais de construção e buscar materiais sustentáveis: de origem em fontes renováveis, não poluentes, não tóxicos à saúde, que sejam duráveis e/ou reutilizáveis e de custo acessível ao mercado consumidor.

## 1.1 OBJETIVOS

O problema desta dissertação está pautado na questão da Avaliação do Potencial de Impacto Ambiental ao longo do Ciclo de Vida das edificações e da Indústria da Construção Brasileira.

### 1.1.1 Objetivo Geral

Como objetivo principal, buscou-se comparar os impactos ambientais dentre dois sistemas construtivos de fechamento vertical: o sistema construtivo tradicional no país em alvenaria não estrutural e o sistema *drywall*.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Utilizar a metodologia de ACV para avaliar partes mais poluentes da cadeia produtiva de cada material, avaliando os impactos ambientais em dois cenários: construção em fechamento vertical em alvenaria não estrutural e construção em fechamento vertical em sistema *drywall*;
- b) Identificar os pontos críticos no ciclo de vida da alvenaria não estrutural e do *drywall* tais como desperdício de energia, desperdício de matéria prima, gestão de resíduos;
- c) Analisar do ciclo de vida dos dois materiais e de seu nível de desempenho;
- d) Servir como ferramenta para futuras tomadas de decisões das empresas construtoras, fornecedores e entes, instituições ou entidades governamentais.

## 1.2 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA

Para aumentar a qualidade e aumentar a eficiência da construção diminuindo as agressões ao ambiente, de forma dita sustentável, é importante obter melhoramentos nos processos de produção, nas tecnologias de produção, na gestão de operações e procedimentos, com o intuito de reduzir a eliminação de resíduos na fonte.

Dentre os métodos de Avaliação de Impacto Ambiental, o método de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV ou *Life Cycle Assessment* - LCA) tem se revelado

completo por possibilitar estender o estudo para toda a cadeia produtiva, analisando as diversas tecnologias de produção.

### 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta dissertação se apresenta em seis capítulos: introdução, revisão de literatura, metodologia, estudo da construção, resultados e discussões e conclusão.

Este primeiro capítulo introdutório apresenta o tema da pesquisa, descrevendo os objetivos gerais e os específicos, justificando a escolha do tema e os métodos de abordagens, os procedimentos e as técnicas utilizadas e expõe a estruturação do trabalho.

A revisão de literatura exposta do segundo capítulo apresenta fundamentação teórica, sobre sustentabilidade, desenvolvimento sustentável (discorrendo sobre os conceitos e os principais acontecimentos relativos a estas questões), sustentabilidade na indústria da construção, metodologia de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), ciclo de vida das edificações e sistemas construtivos de alvenaria e *drywall*.

O terceiro capítulo apresenta detalhes da metodologia utilizada neste estudo para atingir os objetivos esperados.

O quarto capítulo descreve a edificação estudada, apresenta o sistema construtivo utilizado, delimita as fronteiras de estudo, quantifica os materiais de alvenaria utilizados e faz estimativa de material para *drywall* necessário, trás informações específicas da edificação.

O quinto capítulo apresenta os resultados obtidos com utilização da metodologia de ACV para identificar potenciais impactos em todo o ciclo de vida da construção e trás discussões. Onde é considerado um cenário real de vedação vertical em alvenaria e um pressuposto do uso de sistema *drywall* entre ambientes de mesma habitação. Atendendo recomendações das normas relativas à metodologia de ACV como suporte e balizadoras do estudo: delimitando as fronteiras, identificando impactos, realizando inventário e modelando processos e subprocessos.

O sexto capítulo conclui o estudo, respondendo aos questionamentos deliberados nos objetivos gerais e específicos desta dissertação, trazendo sugestões

para a melhoria de processos na gestão das cadeias produtivas dos materiais envolvidos, bem como, sugerindo a criação de normas e alterações de leis no intuito de minimizar impactos e prolongar a vida útil de edificações.

#### 1.4 LIMITAÇÕES

Em termos gerais, as limitações foram muitas. Fazer uso de uma metodologia complexa e relativamente nova na Indústria da Construção (IC) brasileira torna este estudo árduo e trabalhoso. Visto que, diferente de países desenvolvidos, a IC brasileira ainda peca pela informalidade quanto a processos, serviços e documentações, e que não possui bancos de dados de recursos, materiais e impactos.

Dentre as limitações, é importante ressaltar:

- a) Informalidade na construção: a indústria da construção brasileira, que tem alto grau de informalidade e desorganização. A falta de documentação de dados detalhados de construção gerou um trabalho a mais para este estudo, de levantar, quantificar e estimar materiais de construção da edificação - objeto do estudo.
- b) Em se tratando de uma ferramenta complexa e subjetiva, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) pode ter incertezas na qualidade dos dados, de discernimento no julgamento de seus resultados e nas limitações quanto ao conhecimento científico disponível no Instituto brasileiro de Ciência e Tecnologia - IBICT (2012).

#### 1.5 HIPÓTESES E QUESTÕES

Este estudo buscou responder algumas questões entre as suposições e dúvidas comuns acerca da utilização destes dois métodos construtivos, quando utilizados no Brasil, tais como:

- a) A alvenaria desperdiça muito mais insumo do que o *drywall*.
- b) A alvenaria produz mais emissões de CO<sub>2</sub> na sua produção (na produção do cimento e nos transportes de materiais primários) do que o *drywall*.

- c) A alvenaria é composta de muitos materiais, dos quais alguns não apresentam controle ou apresentam pouco controle. Enquanto que os fabricantes de *drywall* buscam cumprir padrões e normas de qualidade.
- d) A vida útil da alvenaria é longa e não foram encontrados relatos do tempo de vida útil do *drywall*.
- e) Redução no impacto ambiental compensa a brevidade nas trocas/reposições?
- f) A taxa de perdas na instalação é relativamente alta: comparar com a taxa de perda da alvenaria.
- g) O desmantelamento das placas de gesso acartonado de *drywall* necessita de cuidados especiais em sua triagem para não contaminar outros resíduos. Será que ela se adequaria aos cuidados necessários para reciclar o *drywall* e para evitar que o rejeito do gesso contamine outros rejeitos?

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

A fundamentação teórica apresenta temas como sustentabilidade, desenvolvimento sustentável, sustentabilidade na indústria da construção, metodologia de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), ciclo de vida das edificações e sistemas construtivos estudados neste trabalho.

### 2.1 SUSTENTABILIDADE

A definição do termo sustentabilidade está concatenada com a continuidade ou: “modelo de desenvolvimento que tem condições para se manter ou conservar” (PRIBERAM, 2012).

Os conceitos de sustentabilidade estão vinculados às dimensões ambiental, econômica e social (que constituem o *Triple Bottom Line*, termo criado na década de 1990) e são diretamente influenciados pelos aspectos político e cultural (FERREIRA, 2009). Em que a dimensão ambiental está relacionada com a manutenção da integridade ecológica, pela prevenção dos riscos em potencial de poluição ao ambiente e do uso imprudente dos recursos naturais, visando proteger o bem natural.

O caráter social se refere ao capital humano da empresa, pensando no bem estar dos seus funcionários e das pessoas que vivem no entorno, gerando algum tipo de compensação para as pessoas que são afetadas direta ou indiretamente pelo funcionamento da empresa. E quanto ao setor econômico, é importante que se atinja lucro. Este poderá ser afetado caso não se atenda às responsabilidades social e ambiental.

Sobre o aspecto cultural, deve ser considerada a relação da empresa com o entorno em esta está inserida, pode trazer limitações ou vantagens. Quanto menor a diferença cultural, maior será a identidade desta sociedade com a empresa. Em

relação ao aspecto político, este interfere o tripé da sustentabilidade ao gerar lei e normas de boa conduta que devem ser cumpridas pelas empresas (códigos de condutas), como são as normas das séries NBR ISO 9000, de Sistemas de Gestão da Qualidade e NBR ISO 14000, de Gestão Ambiental.

Sachs (1993) traz estas reflexões sobre os cinco dimensões da Sustentabilidade: social, econômica, ecológica, geográfica (ou espacial) e cultural. A sustentabilidade social preconiza uma civilização com maior equidade na distribuição de rendas e bens, reduzindo as diferenças sociais; Quanto à sustentabilidade econômica, este autor afirma que a eficiência econômica deveria ser medida em termos macrossociais, e não somente através de critérios macroeconômicos de rentabilidade empresarial (SACHS, 1993 apud MILES, 2008).

Deve-se buscar a sustentabilidade ecológica com a redução da utilização de recursos naturais esgotáveis e do volume de resíduos, conservação de energia, reciclagem, implementação de políticas ambientais e com a busca, através de pesquisas, de novas tecnologias que auxiliem nestes aspectos, ditas pelo autor como ambientalmente adequadas.

Sustentabilidade geográfica ou espacial propõe uma configuração rural/urbana mais equilibrada e considera a proteção de ecossistemas frágeis, a criação de reservas para a proteção da biodiversidade e a prática da agricultura e da agrossilvicultura com técnicas regenerativas em escalas menores.

A sustentabilidade cultural está associada à valorização das especificidades locais do ecossistema, de forma que as transformações estejam em sintonia com um contexto que permita a continuidade cultural (SACHS, 1993 apud MILES, 2008).

Para Gibberd (2003), a "Sustentabilidade é viver dentro da capacidade de suporte do planeta" e "desenvolvimento sustentável é aquele desenvolvimento que conduz à sustentabilidade" (GIBBERD, 2003).

## 2.2 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Em busca do desenvolvimento econômico, o homem busca o aumento do consumo, extraindo recursos naturais e poluindo o meio ambiente a um ritmo muito aquém da capacidade da natureza de se restabelecer, resultando em mudanças climáticas, na aceleração de aquecimento global. Toda a biodiversidade do planeta

Terra sofre as consequências desta agressão desmedida ao meio ambiente. Porém, o século XXI começou com uma sociedade mais consciente da necessidade de preservar o ecossistema.

Na década de 1960 a questão da sustentabilidade veio à tona, quando a poluição e o esgotamento de recursos naturais passaram a comprometer os ecossistemas e a saúde humana. A degradação ambiental era notória: a poluição atmosférica, de água e do solo e a escassez de recursos naturais afetavam a saúde humana. Esta degradação ambiental é resultado da intervenção do homem no meio ambiente através da ocupação do solo, do desmatamento e da poluição do ar, das águas e do solo.

Em função das questões acima descritas, passou-se a discutir sobre a influência do estilo de vida contemporâneo e das questões da poluição ambiental, da escassez de recursos naturais e do desenvolvimento e da sustentabilidade, criticando o modelo de consumo existente e debatendo definições e metas a serem cumpridas.

O Clube de Roma foi criado em 1968 como uma Associação informal e internacional que discutia os dilemas então atuais e futuros do homem e buscavam promover o entendimento de questões interdependentes como: econômicas, políticas, naturais e sociais, as quais compõem o sistema global em que vivemos. Este analisou questões de tecnologia, população, nutrição, recursos naturais e de meio ambiente, e concluiu que se o modo de vida contemporâneo continuasse, o sistema global se sobrecarregaria e entraria em colapso (UNEP, 2004).

O *Relatório Limits of Growth* foi produto do Clube de Roma. Este elucidou sobre os Limites do Crescimento, questionando o "Preço do Desenvolvimento" e sobre o tempo necessário para a natureza se recompor, diante da exploração de seus recursos (MEADOWS et al., 1972). Este relatório foi considerado uma premissa para o conceito de Desenvolvimento Sustentável.

Em 1972 realizou-se em Estocolmo, na Suécia, concebida pela Organização das Nações Unidas (ONU), a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, dando atenção à necessidade de critérios e de princípios comuns que oferecessem aos povos do mundo inspiração e guia para preservar e melhorar o Meio Ambiente Humano.

A Declaração de Estocolmo (1972) lembra que “O homem é ao mesmo tempo obra e construtor do meio ambiente que o cerca, o qual lhe dá sustento material e lhe oferece oportunidade para desenvolver-se intelectual, moral, social e espiritual” (ONU *apud* UNEP, 2012).

Na Conferência de Estocolmo, chamavam a atenção dos que são responsáveis por decisões, e do público do mundo inteiro para problemas comuns em todas as nações, como a desigualdade social, a perda da cona nas instituições, expansão urbana descontrolada, insegurança de emprego, alienação e outros transtornos econômicos e monetários, promovendo novas iniciativas e planos de ação. Esta apelava aos governos e aos povos que unam esforços para preservação e melhoria do meio ambiente humano em benefício do homem e de sua posteridade (ONU *apud* UNEP, 2012).

Ainda citando a Declaração de Estocolmo (1972), esta considera que: “Chegamos a um momento da história em que devemos orientar nossos atos em todo o mundo com particular atenção às conseqüências que podem ter para o meio ambiente” (ONU *apud* UNEP, 2012).

Segundo Lago (2006), a Conferência de Estocolmo trouxe conquistas como a entrada do tema ambiental na agenda multilateral e a determinação das prioridades das futuras negociações sobre meio ambiente; a criação do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente – PNUMA (em inglês, *United Nations Environment Programmes* - UNEP); o fomento à criação de órgãos nacionais dedicados à questão de meio ambiente em países que ainda não os tinham; o fortalecimento das organizações não governamentais e a maior participação da sociedade civil nas questões ambientais (LAGO, 2006).

Nesta conferência foi criado o conceito de "Ecodesenvolvimento", de autoria de Ignacy Sachs, que originou o conceito de Desenvolvimento Sustentável (*United Nations Environment Programme*-UNEP, 2012).

Ao encerrar-se a Conferência de Estocolmo, foram aprovados a Declaração da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente Humano, com 26 princípios, e o Plano de Ação para o Meio Ambiente Humano, com 109 recomendações (LAGO, 2006).

A Conferência das Nações Unidas sobre Comércio e Desenvolvimento ocorreu em Cocoyoc, no México, em 1974 e produziu o documento a Declaração de Cocoyoc. Este documento aludia a limites ambientais e sociais para o desenvolvimento que deveriam ser respeitados. Esta reunião trouxe para discussão temas como explosão populacional, pobreza, degradação e a responsabilidade dos países desenvolvidos com esses problemas, devido a seu elevado nível de consumo, desperdício e poluição (LIMA, 1997).

A Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD) foi criada no início da década de 1980. Esta realizava audiências ao redor do mundo, a fim de produzir um relatório formal com suas conclusões acerca do tema de Meio Ambiente e desenvolvimento. E resultou na publicação do Relatório Brundtland, denominado "Nosso Futuro Comum" (em inglês, *Our common future*), em 1987.

O Relatório Brundtland partiu de uma abordagem das causas que originam os problemas socioeconômicos e ecológicos da sociedade global e constatou a incompatibilidade do desenvolvimento sustentável com os padrões de consumo e produção vigentes. Reforçando, assim, as necessárias relações entre economia, tecnologia, sociedade e política, e chamando a atenção para a necessidade do reforço de uma nova postura ética em relação à preservação do meio ambiente, caracterizada pelo desafio de uma responsabilidade tanto entre as gerações quanto entre os integrantes da sociedade dos nossos tempos (JACOBI, 1999).

Em 1980 o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente - PNUMA criou a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento - CMMAD (em inglês, *United Nations Comissions on Environment and Development - UNCED*).

Em 1980 a União Internacional para a Conservação da Natureza e dos Recursos Naturais - IUCN publicou o documento "*World Conservation Strategy*" que questionava sobre qual seria o desenvolvimento desejável, definindo, por sua vez, o desenvolvimento sustentável como: "o processo que melhora as condições de vida das comunidades humanas e, ao mesmo tempo, respeita os limites da capacidade de carga dos ecossistemas" (MELLO; OJIMA, 2004).

Na década de 1980 foram realizadas a Convenção de Viena para a Proteção da Camada de Ozônio e O Protocolo de Montreal, que tinham o comprometimento dos países membros para redução e controle da utilização de gases que contribuem

para a aceleração do efeito estufa. O Protocolo de Montreal foi reforçado pelas Emendas de Londres (1990), de Copenhague (1992) e de Beijing (1999) (UNEP, 2000).

Em 1983 criou-se, a partir do termo “Ecodesenvolvimento”, o termo “Desenvolvimento Sustentável”, com a seguinte definição: aquele que “atende as necessidades do presente, sem comprometer a habilidade das futuras gerações de atender suas próprias necessidades” (WCED, 1987).

Em 1987 a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) instituiu o Comitê de Ajuda ao Desenvolvimento, que estabelecia critérios para a integração do meio ambiente e do desenvolvimento em programas de assistência ao desenvolvimento (UNEP, 2004).

O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (em inglês, *Intergovernmental Panel on Climate Changes - IPCC*) foi criado em 1988 pela organização Meteorológica Mundial - OMM e pela UNEP, com o objetivo de estudar e de divulgar as informações técnicas e socioeconômicas e os impactos relevantes, que são riscos em potenciais à humanidade, visando criar mecanismos para a adaptação e mitigação dos efeitos das Mudanças Climáticas Globais (AVILA, 2007).

O IPCC lista como os seguintes gases como principais aceleradores do efeito estufa: Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), Metano (CH<sub>4</sub>), Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O), Hexafluoreto de Enxofre (SF<sub>6</sub>), Hidrocarbonos fluorados (HFCs), Perfluorcarbonos (PFCs) (SALLES, 2009).

Em 1992 a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (Eco-92) foi realizada no Rio de Janeiro. Esta foi uma extensão da Conferência de Estocolmo e teve como Plano Global de ações ambientais no combate à desertificação, a diversidade biológica e as mudanças climáticas. Esta conferência buscava meios de conciliar o desenvolvimento sócio-econômico com a conservação e proteção dos ecossistemas da Terra (CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 1996; LAGO, 2006).

A Eco-92 produziu a Convenção da Biodiversidade e a Agenda 21, e foi um marco nas discussões de desenvolvimento sustentável, com a participação de setores não governamentais. Foi a partir da Eco-92 que desenvolveram as seguintes convenções produzidas pelas Nações Unidas: convenção-quadro sobre mudanças

do clima, Convenção sobre Diversidade Biológica, e Convenção de Combate a Desertificação (UNEP, 2004).

A Agenda 21 criou metas para a manutenção das espécies (inclusive humana), falou da necessidade do envolvimento da sociedade (através de ONGs) nas questões de sustentabilidade e da importância de divisão de riquezas. Teve uma visão holística da esfera ambiental: aspectos sociais, econômicos, políticos e culturais. Esta nova abordagem gerou mais identidade do público com o tema. A sustentabilidade era pensada nos aspectos: social com equidade na distribuição de renda, econômica na alocação e gestão eficiente de recursos, fim de barreiras protecionistas, com bloqueio de países em desenvolvimento às ciências e tecnologias e cultural no respeito às características intrínsecas de cada ecossistema e favorecimento à continuidade cultural. Disseminava-se a idéia de Cooperação Internacional para reduzir a pobreza, acelerar o desenvolvimento sustentável e mudar os padrões de consumo, através de financiamentos, transferência de tecnologias ambientais.

Contudo foi necessário que cada nação também desenvolvesse a sua própria Agenda 21 condizente com as especificidades da sua realidade. Uma afirmação do Presidente da Islândia na Eco-92 comprova este pensamento:

Independente das resoluções que se tomem ou deixem de tomar em uma conferência como essa, nenhuma melhoria ambiental genuína e duradoura pode acontecer sem um envolvimento local em escala global, Finnbogadóttir, V. - Presidente da Islândia (ECO-92 apud UNEP, 2004).

Em 1997, realizou-se conferência chamada de Rio+5, que foi a Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável. Esta teve o objetivo de rever e acelerar a implementação da Agenda 21 global. Todos os participantes reiteraram o compromisso firmado das suas nações com os princípios da Agenda 21 (SEDREZ, 2004).

O Protocolo de Quioto é um acordo internacional criado na Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, aprovado na cidade de Quioto em 1997 no Japão, e teve como principal objetivo estabilizar a emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) na atmosfera e assim desacelerar o aquecimento global e seus possíveis impactos entre o período dos anos de 2005 e 2012 (PROTOCOLO DE QUIOTO, 1997 apud MINISTÉRIO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA - MCT, 2012). Este cria metas de redução de GEE a serem

cumpridas aos países desenvolvidos e dá a possibilidade de flexibilização através de Mecanismos de implementação conjunta, Comércio de Emissões e Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (GOVERNO FEDERAL BRASILEIRO, 2012).

Na dita "Implementação Conjunta", dois ou mais países desenvolvidos reduzem a emissão de GEE para posterior comercialização. O Comércio de Emissões existe quando um país dito desenvolvido já reduziu a emissão de GEE além da sua meta, conseqüentemente está apto a comercializar o excedente com outros países desenvolvidos que não tenham atingido sua meta de redução. E o "Mecanismo de Desenvolvimento Limpo", mais conhecido pela sua sigla "MDL", permite que os países em desenvolvimento possam vender os créditos de projetos que estejam contribuindo para a redução de emissões de carbono, para países desenvolvidos (MCT, 2012).

Dez anos após a Eco-92, realizou-se a Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável em Joanesburgo, na África do Sul. Este encontro foi uma forma de analisar os resultados obtidos na execução das recomendações feitas pela Eco-92. Nela relataram-se avanços nos aspectos social, ambiental e econômico. Todavia, constatou-se que o desenvolvimento advindo do fenômeno da globalização se compreende os conceitos do desenvolvimento sustentável. Este promoveu integração econômica, social, cultural e política entre países e continentes, diminuindo as distâncias e ampliando mercados consumidores sem a preocupação com as questões de sustentabilidade (LAGO, 2006).

O resultado desta conferência foi o documento Estratégia Nacional para o Desenvolvimento Sustentável - ENDS (ou "*Business Action For Sustainable Development*", em Inglês), foi elaborado contendo estratégias nas áreas Econômica, Social e Ambiental. Este foi atualizado até o ano de 2015 (TORRALBA; JALILI, 2007).

Em 2009 realizou-se a Conferência de Copenhague (Dinamarca) sobre Mudanças Climáticas. Esta Conferência tinha como objetivo estabelecer o tratado que substituiria o Protocolo de Quioto. Havia uma grande expectativa com a participação dos Estados Unidos e da China. Esperava-se resolver o impasse entre países desenvolvidos e em desenvolvimento para se estabelecer metas de redução de emissões e as bases para um esforço global de mitigação e adaptação. Porém, estes conflitos de interesses geraram divergência em relação à forma de financiamento para os investimentos em redução de emissões e em relação às

definições concretas de cada Estado, criando empecilhos para a forma de regulação internacional para a questão climática (BODNAR; CRUZ, 2008).

Bodnar e Cruz (2008) afirmam que para se alcançar um futuro mais justo, igual e sustentável, devem ser implementadas estratégias que envolvam processos de cooperação e solidariedade a partir de modelos globais de governabilidades.

O principal resultado da conferência foi o Acordo de Copenhague, que ficou muito aquém das expectativas. As nações se comprometeram em controlar o aumento de temperatura e em investir em ações de redução de emissões de gases de efeito estufa e de mitigação aos problemas causados pelas alterações climáticas (ABRANCHES, 2010).

A Declaração do Milênio das Nações Unidas, assinada em 2000, traz valores fundamentais a serem seguidos para alcançar a boa relação internacional, cita o desejo comum entre as nações em melhorar as questões sociais, como: alcançar paz, desenvolvimento, erradicação da pobreza, direitos humanos, democracia, proteção a vulneráveis.

Em relação à Proteção do Ambiente Comum, a Declaração do Milênio reafirma o apoio aos princípios do desenvolvimento sustentável, enunciados na Agenda 21, que foram acordados na Conferência das Nações Unidas sobre Ambiente e Desenvolvimento, assim como reafirma o compromisso em cumprimento ao Protocolo de Quioto (ONU, 2000).

A Rio+20 - Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável – 2012, realizou-se no Rio de Janeiro, Brasil. Para esta conferência tinham a expectativa de ampliar a discussão sobre um novo modelo de desenvolvimento e a estruturação de novos critérios para a medição de riquezas, o chamado “PIB verde” (OGLOBO, 2012).

Dentre os desafios da Rio+20, destacaram-se a busca em combinar o crescimento econômico, a geração de empregos e o combate à pobreza com a sustentabilidade ambiental. Houve grande mobilização da sociedade civil mundial e ocorreram vários eventos paralelos à Conferência das Nações Unidas. Garantindo, assim, um debate rico e plural, que, certamente, ajudará no fortalecimento da consciência e de desenvolvimento sustentável (PESTANA, 2012). Quanto aos resultados desta Conferência, não criaram metas claras, objetivos específicos, nem

acordaram obrigações (PESTANA, 2012), repetindo os problemas de implementação ocorridos na Rio-92.

Dentre estas Conferências supracitadas, a Conferência do Brasil de 1992 foi um marco, pois dela resultaram as Agendas 21 nacionais. A Agenda 21 brasileira apresentou à sociedade o resultado das discussões acerca das questões do conceito de sustentabilidade aplicado ao desenvolvimento brasileiro. Esta discorreu sobre metas a serem alcançadas nas questões de Gestão dos Recursos Naturais, Agricultura Sustentável, Cidades Sustentáveis, Infraestrutura e Integração Regional, Redução das Desigualdades Sociais e Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento Sustentável, através de estratégias e planos de ação apresentados no mesmo documento (NOVAES et al., 2000).

Tais debates internacionais acabaram por trazer um saldo positivo na postura da sociedade, esta se tornou mais coísciente e participativa quanto aos efeitos do consumo.

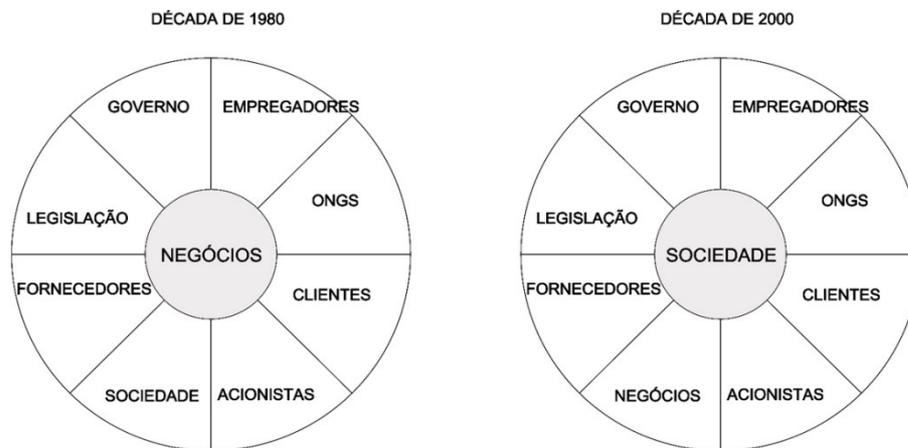


Figura 0.1 - Integração de processos e sistemas.

Fonte: Shah, 2007, p.55 (traduzido pela autora).

Como ilustrado na Figura 2.1, na década de 1980 as empresas tinham o papel principal nas operações dos negócios, a sociedade não se preocupava na forma como os processos de produção se desenvolviam, se estes eram ecologicamente e socialmente corretos ou não (SHAH, 2007).

Nas duas suas décadas posteriores, esta sociedade se desenvolveu consciência ecológica e social e passou a exigir processos que diminuam a

agressão ao meio ambiente e a valorizar as empresas que desempenham papel social perante a comunidade.

### 2.3 PENSAMENTO DO CICLO DE VIDA

A Avaliação do Ciclo de Vida – ACV (*Life Cycle Assessment - LCA*) analisa a carga ambiental potencial de um produto ou serviço na sua fase de produção, uso e disposição (fim da vida). Esta idéia evoluiu para conceitos específicos para a construção, como *Life Cycle Engineering - LCE* e *Design for Environment – DfE*.

O *Life Cycle Engineering – LCE* analisa os aspectos ecológicos, econômicos e tecnológicos e os potenciais causados pelo ciclo de vida do produto, sistema ou serviço. Enquanto o *Design for Environment (DfE)* avalia dados ambientais de estudos em ACV juntamente com informações técnicas e econômicas como um suporte para decisão de novos desenvolvimentos, sob o “pensamento do ciclo de vida” (COLODEL, 2008).

Em 1998 foi lançado o livro verde da Política Integrada de Produto – União Europeia, que se baseia no conceito de Ciclo de Vida, na relação com o mercado, na participação das partes interessadas, aperfeiçoamento contínuo e instrumentos políticos diversos para enquadramento econômico e jurídico (HENDRIKS et al., 2007).

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma metodologia de análise de fatores que são impactos ambientais potenciais ao longo de todo o ciclo de vida de produtos ou serviços, medindo impactos ambientais nos três meios: ar, água e terra.

Analisando todo um sistema de inventariação dos insumos, das saídas e dos processos desde a extração e processamento de matéria-prima, passando pela manufatura/fabricação do produto, distribuição, consumo/uso/operação, manutenção, reciclagem/reutilização e até o despejo final/ eliminação do sistema de um determinado produto em sua vida útil. Baseado nesta característica, se intitulou o ACV como a metodologia “do berço ao túmulo” (SETAC, 1993; RIBEIRO, 2003).

A ACV se utiliza de balanço de massa e energia em que os fluxos de entrada (*input*) devem corresponder a um fluxo de saída (*output*) quantificada como produto, resíduos ou emissões. Este conceito de balanço de massa se dá através da fórmula matemáticas em que:

Fórmula de Balanço de Massa:

$$\begin{array}{ccccccc} \text{TAXA DE} & & \text{TAXA DE FLUXO} & & \text{TAXA DE FLUXO} & & \text{TAXA DE} \\ \text{ACÚMULO DO} & = & \text{DE ENTRADA DO} & - & \text{DE SAÍDA DO} & + & \text{GERAÇÃO DO} \\ \text{COMPONENTE} & & \text{COMPONENTE} & & \text{COMPONENTE} & & \text{COMPONENTE} \\ & & & & & & \text{ATRAVÉS DE} \\ & & & & & & \text{REAÇÕES QUÍMICAS} \end{array}$$

Onde: ACÚMULO = ENTRADA - SAÍDA + GERADO

O mesmo pensamento funciona para o balanço de energia, onde o acúmulo é dado pela subtração das saídas (*output*) pelas entradas (*input*).

Fórmula Geral de Balanço de Energia:

$$\begin{array}{ccccccc} \text{ACÚMULO DE} & & \text{TRANSFERÊNCIA} & & \text{TRANSFERÊNCIA} & & \\ \text{ENERGIA} & = & \text{DE ENERGIA} & - & \text{DE ENERGIA DO} & & \\ \text{DENTRO DO} & & \text{DENTRO PARA O} & & \text{SISTEMA} & & \\ \text{SISTEMA} & & \text{SISTEMA} & & \text{ATRAVÉS DA} & & \\ & & \text{ATRAVÉS DA} & & \text{FRONTEIRA} & & \\ & & \text{FRONTEIRA} & & & & \end{array}$$

Onde: ACÚMULO = ENTRADA - SAÍDA

Fonte: FELDER , ROSSEAU, 2005.

O Ciclo de Vida de um serviço ou produto compreende todas as fases, desde a aquisição de matérias-primas, a produção, o uso, o tratamento pós-uso, a reciclagem até a disposição final deste produto ou de resíduos resultantes do serviço, sendo o termo “do berço ao túmulo” comumente relacionado a ciclo de vida. Contudo a metodologia ACV permite utilizar os marcar o limiar da fronteira de estudo de forma parcial: do berço ao portão (*cradle to gate*), de portão a portão (*gate to gate*), do portão ao túmulo (*gate to grave*) (LIMA, 2007).

Por Kulay e Seo (2010), Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) é uma técnica capaz de avaliar o desempenho ambiental da função exercida por um produto, processo ou serviço ao longo de seu ciclo de vida; ou seja, desde a extração de recursos junto à natureza, até sua disposição junto ao ambiente, que ocorre após o uso a que este bem se destina haver se esgotado. Para tanto, a metodologia ACV se compõe de quatro fases: definição de objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impacto e interpretação (KULAY; SEO, 2010).

A técnica de ACV pode auxiliar nas tomadas de decisões, ajudar na identificação de oportunidades para melhorar o desempenho ambiental dos produtos em vários pontos no seu ciclo de vida e na relação de indicadores de desempenho ambiental, incluindo técnicas de medição (RIBEIRO, 2003; SOARES et al., 2006).

Já de acordo com Yuba (2005), Avaliação de ciclo de vida é a “decomposição da cadeia produtiva para a compreensão de ganhos e perdas de sustentabilidade”. Visto que esta metodologia permite estimar os impactos ambientais potenciais acumulativos resultantes de todos os estágios do processo produtivo, dando uma visão abrangente dos aspectos ambientais dos produtos ou processos e detalhes específicos das trocas ambientais na seleção dos produtos.

Ou ainda, como definição mais completa, por Soares, Souza e Pereira (2006, p.98):

A ACV consiste em analisar as repercussões ambientais de um produto ou atividade a partir de um inventário de entradas e saídas de matéria-prima e energia, produtos, subprodutos e resíduos do sistema considerado. Os limites de análise devem apreciar as etapas de extração de matérias-primas, transporte, fabricação, uso e descarte.

Ainda seguindo os conceitos destes autores, esse procedimento permite uma avaliação científica da situação e facilita a localização de eventuais mudanças associadas às diferentes etapas do ciclo que resultem nas melhorias no seu perfil ambiental (SOARES; SOUZA; PEREIRA.,2006, p.98).

## 2.4 DESEMPENHO AMBIENTAL

A indústria busca melhorar o desempenho ambiental de produtos e serviços através da otimização do processo produtivo com escolhas conscientes na seleção das matérias-primas, das embalagens e dos processos tecnológico de produção. Fazendo uso de *softwares* que permitem levantar, analisar e monitorar o desempenho ambiental dos produtos e serviços.

As providências das organizações governamentais se referem à criação de políticas públicas, de normalização quanto às melhores práticas e responsabilidades dos impactos produzidos, em cada sistema integrante do processo de produção.

Sustentabilidade no desenvolvimento da construção deve resultar na criação e manutenção sustentáveis de ambientes saudáveis, baseados em princípios ecológicos e por meios de uso eficiente e recursos (KIBERT, 2007).

O potencial de sustentabilidade da construção vai diminuindo ao longo de suas etapas e possui picos de melhoria nas reuniões intermediárias de avaliação do trabalho executado, onde propõem medidas de melhoria de produtividade nas diversas etapas do projeto como um todo.

A imagem de Shah ilustra bem esta queda de produtividade entre as etapas planejamento e detalhamento, e as etapas de construção, operação, reformas e desmantelamento. De forma que, quanto melhor é o planejamento, melhor será o seu potencial de sustentabilidade. Pensando nisso criou-se o *Ecodesign*.

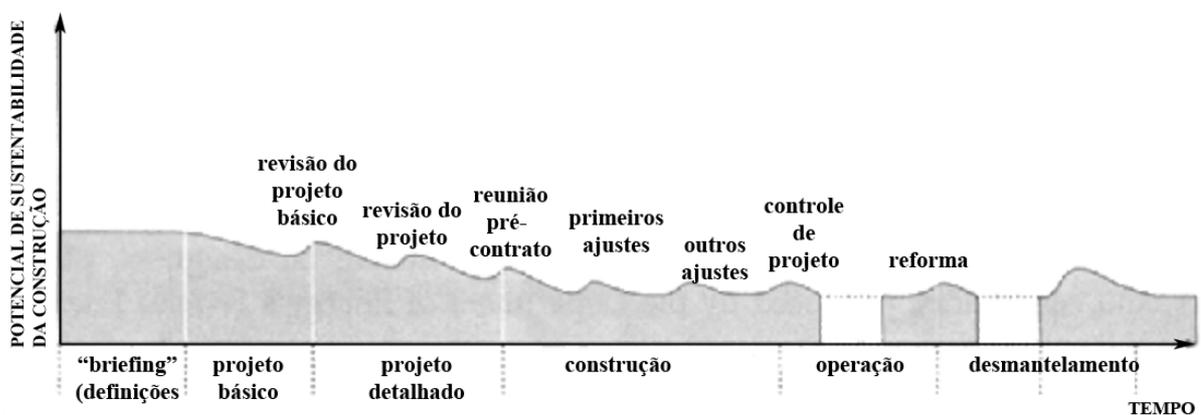


Figura 0.2 - Potencial de sustentabilidade da construção no seu ciclo de vida.

Fonte: Trevor Butler, Building Design Partnership, 2001 apud Shah, 2007, p.152. Traduzido pela autora.

O *Ecodesign* foi criado como uma forma de controlar os impactos que um produto terá ao meio ambiente desde a concepção deste produto (*EUROPEAN COMMISSION*, 2012). Determinando um design com padronização de fabricação em aspectos ergonômicos, tecnológicos, econômicos, ambientais, sociais, estéticos e antropológicos.

No que tange à normalização de avaliação de ciclo de vida, a ISO/TC207 (*Technical Committee on Environmental Management*) foi criada em 1994. Ciente de que a melhoria da gestão e práticas é a melhor maneira de melhorar o desempenho ambiental das organizações e seus produtos, o Comitê Técnico 207 produz normas e documentos de orientação nas áreas de Sistemas de Gestão Ambiental, Auditoria Ambiental e Investigações relacionadas (*Environmental Audit-EA & Investigations related-RI*), Rotulagem Ambiental (*Environmental Labelling-EL*), Avaliação do Desempenho Ambiental (*Environmental Performance Evaluation-EPE*), Avaliação do

Ciclo de Vida (*Life Cycle Assessment-LCA*), Gestão de Gases de Efeito Estufa e Atividades relacionadas e Termos e definições criando padrões internacionais.

Em 1999 a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT criou o Comitê Brasileiro de Gestão Ambiental (ABNT/CB38), que discute normas brasileiras correspondentes às normas da série ISO14000 e elabora as normas brasileiras correspondentes.

A *International Organization for Standardization* - ISO unificou as normas de ACV como a série ISO14040, que tem sido sistematicamente incorporada no acervo nacional pelo ABNT/CB38.

Como estratégias de *marketing*, foram criados sistemas de certificações e as rotulagens ambientais. O rótulo Tipo III, criado em 2006, tratado no Relatório Técnico ISO 14025 (ABNT, 2006), traz informações sobre dados ambientais dos produtos. Dados estes que foram quantificados de acordo com parâmetros previamente selecionados e baseados na ACV e que valorizam os aspectos de “final de vida útil” dos produtos.

O rótulo tipo III, está sob a norma ISO 14025:2006- Tipo III: declarações ambientais - Princípios e procedimentos (ABNT, 2006) e tem como alvo as relações comerciais entre as empresas conhecidas com “*business to business*” (BARROS; LEMOS, 2008. p.62).

Este sistema de rotulagem apresenta algumas dificuldades e limitações para as pequenas e médias empresas brasileiras, tais como: grande extensão e complexidade dos estudos, alto custo, dificuldade de obtenção de dados, longo prazo para a obtenção dos resultados (BARROS; LEMOS, 2008. p.62-63).

A Rotulagem Ambiental não é obrigatória. Esta é um mecanismo de comunicação com o mercado sobre os aspectos ambientais do produto ou serviço com o objetivo de diferenciá-lo de outros produtos por meio de símbolos, marcas, textos ou gráficos, conforme o relatório do IBICT (BARBOZA, 2001).

No âmbito dos serviços, é pertinente seguir as “melhores práticas” (*Best Practicable Environmental Option* – BPEO) sugeridas pelas normas da série NBR ISO14040 de Gestão ambiental. A Tabela 2.1 enumera as normas da série ISO14040:

Tabela 2.1 - Série NBR ISO 14040.

ISO 14040	Princípios e estruturas: esta norma especifica a estrutura geral, princípios e requisitos para conduzir e relatar estudos de avaliação de ciclo de vida, não incluindo as técnicas de ACV em detalhes.
ISO FDIS 14044:2006  Substitui as ISOs 14041, 14042 e 14043.	Gestão ambiental- avaliação de ciclo de vida- Requisitos e Diretrizes da Gestão Ambiental: Análise do Ciclo de Vida: Norma que especifica exigências e provê diretrizes para o ciclo de vida incluindo: definição de metas e extensão da ACV, a fase de análise do inventário do ciclo de vida (ICV), a fase de avaliação do impacto do ciclo de vida (AICV), a fase de interpretação do ciclo de vida, informando ainda a necessidade de uma revisão crítica da ACV, suas limitações e a relação entre as suas fases.
ISO TR 14047	Avaliação do Ciclo de Vida – Exemplos para a aplicação da ISO 14042. Este relatório técnico fornece exemplos de algumas das formas de aplicação da Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida conforme descrito pela norma ISO 14042.
ISO TS 14048	Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Formato de Apresentação dos Dados: Esta especificação técnica fornece padrões e exigências para a forma de apresentação dos dados que serão utilizados no Inventário e na Avaliação do Inventário do Ciclo de Vida.
ISO TR 14049	Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Exemplos de aplicação da ISO 14041 para definição de Objetivo e Escopo e Análise de Inventário: Este relatório técnico apresenta exemplos para facilitar a definição de Objetivo e Escopo e Análise de Inventário, orientando uma padronização para diversos tipos de ACV.

Fonte: IBICT, 2012.

A norma NBR 14040 (ABNT, 2006) estrutura avaliação de ciclo de vida, dividindo a ACV em quatro fases e enumerando aplicações diretas desta metodologia. As fases são: definição de objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impacto e interpretação. Sendo que esta última, de interpretação é uma fase concomitante às demais.

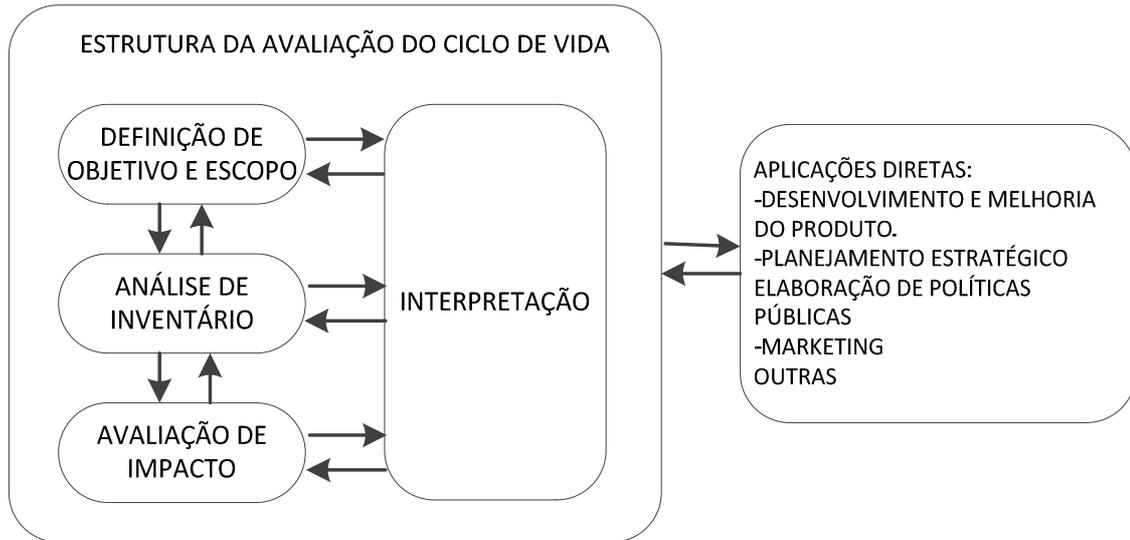


Figura 0.3 - Fases de uma ACV.

Fonte: NBR 14040:2006.

A norma ABNT NBR ISO 14044:2009 (Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e orientações) foi criada pela ABNT em 2009 em substituição às seguintes normas NBR ISO14041: 2004 NBR ISO14042: 2004 e NBR ISO14043: 2005. Para a aplicação desta, é indispensável considerar as recomendações da norma ABNT NBR ISO14040: 2009 (Gestão Ambiental-Avaliação do Ciclo de vida - Princípios e estrutura), que especifica a estrutura geral, os princípios e os requisitos para conduzir e relatar os estudos de ACV.

Esta norma traz definições e metodologias a fim de melhor compreender e lidar com possíveis impactos associados a produtos e serviços em todo o seu ciclo de vida. Atentando sobre o reflexo em relação ao uso de recursos naturais retirados da natureza, aos possíveis impactos na saúde humana e às consequências ecológicas.

A norma em questão trata de definições de escopo, dá referência normativa, cita termos específicos ao tema e suas definições; faz recomendações quanto à estrutura metodológica para ACV, com suas fases; orienta quanto à comunicação de requisitos adicionais e para relatórios destinados a terceiros; e quanto à revisão crítica, podendo ser por especialista interno ou externo e por painel de partes interessadas.

A NBR ISO 14044:2009 define o Ciclo de Vida como estágios consecutivos e encadeados de um sistema de produto, desde a aquisição da matéria-prima ou de sua geração a partir de recursos naturais até a disposição final.

## 2.5 SUSTENTABILIDADE NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO

O setor da construção civil é um enorme consumidor de recursos naturais, gerador de resíduos e poluidor do ambiente. Para que a construção se torne sustentável, é importante que haja esforços de ambos os envolvidos para criar e obedecer a normas e padrões de produtos, de processos e de serviços relativos a este setor.

Em 1999 o *International Council for Research and Innovation in Building and Construction* - CIB lançou a Agenda 21 para a Construção Sustentável, voltada para os países desenvolvidos e em 2000 lançou uma versão para países em desenvolvimento, inclusive para o Brasil. Este documento considera as particularidades e demandas nacionais, comprova a busca do CIB das novas direções que a construção deve seguir em prol da sustentabilidade ambiental, e busca a colaboração internacional em pesquisa e inovação na construção (BOURDEAU, 2012).

A Agenda 21 para a Construção Sustentável tem como objetivos criar um quadro global e terminologias, criar uma agenda para atividades do CIB no campo com a coordenação desta sobre organizações parceiras e fornecer um documento de origem para a definição de atividades de Pesquisa e Desenvolvimento tecnológico - P&D (BOURDEAU, 2012).

A Tabela 2.2 descreve a classificação elaborada por John et al.(2001) da Agenda 21 em três blocos: organização e gerenciamento, os aspectos de edifícios e produtos de fabricação e o consumo de recursos. Definindo aspectos necessários para cada um destes blocos.

Tabela 0.1 - Blocos da agenda 21 para a construção civil brasileira.

Bloco	Aspectos
Gerenciamento e organizações de processos	Definição de padrões e melhoria da qualidade ambiental das construções: projeto (de forma multidisciplinar e integrada), processo (melhorando a gestão, aumentando a segurança no ambiente de trabalho, integrando disciplinas, incluindo novas tecnologias, qualificando a mão de obra, reciclando e reutilizando Resíduos de Construção Civil – RCC, normalização e conscientização pública), produto.
Qualidade ambiental de edifícios	Processos e produtos de construção segundo aspectos de qualidade do ar interior; Avaliação ambiental dos edifícios, e de produtos para a construção com base em seu ciclo de vida; Seleção de materiais ambientalmente saudáveis; Poluição em canteiros e indústrias.
Redução de consumo de recursos naturais	Redução de desperdício e gestão de resíduos; Reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição - RCD e aumento do uso de reciclados como materiais de construção; Uso racional de água; Uso racional de energia e aumento da eficiência energética do setor; Aumento da durabilidade e planejamento da manutenção; Melhoria da qualidade da construção.

Fonte: John et al., 2001 (adaptado pela autora).

Na indústria da construção, grandes organizações precisam de motivadores externos como vantagens competitivas e redução de custos para buscarem a eco-eficiência e sustentabilidade. Esta nova abordagem requer ações interligadas de ambos os envolvidos.

Conforme ilustrado na Figura 2.4, sustentabilidade na construção requer integração de projetos das diversas competências, consciência de sustentabilidade como fator de competitividade para as empreiteiras e na manutenção das edificações, esforços da indústria em minimizar impactos ambientais, visão do usuário com consciência da necessidade de sustentabilidade, criação de padrões e elaboração de pesquisas por parte do governo e demanda de sustentabilidade.

Na busca para a sustentabilidade nas construções, países vêm desenvolvendo selos de sustentabilidade que avaliam as edificações por determinados aspectos, criando uma certificação voluntária de *Green Building*.

O *Green Building* é definido por Yudelson *apud* Hossaini (2012) como propriedade de alta performance, que considera e reduz impactos no ambiente e na vida humana. E é uma estrutura que é ambientalmente responsável e recursos eficientes em todo o ciclo de vida (US-EPA *apud* HOSSANI, 2012).

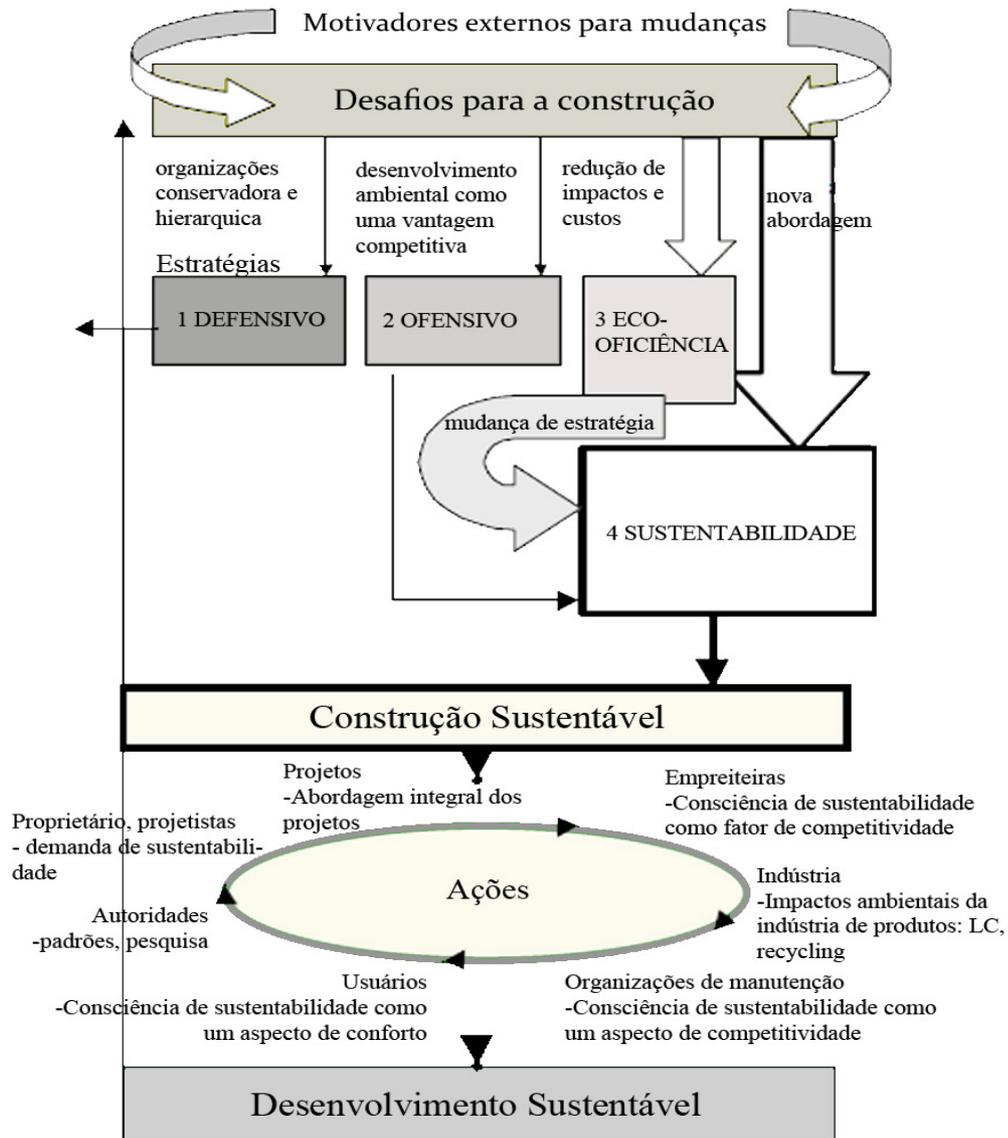


Figura 0.4 - Estratégias e Ações.

Fonte: CIB 1999 (traduzido pela autora).

O Reino Unido (*United Kingdom - UK*) avançou a largada aos selos relativos às construções sustentáveis, criando o *BRE Environmental Assessment Method - BREEAM*. Este é um sistema de certificação de edifícios que define o padrão das melhores práticas de construção sustentável, considerando: projeto, construção e operação (BRE, 2012). O BREEAM foi amplamente reconhecido de desempenho

ambiental de um edifício e a partir de então, outros selos foram criados ao redor do mundo.

Outros exemplos de certificações ambientais para construções são *Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency* - CASBEE, criado pelo Japão e o *Leadership in Energy and Environmental Design* - LEED, criado pelos Estados Unidos da América (EUA). Cada qual com estrutura, sistemas de pontuações e ponderações específicas (SILVA, 2007), focadas nas especificidades geográficas e em seu público alvo. O LEED é o selo mais disseminado pelo mundo, inclusive com vários exemplos no Brasil.

Dentre os pontos importantes que norteiam sustentabilidade na construção, e que são analisados nos selos, observa-se: qualidade da implantação, gestão do uso da água, gestão do uso de energia, gestão de materiais (visando à redução de resíduos), prevenção de poluição, gestão ambiental (do processo), gestão da qualidade do ambiente interno, qualidade dos serviços e desempenho econômico (CÂMARA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO - FIEMG, 2008).

Na Tabela 2.3 Yudelson (2007) identifica sete passos para em empreendimento sustentável, no livro *Desenvolvimento de Novas Tecnologias Sustentáveis*, os quais estão descritos da seguinte forma:

Tabela 0.2 - Desenvolvimento de novas tecnologias sustentáveis.

Sete passos	Descrição
Gestão da obra	Análise do local; Aplicação do Ciclo de Vida do Produto; Diretrizes de Projetos e de Materiais; Projeto de Arquitetura, Paisagismo e Planejamento Sustentável; Logística de materiais e recursos em geral.
Aproveitamento dos recursos naturais	Aproveitar os recursos naturais que atuam diretamente sobre a obra, tais como insolação e ventilação, vegetação, conforto termo acústico e climatização natural.
Eficiência energética	Conservação e economia de energia; Uso de fontes renováveis como energia solar e eólica;
Gestão e economia de água	Uso de sistemas que permitam redução do consumo de água, aproveitando as fontes disponíveis, tratando águas cinza e utilizando água de chuva, para reaproveitá-las na edificação, tratando os efluentes.
Gestão de resíduos da edificação	Criar área para disposição de resíduos nos edifícios, incentivando a reciclagem.
Qualidade do ar e do ambiente interior	Criar um ambiente interior saudável aos ocupantes, identificando poluentes internos na edificação e controlando a sua entrada, garantindo a saúde de seus ocupantes.
Conforto termo acústico	Promover a sensação de bem-estar quanto à temperatura e a sonoridade, através de recursos naturais, elementos de projeto, vedação, paisagismo, climatização, dispositivos eletrônicos e artificiais de baixo impacto ambiental.

FONTE: Yudelson, 2007 (adaptada pela autora).

Complementando o pensamento de Yudelson, para elaborar uma construção sustentável, deve-se buscar reduzir os desperdícios de materiais de construção e de recursos na gestão de todo o ciclo de vida da construção, se valendo de Políticas Urbanas Sustentáveis e Práticas Urbanísticas Sustentáveis.

As normas de desempenho trabalham junto aos selos de sustentabilidade avaliando o desempenho das edificações e os impactos gerados por elas no ambiente e na saúde humana. As Normas de Desempenho da série NBR15575 e as novas exigências para a construção civil brasileira foram aprovadas, estão passando por revisões têm previsão de entrarem em vigor em 2013. As normas que compõem a NBR15575 são as seguintes:

- ABNT NBR 15575-1:2008 – Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais.
- ABNT NBR 15575-2:2008 – Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho – Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais.
- ABNT NBR 15575-3:2008 – Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho – Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos internos.
- ABNT NBR 15575-4:2008 Errata 1:2009 – Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho – Parte 4: Sistemas de vedações verticais externas e internas.
- ABNT NBR 15575-4:2008 Versão Corrigida: 2009 – Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho – Parte 4: Sistemas de vedações verticais externas e internas.
- ABNT NBR 15575-5:2008 – Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho – Parte 5: Requisitos para sistemas de coberturas.
- ABNT NBR 15575-6:2008 – Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho – Parte 6: Sistemas hidrossanitários.

Estas normas atuam sobre edificações de até cinco pavimentos e exigirão de edificações habitacionais (sejam casas ou edifícios) atendam aos parâmetros e desempenho estruturais por um determinado tempo de vida útil (CONSELHO REGIONAL DE ENGENHARIA E ARQUITETURA- CREA-PR, 2012).

Em diversos aspectos como: o material especificado para obter conforto térmico, especificação de esquadrias e implantação no terreno para obter boa luminosidade e ventilação, novos padrões de portas para melhorar a acústica, reaproveitamento da água, entre outros (CREA-MG, 2012).

A Parte 1 traz os Requisitos Gerais de Desempenho do edifício como um todo, considerando parâmetros de conforto térmico, acústico e lumínico, segurança contra incêndio, durabilidade e manutenibilidade enquanto que as outras partes

trazem requisitos específicos, conforme especificado nos títulos das normas (BORGES, 2012).

A norma leva consideração o estágio socioeconômico do Brasil, define níveis de desempenho como: mínimo, intermediário e superior, recomenda os prazos de garantia mínimos para sistemas, elementos e componentes, e define as incumbências dos incorporadores, construtores, projetistas e administradores pós-obra (HAYRTON, 2010). Dando abertura para utilização de sistemas construtivos inovadores, desde que se dê uma garantia de desempenho mínima, no intuito de evitar patologias nas construções (BORGES, 2012).

Quanto às vedações externas e internas, a norma exige resistência à fixação de peças suspensas (como armários, prateleiras) e apresentam limites mínimos de resistência aos impactos em guarda-corpos e parapeitos. Estas devem proporcionar isolamento acústico entre cômodos e de ruídos oriundos do exterior da edificação (BORGES, 2012).

O Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H) é um instrumento do Governo Federal para organizar o setor da Construção Civil Brasileira quanto à melhoria da qualidade do habitat e à modernização produtiva (SINDUSCON-SP, 2012).

Este programa conta com a avaliação da conformidade de empresas envolvidas em serviços e obras, a melhoria da qualidade de materiais de construção, a qualificação de mão-de-obra, a normalização técnica, a capacitação de laboratórios, a avaliação de tecnologias inovadoras, a informação ao consumidor e a promoção da comunicação entre os setores envolvidos para aumentar a competitividade no setor e melhorar a qualidade de produtos e serviços, a redução de custos e a otimização do uso dos recursos públicos. Diminuindo, assim, o déficit habitacional no país através de soluções baratas e de boa qualidade, criando um ambiente de isonomia competitiva (SINDUSCON-SP, 2012).

Em relação às perdas na construção civil, Santos et al. (1996), definem perda como sendo “qualquer ineficiência que reflita o uso dos materiais, mão-de-obra e equipamentos em quantidades superiores àquelas necessárias para a produção da edificação”, englobando, além dos materiais, todas as tarefas desnecessárias que geram custos adicionais e não agregam valor (SANTOS et al., 1996). Já a FINEP

(1998), dispõem da perda como “recursos excedentes”, tais como: material, mão de obra, equipamento, tempo e capital.

Deve-se buscar minimizar o consumo de matérias-primas e a geração de resíduos da construção, tanto na gestão da obra quanto na gestão do edifício ao longo da sua vida. Partindo do planejamento (estudo de viabilidade e projetos), passando pela execução da obra, pela sua fase de uso/conservação, pelas prováveis reformas na edificação, pela Reabilitação de Edifícios Antigos ou Retrofit e no Desmonte/Demolição e tenteo em mente o pensamento do ciclo de vida em “seis REs”: Repensar, Realocar, Reparar, Reduzir, Reciclar, Reutilizar (CUNHA, 2008).

O gerenciamento de Resíduos Sólidos é definido pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) como:

Conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, de acordo com plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos ou com plano de gerenciamento de resíduos sólidos, exigidos na Política Nacional de Resíduos Sólidos. (nova redação dada à Resolução nº307/2012 do CONAMA pela Resolução nº448/2012).

O CONAMA atribui em sua nova redação dada pela Resolução 448/2012 à Resolução nº307/2002, as responsabilidades dos resíduos aos seus geradores. De forma que estes devem ter como objetivo prioritário a não geração de resíduos e a redução, a reutilização, a reciclagem, o tratamento dos resíduos sólidos e a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (Resolução nº448/2012 do CONAMA seção XII, at.4º).

Os Resíduos são classificados pela Resolução nº 307/2002 do CONAMA com atualizações das Resoluções nº348/2004, nº431/2011 e nº448/2012, como descrito na Tabela 2.4.

A Resolução nº431 do CONAMA de 2011 transfere o gesso da classificação C para a B. Em que o gesso passa a ser classificado como resíduos recicláveis para outras destinações. Este passou a ser utilizado na indústria cimenteira, como material que retarda o tempo de pega do cimento.

Tabela 0.3 - Classificação dos Resíduos de Construção e Demolição

Classe	Definição	Exemplos	Destinação a ser dada após a triagem
A	Resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados	Componentes cerâmicos, argamassas, concretos, solos, etc.	Deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados ou encaminhados a aterro de resíduos de classe A de preservação de material para usos futuros (nova redação dada pela Resolução nº448/2012).
B	São os resíduos recicláveis para outras destinações	Plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e gesso (redação dada pela Resolução nº 431/2011).	Deverão ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura.
C	Resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação (redação dada pela Resolução nº 431/2011).	-	Deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.
D	São resíduos perigosos oriundos do processo de construção são resíduos perigosos oriundos do processo de construção (nova redação dada pela Resolução nº 348/2004).	Tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde, oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde. (nova redação dada pela Resolução nº348/2004).	Deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas. (nova redação dada pela Resolução nº448/2012).

Fonte: Autora (baseado em resoluções do CONAMA).

Criando um adendo sobre a classificação de Resíduos, a NBR 10004/rev2004 classifica os Resíduos de Construção e Demolição (RCD) sobre parâmetros definidos pelas características físicas dos materiais como descrito na Tabela 2.5..

Tabela 0.4 - Classificação dos Resíduos de Construção e Demolição.

Classificação	Definição
Perigosos (Classe I)	Classificados pela inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.
Não perigosos e não inertes (Classe II-A)	Não inertes, podem ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.
Resíduos não perigosos e inertes (Classe II-B)	São aqueles que, quando submetidos a ensaios de solubilização (NBR10006), não liberam compostos que ultrapassem os padrões de portabilidade de água, excetuando cor, turbidez, dureza e sabor.

Fonte: NBR 10004/rev2004

Considerando que os resíduos contendo gesso não são considerados inertes, pois são solúveis em água (CARDOSO, ARAUJO, 2004), estes, quando acondicionados em superfície permeável e em contato com umidade, podem atingir lençóis aquíferos. Portanto de enquadraram na Classe II-A da NBR 10004/rev2004.

O CONAMA define como instrumento para a implementação da gestão dos resíduos da construção civil o Plano Municipal de Gestão de Resíduos da Construção Civil, a ser elaborado pelos Municípios e pelo Distrito Federal, em concordância com o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (nova redação dada pela Resolução nº 448/12 à Resolução nº307/2002 do CONAMA).

No Plano Municipal de Gestão de Resíduos da Construção Civil devem constar, dentre outras medidas educativas de outras orientações:

(...)diretrizes técnicas e procedimentos para o exercício das responsabilidades dos pequenos geradores, em conformidade com os critérios técnicos do sistema de limpeza urbana local e para os Planos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil a serem elaborados pelos grandes geradores, possibilitando o exercício das responsabilidades de todos os geradores; o cadastramento de áreas, públicas ou privadas, aptas para recebimento, triagem e armazenamento temporário de pequenos volumes,... (nova redação dada pela Resolução 448/12 à Resolução nº307/2002 do CONAMA).

Desta forma, recai sobre os grandes geradores de resíduos a responsabilidades no planejamento de gerenciamento destes resíduos, a criação de áreas de beneficiamento o estabelecimento de processos de licenciamento para as áreas de beneficiamento e reserva de resíduos e de disposição final de rejeitos.

Os Planos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil devem ser elaborados e implementados pelos grandes geradores. Estes devem estabelecer os procedimentos para o manejo e destinação ambientalmente adequados dos resíduos em projetos a serem apresentados órgão competente do poder público municipal, em conformidade com o Plano Municipal de Gestão de Resíduos da Construção Civil. Os Planos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil deverão contemplar as etapas de caracterização, triagem, acondicionamento, transporte e destinação. Assegurando, quando possível, a reciclagem (nova redação dada pela Resolução 448/12 à Resolução nº307/2002 do CONAMA).

Assim, a responsabilidade sobre os resíduos e seus impactos ao homem e/ou ao ambiente recaem sobre os seus geradores, assim como o dever de relatar as suas ações de cumprimento de suas obrigações aos órgãos competentes.

A Lei nº12305/2010 instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que se baseia em responsabilidade compartilhada entre os geradores diretos e indiretos: fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, consumidores e os titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos. E se utiliza de ferramentas como Planos de Resíduos Sólidos, Inventários e sistema Declaratório anual de Resíduos Sólidos, Coleta Seletiva, Logística Reversa, Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão de Resíduos Sólidos - SINIR, Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico - SINISA e outras. Visando minimizar a produção de resíduos, com vista em os ciclos de vidas de produtos e serviços.

A PNRS (2010) identifica os geradores de resíduos da Construção Civil como as pessoas físicas ou as empresas envolvidas “em construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil”. E, ao se pensar em ciclo de vida de materiais, devem-se considerar os geradores de Resíduos de Mineração: na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios.

Após o uso dos produtos, os consumidores não são isentos da responsabilidade por danos que vierem a ser provocados pelo gerenciamento inadequado dos respectivos resíduos ou rejeitos. Estes devem efetuar a devolução de seus resíduos e das embalagens aos comerciantes ou distribuidores. Os comerciantes e distribuidores deverão efetuar devolução destas aos fabricantes ou

aos importadores. Por fim, os fabricantes e/ou importadores deverão dar um destino ambientalmente adequado a estes Resíduos (PNRS, 2010).

Os Planos Municipais e Estaduais de Resíduos Sólidos estão em fase de elaboração e ainda não foram produzidas lei importantes acerca de Resíduos Sólidos oriundos da Construção (PNRS, 2010).

### **2.5.1 Logística na Construção Civil**

Com a crescente necessidade otimização na produção, com aumento da eficiência e da qualidade e de diminuição dos custos totais dos produtos, o conceito de logística se desenvolveu para uma logística integrada entre as suas atividades. Envolvendo três grandes grupos: a logística de suprimento (extração e beneficiamento do produto primário), logística de produção (fabricantes) e logística de distribuição (distribuição aos clientes finais) nos quais são compostos pelas atividades de serviço ao cliente, transportes, administração de estoques, fluxo de informações e processamento de pedidos, compras, armazenagem, manuseio de materiais, embalagem, cooperação com a produção/operações, manutenção da informação, localização de instalações, suporte de peças de reposição e serviços (PLATT; NUNES, 2007).

Já a preocupação com o meio ambiente leva ao desenvolvimento de operações de Logística Reversa, com o recolhimento de embalagens e dos materiais no fim da vida, visando frear a extração descontrolada de matérias-primas e evitar a disposição inapropriada de resíduos. Com este tipo de logística, há um gerenciamento e execução das rotinas que envolvem o fluxo inverso de materiais para reaproveitá-lo ou descartá-lo de maneira a manter o nível de serviço oferecido adequado aos padrões de qualidade e eficiência desejados (PLATT; NUNES, 2007).

Logística é definida por Ballou, em 2001, como “o processo de planejamento, de implementação e de controle do fluxo eficiente e economicamente eficaz de matérias-primas, de estoque, de produtos acabados e de informações pertinentes desde o ponto de origem até o ponto de consumo, com o propósito de atender às exigências dos clientes” (BALLOU, 2001).

O governo brasileiro tem buscado diminuir o déficit habitacional do país, inclusive com a participação de empresas privadas. Estas são incentivadas através

de financiamentos e pela redução de carga tributária, a adotar processos construtivos industrializados, aumentando a produtividade, diminuindo os prazos e aumentando a qualidade.

Assim como a industrialização, a padronização na construção de baixa renda pode se traduzir em grandes benefícios de produtividade e redução de custo. Na construção, estruturas e fechamentos pré-moldadas podem representar maior economia de recursos, de tempo e redução de perdas, aumento de qualidade e conformidade das obras e, contudo, de redução de custos.

Porém, a cadeia da produtividade da construção tem suas especificidades, esta é extensa e diversa, pois a cadeia de materiais de construção tem padrão de concorrência bastante heterogêneo e seus *outputs* são projetos únicos que possuem a sua própria cadeia produtiva (MONTEIRO FILHA et al., 2010).

Seguindo o pensamento da Deconcic/FIESP (2008), a cadeia produtiva da construção civil, que se divide em duas: edificações e construção pesada (Figura 0.5). Ambas tendo o setor de materiais de construção como início de seu processo produtivo (“elo a montante das cadeias”). Os demais elos a montante e a jusante ou são prestadores de serviços (subcontratados) ou comerciantes e distribuidores (DECONCIC/FIESP, 2008 *apud* MONTEIRO FILHA et al., 2010).

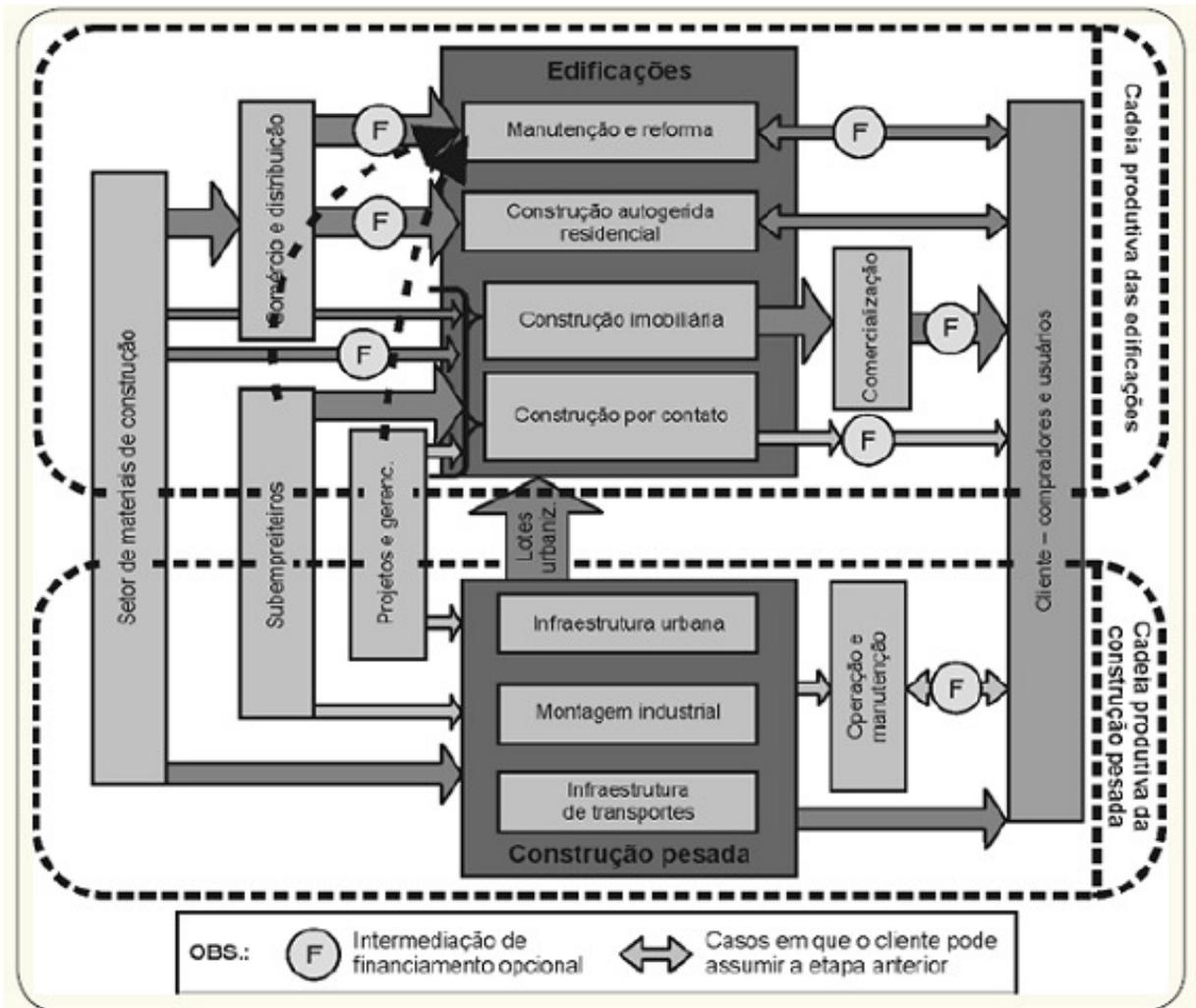


Figura 0.5 - Segmentação geral da cadeia da construção civil

Fonte: Deconcic/FIESP (2008), p.13.

Muitas vezes os clientes podem assumir e/ou influenciar de forma negativa a cadeia da construção tanto nas questões técnicas quanto de logística e de qualidade das construções. Esta interferência na construção dificulta o controle e a padronização e propicia a informalidade.

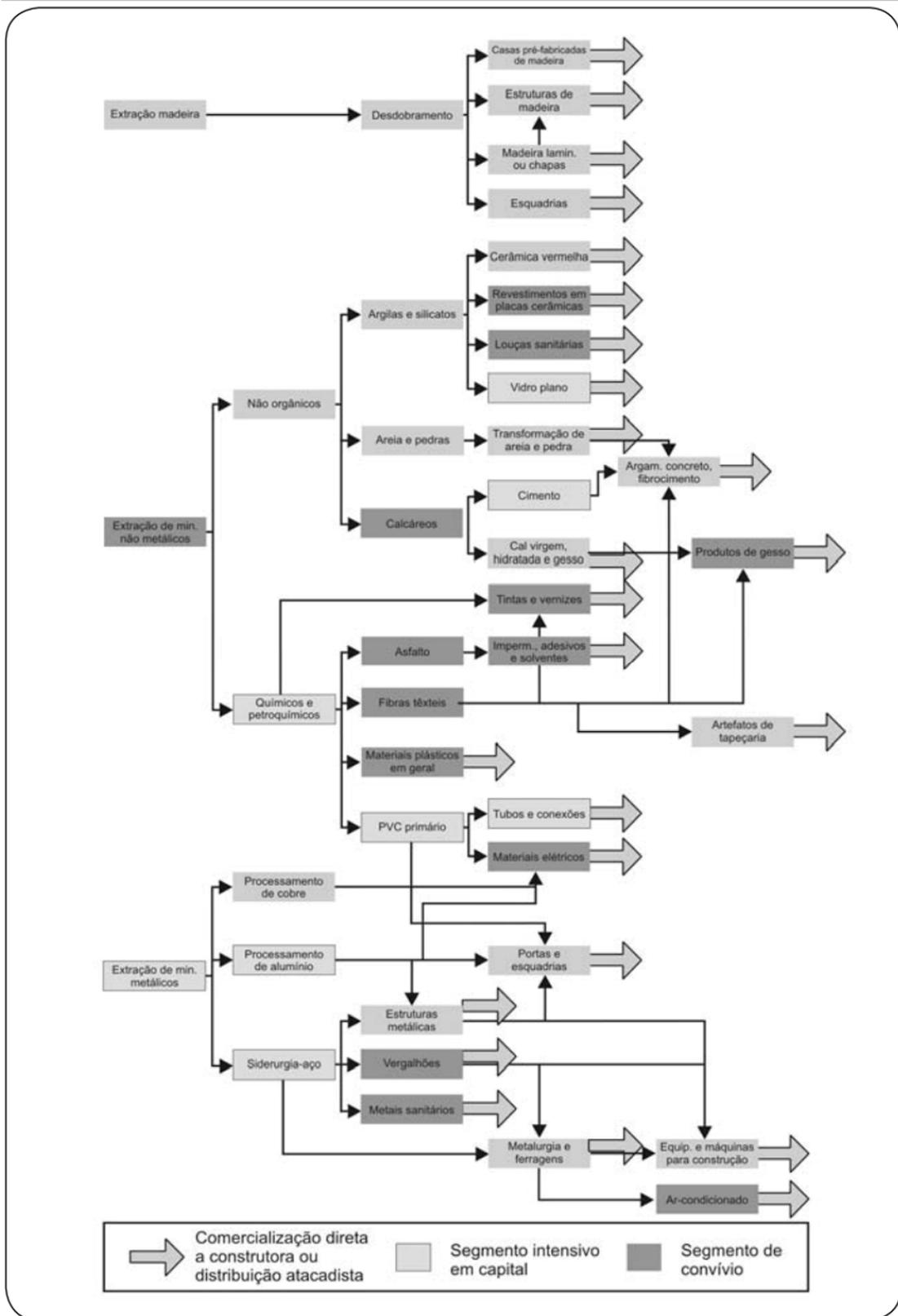


Figura 0.6 - Planta da cadeia de materiais de construção

Fonte: Adaptado de ABRAMAT (2007) apud DECONCIC/FIESP (2008).

A Figura 2.6 apresenta a esquematização detalhada da cadeia, diferenciando seus segmentos:

Aqueles cujo processo produtivo é intensivo em capital e a estrutura de mercado é dominada por empresas de grande porte (em cinza com contorno);

Aqueles nos quais coexistem empresas de grande porte e pequenas empresas, em que as grandes empresas, geralmente, detêm parcela relevante no mercado (em cinza-escuro);

Os segmentos nos quais predominam pequenas e médias empresas (em cinza-claro).

Existem pesquisas referentes à construção civil (materiais, tecnologia, gestão), há muito pouca transferência de conhecimentos entre universidades e empresas da cadeia produtiva. A Câmara Brasileira da Indústria da Construção - CBIC (2012) levantou no Programa de Inovação Tecnológica - PIT que há baixa incidência de projetos potenciais de inovação para o mercado, visto que há defasagem no conhecimento técnico, assim como na compreensão das reais necessidades de inovações e das necessidades do mercado por parte dos pesquisadores.

A cadeia produtiva, por sua vez, desconhece os trabalhos das instituições de pesquisas, que poderiam gerar inovação. Já as atividades dos pesquisadores técnicos são desconsideradas no meio acadêmico (CBIC, 2009). Este distanciamento entre mercado e academia se torna um obstáculo para a inovação na indústria da construção brasileira.

A Associação Brasileira da Indústria de Materiais de Construção – ABRAMAT, influenciada pelo pensamento de avaliação do ciclo de vida elaborou um documento em parceria com a Fundação Getúlio Vargas – FGV (2011), sobre cadeia produtiva da construção civil brasileira, que englobava a extração de matérias-primas, a indústria de materiais de construção, comércio e serviços e construção.

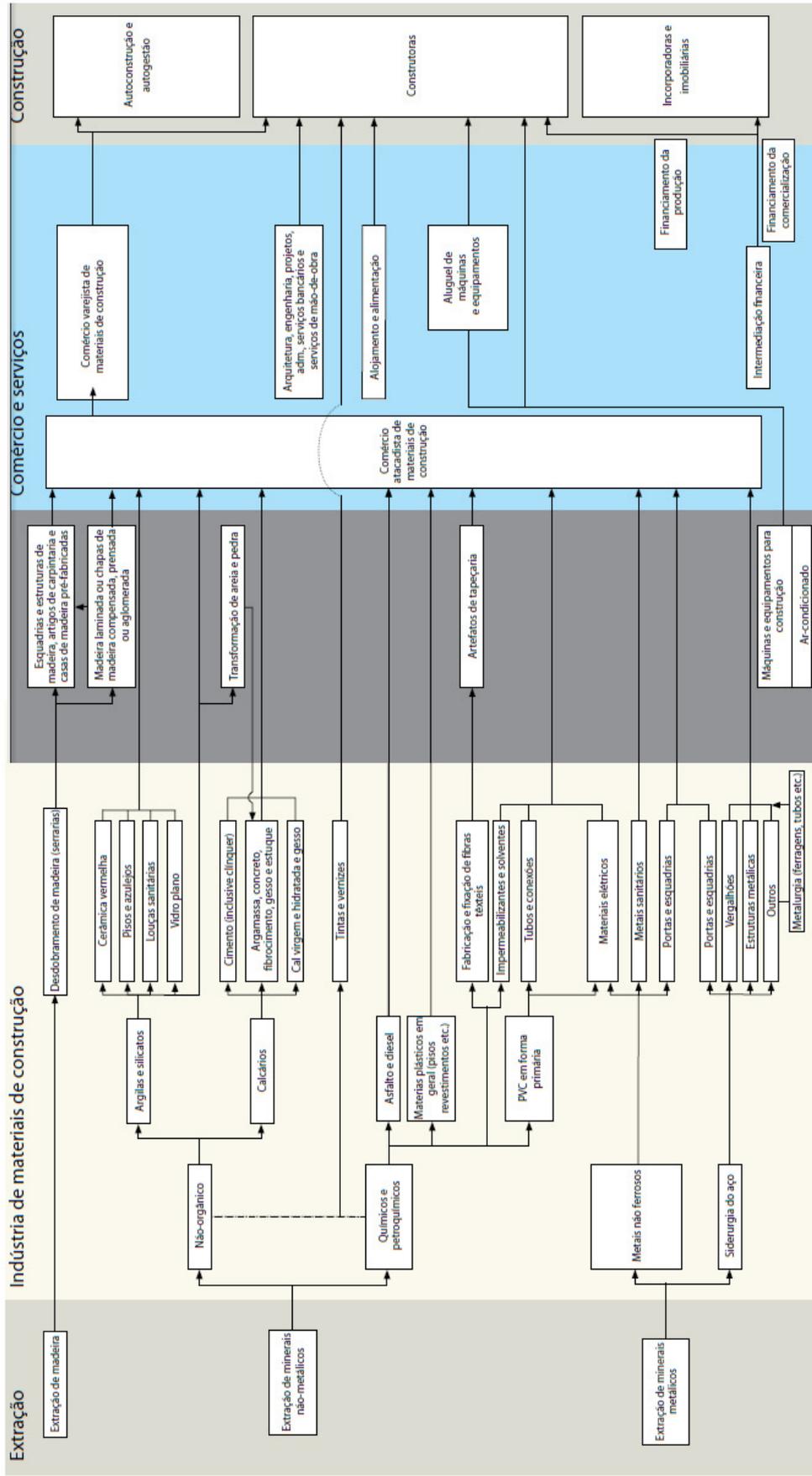


Figura 0.7 - Cadeia produtiva da construção civil brasileira.

Fonte: ABRAMAT;FGV, 2011.

### 2.5.2 ACV na Construção Civil

O ACV tem sido usado internacionalmente para a construção civil. Existem estudos europeus sobre edifícios de escritórios, universidades, edifícios de apartamentos e casas.

Dentre alguns estudos internacionais relativos ao tema de ACV na construção, alguns influenciaram este estudo de forma a elucidar a aplicação da metodologia ACV neste setor.

Tais como: Impactos ambientais do setor residencial do Reino Unido: a avaliação do ciclo de vida de casas (CUÉLLAR-FRANCA; AZAPAGIC, 2012), Sustentabilidade baseado gerenciamento do ciclo de vida (LCM) de habitações residenciais: Um estudo de caso na Catalunha, Espanha (ORTIZ et al., 2009) e Cargas ambientais e eficiência econômica na construção de apartamentos com placas de gesso acartonado (SUNGHO, 2011).

#### **a) Impactos ambientais do setor residencial do Reino Unido: a avaliação do ciclo de vida de casas (CUÉLLAR-FRANCA, Rosa M.; AZAPAGIC, Adisa, 2012).**

Cuéllar-Franca e Azapagic (2012) apresentam de uma avaliação completa do ciclo de vida para os três tipos mais comuns de casa no Reino Unido: individual, geminada e com terraço, considerando todas as etapas do ciclo de vida (a construção da casa, uso e gestão de resíduos de demolição).

A unidade funcional para o estudo foi todo o ciclo de vida das casas, considerando a vida útil de cada uma de 50 anos. Então comparam os seus impactos a ferramenta Gabi e com o método CML 2001 (descritos na seção 0).

Mesmo assumindo casas com áreas diferentes, as autoras, consideram o mesmo método construtivo, o mesmo nº de usuário (ou componentes da família), mesma temperatura interior e mesma taxa de troca de ar. Assim como, assumiram telhados e *layout* de plantas semelhantes.

Atividades avaliadas por Cuéllar-Franca e Azapagic (2012) foram discriminadas de acordo com a fase da edificação. Na construção considerou-se extração e fabricação de materiais de construção e de combustíveis, transporte através da cadeia de fornecimento e construção da casa. Na utilização foi estimado

o consumo de água por pessoa/dia (de 150 litros), foi feito levantamento de energia para o funcionamento da edificação (água e aquecimento, cozimento, iluminação e aparelhos domésticos) e das atividades de manutenção (como substituição de janelas, portas e revestimento do piso, substituição de telhas cerâmicas). Já na fase do fim da vida, focou-se a gestão de resíduos de demolição de casas (reutilização, reciclagem e deposição em aterro de resíduos de construção).

Os resultados indicaram que a fase de utilização tem a maior contribuição para os impactos ambientais. Cerca de 90% do potencial de aquecimento global, assim como para todos os outros impactos, foram encontrados a partir do uso, 9% de construção (carbono incorporado) e 1% a partir da gestão de resíduos em fim de vida.

A reciclagem dos materiais de construção no final da vida leva a uma redução global dos impactos. O principal benefício ambiental é de reutilizar os tijolos e reciclagem dos agregados. Os resultados também destacam a importância das decisões tomadas nas fases de concepção e construção, como determinam os impactos da casa na utilização e fim de vida estágios.

**b) Sustentabilidade baseado gerenciamento do ciclo de vida (LCM) de habitações residenciais: Um estudo de caso na Catalunha, Espanha (ORTIZ, Oscar et al., 2009).**

Neste estudo, abordou-se a Gestão do Ciclo de Vida (*Life Cycle Management- LCM*) como uma forma de melhorar a sustentabilidade e minimizar a carga ambiental durante todo o ciclo de vida de uma típica edificação mediterrânea espanhola, em Barcelona, com o objetivo de avaliar impactos gerados pela indústria da construção.

A construção estudada é uma casa residencial, com área de 160 m<sup>2</sup>. Consideraram-se a casa original, dita tradicional, e outras três amostras, com variações na casa base:

- Amostra 1/Casa base: de tijolos, cimento, areia e uma camada de 4 cm de poliestireno, nas paredes externas e de tijolos e *drywall* nas paredes internas.

- Amostra 2: com aumento de 4 cm de poliestireno em cima da camada existente.
- Amostra 3: persianas de alumínio nas janelas.
- Amostra 4: com janelas com baixa emissividade de vidro

A fronteira do sistema se limitou às fases de pré-construção e operação, sobre 50 anos da vida útil da edificação. Utilizou-se a metodologia MDL (de midpoint) + normas ISO e classificou impactos potenciais referentes à mudanças climáticas e acidificação gerados pelas emissões de GEE (mudanças climáticas, o potencial de acidificação, toxicidade humana, esgotamento, de recursos abióticos, ecotoxicidade terrestre e esgotamento da camada de ozônio, a fim de avaliar os impactos ambientais).

Como resultado encontrou-se emissão total de 2340 kg CO<sub>2</sub>-Eq/m<sup>2</sup> por 50 anos, dos quais cerca de 90,5% foi durante a fase de operação (uso de 88,9% e manutenção 1,7%) e a fase de pré-construção representam um total de 9,5%.

A fase de operação foi considerada pelos autores a mais crítica em termos de cargas ambientais, onde o consumo de energia para climatização (aquecimento e ventilação e ar condicionado) pesa bastante sobre as demais fontes de consumo: iluminação, cozimento de alimentos e eletrodomésticos.

### **c) Cargas ambientais e eficiência econômica na construção de apartamentos com placas de gesso acartonado (SUNGHO, 2011).**

Este estudo foi feito na Coreia acerca da utilização da metodologia ACV comparando dois edifícios apartamentos residenciais com estilos de plantas diferentes, com o objetivo de comparar as emissões do ciclo de vida de CO<sub>2</sub> e os custos de construção de quatro prédios de apartamentos diferentes, comparar o desempenho sustentável de edifícios, utilizando diferentes materiais de construção.

As edificações utilizadas são de planta plana (retangular) e planta em “torre” (planta em formato “Y”). Os apartamentos diferem em termos de unidades habitacionais, número de pisos, estrutura e força, porém de mesma altura de vão livre de piso a teto.

A comparação é feita através de simulações de quatro hipóteses diferentes e correspondentes em cada edifício. A primeira amostra tinha todas as paredes de concreto, enquanto as outras três amostras utilizam porcentagens diferentes do sistema *drywall* nas paredes.

A avaliação do ciclo de vida dos edifícios quantifica as emissões de CO<sub>2</sub> produzidas, e o Custo do Ciclo de Vida destas edificações, com a combinação de diferentes métodos e ferramentas, considerando as fases de construção, operação, manutenção, demolição e / resíduos.

A avaliação de Custo do Ciclo de Vida (em inglês, *Life Cycle Cost* - LCC) é calculada com base em uma estimativa padrão e de preços unitários. Esta é a forma mais utilizada pelas empresas da construção para avaliar os custos, apesar do governo da Coreia defender a utilização de dados de preços, pois esta ignora possíveis variações de mercado e limita as tecnologias e os métodos de construção aos métodos tradicionais.

Nas amostras “1” as paredes são totalmente estruturais, de concreto. Nas amostras “2” as paredes são estruturais, sendo algumas delas dentro de apartamentos e com pequena porcentagem de *drywall*. Nas amostras “3” a estrutura é mista entre paredes estruturais e vigas dentro dos apartamentos e aumenta a quantidade de *drywall* em relação às amostras “2”. Já nas amostras “4” utiliza-se o sistema pilar-laje-viga, com laje plana.

As emissões de CO<sub>2</sub> foram calculadas de formas diferentes, em cada fase das edificações e seus custos por m<sup>2</sup> expressos em moeda corrente na Coreia, o Won (unidade: kg-CO<sub>2</sub> /m<sup>2</sup>).

a) Na fase de construção foram considerando os principais materiais. A fase da construção é composta de produção material, transporte, material e fase de construção do edifício.

b) Para a produção de material utilizou-se ferramenta BIM para a obtenção da estimativa dos materiais utilizados. Nos cálculos considerou os dados de construções civis foram calculados pela aplicação de índices de carga ambiental (construção civil 85,3%, equipamentos de construção 12,0% e a construção civil 2,7%).

- c) Para o transporte calculou-se a distância e considerou o tipo de transporte utilizado, o tipo de combustível. Assumiu-se que o depósito de armazenamento de materiais de construção de edifícios e de campo é de 30 km.
- d) Para a construção civil propriamente dita, cada construção utiliza diferentes métodos de construção e equipamentos. O cálculo foi feito com um valor de referência, obtido através de dados de construções realizadas, com características similares às dos edifícios estudados.
- e) A fase de operação é composta de consumo de energia e emissões de CO<sub>2</sub> pelas pessoas que ocupam a edificação e pela necessidade de manutenção do próprio edifício. Fez-se uso do eco-designer (plugin do software Archicad), que é um programa de simulação associado com o BIM energia (*BIM-Building Information Model ou Building Information Modeling*), e os resultados foram convertidos em valores de CO<sub>2</sub>.
- f) Para a manutenção utilizou-se o tempo de reparo e a taxa cobrada pelo reparo, seguindo as orientações de documento produzido pelo Instituto de Engenharia de Construção e Gestão da Coreia.
- g) Já a fase de demolição é composta de desmonte de construção, transporte resíduos, e enterramento de resíduos. Onde os resíduos foram avaliados de acordo com a energia necessária para os equipamentos de demolição, veículos de transporte, e equipamentos de enterro. Nesta fase avaliou-se por meio do levantamento da quantidade de energia utilizada pela combinação de equipamentos de desmonte, tipo de veículo usado para transporte de resíduos e equipamentos para “enterro” dos resíduos.
- h) Para o desmonte considerou-se a quantidade dada estimativa de resíduos produzida pela construção civil em 2010, como um valor de referência e equipamentos necessários para a demolição, de acordo com o material utilizado.
- i) Na fase de aterramento dos resíduos avaliou-se os equipamentos utilizados, assumindo o uso de determinado trator. Considerou-se o seu consumo de combustível e as suas emissões de CO<sub>2</sub>.
- j) O transporte de resíduos foi avaliado pelo cálculo de consumo e emissão de determinados veículos, a uma distância entre campo e aterro sanitário, fruto de suposição do autor, de 30 km.

- k) Os resultados obtidos sobre a emissão de  $\text{kg-CO}_2/\text{m}^2$ , foram quase unânimes em todas as fases do ciclo de vida do edifício. Apenas o transporte de materiais ficou inalterado, na etapa da construção.
- l) Os custos de construção podem variar devido a diferentes métodos de construção adotados, materiais de construção utilizados e da produtividade da mão-de obra. Sendo os projetos bem diferentes (planta plana e planta em torre), com diferenças estruturais, esta variação tende a aumentar na edificação tipo torre, com planta em “Y”, que exigem mais pilares, ferragens, etc. o custo de construção direta para o edifício.
- m) Os Custos de ciclo de vida (*Life Cycle Cost* – LLC) foram avaliados separadamente. Para a fase de construção pelo método de custo elementar. Os custos de construção por unidade de área (por tipo de construção) foram calculados utilizando-se os dados de realização de construções similares e multiplicados pelas áreas brutas das edificações.
- n) Os custos da construção de concreto, alvenaria, acabamentos de interiores, papel de parede, pintura foram calculados com base no desenho e preços unitários, enquanto impermeabilização, azulejo, móveis, metais e outros foram calculados com base nos custos de construções semelhantes.

O setor de materiais de construção é muito inconstante e as mudanças nos valores deste mercado comumente influem no preço final da construção. De forma que, para se aproximar da realidade no cálculo de custos, deve-se considerar o tempo da construção. Portanto, fez-se a calibração de custo pelo aumento e redução do período de construção, onde os períodos foram analisados quantitativamente por meio de simulação do período de construção, para cada caso. Posteriormente, estimou-se a taxa de inflação através de índices produzidos pelo Instituto Coreano de Tecnologia de Construção.

- o) Para a operação utilizou-se o Eco-designer para estimar a quantidade de energia e a operação foi estimada pelas taxas de manutenção e reparos
- p) Na fase de operação os custos foram calculados para cada um dos casos com base nas quantidades de eletricidade e gás natural usado com a ferramenta Eco-designer. Levantaram os custos anuais de energia e, no cálculo, foram

utilizados o preço unitário de eletricidade preço e o preço unitário de gás de aquecimento.

- q) Os custos de manutenção foram calculados segundo as taxas de concerto, reparo e pintura das placas de gesso.
- r) Para a fase de demolição baseou-se na quantidade de resíduos gerados, calculados de acordo com a utilização de dados da Prefeitura de Seul.

O autor justifica estes decréscimos aos efeitos de redução de CO<sub>2</sub>, tais reduções nos custos dos casos 2, 3 e 4 em comparação com o caso 1, que são atribuídos a modificações da parede de concreto para uma estrutura plana do tipo de coluna placa, assim, os períodos de construção reduzida.

Os resultados obtidos sobre o custo indicaram melhora em alguns serviços, tais como ferragens, tijolos e trabalhos em alvenaria, acabamento interior, instalação de papel de parede e pintura, quanto maior a quantidade de paredes flexíveis utilizadas. Porém, a diminuição do peso sobre a estrutura não alterou o custo da fundação.

Na fase da construção, quanto maior a percentagem de *drywall*, mais rápida e mais barata foi a construção. Na fase de operação, quanto maior a percentagem de *drywall*, menor foram custos de manutenção.

Os resíduos gerados se mantiveram praticamente os mesmos e, nas construções com maior percentagem de *drywall*, as emissões de CO<sub>2</sub> reduziram bastante, em comparação aos edifícios originais.

Em geral, analisando todo o ciclo de vida das edificações, o ganho foi maior, quanto maior a percentagem de *drywall* utilizada. E, se comparando as plantas, as planta tipo flat representa um ganho em vários aspectos, gerando um custo menor do que a planta tipo torre.

O estudo deixou a desejar na análise na fase de pós-construção, ou seja, de operação. A análise foi superficial e não detalhou reformas, retrofit, nem mesmo o tem de vida útil da construção considerado.

Uma conclusão à parte ao objetivo do estudo foi em relação à comparação entre os tipos de planta. A planta plana produziu menos CO<sub>2</sub> na construção e na

operação do que a planta em torre. Já em relação ao consumo energético, o edifício de planta plana é mais eficiente. Este resultado se deve à melhor disposição, com todos os cômodos tem ventilação direta.

A Tabela 2.6 traz um quadro comparativo entre as principais questões destes três artigos, enquanto a Tabela 2.7 exhibe os principais pontos de outros trabalhos acerca do tema de Avaliação do Ciclo de Vida aplicada na construção civil.

Tabela 0.5 - Principais características destes três estudos.

Autores / ano publicação	Tipo de edificação / área útil	Local das edificações	Uso da edificação	Métodos construtivos	Unidade Funcional	Método	Ferramenta	Distância percorrida pelo transporte	Resultados
CUÉLLAR-FRANCA, AZAPAGIC, 2012	Casas: individual (130m²), geminada(90m²) com terraço(60m²)	Reino Unido	Casas residenciais (com média de 2,3 usuários)	Tijolos e blocos em ambas edificações	Todo o ciclo de vida das casas inteiras (Vida útil 50 anos)	CML 2001	GaBi	construção: 50Km manutenção: 50Km demolição: 30Km (com caminhões de 22t de capacidade)	Contribuição de GWP: casa individual 455 t CO2 eq., casa geminada 374 t CO2 eq. e casa com terraço 309 t CO2 eq. Sendo: construção 8%, operação 90% e demolição 1%.
ORTIZ et al., 2009	Casa (160m²)	Barcelona, Espanha	Casa residencial	Tijolos 1- casa base "tradicional" 2- poliestireno (aumento de 4cm da camada existente) 3- persianas de alumínio 4- as janelas com baixa emissividade de vidro	pré-construção e operação + transporte (Vida útil 50 anos)	MDL ( de midpoint) + normas ISO	DesignBuilder(energia) + LCA manager + ecoinvent database	Não especificado	Contribuição de GWP: 2.34E03 kg CO2-Eq/m2. Sendo que fase de operação tem a maior carga ambiental (emissões para a atmosfera), de 90,5%.
TAE S. et al, 2011	Edifícios com planta retangular ("flat") e em torre (em forma de "Y")  4 unid./piso(de 85m²) e 25 pavimentos.	Coreia	Apartamentos habitacionais	Quatro amostras para cada tipo de planta. 1- paredes de concretos 2- paredes estruturais, sendo algumas internas com pequena percentagem de drywall. 3- a estrutura mista entre paredes estruturais e vigas mais drywall do que as amostras "2". 4- sistema pilar-laje-viga, com laje plana, mais drywall do que nas amostras "3".	Todo o ciclo de vida dos apartamentos	Não especificado	Construção: BIM* + dados da construção + MIDAS (estruturas). Custos: estimativas de preços. Operação: eco-designer* Manutenção: cálculos manuais, (base em taxas de reparo. Demolição e transportes calculo manual Custos: Estimativas feitas pelo levantamento do consumo dos equipamentos.	construção: 30Km demolição: 30Km	- Na fase da construção, drywall agilizou a construção, diminuiu os custos e reduziu a emissão de CO2 equiv. - Na fase de operação, drywall diminuiu custos de manutenção. - Os resíduos gerados se mantiveram inalterados. <b>Em geral, o ganho foi maior, quanto maior a percentagem de drywall utilizada. E, se comparando as plantas, as planta tipo flat representa um ganho em vários aspectos, gerando um custo menor do que a planta tipo torre.</b>
BIM*- Building Information Modeling ( estimativa de materiais utilizados) eco-designer*- plugin do software Archicad, programa de simulação associado com o BIM energia.									

Fonte: Autora, 2013.

Tabela 0.6 – Outros trabalhos com aplicação de ACV na construção civil.

Ano / Autor	Título	Objetivo / Local da edificação	Material	Ferramentas
2012 RAJAGOPALAN, N. BILEC, M.M. LANDIS, A. E.	<i>Life cycle assessment evaluation of green product labeling systems for residential construction</i>	Compara resultados de ACV com rotulagens "verdes" / USA	Carpets comuns , carpetes com certificação "verde", tinta e linóleo	EcoInvent e BEES
2012 CHAU, C.K. et al.	<i>Assessment of CO2 emissions reduction in high-rise concrete office buildings using different material use options</i>	Pegada de carbono em edifícios (arranha-céus) de escritórios / Hong Kong, China	Concreto	Monte Carlo
2011 BIN, G.	<i>Exploring the Environmental Impact of A Residential Life Cycle, Including Retrofits: Ecological Footprint Application to A Life Cycle Analysis Framework In Ontario</i>	Material, energia e emissões de carbono / Ontário, Canadá	Concreto, aço, tijolo	HOT2000
2011 BROUN, R.; MENZIES, G.F.	<i>Life cycle energy and environmental analysis of partition wall systems in the UK</i>	Compara energia operacional e incorporada e impactos ambientais em três sistemas de paredes de fechamento / UK	Tijolo de barro, bloco de concreto e paredes em madeira tradicional na Inglaterra.	Ecoinvent 2 no Sima Pro 7
2011, HOSSAINI, N.	<i>Sustainable Materials Selection for Canadian Construction Industry: An Energy-Based Life-Cycle Analysis (Em-LCA) of Conventional and LEED Suggested Construction Materials</i>	Identificar materiais de construção sustentáveis, comparando a energia específica de principais materiais de construção do Canadá com materiais que são considerados sustentáveis pelo LEED / Canadá	Concreto com cimento Portland, madeira compensada, barra de reforço, aço estrutural, e tijolo X bambú e linóleo	Sima Pro 7.1
2011, ROSSI, B. et al	<i>Life-cycle assessment of residential buildings in three different European locations, basic tool</i>	Avaliação da energia incorporada, carbono incorporado e consumo de energia anual / Bruxelas (Bélgica), Coimbra (Portugal) e Lulea (Suécia).	-	Pleiades + Comfie combinado com Equer
2010, RADHI, H	<i>On the optimal selection of wall cladding system to reduce direct and indirect CO2 emissions</i>	Pegada de carbono em materiais de isolamento térmico de fachada / Emirados Árabes	Sistemas de estuque, folheado de alvenaria, revestimento de alumínio, o revestimento de vinil e do isolamento pelo exterior e acabamento ("EIFS")	BEES e Design-Builder

Fonte: Autora, 2013.

## 2.6 A METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV)

A metodologia da avaliação do ciclo de vida é regida pela série de normas internacionais ISO 14040 que estabelece que um estudo de ACV deva ser composto de quatro fases.

A primeira fase é a de definição de objetivos e escopo, quando é necessário determinar e documentar claramente qual a aplicação pretendida, as razões para a realização do estudo, o público-alvo e se existe a intenção de utilizar os resultados em comparações a serem divulgadas publicamente.

Para a elaboração dos Objetivos e do Escopo do estudo, deve-se definir e documentar, a razão principal para o estudo, a abrangência, o público alvo, os aspectos metodológicos (prazo, recursos, nível de detalhamento, unidade, definição dos subsistemas a serem estudados) e de execução do sistema.

Nesta etapa é preciso tomar cuidados para que os requisitos de qualidade dos dados sejam alcançados, como levar em consideração a cobertura temporal (determinando o período cuja situação de mercado é descrita pelos dados: os fatores como idade, extensão do período e frequências são considerados), a cobertura geográfica, a cobertura tecnológica e os critérios de qualidade de dados.

A escolha das fronteiras do sistema delimita o estudo, determina quais os processos elementares serão considerados e o nível de detalhamento com que estes processos elementares devem ser estudados. Diversos critérios de corte são utilizados na prática da ACV para decidir quais entradas serão incluídas na avaliação, tais como massa, energia e significância ambiental.

Na fase de análise de Inventário de Ciclo de Vida (em inglês, *Life Cycle Inventory* - LCI), é feita a coleta de dados de entrada/saída associados ao sistema estudado e o tratamento destes dados. E inclui o consumo de matéria-prima, água e energia, o(s) produto(s) e a emissão de resíduos sólidos, líquidos e gasosos.

A Figura 2.8 trás um modelo de entradas e saídas de um inventário de ciclo de vida elaborado por Caldeira-Pires (2006). Neste modelo o autor os fluxos econômicos e as intervenções ambientais em cada processo do sistema de produção de um produto.



Figura 0.8 – Modelo de entradas e saídas de um Inventário de Ciclo de Vida.

Fonte: CALDEIRA-PIRES, 2006.

Já a Figura 2.9 trás em exemplo de estágios tratamento do ciclo de vida de projeto elaborado por Curran (2006). Onde se considera as entradas e saídas gerais, mas que abrange todas as etapas do ciclo de vida do produto.

As informações resultantes da análise de inventário do ciclo de vida dão subsídios para o aprimoramento do processo produtivo, criando oportunidades de melhoria de desempenho ambiental de um produto, processo ou serviço.

A fase seguinte se refere à Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV), quando se promove a avaliação dos elementos opcionais (normalização, agrupamento, ponderação e análise de qualidade de dados), a caracterização dos Impactos Ambientais (índices de conversão, ou fatores de equivalência) e a classificação (agrupamento ou categorização) dos Impactos Ambientais. Nesta etapa se utilizam os indicadores ambientais, que categorizam impactos ambientais.

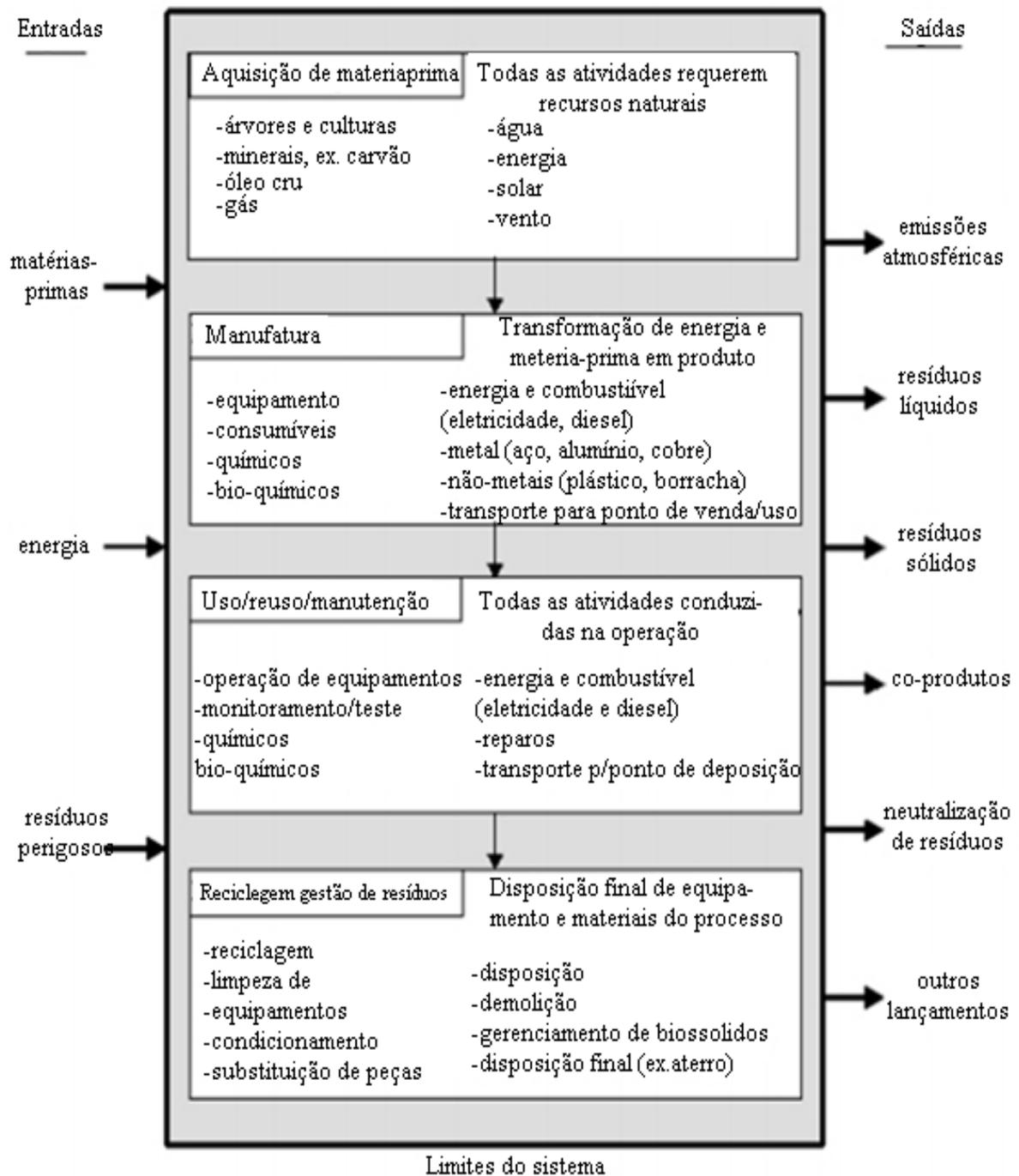


Figura 0.9 – Exemplo de estágios tratamento do ciclo de vida de projeto.

FONTE: Curran, 2006.

A Figura 2.10 ilustra um modelo desenvolvido por Ugaya (2010) de fluxos e categorias de impacto.

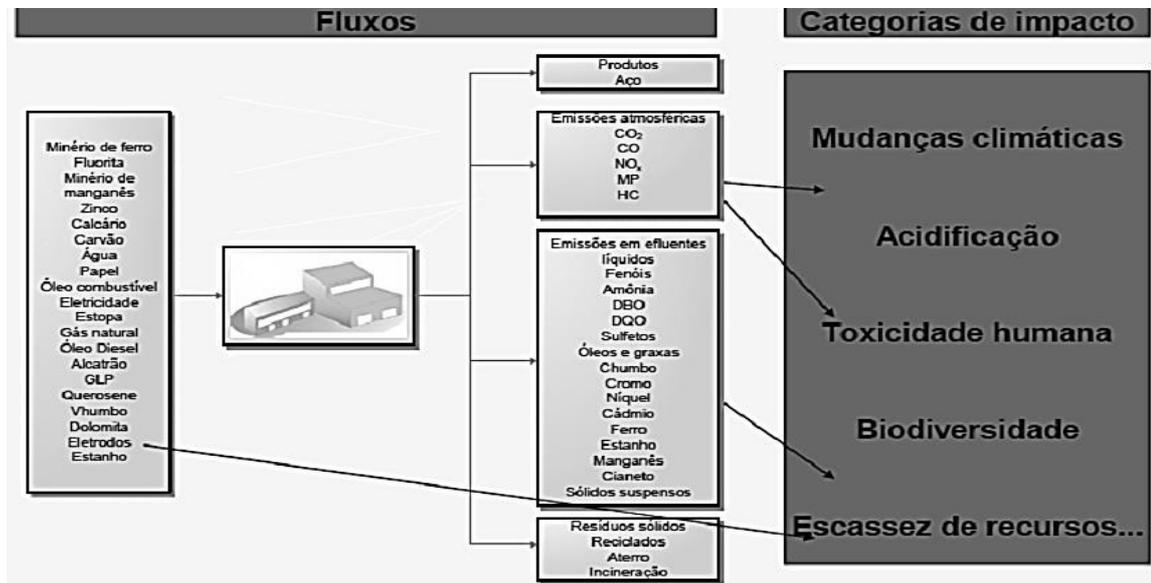


Figura 0.10 - Fluxos e categorias de impactos.

Fonte: Ugaya - FIESP, 2010.

Para cada substância emitida no solo, na água ou no ar, identifica-se uma consequência direta de impactos, que fazem parte das chamadas de ponto médio da categoria de impacto de, ou de problema de abordagem orientada. Estes problemas geram outros impactos, ditos de ponto final ou de abordagem de danos orientados a categoria de impacto (PRé, 2012).

O Ponto Médio da categoria de impacto representa os impactos ambientais, tais como alterações climáticas, acidificação, toxidade humana, etc. Enquanto que o Endpoint representa os impactos em questões de interesse, tais como a saúde humana, meio ambiente e recursos naturais (PRé, 2012).

Como mostra a Tabela 2.8, a cadeia de impactos descreve o mecanismo ambiental das trocas (entre o sistema e o meio) até os danos em itens de valor (árvores, animais, saúde humana, etc.). A planilha apresenta as múltiplas relações das emissões com os efeitos nos seres humanos segundo a avaliação de impacto de uma ACV (GERVÁSIO, 2007).

Tabela 0.7 - Relações das emissões com os efeitos nos seres humanos.

Emissões	Categorias de Ponto Médio	Categorias de Ponto Final	Áreas de Proteção
SO <sub>x</sub> (dióxidos de enxofre)	Criação de oxidante	Doença respiratória	Saúde humana
	Acidificação	Silvicultura	Ambiente natural Biótico e Abiótico Recursos naturais Bióticos e Abióticos
		Culturas	Ambiente artificial Biótico e Abiótico
NO <sub>2</sub> (óxidos de nitrogênio)	Criação de oxidante	Doença respiratória	Saúde humana
	Acidificação	Silvicultura	Ambiente natural Biótico e Abiótico Recursos naturais Bióticos e Abióticos
		Culturas	Ambiente artificial Biótico e Abiótico
TCDD (tetraclorodi benzo-p-dioxina)	Toxicidade Humana	Câncer	Saúde humana
	Eco toxicidade	Fome	Saúde humana
		Pesca	Ambiente artificial Biótico e Abiótico
CO <sub>2</sub>	Mudanças climáticas	Estresse térmico	Saúde humana Recursos naturais
		Doenças Infecciosas	Saúde humana
		Desastres naturais	Saúde humana
			Ambiente natural Biótico e Abiótico
Ambiente artificial Biótico e Abiótico Recursos naturais Bióticos e Abióticos			
HCFCs	Destruição do ozônio	Câncer de pele	Saúde humana
Emissão de ruído	Ruídos	Lesão aguda	Saúde humana
NMVOC	Criação de oxidante	Doença respiratória	Saúde humana
Total P	Nutrição	Pesca	Ambiente artificial Biótico e Abiótico
Total N	Nutrição	Pesca	Ambiente artificial Biótico e Abiótico

Uso do Solo	Uso do solo e perdas de habitat	Silvicultura	Ambiente natural Biótico e Abiótico
			Recursos naturais Bióticos e Abióticos
	Perda de solo	Recursos naturais Bióticos e Abióticos	
	Dispersão de espécies e organismos	Culturas	Ambiente artificial Biótico e Abiótico
Cobre	Toxicidade Humana	Câncer	Saúde humana
Óleo	Acidentes	Lesão aguda	Saúde humana
	Eco toxicidade	Fome	Saúde humana
		Pesca	Ambiente artificial Biótico e Abiótico
	Consumo de resíduos naturais	Fome	Saúde humana
Pesca		Ambiente artificial Biótico e Abiótico	
Água	Resíduos	Custo do uso	Ambiente artificial Biótico e Abiótico

Fonte: Adaptado de GERVÁSIO, 2007.

Em sequência, tem-se a fase de Interpretação do Ciclo de Vida, quando os resultados obtidos nas fases anteriores são sumarizados, discutidos e avaliados em questão de completeza, sensibilidade e consistência. As conclusões obtidas nesta fase nortearão recomendações a produções futuras e a tomadas de decisão.

A Avaliação de Ciclo de Vida compreende o Inventário do Ciclo de Vida e a Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida.

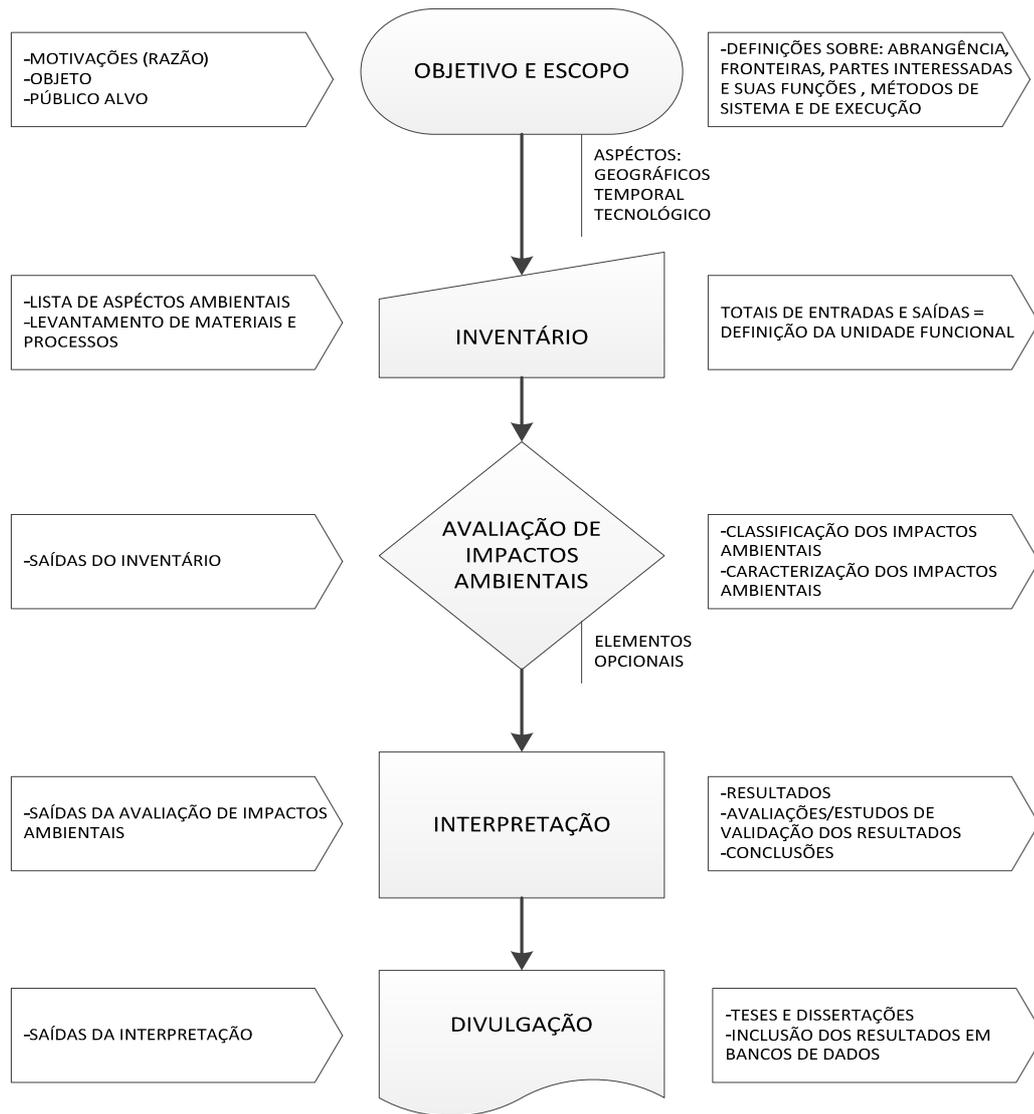


Figura 0.11 - Entradas e Saídas das Fases da Avaliação do Ciclo de Vida.

Fonte: Autora, 2013 (adaptação da NBR ISO 14044).

A Figura 2.11, utiliza formas básicas de fluxograma para traduzir as etapas do ACV, suas entradas e saídas. Em tal fluxograma, observa-se que a fase inicial de uma ACV é a definição de objetivos e escopo, seguindo para a entrada manual de dados para o inventário, passando para a fase de decisão sobre a utilização ou não de elementos opcionais para caracterização e classificação dos impactos ambientais, prosseguindo para o processo de interpretação dos impactos ambientais com a validação dos resultados e com as conclusões alcançadas e, finalmente, elaborando documento de divulgação que justifiquem a inclusão dos resultados em bancos de dados.

### 2.6.1 Uso de ferramentas no LCA

Os programas de computação de LCA podem utilizar os seguintes indicadores ambientais: Eco-indicator 99, Eco-indicator, CML 92, CML 92 (2001), EDIP/UMIP, EPS 2000, Ecopoints 97.

Existem inúmeros programas que servem como ferramentas de comparação entre produtos, como o alemão GaBi<sup>1</sup>, o holandês SimaPro<sup>2</sup>, o francês TEAM<sup>3</sup>, o sueco LCAiT<sup>4</sup> e o norte-americano BEES<sup>5</sup>. Estes dados trabalham com o banco de dados internacionais.

Os programas de computação de LCA difundidos no Brasil são o BEES, SimaPro e o GaBi. Os seguem as recomendações da série ISO 14040 e três possuem as opções dos métodos CML e Ecoindicador 99. Os softwares SimaPro e o GaBi são de uso genérico, podendo ser adaptados para o setor de construção (COSTA, 2011).

O SimaPro é uma ferramenta desenvolvida pela empresa PRé Consultants de avaliação do desempenho ambiental com o contexto da ACV, que permite a modelagem de produtos e sistemas a partir de uma perspectiva de ciclo de vida. Esta ferramenta pode ser utilizada para cálculo da pegada de carbono, design de produto e design ecológico, declarações de produtos ambientais, Impacto ambiental de produtos ou serviços, Relatórios ambientais e determinação de indicadores de desempenho (PRé, 2013).

O GaBi é uma ferramenta desenvolvida pela PE *International* da Alemanha, que modela processos do ciclo de vida de produtos e produz balanços de ciclo de vida e pode ser utilizada para cálculo da pegada de carbono, design de produto e design ecológico, declarações de produtos ambientais, Impacto ambiental de produtos ou serviços, Relatórios ambientais, determinação de indicadores de desempenho, pegada de água, recursos e eficiência energética, Construção de Avaliação do Ciclo de Vida (auxílio em decisões de projetos), dentre outros (PE INTERNATIONAL, 2013).

---

<sup>1</sup> <http://www.gabi-software.com/international/index/>

<sup>2</sup> <http://www.pre-sustainability.com/simapro-lca-software>

<sup>3</sup> <http://www.sustainelectronics.illinois.edu/resources/fullrecord.cfm?id=2581>

<sup>4</sup> <http://be.dev.netcorps.org/sustainability/life-cycle-assessment/life-cycle-assessment-software/lcait-4>

<sup>5</sup> <http://www.nist.gov/el/economics/BEESSoftware.cfm>

Estas ferramentas poder trabalhar com variadas bases de dados de ACV e podem utilizar vários métodos. Porém o banco de dados que é tido como o mais confiável e, conseqüentemente, é o mais utilizado, é o EcoInvent. E dentre os indicadores, o CML e o Ecoindicador99 são os métodos mais bem aceitos atualmente.

O EcoInvent é o fornecedor líder mundial de inventário de ciclo de vida (ICV) e está incluído nas principais ferramentas de software de ACV, bem como em vários ferramentas de *eco design* para construção civil, gestão de resíduos ou design de produto (ECOINVENT CENTRE, 2013).

Este é composto de dados considerados internacionalmente como confiáveis para produtos, serviços e processos frequentemente usados para Avaliação do Ciclo Vida e Gerenciamento de Ciclo de Vida. Contendo dados internacionais de inventário de ciclo de vida de fornecimento de energia, extração de recursos, fornecimento de materiais, produtos químicos, metais, agricultura, serviços de gestão de resíduos e serviços de transporte.

Em contrapartida, por ser de origem estrangeira, o EcoInvent retrata a realidade europeia e não a brasileira, de forma que é torna imprescindível a criação de um banco de dados nacional para utilização nos sistemas de avaliação de ciclo de vida a nível nacional.

Dos programas de computação de LCA específicos para a construção civil, se destacam BEES, Athenas<sup>6</sup>, Envest<sup>7</sup>, *Building LCA Software*<sup>8</sup> e *Buiding Life-Cycle Cost (BLCC)*<sup>9</sup>.

O programa BEES (*Building for Environmental and Economic Suatainability*) avalia o custo-benefício, comparando materiais de construção. Este mede o desempenho ambiental do produto da construção através da abordagem do ciclo de vida, seguindo especificações nas normas da série ISO14040. Assim como, avalia o desempenho econômico utilizando o método ASTM, padrão para ACV, para tomada de decisões (NIST, 2013).

---

<sup>6</sup> [http:// www.athenasmi.org/what-we-do/lca-data-software](http://www.athenasmi.org/what-we-do/lca-data-software)

<sup>7</sup> [http:// www.envest2.bre.co.uk/account.jsp](http://www.envest2.bre.co.uk/account.jsp)

<sup>8</sup> [http:// www.etoal.net.au](http://www.etoal.net.au)

<sup>9</sup> [http:// www.wbdg.org/tools/blcc.php](http://www.wbdg.org/tools/blcc.php)

O Athenas é um programa que avalia edifícios inteiros e montagens. Com base de dados de LCA para América do Norte, este compara cenários e incorpora considerações ambientais desde a concepção do projeto. Abrangendo os processos de produção de materiais de construção, transporte, construção e demolição.

No que tange à construção civil, o Athenas se divide em:

- a) Ecocalculador para estimar a pegada o projeto da construção.
- b) Software estimador de impactos para edificações de uso comercial.
- c) Software estimador de impactos para edificações de uso residencial.

O Athenas segue recomendações das normas ISO 14040 e ISO 14044 e se utiliza da metodologia TRACI, que considera os potenciais de aquecimento global, de acidificação, de problemas respiratórios, de destruição da camada de ozônio, de poluição, de eutrofização. Assim como considera o consumo de combustíveis fósseis (ATHENA INSTITUTE, 2013).

O programa Invest avalia custo-benefício, comparando edificações. Trata de 12 impactos ambientais, se utiliza de unidade de ecoponto único como forma de facilitar comunicação e exprime o custo em libra esterlina. De modo que avalia padrões ambientais e financeiros ao longo do ciclo de vida das edificações, calculando impactos ambientais e gasto de energia e de recursos.

O programa *Building LCA software* trabalha com banco de dados elaborado com dados da web, de novos materiais, algoritmos avançados e funcionalidade para a base de usuários, avaliando impactos ambientais e custos no ambiente construído em residências, infra-estrutura, comercial e desenvolvimento (ETOOL, 2013).

O *Buiding Life-Cycle Cost* (BLCC) é um programa que avalia o custo-benefício da conservação de água e de energia e do uso de projetos de energia renovável. Este programa é utilizado para projetos públicos e privados, podendo ser usado em edifícios novos ou existentes (NATIONAL INSTITUTE OF BUILDING SCIENCE, 2013).

O BEES (*Building for Environmental and Economic Sustainability*) foi criado nos Estados Unidos da América, pelo NIST (*National Institute of Standards na Technology*). Este compara o custo-benefício quanto às questões ambientais dos

produtos utilizados na construção, ao longo de todo o ciclo de vida da edificação (NIST, 2013).

A Tabela 2.8 elaborada por Ugaya (2001) relaciona características do Ecoindicador99, do CML2000, do EDIP e do TRACI.

Tabela 0.8 - Diferentes tipos de Ecoindicadores e suas considerações.

<b>Categorias de Impacto</b>	<b>EI99</b>	<b>CML2000</b>	<b>EDIP</b>	<b>TRACI</b>
Mudança climática	X	X	X	X
Destruição da camada de ozônio	X	X	X	X
Acidificação	X	X	X	X
Eutrofização	X	X	X	X
Ecotoxicidade	X			X
Ecotoxicidade águas doces		X	X	
Ecotoxicidade marinha		X	X	
Ecotoxicidade terrestre		X	X	
Toxicidade humana		X	X	
Cancerígenos	X			X
Não cancerígenos				X
Respirações orgânicos	X			
Respirações inorgânicos	X			
Uso do solo	X			
Minerais	X			
Combustíveis fósseis	X			
Exaustão abiótica		X		
Uso de recursos			X	
Smog fotoquímico			X	X
Água doce		X		
Água marinha		X		
Radiação	X			
Resíduos sólidos			X	
Resíduos perigosos			X	
Resíduos radioativos			X	
Escória/cinzas			X	
EI99- ECOINDICADOR99				

Fonte: Ugaya, 2001.

Os Ecoindicadores facilitam o manejo dos resultados de ACV, permitindo agregar os resultados na forma de um valor, visualizar as diversas categorias de danos e as categorias de impactos potenciais correspondentes (CARVALHO, 2008).

O uso Ecoindicador99 (EI99) é predominante nos softwares de ACV de produtos por atender às etapas do ciclo de vida de um produto, levando em consideração, no inventário, de questões comuns à metodologia de ACV.

As fases consideradas são:

- a) Produção de materiais: são baseados em um quilograma (1 kg) de material,
- b) Processo de produção: tratamento e processamento de vários materiais em unidades específicas, por exemplo: metros quadrados de chapas laminadas ou quilograma de plástico extrudado,
- c) Transporte: expressos comumente em tonelada-quilômetro,
- d) Geração de energia: unidades dadas para eletricidade e calor, e
- e) Disposição de resíduos: quilograma de material, subdividido em tipos de materiais e os métodos de processamento de resíduos.

Para este cálculo, são utilizadas médias de números europeus, o que pode gerar distorções quando se utilizados em (PRé Consultants, 2007).

Este indicador é obtido em três etapas:

- a) Inventário de todas as emissões pertinentes, extrações de recursos e de uso da terra em todos os processos que formam o ciclo de vida de um produto. Este é um procedimento padrão em Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). O inventário resulta nos impactos resultantes dos processos.
- b) Agrupamento dos impactos em categorias de danos causados à saúde humana, à qualidade de ecossistemas e aos recursos.
- c) Ponderação dessas três categorias de danos.

Visto que ele trabalha com as consequências nas áreas de interesse, pode-se dizer que o ponto final, ou método de danos orientados. A Figura 2.12 descreve o procedimento geral para o cálculo do EI99, com procedimentos (nas caixas claras) e os resultados intermediários (nas caixas escuras).

A relação dos impactos à sua possível causa na saúde humana, no meio ambiente e aos recursos naturais são extremamente complexas de forma que criaram um dito “modelo de danos” para melhor compreensão. Estes estão representados na Figura 2.13.

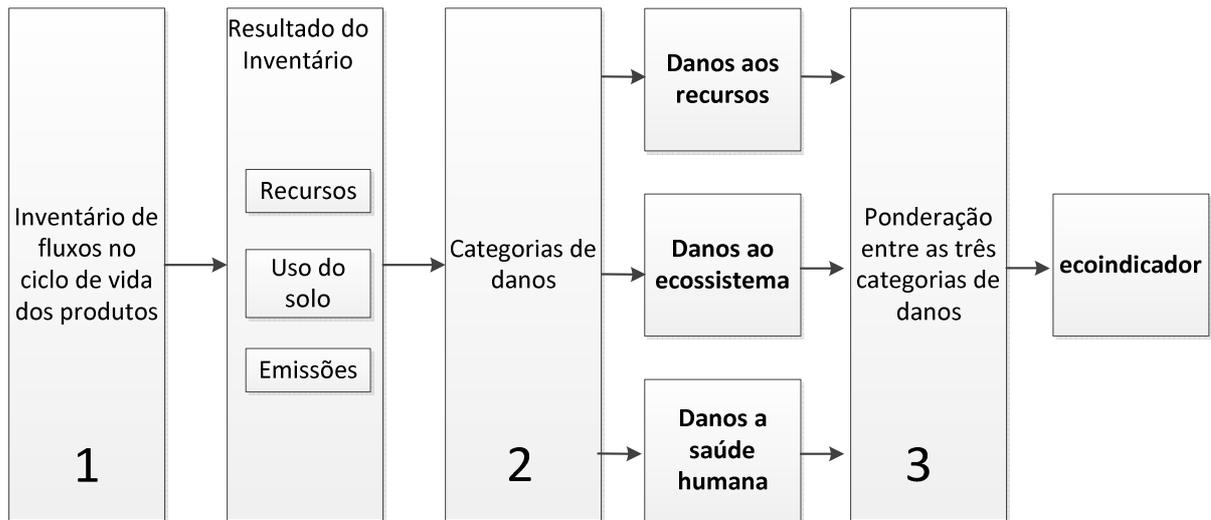


Figura 0.12 - O Procedimento geral para o cálculo de eco-indicadores.

Fonte: PRé, 2007 (traduzido pela autora).

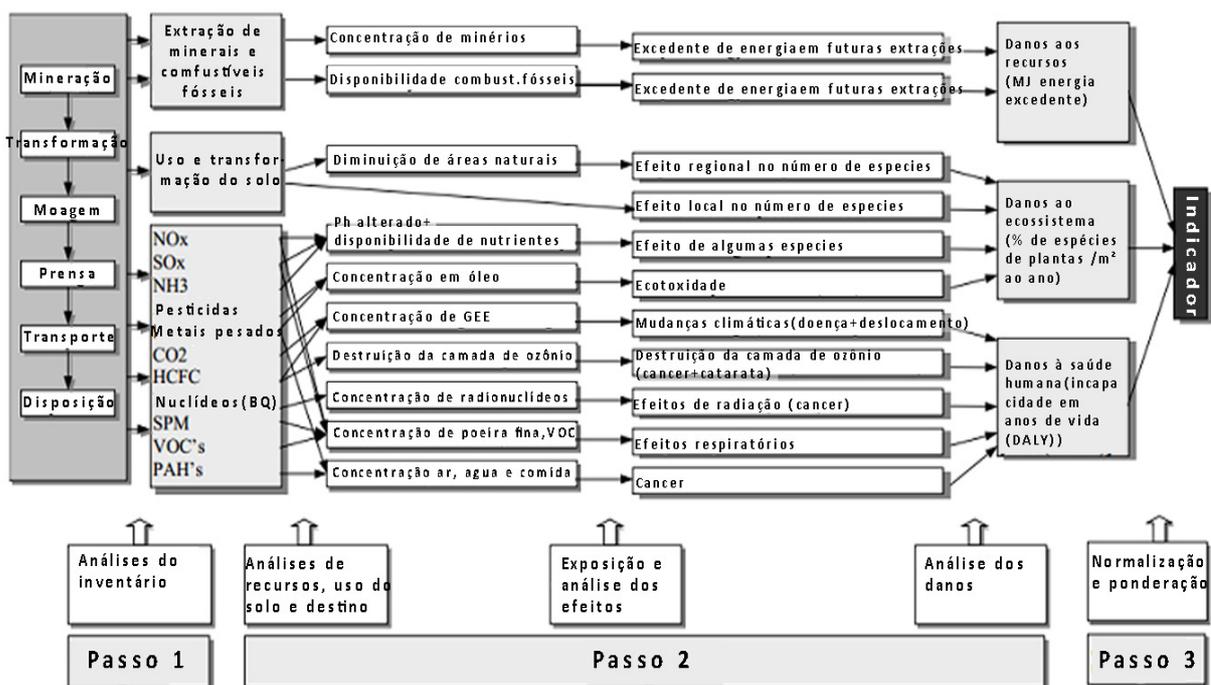


Figura 0.13- Representação detalhada do modelo de danos.

Fonte: PRé, 2007 (traduzido pela autora).

Segundo Ortiz (2009), a sustentabilidade pode ser avaliada tanto a nível macro ou micro. A sustentabilidade a nível macro possui variáveis exógenas, de esfera socioeconômica, que influenciam o desenvolvimento de um país, como PIB, crescimento natural, taxa de emprego, e da esfera ambiental. O resultado deste nível é um indicador composto calculado através de um número limitado de fatores

considerando o aspecto social e condições econômicas e ambientais no sector da construção residencial (ORTIZ, 2009).

Enquanto o nível micro, segundo este autor, é feita dentro dos limites da vida prédio inteiro ciclo: construção, uso (operação e manutenção) e a fade do fim-de-vida. A análise da sustentabilidade final é feito das entradas: materiais, energia e do trabalho, e saídas: emissões e resíduos, da habitação.

Sobre as ferramentas de avaliação, Ortiz (2009) cita a ferramenta de análise de fluxos de Material e Análise de Energia (*Material and Energy Analysis- MEA*) importante para a análise de sustentabilidade a nível macro. Resultando no quadro sistemático dos fluxos diretos e físicos do uso de recursos naturais. Enquanto a ACV (*Life Cycle Assessment - LCA*) complementa e analisa os impactos ambientais, durante todo o ciclo de vida do sistema em questão (vide Figura 2.14).

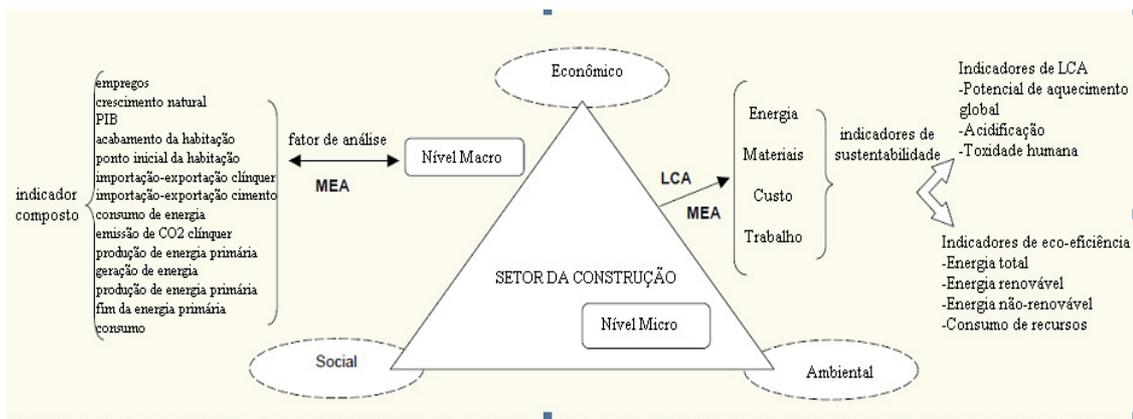


Figura 0.14 - Aspectos de sustentabilidade no setor da construção.

Fonte: Ortiz, 2009 (traduzido pela autora).

O estudo de ACV a nível micro se limita às fases nas fases de construção, uso (operação e manutenção) e fim da vida de uma edificação, considerando as entradas de energia, materiais e trabalho e saídas de emissões no ar e água (vide Figura 2.15).

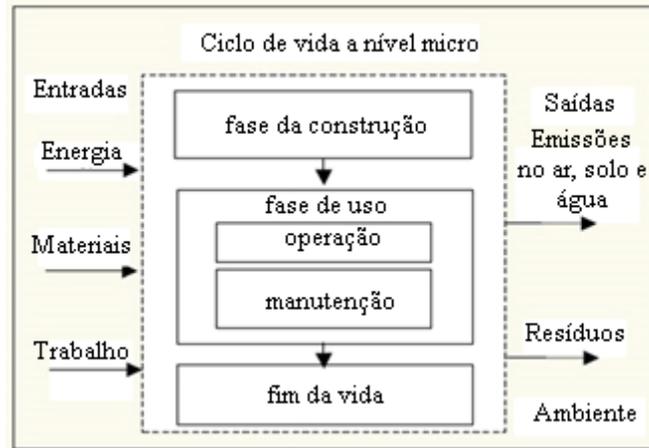


Figura 0.15 – Ciclo de vida de construção em nível Micro e suas fases.

Fonte: Ortiz, 2009 (adaptado pela autora).

Os impactos ambientais derivados de ACV são acidificação de efluentes, potencial de aquecimento global, toxicidade humana e destruição da camada de Ozônio (ORTIZ, 2009).

#### 2.6.1.1 ACV no Brasil

O Programa Brasileiro de Avaliação de Ciclo de Vida (PBACV) foi aprovado em 2010 pela resolução nº3 de 22/04/2010 do Conselho Nacional de Metrologia, Normatização e Qualidade Industrial (CONMETRO).

Este é um programa que se propõe a estabelecer as diretrizes para um plano brasileiro de ACV, utilizando o Sistema de banco de dados de inventários setoriais brasileiros (SICV), com informações fundamentais para a realização de impactos ambientais do ciclo de vida de materiais / produtos / processos produtivos mais específicos para a sociedade brasileira (PBACV, 2010).

O PBACV pretende apoiar o desenvolvimento sustentável e a competitividade ambiental da produção industrial brasileira e promover o acesso aos mercados internos e externos (CAVALCANTI, 2012).

Tabela 0.9 - Histórico de Ações relativas à ACV no Brasil.

2001	Edição das normas ABNT NBR ISO 14000.
2002	Fundação da Associação Brasileira de Ciclo de Vida.
2003	IBICT desenvolve site de ACV.
2004	Programa Brasileiro de Avaliação da Conformidade (PBAC), promovido pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) destaca ACV como questão estratégica.
2004	Projeto de Capacitação Profissional (PCI) do Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT) –Treinamento do banco de dados EcoInvent.
2006/11	Projeto Finep - Fundo Verde Amarelo É um programa de estímulo à Interação Universidade-Empresa, que apoia a Inovação intensificando a cooperação tecnológica entre universidades, centros de pesquisa e o setor produtivo em geral. Fornece financiamentos para ciência e tecnologia, incentivando o empreendedorismo e o empreendimento de risco no país (FINEP, 2012).
2007	CILCA Conferência Internacional Ciclo de Vida Brasil / São Paulo.
2008	I Congresso Brasileiro de Gestão do Ciclo de Vida-Curitiba/PR.
2008/10	IBICT “Educação ambiental na educação fundamental” e uma infra-estrutura de informação para disseminação do “Pensar o Ciclo de vida”.
2009	Projeto Estratégico do Comitê Brasileiro de Avaliação da Conformidade (CBAC).
2010	TR do PBACV-Res.Conmetro 03, de maio/10.
2010/2011	PBACV-Res.Conmetro 04,dez/10 e 01,de jan/11.

Fonte: Cavalcanti, 2012 (adaptada pela autora).

O processo de ACV é complexo, demorado e dispendioso. De modo que a consolidação desta metodologia no Brasil requerer esforços e investimentos de todos os envolvidos: governo, segmentos econômicos, academia e a sociedade civil.

- a) O governo é importante na criação de normas regulamentadoras e leis com poder de punição para infratores, na criação de financiamentos e com esforços para trazer tecnologias já desenvolvidas no exterior.
- b) É preciso que haja participação de segmentos econômicos, como um todo, ao invés de empresas isoladas buscarem selos ecológicos voluntário apenas por questão de *marketing*.

- c) A academia se faz importante nos estudos de AVC de produtos e serviços em todas as suas fases, gerando um banco de dados nacional.
- d) A sociedade civil possui grande influência, exigindo e cobrando das empresas que os processos de extração e produção sejam claros, e não vedados aos consumidores.

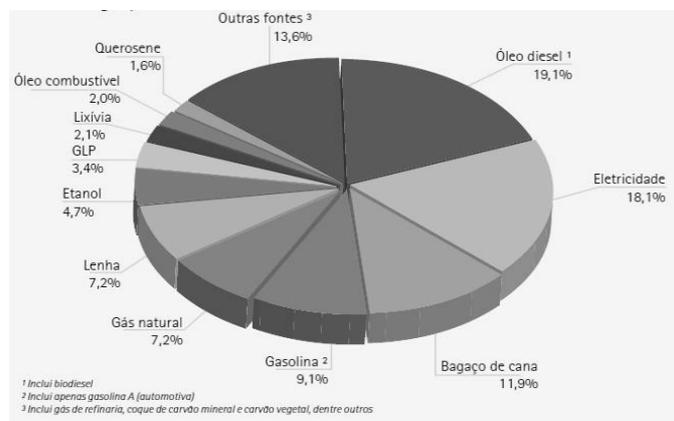
A transcrição de Silva (2010) se refere à importância da união de todas as partes envolvidas para implantação da metodologia de ACV com o intuito de alcançar a sustentabilidade: “O projeto de consolidação da ACV no Brasil depende de uma colocação sinérgica de todos os atores: governo, segmentos econômicos, academia e sociedade civil organizada, na qual todos sejam ouvidos sem que haja dono” (SILVA, 2010).

### 2.6.1.2 Energia no Brasil

A energia elétrica no Brasil é oriunda de várias fontes, mas em sua maioria é produzida por usinas hidrelétricas, o restante de outras fontes combinadas: biomassa (tradicional e de cana de açúcar), urânio (usinas nucleares Angra I e Angra II), termoeletricas a gás natural, petróleo, carvão mineral e energia eólicas. Desta forma, as cargas ambientais devem ser atribuídas de acordo com o tipo de fornecimento.

Tabela 0.10- Oferta Interna de Energia.

em Mtep	
Fonte	2011
<b>RENOVÁVEIS</b>	<b>120,1</b>
Energia hidráulica (eletricidade)	39,9
Biomassa da cana	42,8
Biomassa tradicional	26,3
Outras renováveis	11,1
<b>NÃO RENOVÁVEIS</b>	<b>152,2</b>
Petróleo	105,2
Gás natural	27,6
Carvão mineral	15,2
Urânio ( $U_3O_8$ )	4,1



Fonte: EPE, 2012.

Figura 0.16- Consumo de energia por fonte (2011).

Fonte: EPE, 2012.

As fontes de energia renováveis representam 44% do total de energia interna no Brasil. A saber, estas fontes renováveis são energia hidráulica (eletricidade), biomassa de cana, biomassa tradicional, entre outras.

Dentre estas fontes, as de maior consumo são o diesel e a eletricidade. O diesel é o combustível mais usado nos transportes, enquanto nas residências e nas indústrias o uso da eletricidade é predominante.

Conforme ilustrado na Figura 2.17, a taxa de participação de energias renováveis na matriz energética brasileira excede muito à taxa mundial. A maioria dos países desenvolvidos é dependente do petróleo, que é fonte não renovável e que muitas vezes é importado e tem elevados custos ambiental e econômico.

Dos setores que mais consumiram energia total (renováveis e não renováveis) no Brasil em 2011, o setor de transportes liderou com 6,6%, seguido de serviços (4,9%) e da indústria (3,4%). E quase a metade dos combustíveis usados pelos transportes foi de diesel (47,3%). A gasolina tem relativa importância, com consumo de 27,2% e apenas 17% de energias consideradas renováveis do total de energia consumida por transportes (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE, 2012).

OCDE- Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico

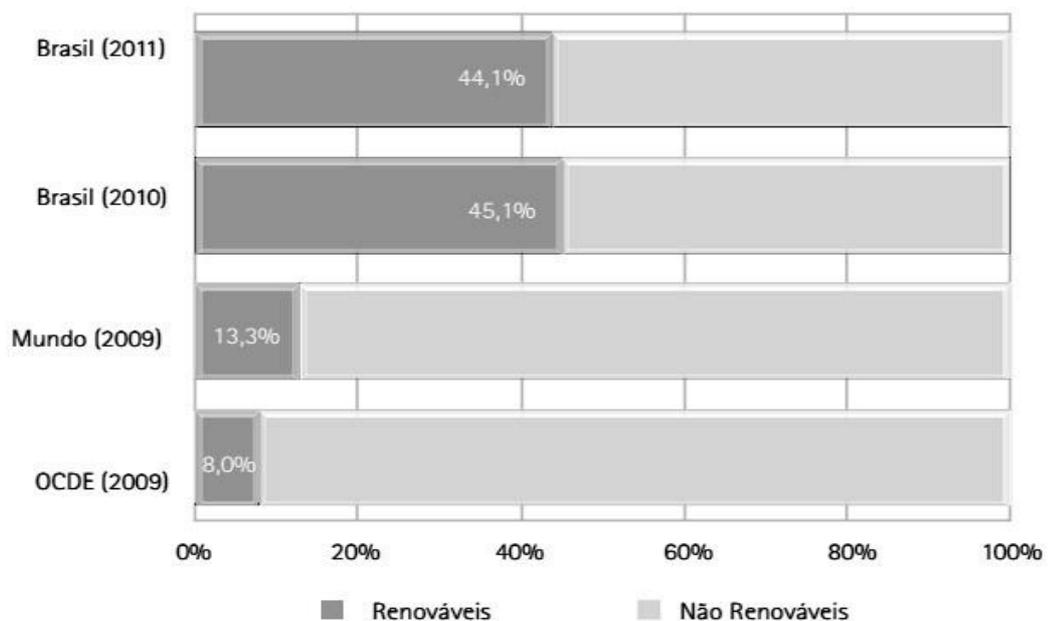


Figura 0.17 - Participação de renováveis na Matriz Energética Brasileira

Fonte: EPE, 2012.

Como apresentado no gráfico da Figura 2.18, os transportes consomem, em maioria, óleo diesel e gasolina, que são derivadas do petróleo, que é uma fonte não renovável. Fato este que torna importante considerar a distância entre fornecedores – construção e construção-aterro, minimizando as distâncias percorridas no transporte dos materiais e resíduos de construção.

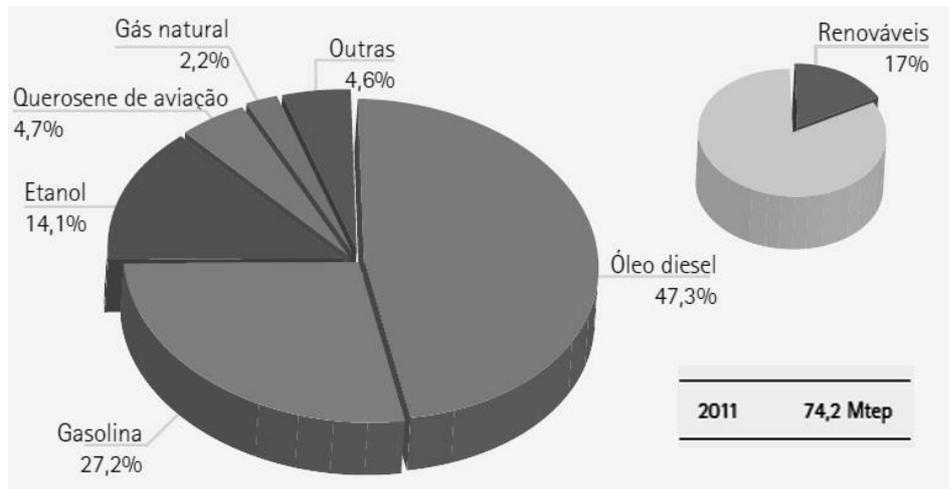


Figura 0.18 - Consumo de energia por transportes: 2011.

Fonte: EPE, 2012.

Nas residências a fonte energia predominante é a elétrica e com 68% da energia renovável. Já as indústrias consomem, em maioria, energia elétrica e de biomassa de cana, totalizando 56% da energia consumida renovável (EPE, 2012).

Em contrapartida, esta dependência de energia hidrelétrica tem a desvantagem de estar suscetível à secas sazonais e a perdas de transmissão por avarias nas torres causadas por descargas atmosféricas e por ventanias. As linhas de transmissão percorrem longos percursos até os grandes centros consumidores de energia, o que pode gerar a perda no trajeto e o aumento da possibilidade de perda da transmissão.

Os países desenvolvidos tendem a ter maior consumo de energia para manter o conforto das edificações (aquecimento e resfriamento do ambiente, aquecimento de água). Os Estados Unidos da América (EUA) e Canadá são os países considerados maiores consumidores de energia por habitante, segundo censo realizado pelo governo dos EUA. Porém, esta mesma pesquisa identifica grande queda deste consumo no Canadá e aumento do consumo nos EUA.

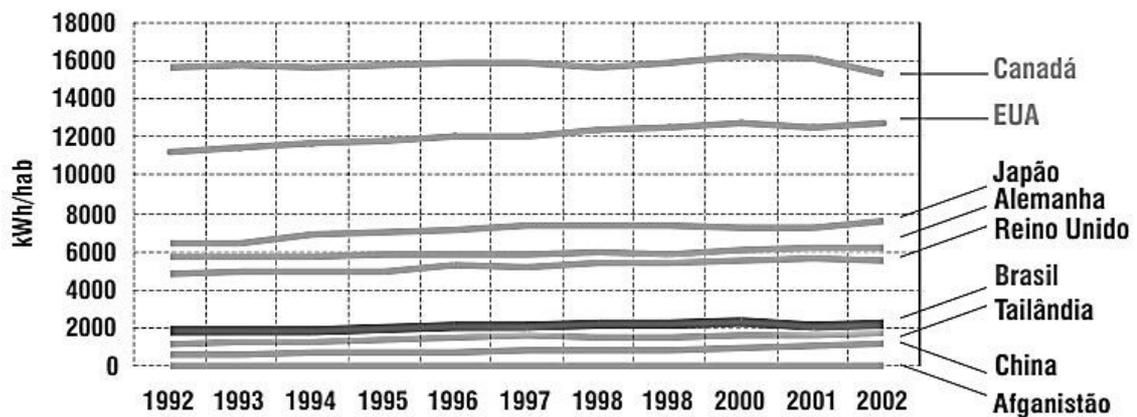


Figura 0.19 – Evolução do consumo de energia elétrica por habitante.

Fonte: *Statistics from the U.S. Government* apud SINDUSCON-SP, 2007.

Com o aumento do Produto Interno Bruto (PIB) nos países em desenvolvimento (como Brasil e China), onde o consumo de energia se manteve relativamente estável entre 1992 e 2002, as expectativas de conforto da população também aumentam e há previsões de que a demanda de recursos possa ficar maior do que a oferta no Brasil. De forma que é importante tomar medidas de eficiência energética nos projetos de edificações (SINDUSCON-SP, 2007, p.7).

Assim como, de investimento em novas fontes de energia: como é o caso do projeto para a construção da Usina Hidrelétrica de Belo Monte, no Estado do Pará, região Norte, com capacidade de 14 GW (giga watt).

No banco de dados internacional de ACV EcoInvent, a energia está relacionada à distribuição, considerando o mix (mistura) de energia fornecida pelas concessionárias juntamente com a energia elétrica gerada na própria planta (MORETTI, 2011).

### 2.6.1.3 Emissões de CO<sub>2</sub> e de GEE

O protocolo de Quioto estabeleceu limites de emissão de gases de efeito estufa (GEE) para países desenvolvidos, por serem estes os maiores emissores. Estes países criam leis próprias para atingir metas de redução. Buscando não pagar multas ao não conseguir atingir as metas, naturalmente surgiu um mercado de cotas de emissões GEE, o chamado crédito de carbono. Este mercado cresceu em 11% em 2011, em termos mundiais. Alcançando transações de 10,3 bilhões de toneladas de CO<sub>2eq</sub> (MENEQUIN, 2012).

Um dos mecanismos utilizados é o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). O crédito de carbono do MDL é denominado Redução Certificada de Emissão – RCE (ou em inglês, *Certified Emission Reductions- CER*).

A Tabela 2.12 traz uma relação entre gases de efeito estufa e CO<sub>2eq</sub> (equivalente) em um intervalo de cem anos, onde 1 tonelada de determinado GEE é equiparado à uma quantidade relativa de CO<sub>2eq</sub>, em potencial de aquecimento global (IPCC, 2007).

Tabela 0.11 – Relação de equivalência dos GEE com o CO<sub>2</sub>.

1 ton de Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> ) = 1 Dióxido de Carbono Equivalente (CO <sub>2eq</sub> )
1 ton de Metano (CH <sub>4</sub> ) = 21 CO <sub>2eq</sub>
1 ton de Óxido nitroso (N <sub>2</sub> O) = 310 CO <sub>2eq</sub>
1 ton de Hidrofluorcarbonetos (HFCs) = 140 ~ 11700 CO <sub>2eq</sub>
1 ton de Perfluorcarbonetos (PFCs) = 6500 ~ 9200 CO <sub>2eq</sub>
1 ton de Hexafluoreto de enxofre (SF <sub>6</sub> ) = 23900 CO <sub>2eq</sub>

Fonte: UNFCCC, 2008.

Países em desenvolvimento, como o Brasil, não emitem taxas relevantes de GEE, se comparado a estes países desenvolvidos e não precisam atingir metas de redução. Porém, o Brasil possui projetos com premissas de desenvolvimento sustentável (definidos pela Comissão Interministerial de Mudança do Clima e avaliados e registrados pela ONU), o que lhe dá o direito de receber créditos de carbono para comercializar (MENEGUIN, 2012), participando do mercado voluntário.

Mesmo que ainda com a pequena proporção de 5% dos projetos avaliados e registrados na ONU em 2012 (UFCCC, 2012), representa 60% do mercado voluntário de carbono equivalente na América Latina (KOSSOY; GUIGON, 2012).

O Programa Brasileiro *GHG Protocol* foi lançado oficialmente em 2008. Este é compatível com as normas ISO e as com metodologias de quantificação do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), contudo contem adaptações para aplicação no contexto brasileiro (GHGPROTOCOLBRASIL, 2012).

Este programa classifica as fontes de emissões de GEE para fins de inventário e traz remodelações quanto as principais características de ferramenta intersetorial e setoriais específicas

Quanto à classificação, no escopo1: as emissões geradas diretamente pela empresa, no escopo 2: as emissões indiretas, geradas na produção de energia elétrica ou térmica comprada pela empresa e no escopo 3: emissões indiretas resultantes de processos que não são de responsabilidade direta da empresa (como extração de matéria-prima comprada pela empresa em questão).

Já em relação às características intersetorial e setoriais específicas fornecem dados que esclarecem as emissões produzidas em processos de produção de materiais primários que são insumos da construção civil.

Tabela 0.12 – Ferramenta Inter setorial de cálculo de GEE.

	PARTE DA FERRAMENTA DE CÁLCULO INTERSETORIAL	PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS
Ferramenta intersetorial Programa Brasileiro GHG Protocol (www.br.bvices/ghg)	Combustão estacionária	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Calcula emissões diretas e indiretas resultantes da queima de combustíveis em equipamentos estacionários</li> <li>■ Oferece fatores-padrão de emissão médios do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) e da US Environmental Protection Agency (EPA) para combustíveis e do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) para energia elétrica</li> <li>■ Considera as % de biocombustíveis nos combustíveis nacionais</li> </ul>
	Combustão móvel	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Calcula emissões diretas e indiretas resultantes da queima de combustíveis em fontes móveis</li> <li>■ Fornece cálculos e fatores de emissão para transporte rodoviário, aeroviário, hidroviário e ferroviário</li> <li>■ Considera as % de biocombustíveis nos combustíveis nacionais</li> </ul>
	Emissões fugitivas (HFC resultante do uso de ar condicionado e refrigeração)	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Calcula emissões diretas de HFC durante a produção, o uso e o descarte de equipamentos de refrigeração e ar condicionado em usos comerciais</li> <li>■ Oferece três metodologias de cálculo: uma abordagem baseada nas vendas, uma abordagem baseada nos estágios do ciclo de vida e uma abordagem baseada em fatores de emissão</li> </ul>
	Compra de eletricidade	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Calcula emissões de Escopo 2 resultantes da compra de eletricidade do Sistema Interligado Nacional brasileiro, utilizando fatores de emissão mensuais do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT)</li> </ul>
	Compra de vapor	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Calcula emissões de Escopo 2 resultantes da compra de vapor</li> </ul>
	Combustão móvel indireta	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Calcula emissões de Escopo 3 do transporte de funcionários</li> </ul>
	Viagens a negócios	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Calcula emissões de Escopo 3 de viagens aéreas</li> </ul>

Fonte: Programa brasileiro de *GHG Protocol*, 2008.

Tabela 0.13 - Ferramentas Setoriais específicas de cálculo de GEE

Ferramentas setoriais específicas GHG Protocol (www.ghgprotocol.org)	Incerteza na mensuração e estimação de emissões de GEE	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Apresenta os fundamentos da análise e da quantificação de incertezas</li> <li>■ Calcula parâmetros estatísticos de incertezas devidas a erros aleatórios relacionados ao cálculo de emissões de GEE</li> <li>■ Automatiza os passos de agregação envolvidos no desenvolvimento de uma análise básica de incertezas nos dados de inventário de GEE</li> </ul>
	Produção de alumínio e outros materiais não ferrosos	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Calcula emissões diretas de GEE resultantes da produção de alumínio (emissões de CO<sub>2</sub> da oxidação do ânodo, de PFC resultantes do "efeito ânodo", e de SF<sub>6</sub> usado na produção de metais não ferrosos, como gás de cobertura)</li> </ul>
	Ferro e aço	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Calcula emissões diretas de GEE (CO<sub>2</sub>) resultantes da oxidação do agente redutor, da calcinação sob fluxo na produção de aço, e da remoção de carbono do minério de ferro e da sucata de aço utilizados</li> </ul>
	Produção de ácido nítrico	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Calcula emissões diretas de GEE (N<sub>2</sub>O) resultantes da produção de ácido nítrico</li> </ul>
	Produção de amônia	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Calcula emissões diretas de GEE (CO<sub>2</sub>) resultantes da produção de amônia. Esta ferramenta é apenas para a remoção do carbono do fluxo de matéria-prima; as emissões de combustão são calculadas através do módulo de combustão estacionária</li> </ul>
	Produção de ácido adípico	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Calcula emissões diretas de GEE (N<sub>2</sub>O) resultantes da produção de ácido adípico</li> </ul>
	Cimento	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Calcula emissões diretas de CO<sub>2</sub> resultantes do processo de calcinação na produção de cimento (a ferramenta do Conselho Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável também calcula emissões de combustão)</li> <li>■ Fornece duas metodologias de cálculo: a abordagem com base no cimento e a abordagem com base no clínquer</li> </ul>
	Cal	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Calcula emissões diretas de GEE na produção de cal (CO<sub>2</sub> resultante do processo de calcinação)</li> </ul>
	HFC-23 resultante da produção de HCFC-22	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Calcula emissões diretas de HFC-23 resultantes da produção de HCFC-22</li> </ul>
	Papel e celulose	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Calcula emissões diretas de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O resultantes da produção de celulose e papel. Isso inclui o cálculo de emissões diretas e indiretas de CO<sub>2</sub> resultantes da queima de combustíveis fósseis, biocombustíveis e resíduos em equipamentos estacionários</li> </ul>
Guia para organizações cujas atividades sejam realizadas em escritórios	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Calcula emissões diretas de CO<sub>2</sub> resultantes do uso de combustível, emissões indiretas de CO<sub>2</sub> resultantes do consumo de energia, e outras emissões indiretas de CO<sub>2</sub> resultantes de viagens de negócios e transporte de empregados para o trabalho</li> </ul>	

Fonte: Programa brasileiro de *GHG Protocol*, 2008.

#### 2.6.1.4 Recursos: Matérias primas e materiais primários

O consumo excessivo dos recursos naturais em curto espaço de tempo não permite que a natureza se componha e gera sérios problemas como as mudanças climáticas que desequilibram todo o nosso planeta.

As secas em áreas antes cultiváveis, as enchentes constantes (que por sua vez, resultam em outros transtornos, como deslizamento de encostas), o aquecimento global, etc fazem mal à saúde do homem, detonam a fauna, a flora e ainda reduzem a oferta dos recursos que são a base para o desenvolvimento. Contudo, é necessário frear o consumo desmedido e restabelecer o equilíbrio ambiental.

#### 2.6.1.5 Resíduos

Muitos resíduos podem e devem ser tratados como potencial matéria-prima. Na construção, o entulho resultante de desmonte da parte mineral das sobras é categorizado pela resolução nº307/2002 (e atualizações) do CONAMA como de classe 'A': resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados. Este entulho, em geral, quando reciclado, é utilizado em pavimentação de obras públicas, podendo ser transformado em areia, tijolos e outros subprodutos.

Mesmo com a grande produção de resíduos pelas perdas na construção no Brasil, a quantidade de resíduos gerados em pequenas e grandes reformas ainda é bem mais significativa. Angulo et al. (2011), analisaram a geração de Resíduos da Construções entre dez regiões brasileiras e obtiveram média de 18% de resíduos oriundos da construção, sendo 73,5% oriundos de grandes reformas e 8,5% de pequenas reformas (vide Tabela 2.15).

Sendo 91% destes resíduos de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura (inclusive solos provenientes de terraplanagem) que são classificados como reutilizáveis ou recicláveis como agregados.

Tabela 0.14- Geração de RCG (t/dia).

Regiões	Geração de RCD (t/dia)			Total
	Construtoras	Grandes reformas	Pequenas reformas	
A	0,8	8,9	1,0	10,8
B	1,9	3,3	0,6	5,9
C	4,6	0,3	0,4	5,3
F	0,4	4,3	0,4	5,1
G	0,1	5,7	0,2	6,1
Média (10 regiões)	0,1	1,4	0,2	1,7
Total (*)	8,8	36,8	4,5	50,1

(\*) Total = A + B + C + F + G + Média\*10.

Fonte: Angulo, 2011.

Porém, no Brasil apenas 1% dos entulhos são reciclados. Na cidade do Rio de Janeiro, 50% dos resíduos sólidos produzidos são oriundos da construção civil e destes, 70% vem de pequenas construções. Estes resíduos vão para aterros e para terrenos baldios (GONÇALVES, 2012).

Esta realidade tende a mudar com a implementação de PNRS (2010), que é rígida quanto à responsabilidade dos geradores de resíduos, e com a Resolução SMAC nº 519, de 21-08-2012, que entrou em vigor no dia 23 de agosto de 2012. Esta resolução exige a apresentação de Planos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil – PGRCC no município do Rio de Janeiro, onde as atividades de construção, reforma, ampliação, demolição e movimentação de terra estão sujeitas ao Licenciamento Ambiental Municipal, de acordo com a legislação vigente (ADEMI, 2012; VERDE GHAIA, 2012).

Com isso algumas empresas e entidades começaram a se organizar, gerando um mercado de compra-venda-troca de resíduos, criando, inclusive, bancos de resíduos. Alguns dos bancos de resíduos estão citados na Tabela 2.16.

Contudo, as novas políticas referentes aos resíduos estão resultando positivamente, porém é necessário um tempo de adaptação das empresas, de fiscalização por parte do das entidades responsáveis, assim como, da criação de locais apropriados e acessíveis para despejo de resíduos de pequenas construções.

Tabela 0.15 – Bolsas Brasileiras de Resíduos.

Banco de resíduos de São Paulo	Criado pelo grupo Federação das indústrias do estado de São Paulo - Fiesp).
Banco nacional de resíduos	Criado pela empresa Camargo Correa (o qual vende, doa e entrega os resíduos a empresa compradora).
Banco de resíduos de Minas Gerais	Criado por iniciativa empresarial e está integrado ao Banco de Terra, Banco de Entulho e Agregado Reciclado.
A B2Blue.com	É uma iniciativa inovadora da <i>Maynis Company</i>
Estado de Goiás - Bolsa de Resíduos de Goiás	Ambiente virtual gratuito, composta de um banco de dados com informações sobre oferta e demandas de resíduos, que promove a livre negociação entre as indústrias, conciliando ganhos econômicos com ganhos ambientais.
Tresi Ambiental - Bolsa de Resíduos	É uma empresa de assessoria técnica às indústrias na área de meio ambiente. Está localizada na cidade de Petrópolis, região serrana do Estado do Rio de Janeiro.
Bolsa de Resíduos	Site que tem como objetivo ser a interface entre empresas que disponibilizam seus resíduos e as que procuram matérias-primas para seus processos.
SIBR - Sistema Integrado de Bolsa de Resíduos	Reúne serviços desenvolvidos em seis estados, para que indústrias possam oferecer Converter resíduos em matérias-primas pode gerar inúmeras oportunidades de negócios e empregos para a indústria.
Bolsa de resíduos e subprodutos da FIEB	Uma iniciativa da FIEB - Federação das Indústrias do Estado da Bahia através da Área de Meio Ambiente (AMA) do SENAI - Unidade CETIND.
Estado do Amazonas	Federação das Indústrias do Estado do Amazonas - FIEAM Bolsa de resíduos do Estado do Amazonas
Bolsa de Reciclagem-Sistema FIEP-Federação das Indústrias do Paraná	Na Bolsa de Reciclagem Sistema FIEP você encontra oportunidades de reaproveitar e destinar adequadamente os resíduos da sua empresa, encontrar matéria-prima alternativa para o processo produtivo.
Setor Reciclagem-Bolsa de resíduos	O portal Setor Reciclagem é um veículo de comunicação especializado em reciclagem para empresários, empreendedores e pesquisadores do ramo.
Estado do Ceará - Bolsa de Resíduos & Negócios	O programa se caracteriza por ser um serviço de informações que objetiva identificar mercados potenciais para os resíduos sólidos gerados nas operações industriais.
Bolsa de Resíduos do Sindicato dos Profissionais da Química de São Paulo.	Um mecanismo facilitador para converter resíduos em matérias-primas. Oportunidades de negócios, empregos e serviços.

Fonte: Webresol, 2012; Sampaio, 2012 (adaptada pela autora); Camargo Correa, 2012.

#### 2.6.1.6 Social

Algumas indústrias tem histórico de trabalho infantil e de péssimas condições de trabalho. As indústrias cimenteira, mineradora e siderúrgica vêm lutando contra a informalidade, buscando boas condições de trabalhos, vínculo empregatício e trabalhos sociais. No entanto, é frequente o uso de mão de obra pouco especializada contratada de forma informal em pequenas construções, especialmente em pequenas reformas.

#### 2.6.1.7 Custo

O custo da construção é muito suscetível a oscilações de mercado. O Índice Nacional do Custo da Construção (INCC-M, realizado pela FGV) apresentou alta de 7,23% acumulada em 2012 (JAZRA, 2012).

O Custo Unitário Básico - CUB da construção é um Indicador dos custos do setor da construção civil bastante disseminado. Este é realizado pelo Sindicato da Construção (Sinduscon) e é calculado conforme disposto na ABNT NBR 12721:2006 (Avaliação de custos unitários de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edifícios – Procedimento) com base em novos projetos, novos memoriais descritivos e novos critérios de orçamentação. Este se baseia em m<sup>2</sup> como base de cálculo e oferece o histórico dos índices e valores nacionais e estaduais. Porém, os índices são limitados quanto aos insumos e serviços da construção. Assim como seus valores para projeto não condizem com os valores e mercado.

Outras referências no cálculo do custo da construção são: o Catálogo de Referência de Serviços e Custos, da Tabela de Composições de Preços para Orçamentos – TCPO da Editora PINI Ltda, o Catálogo de Referência – Sistema de Custos Unitários da EMOP – Empresa de Obras Públicas do Estado do Rio de Janeiro e o Sistema de Custos Rodoviários - SICRO do Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transporte – DNIT, Sistema de Acompanhamento de Obras – SCORIO e Sistema de Orçamento de Obras de Sergipe – ORSE (IPPUJ, 2012).

O custo da construção, assim como de todas as fases da edificação, influencia em diversos aspectos como na escolha de materiais, de mão de obra, de tecnologia a ser utilizada. De forma que é um aspecto que não pode ser desconsiderado. Com

ciência disto, as pesquisas atuais com a metodologia de ACV consideram o custo do ciclo de vida (*LCA - Life Cycle Cost*, em inglês) dos produtos.

Para a realização de uma construção sustentável, as decisões tomadas no planejamento devem ser analisadas sobre os critérios ambiental, técnico e sócio-econômico em Devem apresentar equilíbrio entre os aspectos estéticos, de manutenção e de economia de energia (AKADIRI; OLOMOLAIYE, 2012).

## 2.7 CICLO DE VIDA DAS EDIFICAÇÕES

O ciclo de vida de um empreendimento é bastante longo, complexo e necessita de que profissionais multidisciplinares trabalhem no planejamento para a implementação, para a conservação durante o uso e para a demolição.

Limmer (1997) estudou o ciclo de vida de um empreendimento e especificou as suas fases, com algumas sobreposições e relacionamentos interdependentes. Conforme ilustrado na Figura 2.20, as fases do ciclo de vida se sobrepõem comumente e são de difícil delimitação, especialmente na sua implementação. Quando profissionais de várias competências precisam interagir, para que a construção resulte em uma unidade de qualidade.

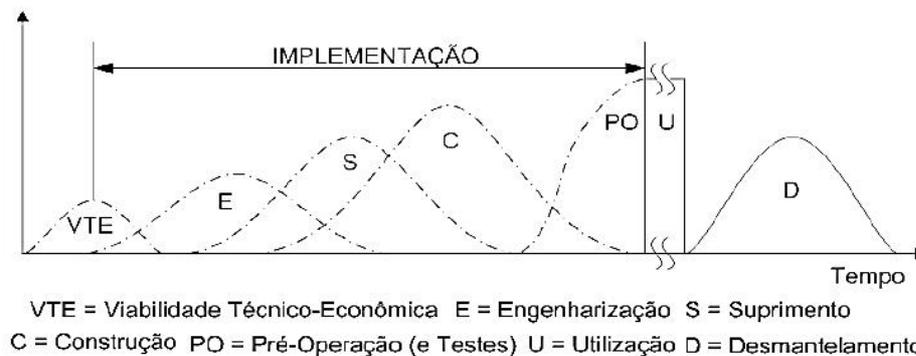


Figura 0.19 - Ciclo de vida de um empreendimento.

Fonte: Limmer, 1997 (adaptada pela autora).

Sobre as fases definidas por Limmer (1997):

- A etapa de Viabilidade técnico-econômica é quando se faz o planejamento e a avaliação do projeto, suas necessidades em relação aos recursos e se avalia o custo-benefício da sua utilização.

- b) A etapa denominada por Limmer de “engenharização” é composta dos projetos básico, de legalização e executivo, da identificação os recursos necessários para a construção.
- c) A parte de suprimento, também chamada de “gerenciamento da cadeia de suprimentos” é o planejamento dos materiais, dos equipamentos e da mão-de-obra necessários para realizar o projeto. Ou, “(...) é a integração dos processos do negócio do consumidor através dos fornecedores de produtos, serviços e informação, com o objetivo de acrescentar valor para o cliente” (LAMBERT et al., 1998 apud COSTA, 2012).
- d) A construção é a execução dos projetos. Neste momento habitualmente são feitas adaptações aos projetos quando necessárias.
- e) Na fase de Pré-operação são feitos testes, limpezas gerais, projetos de *as built*, vistorias e certidão de habite-se (que é um documento que atesta que o imóvel foi construído de acordo com as exigências da legislação local estabelecidas pela prefeitura para a aprovação de projetos). E então ocorre início do funcionamento do produto.
- f) A Utilização é a fase mais extensa da edificação. Nesta fase a manutenção regular e bem feita garante o bom funcionamento e a não redução do tempo de vida e nem a depreciação desta edificação.
- g) A Desmobilização é o fim da vida útil do produto. É quando é produzida grande quantidade de rejeitos.

As etapas de Viabilidade técnico-econômica, de “Engenharização” e de Suprimento compõem o planejamento da construção.

### **2.7.1 O planejamento**

Um bom planejamento é premissa para o sucesso do empreendimento. O estudo prévio das possibilidades para as necessidades, os recursos, as tecnologias a serem adotadas e a mão de obra a ser contratada pode impactar economicamente e evitando prejuízos futuros ao ambiente (PCC 2540-USP, 2004). Com o passar do tempo e das fases da construção, o custo das influências sobre potenciais impactos ambientais aumentam consideravelmente.

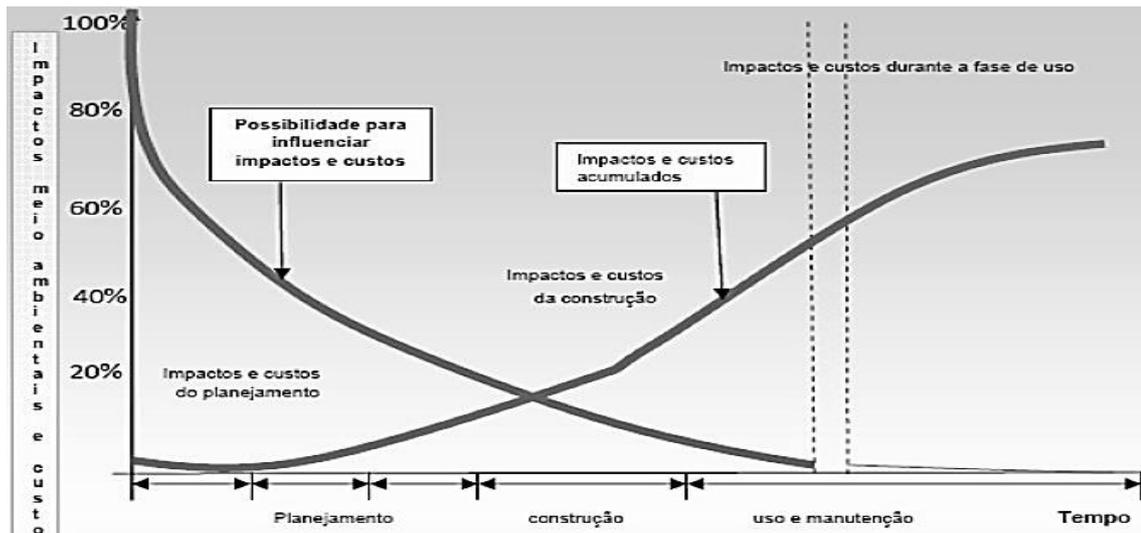


Figura 0.20 - Influência de decisões entre etapas do empreendimento no IA.

Fonte: PCC 2540 – O edifício e o ambiente – USP, 2004.

Falhas de projetos podem gerar impactos ambientais e econômicos, com: perdas de materiais na construção (gerar resíduos), retrabalho, vícios construtivos e patologias futuras.

### 2.7.2 Construção (obra)

Esta é a fase onde os projetos de todas as disciplinas são executados. É uma etapa em que é importante a gestão de pessoas, serviços, materiais e tempo.

Equipes diferentes são responsáveis por diferentes competências e entram em ação simultaneamente ou ao término de outros processos. Esta dependência requer um controle sério para manter o cronograma planejado, sendo fiel aos projetos, avaliando-os com cautela (se havendo falhas que sejam detectadas antes de causarem grande prejuízo), tomando as medidas de segurança necessárias e com planejamento que vise minimizar as perdas de materiais (com possíveis furtos de materiais, inclusive) e a produção de entulhos.

Uma obra pode ser geradora de impactos ambientais e sociais, podendo interferir na paisagem, no ambiente (fauna e flora), na saúde dos trabalhadores e na vizinhança desta. Para tal é necessária uma logística coerente, sobre materiais, mão-de obra e infraestrutura no canteiro.

A definição de canteiro de obras dada pela Norma Regulamentadora NR-1: Disposições Gerais é a seguinte: “Área de trabalho fixa e temporária, onde se

desenvolvem operações de apoio e execução de uma obra” (NR1- Portaria GM n.º 3.214, 1978).

O canteiro é uma área de apoio operacional e administrativa que tem o objetivo de minimizar interferências, implementar medidas de controle e sistemas preventivos de segurança, assim como de utilizar tecnologias construtivas que minimizem os impactos ambientais.

Este deve abrigar máquinas e equipamentos, estoque de materiais, infraestrutura para os funcionários, redes de água, esgoto e energia, acessos e vias de circulação, com um *layout* que favoreça os serviços e evite perdas e acidentes (BARROS, 2007).

Em grandes canteiros, necessários em empreendimentos considerados passíveis de causarem grandes impactos, a legislação - Resolução nº 001/1986 do CONAMA - obriga que seja feita uma avaliação mais completa dos mesmos, o Estudo de Impactos Ambientais (EIA) e o seu relatório-resumo Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) (BARROS; ARAÚJO, 2007).

### **2.7.3 Uso, Manutenção e Reformas.**

A fase de uso é a fase mais longa e requer cuidados para que a edificação não perca a sua funcionalidade. Recentemente passou a ser obrigatória a elaboração, por parte dos projetistas, do manual do uso, operação e manutenção das edificações (sob as diretrizes da norma ABNT NBR 14037:2011).

Este manual deve conter as descrições da construção (todo e partes), instruções de uso e recomendações de manutenção com o objetivo de assegurar a durabilidade, a preservação das condições de utilização das edificações durante a sua vida útil de projeto (MATOZINHOS, 2012).

A vida útil de projeto (VPU) é o período estimado de tempo em que um sistema é projetado para atender aos requisitos de desempenho estabelecido na norma ABNT NBR 14037:2011 (diretrizes para elaboração de manuais de uso, operação e manutenção das edificações — Requisitos para elaboração e apresentação dos conteúdos), desde que cumprido o programa de manutenção previsto no manual e equipamentos instalados na edificação (ROCHA, 2007).

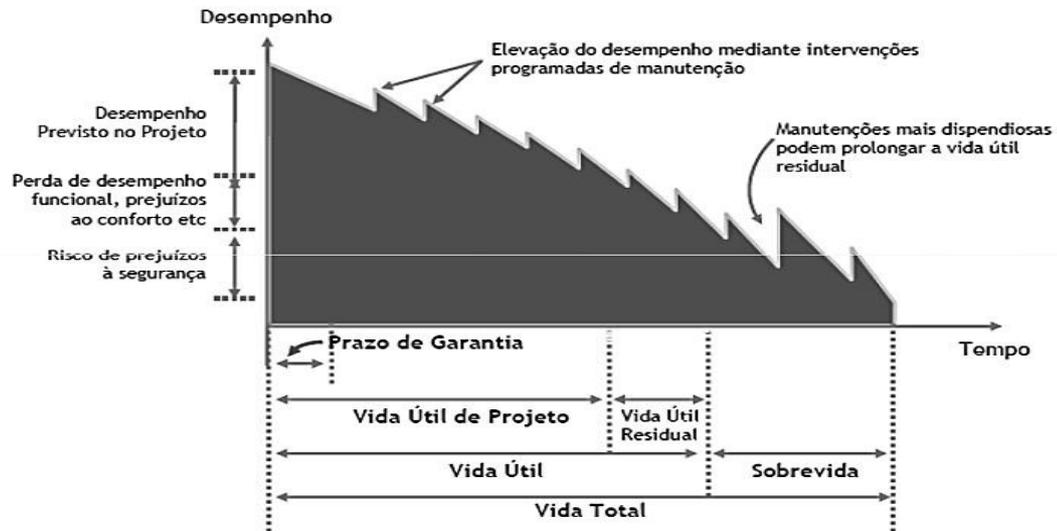


Figura 0.21 - Desempenho de elemento, instalação ou sistema construtivo.

Fonte: Matozinhos, 2012.

Na Figura 2.22 Matozinhos (2012) ilustra o aumento do desempenho e da vida útil das edificações, conforme executadas as intervenções programadas e as manutenções maiores em momentos de sobrevida destas edificações.

Segundo Sabbatini (2007) os edifícios habitacionais novos, ditos de categoria de vida normal, possuem um período mínimo de 60 anos. Porém cada item possui um tempo de vida diferente e devem ser reparados.

A NBR-15575-1 (Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais) define prazo mínimo de vida útil de elementos da construção. O tempo mínimo para pintura está entre três e quatro anos, para paredes internas e divisórias é a partir de vinte anos, enquanto o período mínimo de vida útil para estrutura é de 40 anos (Tabela 2.17).

Contudo, a vida útil da edificação não traduz a funcionalidade total da edificação, mas sim a estrutural. Para manutenção devem ser feitos reparos nestes itens em separado (esquadrias, instalações, revestimentos, metais, etc.), assim como, profissionais habilitado devem fazer vistorias e manutenções periódicas como uma forma de manutenção preventiva, para evitar problemas futuros.

Tabela 0.16- Vida útil dos subsistemas de projetos segundo a NBR 15575-1.

**Vida útil de projeto (VUP)**  
(item 14.2.1.1 da Norma)

<b>SISTEMA</b>	<b>VUP mínima</b>
<b>Estrutura</b>	<b>≥ 40 anos</b>
<b>Pisos internos</b>	<b>≥ 13 anos</b>
<b>Vedação vertical externa</b>	<b>≥ 40 anos</b>
<b>Vedação vertical interna</b>	<b>≥ 20 anos</b>
<b>Cobertura</b>	<b>≥ 20 anos</b>
<b>Hidrossanitário</b>	<b>≥ 20 anos</b>

Fonte: Del Mar, 2010.

Esta manutenção periódica é geradora de resíduo, porém, em escala bem menor do que grandes reformas. Segundo Ângulo (2011), se comparando RCC de construção, grandes reformas e pequenas reformas, obtém-se os percentuais 17,5%, 73,5% e 9%, respectivamente. Conseqüentemente, convém que se faça um planejamento de gestão de resíduos para minimizar os resíduos nas grandes reformas, principalmente.

O avanço na tecnologia, o aumento da demanda por energia e a necessidade de climatização das edificações tornou edificações relativamente antigas, retrógradas. Em especial edificações tombadas, que estão impossibilitadas de fazer reformas e sendo-lhes permitidas apenas restaurações para que seu valor histórico não seja perdido. A forma encontrada para adaptar estes prédios antigos às novas necessidades foi o *retrofit*, denominação dada no Brasil à modernização e atualização tecnológica dos edifícios existentes (EXAME, 2012).

A fase de uso a etapa do ciclo de vida da edificação em que se consome mais energia (ORTIZ; CASTELLS; SONNEMAN, 2009), isso se dá devido ao uso de equipamentos e serviços para o funcionamento da edificação (elevador, bombas de água) e de conforto (climatização, iluminação, computador, eletrodomésticos, aparelhos de TV, geladeira, lavadora de roupas, micro-ondas, dentre outros).

Em contrapartida, como ilustrado na Figura 2.23, do total de energia consumida nas residências brasileiras em 2011 de 23,4 milhões de toneladas

equivalentes de petróleo - Mtep, 68% são de fontes energéticas consideradas renováveis (EPE, 2012).

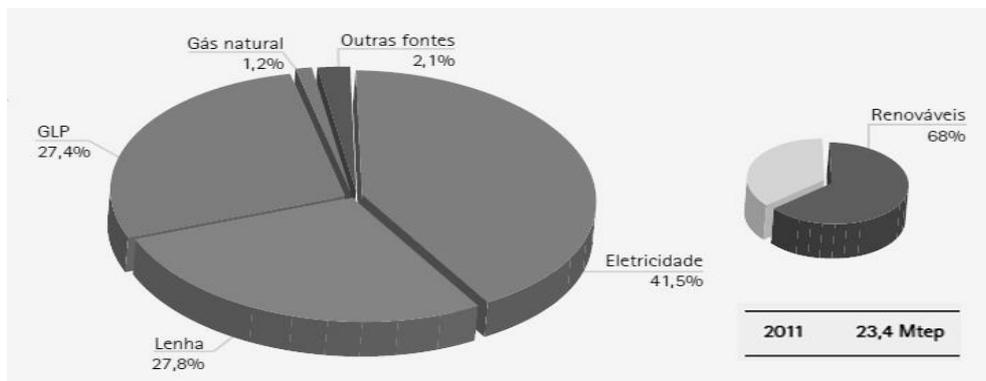


Figura 0.22 - Consumo de energia nas residências em 2011.

Fonte: EPE, 2012.

Contudo, visto que em 2011, a participação de renováveis na Matriz Energética Brasileira manteve-se entre as mais elevadas do mundo (EPE, 2012), deve-se avaliar se fator “consumo de energia” é tão impreterível como em outros países e se é tão importante como a produção de resíduos, no contexto brasileiro.

#### 2.7.4 Demolição

A demolição é a fase final da vida da edificação, quando esta será desmantelada. No Brasil pode ser feita de três formas: manual, mecânica (máquinas não portáteis, tais como tratores, pás-mecânicas ou retroescavadeiras, queda de bola de aço pendurada ou por máquinas hidráulicas) e por expansão (com explosivos: telescópio para estruturas leves e ocas, derrube (quando o valor da relação altura x base é alto), implosão em casos gerais e colapso progressivo em edifícios com extenso comprimento. A triagem do entulho para reuso e reciclagem é feita após a demolição (COSTA, 2012), havendo mistura e contaminação destes resíduos que antes poderiam ser reutilizados.

Na fase de demolição há consumo de energia pelos equipamentos, grande produção de resíduos e consumos de combustíveis para o transporte da edificação para o aterro. Um desmonte organizado pode resultar em materiais de qualidade (não contaminados com outros materiais) que podem se tornar insumos na fabricação de materiais que serão utilizados posteriormente na construção civil

(resíduos de alvenaria podem ser reutilizados como agregados, resíduos de gesso podem ser tornar insumos na produção de cimento, de massas de gesso).

Segundo recomendações do Sinduscon-SP (2012) que estão ilustradas na Tabela 0.17, para resíduos de alvenaria são indicados caminhões com poliguindaste ou com caçamba basculante coberto por lonas (SINDUSCON-SP, 2012).

Tabela 0.17 – Equipamentos para transporte de RCC.

Veículos e equipamentos	Tipos de resíduos a serem transportados
Caminhão com equipamento poliguindaste ou caminhão com caçamba basculante, coberto com lona.	Blocos de concreto, blocos e outros componentes cerâmicos, argamassas, concreto, tijolos e assemelhados. Gesso (revestimento, placas acartonadas e artefatos). Telas de fachada e de proteção. Solo.
Caminhão com equipamento poliguindaste, caminhão com caçamba basculante ou caminhão com carroceria de madeira, coberto com lona.	Madeira
Caminhão, caminhonete ou outro veículo de carga (desde que os bags sejam retirados fechados para impedir mistura com outros resíduos e dispersão durante o transporte).	Papelão (sacos e caixas de embalagens dos insumos utilizados durante a obra) e papel. Serragem e EPS (poliestireno expandido, ex: isopor)
Caminhão preferencialmente equipado com guindaste para elevação de cargas pesadas ou outro veículo de carga.	Metal
Caminhão ou outro veículo de carga coberto.	Material, instrumentos e embalagens contaminados por resíduos perigosos (ex: pincéis, panos, estopas, embalagens, etc.)

Fonte: Sinduscon-SP, 2012.

Considerando a nova Política Nacional de Resíduos Sólidos (2010), a forma ideal de se tratar o resíduo é com reutilização no próprio canteiro em obras adjacentes, de forma a diminuir consumo de combustíveis e diminuir as emissões de GEE geradas pelo transporte.

Nem sempre há possibilidade da mesma empresa reutilizar os resíduos da construção civil em obras próximas. Portanto, a permuta entre empresas através dos bancos de resíduos é uma solução que pode dar um resultado positivo em se tratando dos materiais recicláveis.

Tabela 0.18 – Destinação de Resíduos da Construção Civil.

DESTINAÇÃO	CLASSE A	CLASSE B	CLASSE C	CLASSE D
REUTILIZAÇÃO no próprio canteiro	Reutilização no próprio canteiro			
RECICLAGEM no próprio canteiro	Reciclagem no próprio canteiro			
PONTOS DE ENTREGA (NBR15112)	Apenas pequenos volumes			
ATT (NBR15112)	Áreas de transbordo e triagem			Pequeno volume e estocado em caráter transitório
ÁREAS DE RECICLAGEM (NBR15114)	Usinas de reciclagem de resíduos classe A			
ATERROS DE RESÍDUOS CLASSE A (NBR15113)	Aterros de resíduos classe A			
ATERROS PARA RESÍDUOS INDUSTRIAIS		Quando não houver outra alternativa local	Descarte final	Descarte final quando o aterro for licenciado para o recebimento de resíduo classe I (perigoso)
OUTROS FORNECEDORES		Resíduos de embalagens reaproveitáveis		
SUCATEIROS/ COOPERATIVAS/ GRUPOS DE COLETA SELETIVA		Resíduos recicláveis		
RESPONSABILIDADE COMPARTILHADA		Logística reversa	Logística reversa	Captação resíduo perigoso que possa ser tratado

Fonte: Sinduscon-SP, 2012.

O Decreto Nº 33971 de 2011 dispõe sobre a obrigatoriedade, para obras públicas, da utilização de agregados reciclados, oriundos de resíduos da construção civil - RCC em obras e serviços de engenharia realizados pelo Município do Rio de Janeiro e oferece sugestões de uso para tais, conforme indicado na Tabela 2.20.

A Tabela 2.20 descreve sugestões dadas pela Secretaria do Meio Ambiente, no Decreto nº 33971, para utilização de agregados reciclados em obras e serviços de engenharia realizados pelo Município do Rio de Janeiro.

Tabela 0.19 – Sugestões para agregados reciclados em obras e serviços.

Tipo de obra	Exemplo de alternativas
1. Infra-estrutura	1.1 revestimento primário de vias (cascalhamento ou camadas de reforço de subleito, sub-base e base de pavimentos em estacionamentos e vias públicas); 1.2 passeios; 1.3 artefatos (blocos de vedação, peças pré-moldadas para revestimento de pavimento, meio-fios, sarjetas, tentos, canaletas, tubos, mourões e placas de muro). 1.4 drenagem urbana (embasamentos, nivelamentos de fundos de vala, drenos ou argamassas).
2. Edificações	2.1 concreto não estrutural (muros, passeios, contrapisos, enchimentos e alvenarias de vedação); 2.2 argamassas não estruturais; 2.3 artefatos (blocos de vedação, peças pré-moldadas para revestimento de pavimento, meio-fios, sarjetas, tentos, canaletas, tubos, mourões e placas de muro).

Fonte: Secretaria do Meio Ambiente do Rio de Janeiro, 2011.

Todavia, os materiais produzidos com agregados reciclados requerem alguns tratamentos especiais como aumento de umidade e da proporção de cimento para que o produto final tenha qualidade similar ao material produzido por minerais (RICCI, 2007). O desconhecimento destas particularidades ou o uso inadequado pode gerar problemas na qualidade da nova construção.

### 2.7.5 Impactos das fases da edificação

Cada fase da vida da edificação requer entradas e saídas diferentes. Logo, é imprescindível analisar as especificidades de cada uma delas. Na Figura 2.24 Ortiz et al.(2009) ilustram o ciclo de vida de edificações considerando as atividades envolvidas em cada fase da construção (em habitações), bases dos materiais da construção e as atividades envolvidas durante estes processos.

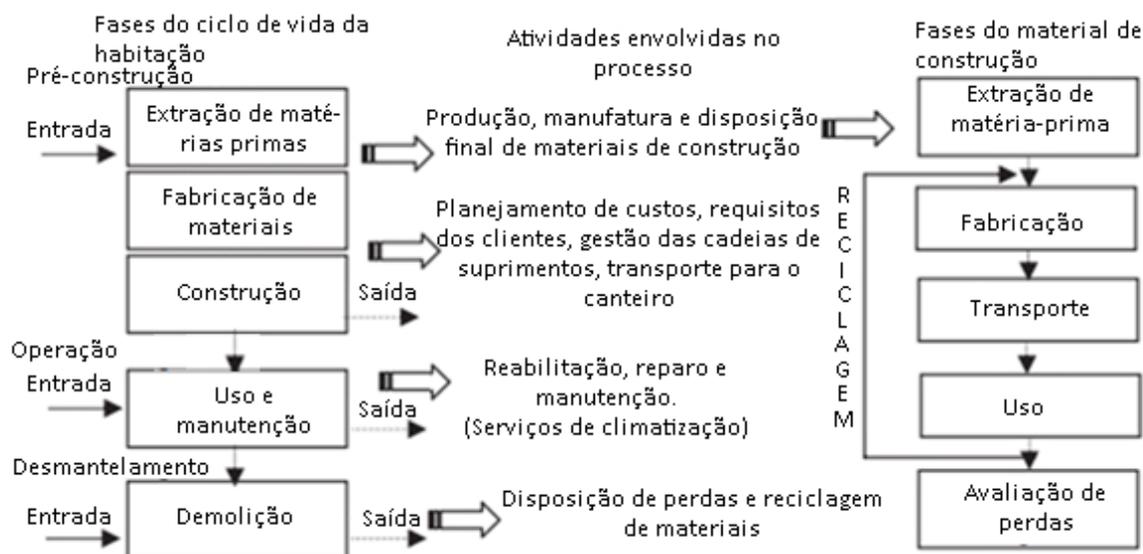


Figura 0.23- Representação sistemática do ciclo de vida da edificação.

Fonte: Ortiz et al., 2009.

Para destacar os fatores essenciais a serem considerados para cada aspecto da sustentabilidade nas fases do ciclo de vida da edificação, foi elaborada uma matriz correlacional entre os impactos relativos a cada aspecto do tripé da sustentabilidade e as fases da edificação, apresentada na Tabela 2.21..

São inúmeros os aspectos que devem ser cuidadosamente analisados na fase de planejamento e trabalhados na execução das construções. Todavia, para efeito de pesquisa é preciso limitar o estudo a algumas destas questões.

Tabela 0.20 - Matriz correlacional: impactos ambientais X fases da edificação.

	Extração e beneficiamento	Construção	Uso e Manutenção	Demolição
Aspecto Ambiental	<ul style="list-style-type: none"> <li>-consumo de água e energia nos processos;</li> <li>-controle de emissões de poluentes para a água, solo e ar;</li> <li>-otimização de processos de fabricação;</li> <li>-extração de matéria-prima de fonte renovável ou não renovável;</li> <li>-controle de emissão de ruído;</li> <li>-controle de perdas;</li> <li>-transporte;</li> <li>-resíduos gerados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-consumo de água e energia nos processos;</li> <li>-diretrizes de um canteiro de obras sustentável;</li> <li>-controle de emissões de poluentes para a água, solo e ar;</li> <li>- avaliação das técnicas construtivas empregadas (ambiente e vida útil da edificação);</li> <li>-verificação dos materiais pelo seu desempenho ambiental;</li> <li>-uso de materiais reciclados;</li> <li>-controle de emissão de ruído;</li> <li>-controle de perdas;</li> <li>-resíduos gerados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-consumo de água e energia;</li> <li>-verificação dos materiais utilizados pelo seu desempenho ambiental;</li> <li>-reutilização de materiais, energia e água;</li> <li>-manutenção preventiva;</li> <li>- reforma;</li> <li>-resíduos gerados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-consumo de energia;</li> <li>-diretrizes de triagem sustentável, evitando contaminação de do material de desmonte;</li> <li>-controle de emissões de poluentes para a água, solo e ar;</li> <li>-controle de emissão de ruído;</li> <li>-transporte;</li> <li>-reciclagem e logística reversa de materiais;</li> <li>-disposição final dos resíduos gerados.</li> </ul>
Aspecto Social	<ul style="list-style-type: none"> <li>-formalização de mão-de-obra;</li> <li>-responsabilidade social;</li> <li>-Planejamento no uso de recursos naturais;</li> <li>-a saúde e segurança ocupacional;</li> <li>-controle no consumo de energia e água;</li> <li>-conformidade legal;</li> <li>-Integração com a sociedade.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Formalização de mão-de-obra;</li> <li>- saúde e segurança ocupacional;</li> <li>-política de compra responsável de materiais;</li> <li>-controle no consumo de energia e água;</li> <li>-conformidade legal.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-política de compra responsável de materiais;</li> <li>-controle no consumo de energia e água.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-controle de emissão de ruído;</li> <li>-saúde e segurança ocupacional;</li> <li>-disposição final dos resíduos gerados.</li> </ul>

Aspecto Económico	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Projeções de negócios sustentáveis para insumos e desenvolvimento;</li> <li>-controle de perdas;</li> <li>-otimização sustentável de processos e diminuição dos custos;</li> <li>-transporte;</li> <li>-planejamento estratégico alinhado ao desenvolvimento sustentável.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-otimização de processos no emprego de materiais;</li> <li>- uso de materiais reciclados;</li> <li>-controle de perdas;</li> <li>Minimizar riscos ambientais;</li> <li>-transporte;</li> <li>-estratégia de marketing sustentável.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-controle nos insumos;</li> <li>-reutilização de materiais, energia e água.</li> <li>-manutenção.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-consumo de energia;</li> <li>-transporte;</li> <li>-reciclagem e logística reversa de materiais;</li> <li>-disposição final dos resíduos gerados.</li> </ul>
-------------------	--	--	---	--

Fonte: Costa, 2012 (adaptado pela autora).

## 2.8 SISTEMAS CONSTRUTIVOS

Os sistemas construtivos de alvenaria de vedação e de *drywall* são sistemas não estruturais e possuem a mesma funcionalidade. Entretanto, estes são distintos e possuem grandes diferenças quanto às características gerais, aos insumos, ao tratamento, à manutenção e à mão de obra.

### 2.8.1 Alvenaria

A construção em concreto armado moldado no local combinado com fechamento de alvenaria não estrutural de tijolo cerâmico e rejuntado com argamassa é o sistema construtivo predominante e dito convencional no Brasil, especialmente no setor habitacional (Figura 2.25).



Figura 0.24 – Foto ilustrativa de paredes em alvenaria de vedação.

Fonte: Alfamateriais, 2013.

Os insumos para a alvenaria são tijolo cerâmico, areia, cimento e cal. Este sistema é bem aceito culturalmente e a intimidade com o sistema dá mais liberdade ao usuário de realizar modificações (seja de abrir vãos, fixar armários, etc).

No Brasil existem diversos formatos e dimensões de tijolos de cerâmica. O Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) indica padrões quanto às dimensões dos blocos e à resistência. Porém não faz menção ao peso.

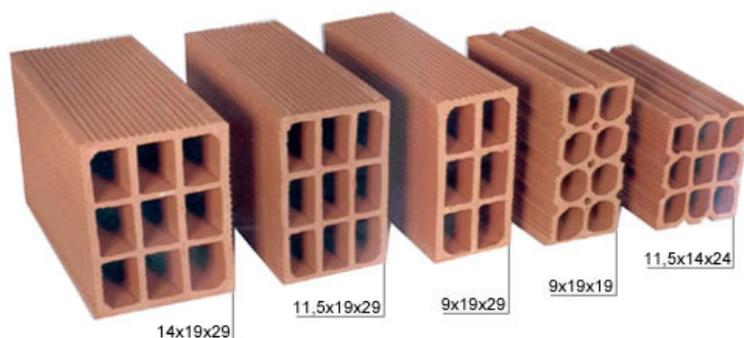


Figura 0.25 – Tijolos cerâmicos.

Fonte: VTN, 2013.

O sistema de alvenaria pode ser considerado artesanal, pois é construído no canteiro, sem padrões normas obrigatórias a serem seguidas. Isto dá margem a erros (por exemplo, quanto aos traços - proporções nas misturas dos materiais- ou como uma parede fora do prumo) que podem gerar patologias e gerar desperdícios. Assim como há desperdício nos rasgos nos tijolos feitos para alocar as instalações.

#### 2.8.1.1 Cadeia produtiva de insumos para alvenaria

Para a construção da parede em alvenaria os insumos areia, cimento, cal e tijolos cerâmicos transportados, dentre todos os processos, exclusivamente por caminhões movidos a óleo diesel.

Com o objetivo de posicionar a construção e materiais maciçamente utilizados na construção brasileira quanto a impactos ambientais e oportunidades de melhorias, a Associação Nacional da Indústria Cerâmica – ANICER encomendou um relatório técnico, que foi produzido em 2012, pela empresa canadense Quantis (LAFONTAINE et al, 2012).

Com o título “análise comparativa do ciclo de vida de paredes em alvenaria com paredes em blocos de concreto e concreto armado moldado *in loco*”, o projeto se utilizava da abordagem da ACV para comparar impactos destes materiais no contexto da construção civil brasileira. Os dados primários foram fornecidos pela ANICER forneceu e os dados secundários foram extraídos do banco de dados do Ecoinvent.

A Quantis concluiu que as variações quanto à saúde humana e qualidade do ecossistema foram insignificantes nos três materiais. Mas que as paredes de tijolos de cerâmica parecem ter menos impacto que as paredes de blocos de concreto na mudança climática, destruição de recursos e consumo de água.

A Figura 2.27 ilustra o inventário realizado para a ANCIER para a construção, uso e fim da vida de paredes em tijolos cerâmicos: insumos, fluxos e tipos de processos.

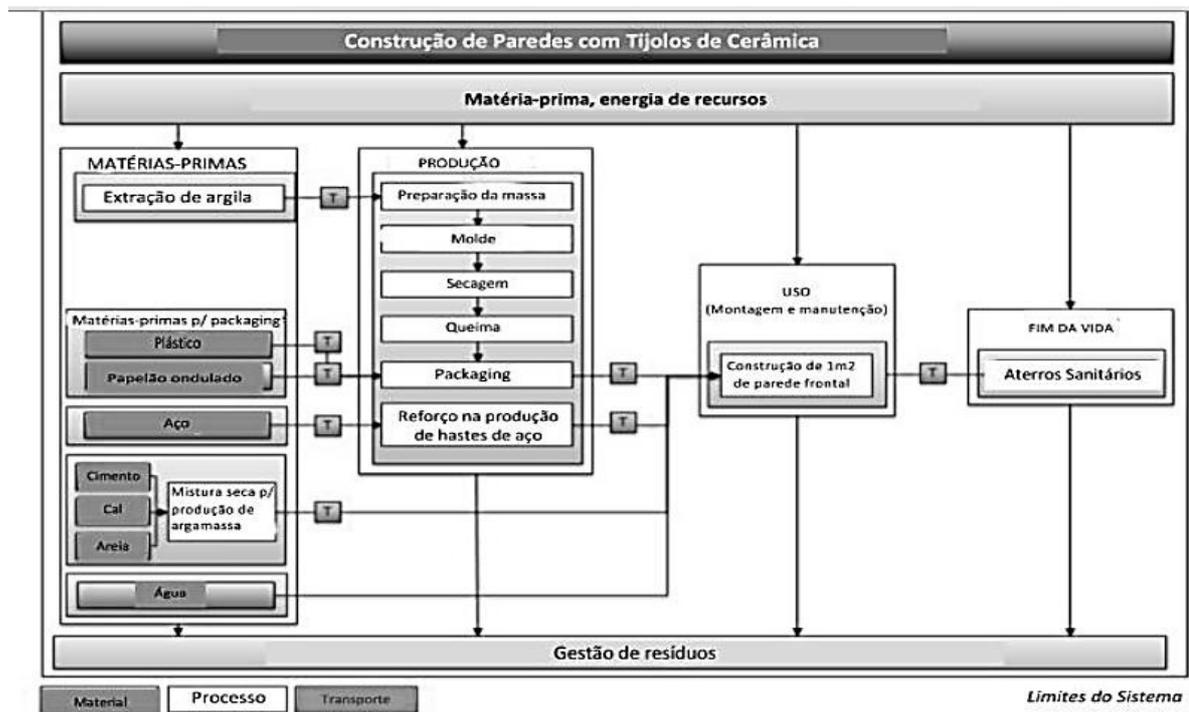


Figura 0.26 – Modelo de inventário para paredes em tijolos cerâmicos.

FONTE: Lafontaine et al, 2012.

Neste inventário a fronteira se limitou a matéria-prima bruta apenas da argila para a produção do tijolo e areia para a argamassa, desconsiderando as extrações e produções de cimento, cal (para argamassa), do plástico e papelão ondulado (para embalagens) e do aço.

Como representado na Figura 2.27, a gestão de resíduos é comum a todas as etapas, seja por motivos de perdas ou de fim da vida de materiais. Embora este documento seja atual (2012), não leva em consideração a elaboração de um plano para reciclagem de resíduos da construção.

### **2.8.1.1.1 Tijolo cerâmico**

O tijolo cerâmico tem como insumo principal a argila, que é abundante em todas as regiões do país, seu consumo é regional (reduz distâncias de transportes). É produzido principalmente nos estados São Paulo, Minas Gerais, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Bahia (Banco do Nordeste do Brasil S/A, 2010).

Produtores podem obter certificado de qualidade de cerâmica vermelha junto ao Centro Cerâmico do Brasil - CCB (que é um Organismo Certificador Credenciado

pelo INMETRO) e atendendo as normas de licenciamento ambiental (Banco do Nordeste do Brasil S/A, 2010).

E as normas referentes ao tijolo cerâmico são:

- a) ABNT NBR 15270-1: 2005 - Componentes cerâmicos, Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação - Terminologia e requisitos.
- b) Portaria Inmetro nº 152, de 08 de setembro de 1998: estabelece as condições para comercialização dos blocos cerâmicos para alvenaria (dimensões e marcações) e a metodologia para execução do exame de verificação da conformidade metrológica dos mesmos.

Entretanto, na sua produção prevalecem microempresas familiares com técnicas artesanais e semi-artesanais e empresas de pequeno e médio porte que utilizam processos produtivos tradicionais.

A produção do tijolo consome grande quantidade de energia oriunda da queima de lenha, que tem baixo rendimento energético, com até 30% de perdas, e gera emissões de cinzas e GEE. Causando forte impacto ambiental.

As vantagens do uso de tijolo cerâmico são o conforto térmico e o conforto acústico. E as desvantagens são o grande consumo de recursos naturais e as perdas (produção, transporte, armazenamento, erros de projeto, mau acondicionamento, etc.).

A Figura 0.8 apresenta o processo de fabricação de cerâmica vermelha sugerido pela SEBRAE e pela ESPM em 2002.

Os processos de produção de tijolo no contexto nacional sendo, em sua maioria, desorganizados, sem controle de qualidade e de perdas e não podem ser comparados à produção deste material em outros países. De forma que o uso de banco de dados internacional para este material implicaria em grande distorção nos resultados.

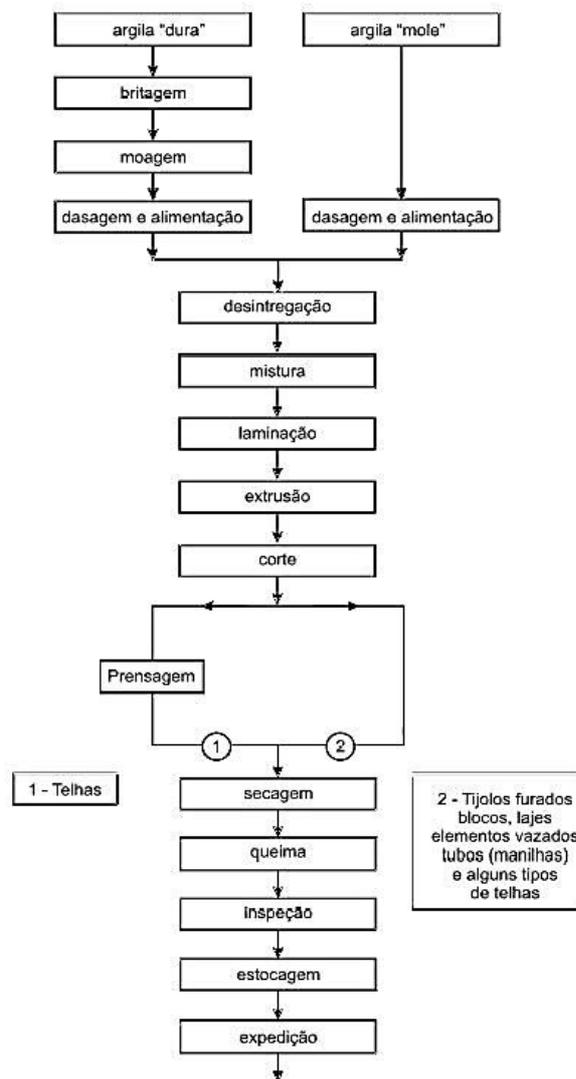


Figura 0.27 - Processo de fabricação de cerâmica vermelha.

Fonte: SEBRAE/ESPM 2002.

### ***2.8.1.1.2 Agregados Miúdos (areia)***

Os agregados são abundantes no Brasil, assim como no mundo. A areia é um material granular de dimensões entre 4,8mm e 0,075mm. A norma NBR 7211/2005 - Agregados para concreto – Especificação, fixa as características exigíveis na recepção e produção de agregados, miúdos e graúdos, de origem natural, encontrados fragmentados ou resultantes da britagem de rochas.

Esta norma sugere que a areia, como agregado miúdo, pode ser de origem natural (resultado de britagem de rochas) ou ambas misturadas. É conveniente que esta seja produzida no entorno do local de consumo para minimizar gastos com

transporte. Contudo, a predominância é de areia de origem natural: areia de rio: 70%, segundo dados do Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM (2010).

Segundo pesquisa realizada pelo Centro de Tecnologia Mineral – CETEM e pelo Ministério de Ciência e Tecnologia - MCT (ALMEIDA; LUZ, 2012) sobre estrutura e fluxo de mercado da areia contexto nacional, a areia é fruto de dragagem, de escavação mecânica ou de desmonte hidráulico.

A areia é dragada de rios por um sistema de bombeamento para sucção para lavar o sedimento e peneira fixa para classificação. O sistema de bombeamento pode ser montado sobre barcaça móvel (autopropulsão ou com auxílio de barco reboque), que transporta o minério ou barcaça com ancoragem fixa (com o minério transportado por tubulação sustentada sobre tambores flutuantes).

O seu processo de beneficiamento é constituído da remoção de impurezas finas (lavagem), classificação granulométrica e secagem. As areias que se destinam à construção civil para serem comercializadas, não precisam passar pelo rigoroso processo de beneficiamento que ocorre com as areias industriais (ALMEIDA; LUZ, 2009).

O beneficiamento deve garantir que aproximadamente 95% da massa do produto final encontre-se na faixa granulométrica cujos grãos passam pela peneira ABNT 4,8mm e ficam retidas na peneira ABNT 0,075mm. Em beneficiamentos mais simples, o ROM (*Run off Mine*) passa por uma peneira estática de 1 deck que para reter partículas de granulometria acima de 4,8 mm. O material retido na peneira, composto predominantemente por cascalho e matéria orgânica, é encaminhado para pilhas de estocagem de cascalho e rejeito. Enquanto o material passante do peneiramento segue para pilha desaguadora (ALMEIDA; LUZ, 2012).

O material fino desaguado desta pilha junto com a água do beneficiamento vai por canaletas até um tanque de clarificação, e deste, para a caixa de dissipação de energia, antes do retorno ao curso d'água. A pilha de areia após desaguamento e secagem será retomada por pá-carregadora e carregada nos caminhões dos clientes (ALMEIDA; LUZ, 2012).

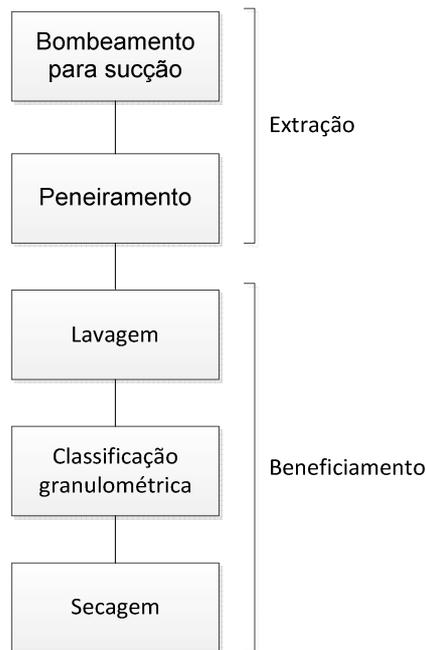


Figura 0.29 – Processos de extração e beneficiamento de areia.

Fonte: Autora, 2013 (baseado em dados de ALMEIDA; LUZ, 2012).

Sobre os aspectos ambientais da mineração de areia e cascalho, estas caracterizam-se por uso e ocupação do solo temporários (passível de recuperação para usos futuros sustentáveis), com remoção de vegetação (inclusive de áreas de preservação permanente) e alteração temporária de ecossistemas locais. Não há utilização de substâncias químicas poluentes no processo produtivo e a necessidade de combustíveis e lubrificantes é bem menor em comparação com outras indústrias (ALMEIDA; LUZ, 2012).

Segundo Almeida e Luz (2012), a interferência da mineração de areia em Áreas de Proteção Permanentes (APP) varia com o tipo de ocorrência e método de extração, sendo as mais comuns: utilização de trechos da margem do rio como ponto de transferência ou passagem de duto de bombeamento; importantes reservas situadas em margem de rios (planícies e terraços aluviais); APP de restingas e dunas litorâneas; topos de morro, encostas com declividade superior a 45° (arenitos ou quartzitos em platôs com escarpas).

A extração de areia de rios, quando feita de forma irregular, geram impactos na vegetação ciliar e assoreamento que podem resultar em alterações do fluxo fluvial.

Logo, os impactos ambientais são conhecidos e mitigáveis, tais como alteração da paisagem, ruído das máquinas e emissão de particulados atmosféricos pelo tráfego de caminhões em estradas de terra; impactos relacionados à utilização de água no processo produtivo, geração de efluentes contendo particulados, porém de emissão controlada e/ou em circuito fechado; proximidade de comunidades; área ocupada restrita (comparando com outras atividades como a agropecuária); base de cadeias produtivas como a construção civil e indústria etc. (ALMEIDA; LUZ, 2012).

### ***2.8.1.1.3 Cimento***

Os cimentos são materiais aglomerantes orgânicos (de borracha) ou inorgânicos (Portland, podendo ser comum-CP, de alto-forno-AF e pozolânico-POZ). O cimento inorgânico usado na construção é o Portland comum, que é um cimento produzido em vários tipos (SINDICATO DA INDÚSTRIA DO CIMENTO, 2012).

Os principais insumos para a produção de cimento Portland são argila (ou xisto) e pedra calcária ( $\text{CaCO}_3$ ) ou gesso, conchas ou outros carbonatos de cálcio, que são recursos não renováveis, e que produzem sérias agressões ao meio ambiente.

Visando mitigar este problema, grandes empresas da indústria cimenteira buscam recuperar florestas antes devastadas por minas de extração, fazer o monitoramento da fauna terrestre, criar programas de cooperação para desenvolver, implementar e difundir boas práticas de mineração em áreas de cavernas e no entorno das Unidades de Conservação e preservação do biodiversidade (ABCP, 2012).

Já com o intuito de reduzir emissão de efeitos estufa, a indústria cimenteira criou parque industrial moderno e eficiente (com unidades que operam com baixo consumo de combustíveis) e utiliza cimentos com adições (adições ao clínquer, com escórias de alto forno, cinzas volantes, pozolanas artificiais e fíler calcário) que diversificam as aplicações e características do cimento, diminuem a produção de clínquer, a queima de combustíveis e a emissão por calcinação/descarbonatação, propiciando a redução das emissões de  $\text{CO}_2$ , de acordo com os dados apresentados pela ABCP (2012).

Conforme os textos analisados e divulgados pela ABCP (2012), a indústria cimenteira faz uso de filtros para minimizar emissões atmosféricas. Os resíduos coletados nesse filtro voltam para a cadeia produtiva como aditivos, reduzindo o uso de aditivos, contribuindo, assim, para a preservação dos recursos naturais e economizando energia.

Ainda com base nas informações fornecidas pela associação supramencionadas, na produção de cimento, a água é utilizada nas torres de arrefecimento e injeção nos moinhos para resfriamento do material, representando um consumo de 100 litros por tonelada de cimento. A água consumida na maioria das fábricas é praticamente 100% recirculada, não havendo, portanto, a geração de efluentes líquidos industriais.

Na Figura 2.30, Ferraz et al. (1996) ilustram a cadeia produtiva do cimento, passando pela extração, produção, transporte, revendedores, consumidores que usam o cimento como insumo para produção de artefatos e consumidores finais.

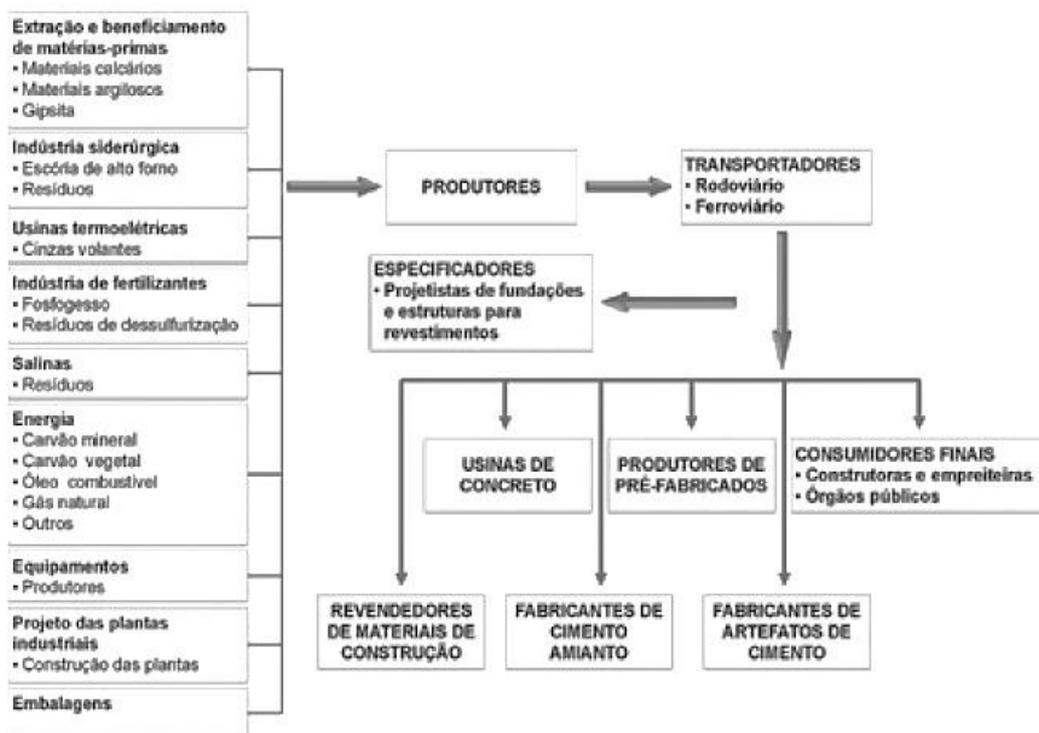


Figura 0.28 – Cadeia produtiva do cimento.

Fonte: Ferraz et al., 1996 apud MME, 2012.

As principais etapas da lavra de calcário a céu aberto incluem: remoção do capeamento, perfuração, desmonte por explosivos, e transporte até a usina de processamento (MME, 2012).

A britagem é executada em circuitos de várias fases com combinações de britadores de mandíbulas ou giratórios em grandes operações, além de britadores cônicos secundários e terciários. Britadores de impacto são largamente empregados, pois apresentam uma combinação favorável de relações de redução e capacidades muito altas (MME, 2012).

Este material segue para depósito e pré-homogeneização, dosagem, moinho de cru, silos de homogeneização, fornos, silos de clíquer, adições (de gesso, clíquer, escória- ou pozolana ou calcário), moinho de cimento, silos de cimento e ensacamento ou expedições a granel (ABCP, 2012).

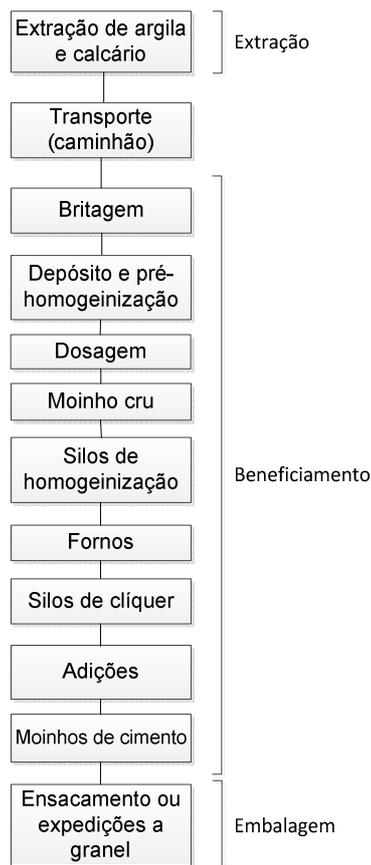


Figura 0.29- Processos de construção do cimento.

Fonte: Autora, 2013 (baseado em dados de MME, 2012; ABCP, 2012; SECIL, 2012).

#### **2.8.1.1.4 Cal**

A cal hidratada é largamente utilizada em muitos processos na construção civil. Este é resultante da combinação química dos óxidos anidros da cal virgem com a água. E é classificada, conforme o hidróxido predominante presente de acordo com a cal virgem que lhe dá origem, em: Cal Hidratada Cálcica, Magnesiana e Dolomítica. Em geral, na região sul-sudeste predomina as cales provenientes de dolomitos e calcários magnesianos (MME, 2009).

A cal hidratada é embalada em recipientes plásticos ou em sacos de papel “kraft”, numa granulometria 85% abaixo de 0,074 mm. Este material tem as vantagens de ter dispersão geográfica de suas unidades de fabricação em todas as regiões do Brasil, com abundância de oferta e de ser de baixo custo (MME, 2009).

A indústria da cal está entre as mais poluidoras do meio ambiente, com muita emissão de GEE na atmosfera, desde a extração do calcário até a fase da Cal propriamente dita. Pelo emprego dos seguintes combustíveis: gás natural, óleo combustível, lenha e carvão. O combustível utilizado varia de acordo com o tipo de forno utilizado. O combustível mais utilizado é o coque de petróleo (30%), gás natural (20%), lenha (20%), óleo combustível (20%) e carvão (10%) (MME, 2009).

#### **2.8.2 Drywall**

O sistema *drywall*, de placas de gesso acartonado, se inseriu no Brasil em meados da década de 1990, como um sistema construtivo de vedações internas, um “sistema construtivo a seco”, de construção limpa, rápida e com mínima geração de resíduos (KNAUF, 2012).

Este é um sistema difundido em países como UK, Dinamarca, Suécia, Noruega, Holanda e Estados Unidos da América, onde as placas de gesso para *drywall* são feitas a partir de mistura de gesso puro (gipsita) com material sintético, diferente do Brasil que utiliza apenas o material puro.

Nestes países a preocupação com os resíduos do gesso acartonado os fizeram desenvolver técnicas de reciclagem e de gestão de resíduos que fossem viáveis economicamente e que fossem capazes de minimizar os impactos ao meio ambiente, reinserido o resíduo em produto semelhante ao de sua origem (*WASTE & RESOURCES ACTION PROGRAMME - WRAP*, 2008).

O consumo do *drywall* vem crescendo no Brasil, em especial no Estado de São Paulo, na região Sudeste, onde tem maior consumo deste material, conforme gráficos da Figura 2.32.

Este é um sistema modular, leve, de rápida execução e que pode gerar proteção acústica semelhante (ou melhor) do que as paredes de alvenaria. Porém, precisa de mão de obra especializada para a montagem, manutenção e reformas.

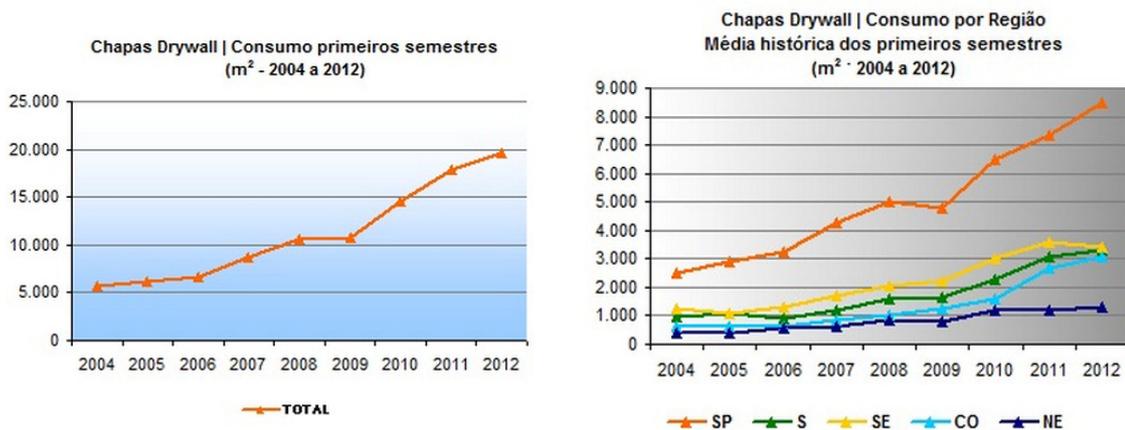


Figura 0.30 – Consumo de chapas de *drywall* no Brasil e em regiões.

Fonte: Associação Brasileira do Drywall, 2012.

Por vezes o sistema *drywall* é confundido com o sistema ou de Estrutura de Aço Leve (*Light Steel Framing*), que é oriundo dos Estados Unidos e foi inserido no Brasil por meio de iniciativa privada, prometendo precisão em orçamentos e prazos. Este sistema ainda não foi absorvido pelo mercado brasileiro.

A estrutura do *Light Steel Framing* é composta de chapas de aço formando um “esqueleto estrutural”, que são fechadas por gesso acartonado (CBCA-IABR, 2012). Enquanto sistema *drywall* não é estrutural, seus perfis de aço tem a função de suportar apenas as placas. Para a fixação de louças, armários, quadro de luz, bancadas, aparelhos de TV, etc., os perfis precisam ser previamente reforçados.

O sistema *drywall* para fechamento vertical é de uso exclusivamente interno, compreende estrutura leve de perfis metálicos de aço zincado com montantes e guias sobre os quais são fixadas as placas gesso acartonado, podendo ser recheadas com lã mineral para aumentar a eficiência termo acústica e se utiliza massa e fita para vedar juntas (FERGUSSON, 1996 *apud* SILVA, 2002).

Os tipos de placas de *drywall* apresentadas na Norma Brasileira Regulamentadora (NBR) 14715 (Requisitos) são: Standard (ST) - áreas secas, Resistente à umidade (RU) - para uso em áreas sujeitas à umidade por tempo limitado e de forma intermitente e Resistente à fogo (RF) – para áreas secas nas quais se exija um desempenho superior frente ao fogo. Estas placas devem atender requisitos descritos nas seguintes Normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) para *drywall*:

- NBR14715- parte1: Requisitos.
- NBR14715: 2010- parte2: Métodos de ensaio.
- NBR15758:2009- sistemas construtivos em chapa de gesso para *drywall*.
- NBR 15112:2004- Gestão de resíduos sólidos na construção civil.

O *drywall* atende a outros usos, além da vedação vertical, tais como: forro de teto e mobiliário. A execução do trabalho é feito por mão-de-obra especializada e no tempo de execução é aproximadamente quatro vezes menor do que no sistema de alvenaria (FERREIRA, 2012).

Os principais insumos para construção de paredes *drywall* são perfis, guias e montantes de aço galvanizado, placas de gesso acartonado (padrão, resistente à unidade – de cor verde, e/ou resistente a fogo- de cor vermelha) e lã mineral, conforme ilustrado na Figura 2.33.



Figura 0.31 – Insumos para parede de *drywall*.

Fonte: Cicloconstrução, 2013.

As guias são fixadas no piso e no teto, os montantes são fixados nas guias e servem como estrutura para as placas de gesso acartonado. A Figura 2.34 ilustra a

estrutura já com algumas placas de gesso e a Figura 2.35 ilustra a estrutura do sistema *drywall*.



Figura 0.32 – Estrutura para parede de *drywall*

Fonte: Blog: móveis planejados em *drywall*, 2013.

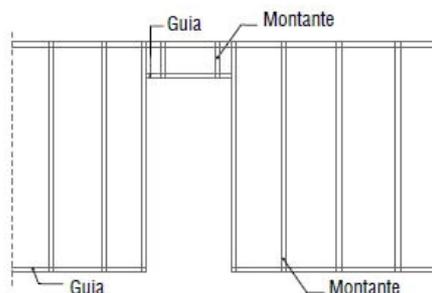


Figura 0.33 - Estrutura do sistema *drywall*.

Fonte: Knauf, 2013.

A Figura 2.36 ilustra a fixação das placas na estrutura de aço galvanizado (guias e montantes).



Figura 0.34 – Fixação das placas de gesso acartonado.

Fonte: Bello espaço, 2013 e CBCA, 2013.

Neste sistema os conduítes flexíveis, por onde passam a fiação de instalações (elétricas, de telefone e outras), passam por espaços vazados nos montantes (figura 2.37)



Figura 0.35 – Conduítes para instalações.

Fonte: Rocher, 2013.

A lã mineral (lã de vidro ou de rocha), que é responsável pela proteção acústica, é acomodada entre os montantes (Figura 2.38). Para a aplicação desta, as empresas fabricantes recomenda-se o uso de máscara e luvas. Visto isso, supõe-se que este material libera partículas que podem ser tóxicas, porém, as empresas não especificam a causa desta recomendação.



Figura 0.36 – Instalação de lã mineral

Fonte: Pedreira, 2013.



Figura 0.39 – Aplicação de cerâmica

Fonte: Construcaoereforma, 2013.

A aplicação de cerâmica é feita sobre as placas resistentes a umidade, de forma semelhante à aplicação em paredes de alvenaria. Porém, com argamassa específica, mais plástica (Figura 2.39).

Para acabamentos nas juntas, utilizam-se fitas e massa a base de gesso (Figura 2.40).



Figura 0.37 – Acabamento nas juntas das placas.

Fonte: CBCA, 2013.

Segundo dados das empresas fabricantes no Brasil, o sistema *drywall* é de execução rápida e limpa, facilitando as reformas, manutenção e reparos; pode ter espessura menor que a de alvenaria tradicional, aumentando a área útil e reduzindo o peso; e pode ter proteção termo acústica semelhante ou superior à vedação em alvenaria (KNAUF, 2012).

Em contrapartida, é de difícil aceitação no mercado, principalmente residencial; tem a necessidade de mão-de obra especializada para instalação; ausência de tecnologia para reciclagem (no Brasil); ausência de parâmetros nacionais de demanda deste material reciclado; e ter na sua composição o gesso, que é um resíduo contaminante (MARCONDES, 2007).

Marcondes (2007) encontrou em seu estudo, por meio de entrevistas realizadas na Região Metropolitana de São Paulo, dados de perdas em canteiros de obras de 5% a construtoras, e 12% com entrevistas a distribuidoras e a montadores. Em relação às perdas na produção, a autora encontrou entre 1% e 3% de massa de matéria-prima.

Visto que o *drywall* é um sistema relativamente novo no Brasil, são poucos os dados encontrados sobre o seu comportamento pós-construção no ambiente

brasileiro (especialmente em habitações unifamiliares), de clima tropical, suscetível a pragas e a umidade e a manipulação errônea por parte dos usuários.

Em contrapartida, a norma Norma de Desempenho (ABNT NBR 15.575 – Edificações habitacionais – Desempenho) indica como prazo mínimo de vinte anos para vida útil de vedação em divisórias leves. O projeto de revisão da norma ABNT NBR 15.575-1 de julho de 2012 não diferencia os materiais de vedação vertical ao definir o prazo de garantia de cinco anos para vedações verticais (MATOZINHOS, 2012).

Países com maior tradição em uso deste sistema possuem técnicas de gestão e reciclagem para a reincidência de resíduos de gesso acartonado em novos produtos de mesma utilização.

Um exemplo disto é o caso da Construção do Centro Garrett Anderson, anexo do Hospital de Ipswich, em UK (WRAP, 2012). Em que a construtora Kier Eastern assumiu a responsabilidade de minimizar a produção de resíduos de construção, especialmente do gesso, que poderia ter sido potencialmente significativa sobre este projeto. Melhorando o desempenho ambiental através da redução da quantidade de resíduos depositados em aterros.

A construtora formou uma parceria com as seguintes empresas: Knaufdrywall (fornecedor de placas de gesso e incorporadora de reciclados de gesso em novo produto), BR Hodgson London Ltd (contratante do drywall e supervisor local responsável pelo local segregação de resíduos) e Wastefile UK (resíduos de gesso adjudicatário de gestão) (Figura 0.38).

A Kier é a construtora responsável pela produção de projetos conscientes das especificidades do material, pela execução da obra, pelo gerenciamento de empresas contratadas e pela manutenção da edificação e dos equipamentos por 30 anos.

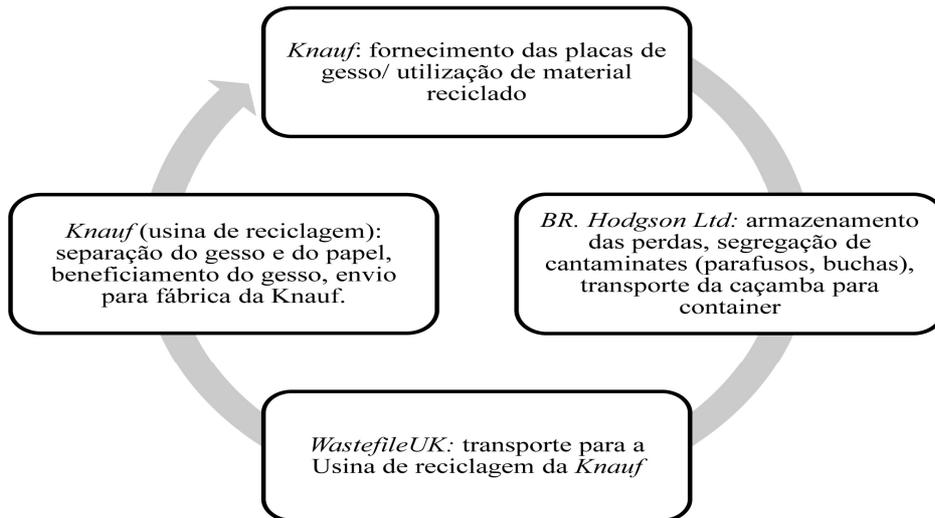


Figura 0.38 - Ciclo fechado de gestão dos resíduos de gesso acartonado

Fonte: Autora, 2013 (baseado em WRAP, 2012).

Assim, criou-se um sistema eficiente e flexível, em questões geográficas e em projetos de diferentes dimensões, para minimizar perdas e custos com deposição em aterros. Trabalhando em parcerias com outras empresas, com uma boa estratégia de gestão, a Kier garante a que boa parte dos resíduos retorne ao ciclo, prolongando a sua vida útil, minimizando impactos ambientais e evitando despesas em descartes.

Visto isso, conclui-se que para melhorar o desempenho ambiental é essencial o comprometimento das empresas envolvidas, abordando a construção de forma holística: se preocupando com os fluxos de resíduos, elaborando projetos com preocupações em diminuir desperdícios e uma buscando novas oportunidades para reciclar.

#### 2.8.2.1 CADEIA PRODUTIVA DE INSUMOS PARA DRYWALL

Os insumos necessários para a produção do drywall são: gesso, água, aditivos, papel cartão, perfis, montantes de gesso galvanizado e lã mineral (para proteção acústica). Estes, assim como os insumos para alvenaria, são transportados, dentro do país, exclusivamente por transporte rodoviário.

### **2.8.2.1.1 Gesso**

O gesso no Brasil é feito a partir da calcinação da gipsita, que é um mineral abundante no mundo e no Brasil. Nacionalmente, 90% do gesso consumido é proveniente do polo gesseiro do Araripe.

Sua composição mineral é Sulfato de cálcio hidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) e do hemihidrato obtido pela calcinação deste (COSTA, 2007). E os usos na construção civil são: drywall, rebaixo de teto, estuque e sancas (acabamentos decorativos), agente retardador de pega no cimento, moldes para cerâmica.

No Brasil, os fabricantes de chapas de gesso acartonado utilizam apenas a gipsita como matéria-prima para a obtenção de gesso enquanto outros países podem ser utilizados o fosfogesso (ou gesso químico). Segundo Marcondes (2007), de todos os gessos sintéticos, o fosfogesso é o que apresenta maior produção mundial.

O polo gesseiro é formado por cinco municípios do Sertão do Araripe, em Pernambuco: Araripina, Trindade, Ouricuri, Bodocó e Ipubi. O bloco é formado por cerca de 400 indústrias que compõem toda a cadeia. (SINDUSGESSO, 2012).

A Figura 2.42 mostra a extração da gipsita, a Figura 2.43 mostra a moagem deste material e a Figura 2.44 mostra o forno a lenha para calcinação.



Figura 0.39 – Extração de gipsita

Fonte: Sindusgesso, 2012.



Figura 0.40 – Moagem da gipsita

Fonte: Sindusgesso, 2012.

O forno a gás começa a ser usado para a calcinação da gipsita. Porém, há hegemonia dos fornos a lenha. Conforme ilustrado na Figura 2.44.



Figura 0.41 – Forno a lenha para calcinação.

Fonte: Sindusgesso, 2012.

No Brasil a maioria dos resíduos de gesso vão para aterros em caminhões abertos. Liberando resíduos no solo por lixiviação e lançamento de material particulado no ar no transporte. O resíduo de Gesso em aterros sanitários trás riscos à saúde humana pela eliminação de sulfeto de hidrogênio ( $H_2S$ ). Este é um gás incolor, de cheiro desagradável e tóxico, que pode causar irritação nos olhos e/ou atuar nos sistemas respiratório e nervoso e, dependendo de sua concentração, pode matar rapidamente (MAINIER; VIOLA, 2008).

Portanto, este deve ser separado dos demais resíduos, transportado em veículos fechados e deve ser armazenado em caçambas ou em local concretado seco.

As opções para reciclagem do gesso no Brasil, ditas pela Sindusgesso, como tecnicamente possíveis e economicamente viáveis são na Indústria cimenteira (retardar o tempo de pega), no setor agrícola (corrigir a acidez do solo) e na Indústria de transformação do gesso (reincorporar seus resíduos, em certa proporção, em seus processos de produção).

#### ***2.8.2.1.2 Perfis de aço galvanizado***

O aço galvanizado é quando o aço passa por um processo químico para protegê-lo contra a corrosão. O aço é imerso de zinco fundido, desencadeando uma reação com as moléculas de ferro dentro do aço em que o Zinco é incorporado ao mesmo (QDZNSTEEL, 2012).

O aço galvanizado permite a utilização dos principais processos de industrialização tais como: corte, dobra, punção, perfilação, estampagem e solda a frio, dentre outros; sem alterar a qualidade final do produto.

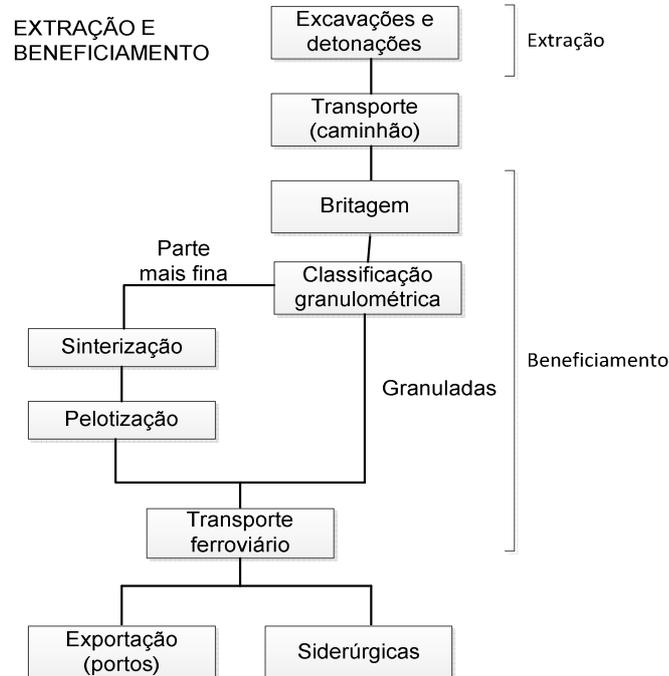


Figura 0.42 – Extração e beneficiamento do minério de aço.

Fonte: autora, 2013 (baseado em dados da Infomet, 2013).

O Brasil grande exportador de minério de ferro. Mesmo possuindo grandes siderúrgicas no país, estas não são capazes de atender a demanda nacional. Em 2010, cerca de 27% do consumo nacional de aço galvanizado foi de aço importado (PEREZ, 2010) de países como Rússia, Ucrânia e China (INFOMET / VALOR, 2010).

O fluxograma da Figura 2.45 ilustra dos fluxos da extração do minério de ferro, em que parte deste vai para exportação, parte vai para siderúrgicas nacionais e do beneficiamento.

A Figura 2.46 mostra o inventário de 1 kg de aço no contexto brasileiro, com ano base de 2004, de “portão a portão”, feito por Ugaya (2010), desconsiderando transporte e infraestrutura.

Neste mesmo inventário pode-se observar que o Brasil utiliza carvão mineral junto ao coque para redução em alto-forno (como uma forma de reduzir emissões de GEE) e utiliza sucata na produção (reciclando grande parte de resíduos).

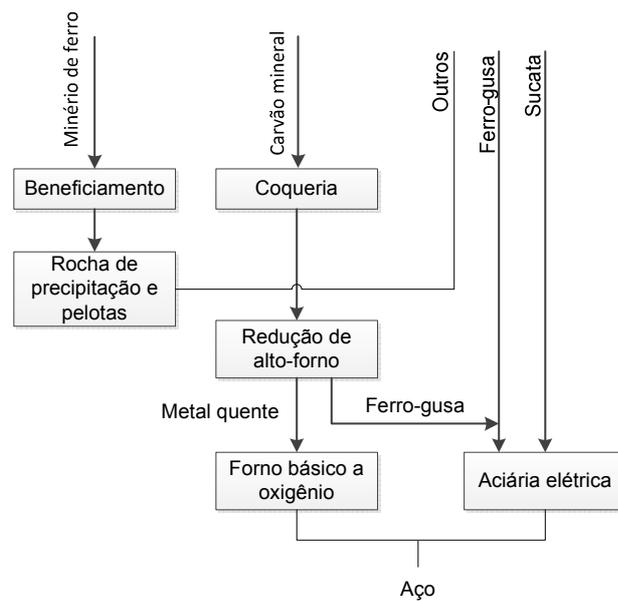


Figura 0.43 – Inventário de aço “portão a portão”.

Fonte: Ugaya, 2010 (traduzido pela autora).

### ***2.8.2.1.3 Papel cartão e aditivos***

Os insumos papel cartão e aditivos não são produzidos no Brasil. Por motivos econômicos, estes são importados, trazidos por transporte marítimo para o porto de Santos e transportado por transporte rodoviário até as fábricas de *drywall*, na região Sudeste (MARCONDES, 2007).

Segundo empresas produtoras, o papel cartão é produzido com a utilização de resíduos de celulose como matéria prima (PLACO; KNAUF, 2012). Ou seja, é feito de material reciclado.

Sobre os aditivos, não foi encontrada a sua composição nem informações específicas na bibliografia pesquisada.

### ***2.8.2.1.4 Lã mineral***

A lã mineral é utilizada no sistema *drywall* como material termo acústico. Esta é constituída de partículas fibra de vidro. Não foi encontrada na bibliografia referências sobre a sua produção e nem sobre a sua cadeia produtiva, apenas a informação de que estas são produzidas por grandes empresas multinacionais seguindo normas e com certificações internacionais.

A ABNT apresenta a norma para material termo acústico de lã de vidro ABNT NBR 11361:1994 de mantas termo isolantes à base de lã de vidro- Especificação, porém a associação brasileira de *drywall* não relaciona esta norma nem nenhuma outra norma nacional para este material.

A lã mineral pode ser utilizada em feltros leves ou em painéis semi rígidos revestidos com papel alumínio ou tela. A aplicação deste deve ser feita entre os montantes de aço galvanizado, internamente às placas de gesso acartonado (KNAUF; PLACO, 2012).

A lã de vidro se enquadra na classe C da resolução do CONAMA descrita na Tabela 2.4, que dispõe que tais materiais produzem “resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação”. E, visto que os maiores fabricantes de *drywall* no Brasil (PLACO; KNAUF, 2012) sugerem que a sua instalação deve ser feita por profissional habilitado, com equipamento de segurança adequado (máscara protetora, luvas, camisa de manga comprida, capacete e botas (LAFARGE, 2013)), supõem-se que este material libera partículas tóxicas no ar. Podendo ser perigoso a saúde, caso não seja manuseado de forma adequada.

#### ***2.8.2.1.5 O processo de produção das placas de drywall***

O processo de produção das placas se dá a partir da extração de minério gipsita em jazida. O minério vai para a gessaria, sendo transformado em semi-hidrato, também conhecido como estuque. O processo de beneficiamento inclui moagem, calcinação – remoção das moléculas de água através de calor – e resfriamento controlado (PLACO, 2012).

O papel cartão utilizado é especial, com fibras longas, obtido através de matéria prima reciclada (PLACO, 2012). Este é produzido por empresas multinacionais (que são as maiores produtoras de *drywall* no Brasil), em fábricas pertencentes a estas empresas fora do Brasil (MARCONDES, 2007). Introduzidos continuamente na linha de produção, os papéis superior e inferior são devidamente tensionados e alinhados.

O próximo passo é passar pelo misturador, que é um equipamento que recebe o gesso calcinado (estuque), os aditivos e a água convertendo-os numa

massa homogênea, que é continuamente depositada sobre o papel inferior. Uma vez formado e endurecido o tapete de gesso acartonado, é cortado em placas nos comprimentos programados em guilhotinas, as placas são transferidas para uma mesa elevatória que alimenta os oito níveis do secador (transferência úmida) e um secador de doze estágios é responsável pela eliminação da água excedente existente nas placas. Nele também se conclui o processo de aderência papel/miolo de gesso. Ao deixar o secador, as placas são transferidas para o acabamento, onde são esquadrejadas, identificadas e paletizadas. Os paletes são transferidos para o setor de armazenagem, em áreas pré-definidas e identificadas, para despacho (PLACO, 2012).

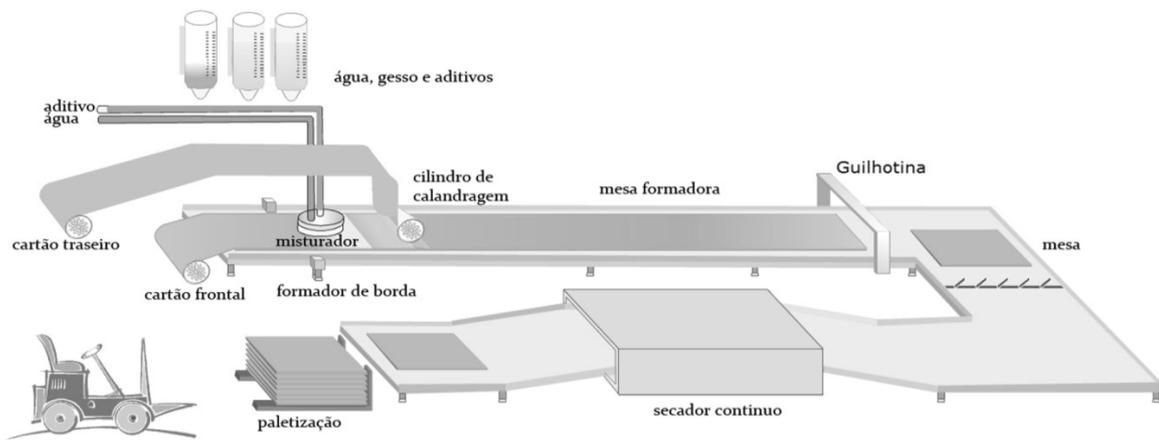


Figura 0.44- Processo de produção de placas de gesso acartonado.

Fonte: Associação Brasileira do *Drywall*, 2012.

A Figura 2.47 ilustra o processo de produção do gesso acartonado: mistura dos insumos, formação das placas, corte, secagem e embalagem.

### **2.8.2.1.6 Montagem das paredes**

A execução do trabalho é feito por mão-de-obra especializada e o tempo de execução é aproximadamente quatro vezes menor do que no sistema de alvenaria (FERREIRA, 2012).

A fixação de objetos, louças ou equipamentos neste sistema é feita de forma particular e requer o uso de fixadores e/ou reforços adequados. Para a fixação de objetos pequenos (quadros, espelhos e prateleiras) existem fixadores que são fixos em chapas duplas de gesso, para vencerem esforços específicos, para a fixação de armários pequenos, registros e metais são utilizados reforços metálicos e para

suporte de TV, armários grandes e bancas são necessários reforços de maneira tratada. Além de fixadores para spots e pequenas luminárias. Conforme detalhado na Tabela 2.22.

Tabela 0.21 – Fixadores para o sistema *drywall*.

FIXAÇÃO DE CARGA	AÇÃO SOBRE A PAREDE	DISTÂNCIA DE ELEMENTO DE FIXAÇÃO	EXEMPLO DE ELEMENTO	CARGA MÁXIMA	TIPO DE FIXADOR
Em uma ou duas chapas de gesso	Esforço de cisalhamento	Rente à parede	Quadros e espelhos leves	5 kg	
			Quadros e espelhos pesados	15 kg	
	Esforço de momento	7,5 cm	Toalheiro e suporte para extintor de incêndio		
		30 cm	Prateleira, suporte para vaso de flores e armário pequeno	30 kg	
Em reforço metálico	Esforço de momento	30 cm	Armário de cozinha e tanque com coluna	20 kg	
Em reforço de madeira tratada ou suporte metálico especial		60 cm	Suporte de TV, armário grande e bancada de cozinha ou de banheiro	50 kg	
FIXAÇÃO DE CARGA LEVE	AÇÃO NO FORRO	EXEMPLO DE ELEMENTO	CARGA MÍNIMA	TIPO DE FIXADOR	
Em uma chapa de gesso	Arracamento	Spots e pequenas luminárias	3 kg	 	

Fonte: Martins, 2013.

A Figura 2.48 alguns destes fixadores: a bucha de expansão (para fixar objetos de carga média em placas de gesso acartonado), a bucha basculante (para a fixação de objetos de carga média nos montantes ou em reforços) e a bucha de parafuso (pode ser de plástico ou de metal, é aplicado diretamente nas placas e é indicado para elementos aplicados rente à parede, como espelhos). Logo, este sistema exige o uso de materiais próprios e de planejamento para evitar retrabalhos e perdas de materiais.



Figura 0.45 – Fixadores para *drywall*.

Fonte: Martins, 2013.

### 3 METODOLOGIA

A princípio foi feita uma pesquisa bibliográfica acerca dos temas pertinentes (sustentabilidade, construção, ciclo de vida das edificações, métodos construtivos, metodologia ACV, dados das cadeias produtivas dos materiais estudados e contextualização nacional em diversos aspectos) em bancos de dados nacionais e internacionais de periódicos e trabalhos acadêmicos. Especialmente sobre a metodologia de Avaliação de Ciclo de Vida, buscou-se informações sobre suas aplicações e estudos de caso, os quais, em maioria, foram realizados internacionalmente. Quanto à classificação, esta pesquisa possui características de teor quantitativo, qualitativo e exploratório.

Posteriormente a edificação estudada foi apresentada e foi feito o estudo de Avaliação de Ciclo de Vida da edificação real com paredes internas em alvenaria e da construção simulada com as paredes internas da habitação em sistema em *drywall*, de acordo com recomendações das normas relativas à ACV. Assim sendo, foram delimitadas as fronteiras dos sistemas, foram elaborados os diagramas de fluxos, o inventário do ciclo de vida, as modelagens dos processos e a avaliação dos impactos ambientais.

O Inventário de Ciclo de Vida foi realizado partir de indicadores do Ecoindicador99, obtidos através banco de dados do EcoInvent. Estes indicadores permitiram comparar os impactos relativos à qualidade do ecossistema, à saúde humana e aos recursos naturais dos dois sistemas construtivos quanto às vantagens, desvantagens e possibilidade de melhoria nos processos de planejamento, construção, operação e demolição, procurando otimizar as fases seguintes de uso, reparos, reformas e demolição.

No que tange a pesquisa documental, foram analisadas normas específicas nacionais e internacionais e regulamentações nacionais relativas ao tema tratado. A revisão bibliográfica teve o objetivo de fundamentar conceitos e estratégias da Avaliação do Ciclo de Vida. Avaliando, assim, os materiais na indústria da construção: ciclos específicos, limitações e disponibilidade.

## 4 CONSTRUÇÃO ESTUDADA

O objeto de estudo é uma construção de casa unifamiliar, localizada no município de São Gonçalo, Estado do Rio de Janeiro, Brasil. A imagem da Figura 4.1 apresenta a construção estudada.



Figura 0.1 – Construção estudada.

Fonte: Condeixa, 2010.

A edificação estudada possui 136m<sup>2</sup> de área total edificada (ATE), sendo 16,32m<sup>2</sup> no primeiro pavimento, que é constituído apenas de garagem e escada de acesso ao pavimento superior. O pavimento superior é o pavimento principal, possui 120,30m<sup>2</sup> de área e abriga a área habitável da residência. Assim, apenas este pavimento foi alvo deste estudo. Quanto às especificações, a casa possui dois

pavimentos, sendo que o primeiro nível abriga apenas garagem e escada de acesso ao pavimento superior. Portanto, este foi desconsiderado no quantitativo.

A edificação possui três quartos, sendo dois deles suítes, quatro banheiros (três banheiros mais um “WC”, termo usualmente utilizado para banheiro de serviço), copa cozinha, sala (estar e jantar) e pequenos terraços descobertos.

Tabela 0.1 – Especificações da habitação.

Local da construção	São Gonçalo, Rio de Janeiro, Brasil
Tipologia	Casa residencial
Área útil	120,30m <sup>2</sup>
nº de quartos	3
nº de pisos	1
Sistema construtivo	Estrutura em concreto armado, lajes (de piso e teto) pilares e vigas moldadas no local, fechamento vertical em alvenaria não estrutural (tijolo cerâmico furado e argamassa de rejunte).
nº de componentes da família	3*
Temperatura média anual (°C)	Min 18-23/ Max 26-31**
Precipitação chuvas anual (mm)	41-185**

Fonte: Autora, 2013.

\*Fonte: Censo Demográfico, 2010.

\*\*Dados do clima - Fonte: Climatempo, 2012 (médias climatológicas calculadas em 30 anos).



Figura 0.2 – Planta do pavimento superior da casa.

Fonte: Condeixa, 2010.

Quanto ao sistema construtivo, a edificação foi feita de forma tradicional: com estrutura em concreto armado, laje treliçada (de piso e de teto), pilares e vigas moldadas no local, com fechamento vertical em alvenaria não estrutural (tijolo cerâmico furado e argamassa de rejunte). O tijolo cerâmico utilizado na construção estudada foi de dimensões 9x19x29, com oito furos.



Figura 0.3 – Tijolo cerâmico de 8 furos – dimensão 9x19x29cm,

Fonte: Cerâmica Kato, 2013.

As aplicações de argamassa de rejunte, de reboco, chapisco e emboço foram feitas manualmente, conforme ilustrado na Figur 4.4 e na Figura 4.5.



Figura 0.4 – Aplicação de argamassa de rejunte.

Fonte: CBCA, 2013



Figura 0.5 – Aplicação manual de chapisco

Fonte: Lanxess, 2013

As lajes treliçadas são usuais em pequenas construções no Brasil. São compostas de vigotas de concreto armado, material de enchimento (neste caso, o tijolo) e uma cobertura de concreto feita no local.



Figura 0.6 – Laje treliçada.

Fonte: Condeixa, 2010.

A Figura 4.7 ilustra a laje (ainda escorada), vigas e pilar de concreto, o fechamento em tijolo cerâmico furado e conduítes para instalações.



Figura 0.7 – Estrutura e fechamentos.

Fonte: Condeixa, 2010.

Depois de construída a laje de teto as paredes de tijolo cerâmico foram rasgadas, foram colocados os conduítes flexíveis para instalações elétricas e especiais e a tubulação rígida (hidráulica e de esgoto), foram emassadas e receberam o chapisco e posteriormente, receberam o emboço e o reboco (Figura 4.8).



Figura 0.8 – Recortes nos tijolos para instalações.

Fonte: Condeixa, 2010.

O chapisco é uma argamassa de cimento e areia que facilita a aderência de revestimento. Este foi aplicado de forma manual, assim como o emboço e reboco que a casa recebeu interna e externamente. A Figura 4.9 ilustra as paredes externas

já acabadas. As paredes internas também receberam este tratamento antes de receber o acabamento final de pintura.



Figura 0.9 – Casa emboçada.

Fonte: Condeixa, 2010.

O estudo se baseou na análise de fluxos dos materiais e potenciais impactos ambientais, obtidos na construção com o sistema tradicional e na simulação da mesma construção utilizando fechamento vertical interno (paredes) no sistema *drywall*.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nas normas NBR14044 (ABNT, 2009), a edificação com paredes internas em alvenaria de vedação e simulação de paredes internas de *drywall* na mesma edificação foram estudadas sobre o contexto da metodologia de avaliação de ciclo de vida. A fronteira de estudo foi delimitada, os impactos foram identificados e através de inventário do ciclo de vida, os impactos foram avaliados.

Os resultados foram apresentados através de tabelas elucidativas sobre inventário do material utilizado na construção em alvenaria e material estimado para construção em sistema *drywall*, da estimativa de consumo mensal de energia na fase de uso, de avaliação de impactos ambientais. Fazendo uso de fluxogramas de processos, com gráficos de entradas e saídas dos processos (estes segundo modelo de COSTA, 2012).

Posteriormente foram apresentados os resultados obtidos no banco de dados EcoInvent para a quantificação de impactos gerados nas áreas de proteção de qualidade do ecossistema, de saúde humana e de recursos, em materiais semelhantes aos utilizados neste estudo.

Ainda que utilizado em um contexto diferente ao original, o uso do EcoInvent se justifica neste estudo pela confiabilidade transmitida por este banco de dados aos estudos de ACV. Estando apto, assim, a ser utilizado como uma ferramenta de comparação preliminar entre o ciclo de vida dos dois sistemas construtivos.

### 5.1 ACV DA CONSTRUÇÃO

Como visto na revisão de literatura (seção 2.8), metodologia de ACV é minuciosa e complexa e os sistemas de alvenaria e de *drywall* bem diferentes entre si e a abordagem desta metodologia no contexto da construção civil brasileira ainda

é bem tímida. Tais questões influenciaram na tomada de decisão acerca dos limites deste estudo quanto à escolha de fronteira e aos impactos analisados mais a fundo.

### **5.1.1 Fronteiras do Estudo**

Para este estudo, a metodologia de ACV foi usada apenas para exploração dos fluxos, processos e dos potenciais impactos em sistemas e subsistemas de todo o ciclo de vida da construção. Já para a avaliação de impactos, baseada em informações do banco de dados internacional EcoInvent, delimitou-se a fronteira a partir da extração de matérias-primas, passando pelo beneficiamento e produção de materiais primários.

Os resíduos da construção no Brasil são comumente abandonados em terrenos inapropriados. Porém, a PNRS (2010) e com os Planos Municipais e Estaduais de Resíduos Sólidos já descritos na seção 0, a indústria da construção está se mobilizando para encontrar soluções factíveis, como o uso de bancos de resíduos e de pequenas usinas de reciclagem.

Pensando nesta transição de comportamento na construção, foi feita a modelagem de forma habitual e de forma como deve ser feita num futuro próximo (reciclagem).

#### **5.1.1.1 Fronteiras Para alvenaria**

A elaboração dos fluxogramas de processos e das distâncias percorridas foi baseada em dados da seção 2.8.1..

Baseado em dados de Magalhães (2010), foi estimada uma distância de 50 km percorrida entre a extração da areia no rio Caceribu, no município de Itaboraí, RJ até o canteiro.

Para o cimento e a cal, foi estimada distância de 40 km entre cimenteira e o comércio atacadista e 10 km entre o comércio e o canteiro. Enquanto, baseado nos estudos descritos na Tabela 2.6, para o descarte de resíduos em aterro e em usina de reciclagem, foram estimadas distâncias de 30 km.

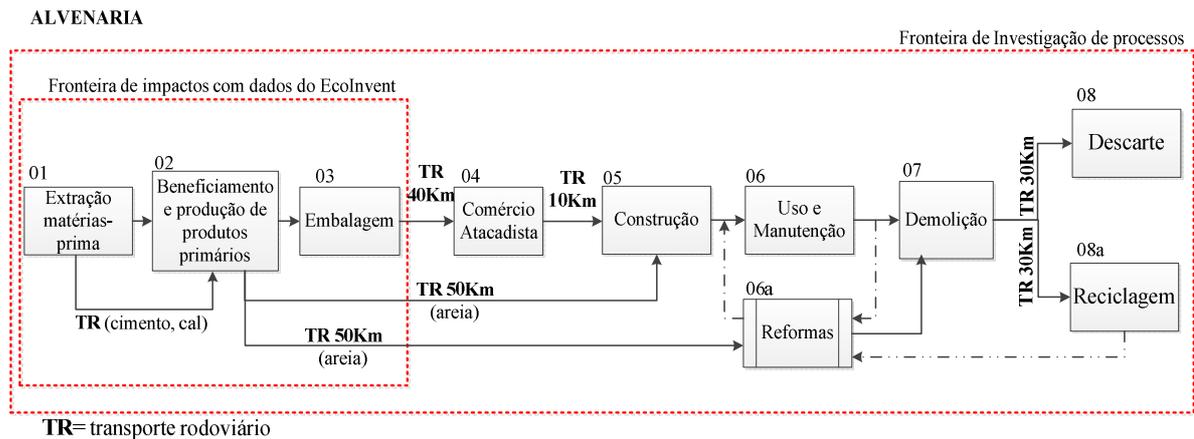


Figura 0.1 - Fronteiras do sistema construtivo de alvenaria.

Fonte: Autora, 2013.

### 5.1.1.2 Fronteiras para *drywall*

Para a produ o das chapas de gesso acartonado no Brasil, as empresas fazem uso do gesso puro. Conforme elucidado na se o 2.8.2.1.1, 90% do gesso utilizado no Brasil é proveniente do polo gesseiro de Araripina. Portanto este estudo considerou o transporte do gesso do polo de Araripe para a fábrica de placas de gesso acartonado, na região Sudeste em 2220 km de distância.

Já os aditivos e o papel cartão são importados, chegam por transporte marítimo no porto de Santos, em São Paulo e seguem por transporte rodoviário para as fábricas de gesso acartonado, na região Sudeste do país. Estimou-se a distância de 460 km entre o porto e a fábrica e de 80 km entre a fábrica e o canteiro.

Para as placas de gesso acartonado e para o material da estrutura em aço galvanizado, o descarte de resíduos em aterro e em usina de reciclagem, foram estimadas distâncias de 30 km.

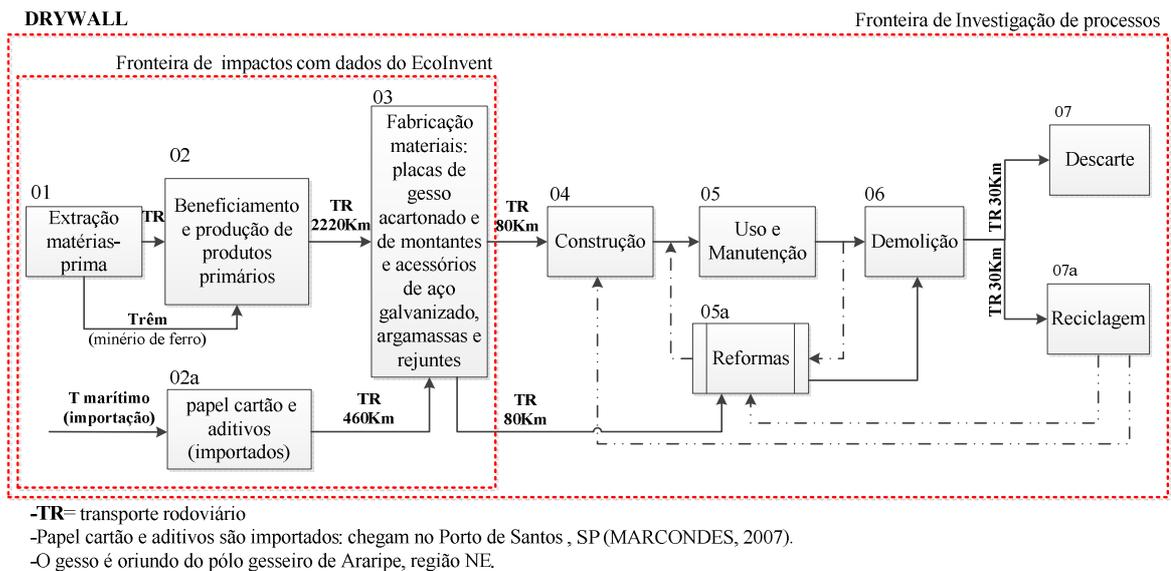


Figura 0.2 - Fronteiras do sistema construtivo de drywall.

Fonte: Autora, 2013.

### 5.1.2 Impactos identificados

Os impactos foram identificados de forma geral, em todo o ciclo de vida da edificação (do berço ao túmulo) foi feito estudo de entradas e saídas de cada processo no cenário de construção em alvenaria e de construção em *drywall*.

Mesmo sendo o Brasil um país que se utiliza de grande quantidade de energia renovável em sua matriz energética, e não tendo obrigação diante as questões acordadas no protocolo de Quioto, seria imprudente não considerar as emissões de GEE, visto que a indústria da construção é uma das grandes responsáveis por estes impactos (vide seções 2.6.1.2 e 2.6.1.3).

Assim como, mesmo o Brasil possuindo abundantes fontes de recursos naturais, ainda hoje muitas das empresas que executam extração destes recursos, o fazem de forma descontrolada, gerando sérios impactos ambientais (vide seção 0). Uma forma de reduzir esta extração desmedida é a reutilização e a reciclagem dos resíduos produzidos na construção civil.

O contexto brasileiro de elevada de grande produção de resíduos e despejos destes em lugares inapropriados (em especial da construção) e de corrida à adequação aos requisitos da nova política Nacional de Resíduos Sólidos motivou a

escolha do impacto adotado para análise quantitativa e a modelagem computacional (vide seção 2.6.1.5).

Portanto, os impactos analisados quantitativamente foram emissão de GEE e geração de resíduos.

### **5.1.3 Inventário de ciclo de vida**

Para este inventário de ciclo de vida definiu-se a unidade funcional de 120,30m<sup>2</sup> (pavimento superior da edificação) por 20 anos de vida útil da edificação em alvenaria e 20 anos para o sistema *drywall*.

A vida útil estimada se baseou nos prazos mínimos indicados pela norma de desempenho brasileira (ABNT NBR 15.575) e que vem sendo adotado em pesquisas brasileiras. A dificuldade ao acesso a dados precisos da cadeia produtiva, o IACV foi elaborado apenas de forma explorativa, modelando fluxos e processos.

#### **5.1.3.1 Construção em Alvenaria**

Para elaborar o levantamento da área de paredes, foi estabelecida uma nomenclatura específica para cada parede, conforme a Figura 5.3. O cálculo das áreas de paredes em alvenaria foram m<sup>2</sup> para o levantamento de insumos utilizados e posteriormente em kg para utilização do banco de dados do Ecolnvent para e apresentados na seção 0. As áreas dos vãos (esquadrias) foram deduzidas da área total.

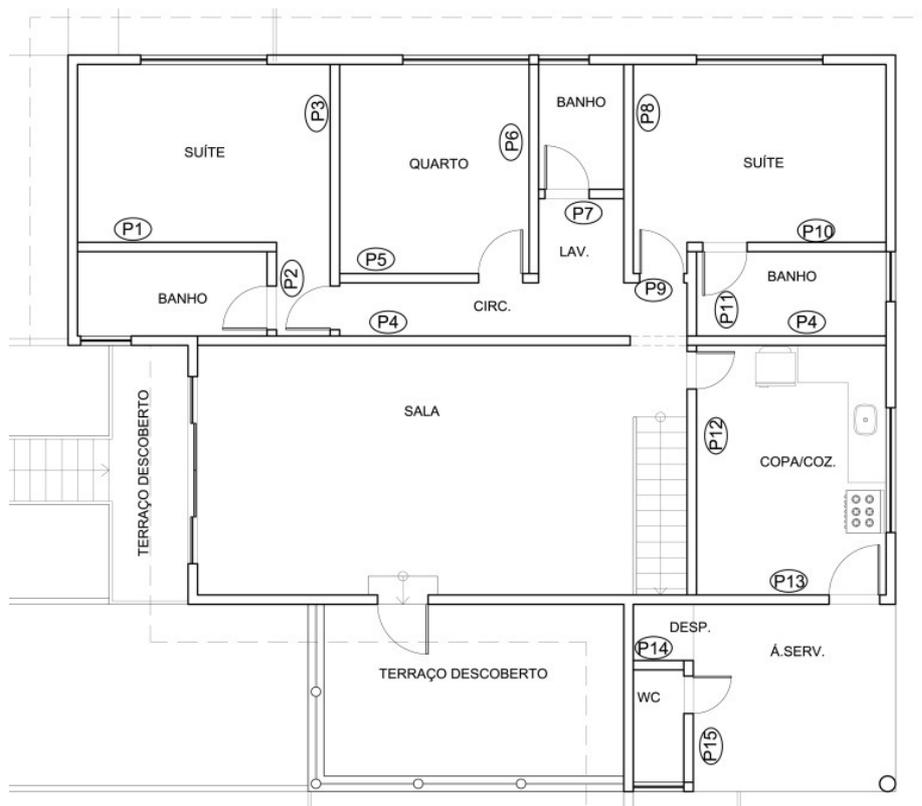


Figura 0.3 – Planta de construção com paredes em alvenaria.

Fonte: Autora, 2013.

A partir da área total de paredes foram calculadas as quantidades de tijolos cerâmicos e de argamassas para rejunte, para chapisco, para emboço e reboco. Estas argamassas são preparadas no local, portanto os insumos específicos para cada argamassa também foi calculado.

Tabela 0.1 – Área de alvenaria.

Planilha de Levantamentos discriminados						
Paredes em Alvenaria						
Especificação: tijolos de cerâmica furados: 9x19x29cm						
Áreas de paredes:						
Parede	Cômodo	Dimensões (m)		Áreas de Esquadrias e		Área Total (m <sup>2</sup> )
		C	H	Portas	Vãos	
P1	Suíte/Banheiro	3,15	2,70	0	0	8,51
P2	Suíte/Banheiro	1,35	2,70	1,47	0	2,18
P3	Suíte/Quarto	3,42	2,70	0	0	9,23
	Suíte/Circulação	1,03	2,70	1,47	0	1,31
P4	Sala/Banheiro	1,18	2,70	0	0	3,19
	Sala/Suíte	1,00	2,70	0	0	2,70
	Sala/Circulação	5,65	2,70	0	1,93	13,33
	Banheiro/Cozinha	3,08	2,70	0	0	8,32
P5	Quarto/Circulação	3,15	2,70	1,47	0	7,04
P6	Quarto/Banheiro	2,08	2,70	0	0	5,62
	Quarto/Lavat.	1,27	2,70	0	0	3,43
P7	Banheiro/Lavat.	1,35	2,70	0	0	3,65
P8	Suíte/Banheiro	2,08	2,70	0	0	5,62
	Suíte/Lavat.	1,27	2,70	0	0	3,43
P9	Suíte/Circulação	1,00	2,70	1,47	0	1,23
P10	Suíte/Banheiro	3,15	2,70	1,47	0	7,04
P11	Suíte/Banheiro	0,43	2,70	0	0	1,16
	Circulação/Banheiro	0,92	2,70	0	0	2,48
P12	Sala/Cozinha	4,00	2,70	1,26	0	9,54
P13	Sala/Dispensa	1,08	2,70	0	0	2,92
	Cozinha/área serv.	3,08	2,70	1,68	0	6,64
P14	Dispensa/WC	0,80	2,70	0	0	2,16
P15	Área serv./WC	1,95	2,70	1,26	0	4,01
Área total de paredes (m <sup>2</sup> ):						114,69
Cálculos baseados na Empresa de Obras Públicas do Estado do Rio de Janeiro - EMOP e em experiências da autora com trabalhos executados para grandes construtoras em construções no Estado do Rio de Janeiro						

Fonte: Autora, 2013.

Estimando 16 tijolos por m<sup>2</sup>, encontrou-se um total de 1.835 tijolos.

Tabela 0.2 – Cálculo de tijolos.

<b>Quantidade de tijolo:</b>	
Qt. de Tijolos/m <sup>2</sup> = 1 / ( 0,205 x 0,305) =	
16 tijolos/m <sup>2</sup>	
<b>1835</b>	<b>tijolos</b>

Fonte: Autora, 2013

A quantidade de Argamassa para o rejunte por Tijolo = 0,10 x (0,09cm+0,19cm)x 0,015cm sendo este último correspondente a um rejunte de 1,5cm =0,00042 m<sup>3</sup>/ por tijolo. Portanto:

Tabela 0.3 – Argamassa para rejunte.

<b>Argamassa para rejunte</b>			
<b>0,00042m³ de argamassa por m²</b>			
0,00042 m³ x n° tijolos = <b>0,77m³</b>			
<b>Assentar tijolo</b>			
<b>traço</b>		<b>01:02:08</b>	
<b>(cimento:cal:areia grossa lavada)</b>			
Material	Volume	peso específico (Kg/m³)	Quantidades (Kg)
cimento	0,07m³	1200	84,08
cal	0,14m³	1700	238,22
areia grossa	0,56m³	1700	952,88

Fonte: Autora, 2013.

O chapisco é composto de cimento e areia no traço 1:3 e foi executado em uma camada de cinco milímetros.

Tabela 0.4 – Chapisco.

<b>Chapisco de 5mm</b>			
<b>(área de paredex2facesx0,005)</b>			
Chapisco (m³)			1,15
Traço: 1:3 (cimento: areia)			
Material	Volume	peso específico (Kg/m³)	Quantidades (Kg)
cimento	0,38 m³	1200	458,76
areia	0,86 m³	1700	1462,28

Fonte: Autora, 2013.

O emboço foi aplicado em todos os cômodos, com espessura de 20 mm, com traço de 1:2:9.

Tabela 0.5 – Cálculo de materiais de emboço.

<b>Emboço 20mm</b>			
Emboço (m³)			2,29
Traço: 1:2:9 (cimento: cal: areia média)			
Material	Volume	peso específico (Kg/m³)	Quantidades (Kg)
cimento	0,19 m³	1200	229,38
cal	0,38 m³	1700	649,90
areia	1,72 m³	1500	2580,50

Fonte: Autora, 2013.

O reboco foi aplicado com uma espessura de 15 mm nos cômodos em que levam pintura (que não levam revestimento cerâmico).

Tabela 0.6 - Cálculo de materiais de reboco.

<b>Reboco 15 mm</b>			
Reboco (m³)			0,75
Traço: 1:4 (cimento: areia fina)			
Material	Volume	peso específico (Kg/m³)	Quantidades (Kg)
cimento	0,15 m³	1700	255,80
areia	0,60 m³	1400	842,65

Fonte: Autora, 2013.

O somatório do material utilizado está representado na Tabela 0.7.

Tabela 0.7- Consumo total de material.

<b>Materiais</b>	<b>Consumo</b>	
Tijolo cerâmica furado (9x19x29cm)	5689	Kg
Cimento	772,21	Kg
Cal	2185,69	Kg
Areia fina	842,65	Kg
Areia média	2580,50	Kg
Areia grossa	952,88	Kg
1 un. de tijolo pesa 3,10Kg/peça.		

Fonte: Autora, 2013.

O tempo estimado de serviço foi de 20 dias com um funcionário. E o transporte é basicamente todo rodoviário.

### 5.1.3.2 Construção em Drywall

Para o sistema de *drywall*, paredes semelhantes foram agrupadas e os insumos necessários foram calculados por estimativas de consumos (materiais/m²).

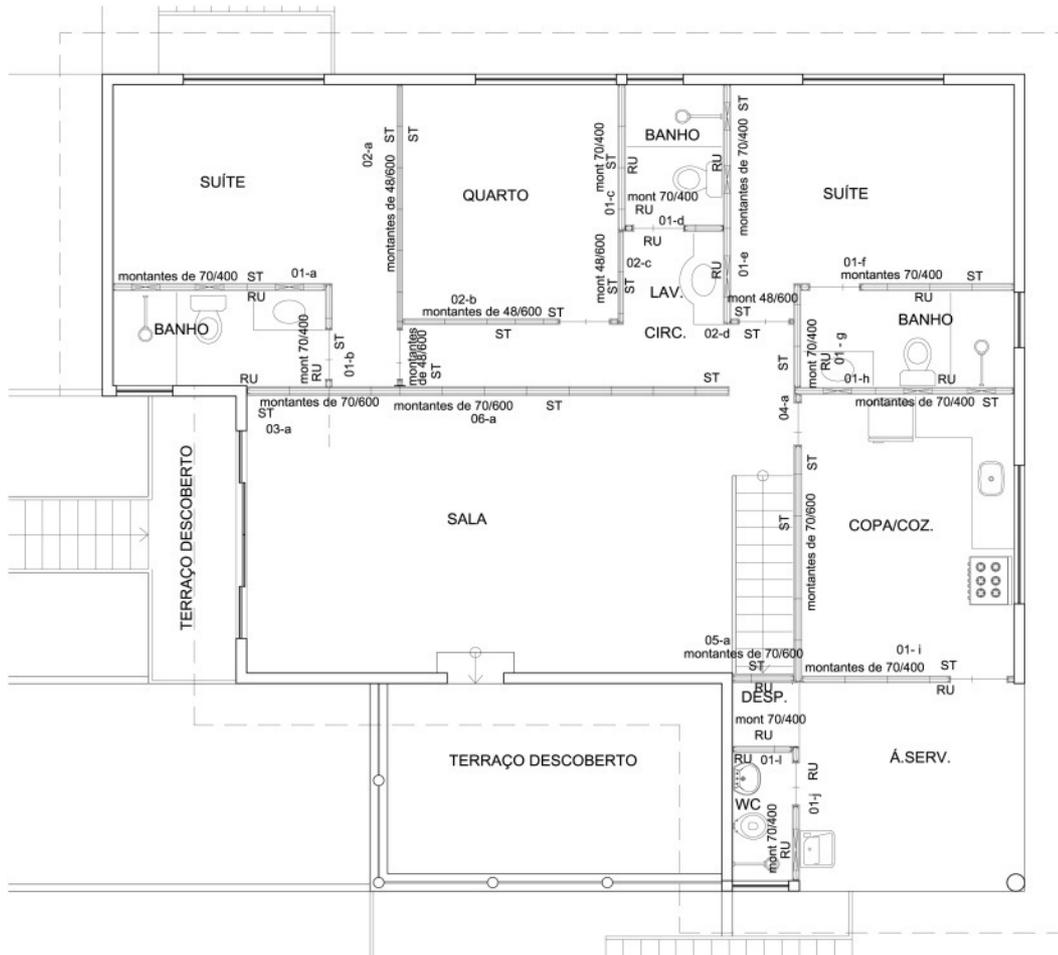


Figura 0.4 - Planta de construção com paredes em *drywall*.

Fonte: Autora, 2013.

As placas de gesso acartonado utilizadas para cada ambiente foram adotadas de acordo com as normas específicas e com as recomendações dos fabricantes: placas Standard-ST- simples ou duplas em ambientes que não tem contato direto com umidade e placas Resistentes a Umidade – RU- em áreas molhadas (nestas áreas se utiliza splacas *Standard* – ST-internamente e RU na camada externa).

Foram adotadas daredes de duas camadas em locais de grande circulação e produção de ruídos. A largura dos montantes foi escolhida de acordo com a necessidade das paredes, assim como os reforços (que são necessários reforços para apoiar louças e bancadas).

A proteção de isolamento acústico pretendida de 55 dB (recomendado na Norma NBR 10151(ABNT, 2000) - Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas), visando o conforto para residências localizadas em áreas mistas, com

predominância residencial. Para tal adotou-se a utilização de lã mineral em todas as paredes.

A Tabela 5.8 relata classificação adotada para as paredes, o tipo e dimensão de placa adotada de acordo com o cômodo (se em área úmida ou seca), os tipos de montante utilizados, as espessuras da lã mineral (PG), localiza onde há necessidade de reforço para fixação de esquadrias, de louças ou bancadas e indica as áreas úteis em cada cômodo.

Tabela 0.8 - Planilha de Levantamentos discriminados

Paredes em Drywall												
Cálculos baseados na ABNT NBR 15.758-1: 2009 04/09/09 Sistemas construtivos em chapas de gesso para drywall - Projeto e procedimentos executivos para montagem. Parte 1: Requisitos para sistemas usados como paredes.												
Parede	Tipo de parede	Cômodo	Tipo de placa	Montante			PG (mm)	Reforço	Dimensões (m)			Área (m <sup>2</sup> )
				tipo	largura (mm)	intervalos (mm)			C	H	Vãos	
1-a	3	Banheiro	RU	simples	70	400	75	x	3,02	2,7	0	8,14
		Suíte	ST	simples	70	400	75					
1-b	3	Banheiro	RU	simples	70	400	75	x	1,50	2,7	1,47	2,58
		Suíte	ST	simples	70	400	75					
1-c	3	Banheiro	RU	simples	70	400	75		2,11	2,7	0	5,70
		Quarto	ST	simples	70	400	75					
1-d	4	Lavatório	RU	simples	70	400	75	x	1,45	2,7	1,47	2,45
		Banheiro	RU	simples	70	400	75					
1-e	3	Suíte	ST	simples	70	400	75	x	3,47	2,7	0	9,36
		Lavat - Banheiro	RU	simples	70	400	75					
1-f	3	Suíte	ST	simples	70	400	75	x	3,05	2,7	1,47	6,75
		Banheiro	RU	simples	70	400	75					
1-g	3	Banheiro	RU	simples	70	400	75		1,49	2,5	0	3,71
		Circ.-Suíte	ST	simples	70	400	75					
1-h	4	Banheiro	RU	simples	70	400	75	x	3,12	2,7	0	8,41
		Cozinha	RU	simples	70	400	75					
1-i	4	Área Serv.	RU	simples	70	400	75	x	3,02	2,7	1,68	6,46
		Cozinha	RU	simples	70	400	75					
1-j	4	Área Serv.	RU	simples	70	400	75	x	1,95	2,7	1,26	4,01
		WC	RU	simples	70	400	75					
1-l	4	WC	RU	simples	70	400	75		0,86	2,7	0	2,32
		Ár.Serv.	RU	simples	70	400	75					
2-a	11	Quarto	ST	simples	48	600	50	x	4,36	2,7	1,47	10,30
		Suíte	ST	simples	48	600	50					
2-b	11	Circulação	ST	simples	48	600	50	x	3,06	2,7	1,47	6,79
		Quarto	ST	simples	48	600	50					
2-c	11	Lavatório	ST	simples	48	600	50		1,35	2,7	0	3,65
		Quarto	ST	simples	48	600	50					
2-d	11	Circulação	ST	simples	48	600	50	x	0,90	2,7	1,26	1,17
		Suíte	ST	simples	48	600	50					
3-a	7	Sala	ST	dupla	70	400	75		1,17	2,7	0	3,16
		Banheiro	RU	dupla	70	400	75					
4-a	7	Cozinha	RU	simples	70	400	75	x	4,15	2,7	1,26	9,95
		Sala	ST	dupla	70	400	75					
5-a	7	Sala	ST	dupla	70	400	75		0,87	2,7	0	2,35
		Despensa	RU	dupla	70	400	75					
6-a	5	Sala	ST	dupla	70	600	75	x	5,60	2,7	1,93	13,19
		Circulação	ST	dupla	70	600	75					
PG = lâ de vidro												
STD= standard												
Tipo de placa dupla, quando RU: 1ST (superfície interna à parede) + 1RU (superfície externa, resistente à umidade)												

Fonte: Autora, 2013.

Tabela 0.9 – Área por tipo de parede.

Tipo de parede	Área (m <sup>2</sup> )
3	36,24
4	22,42
5	12,07
7	15,22
11	21,91

Fonte: Autora, 2013.

Os insumos necessários para a construção de paredes internas de *drywall* são necessárias placas de gesso acartonado standard de 12,5cm, placas de gesso acartonado resistentes à umidade de 12,5cm, fitas para juntas, fitas para reforço de cantos, massa de rejunte, montantes e guias de aço, parafusos para *drywall* e lã mineral (lã de vidro).

Tabela 0.10 – Estimativas de materiais – paredes tipo 3

3	PAREDE 3			ÁREA	
	95/70/400			36,24 m <sup>2</sup>	
ST12,5+RU12,5/ 75mm					
MATERIAIS	UN.	CONS. POR m <sup>2</sup>	QUANT. ESTIMADA		
PLACA ST12,5 (1200 x 2400) mm	m <sup>2</sup>	1,05	38,05		
PLACA RU12,5 (1200 x 2400) mm	m <sup>2</sup>	1,05	38,05		
FITA	m	2,80	101,46		
MASSA	kg	0,94	34,06		
MONTANTE M70	m	3,40	123,21		
GUIA R70	m	0,90	32,61		
PARAFUSO TTPC 25	pç	30	1.087		
PARAFUSO TRPF 13	pç	2	72		
LÃ MINERAL 75mm	m <sup>2</sup>	1,00	36,24		
FITA ACÚSTICA 70mm	m	0,90	32,61		

Fonte: Autora, 2013

Tabela 0.11 - Estimativas de materiais – paredes tipo 4

4	PAREDE 4			ÁREA	
	95/70/400			23,64 m <sup>2</sup>	
RU12,5+RU12,5/75mm					
MATERIAIS	UN.	CONS. POR m <sup>2</sup>	QUANT. ESTIMADA		
PLACA RU12,5 (1200 x 2400) mm	m <sup>2</sup>	2,10	49,65		
FITA	m	2,80	66,20		
MASSA	kg	0,94	22,22		
MONTANTE M70	m	3,40	80,39		
GUIA R70	m	0,90	21,28		
PARAFUSO TTPC 25	pç	30	709		
PARAFUSO TRPF 13	pç	2	47		
LA MINERAL 75mm	m <sup>2</sup>	1,00	23,64		
FITA ACÚSTICA 70mm	m	0,90	21,28		

Fonte: Autora, 2013

Tabela 0.12 - Estimativas de materiais – paredes tipo 5

		<b>PAREDE 5</b>			
		<b>120/70/600</b>		<b>15,45 m<sup>2</sup></b>	
		<b>2ST12,5+2ST12,5/ 75mm</b>			
<b>MATERIAIS</b>	<b>UN.</b>	<b>CONS. POR m<sup>2</sup></b>	<b>QUANT. ESTIMADA</b>		
PLACA ST12,5 (1200 x 2400) mm	m <sup>2</sup>	4,20	64,90		
FITA	m	2,80	43,27		
MASSA	kg	0,94	14,53		
MONTANTE M70	m	2,50	38,63		
GUIA R70	m	0,90	13,91		
PARAFUSO TTPC 45	pç	22	340		
PARAFUSO TTPC 25	pç	6	93		
PARAFUSO TRPF 13	pç	2	31		
LÃ MINERAL 75mm	m <sup>2</sup>	1,00	15,45		
FITA ACÚSTICA 70mm	m	0,90	13,91		

Fonte: Autora, 2013

Tabela 0.13 - Estimativas de materiais – paredes tipo 7

		<b>PAREDE 7</b>		<b>ÁREA</b>	
		<b>120/70/400</b>		<b>15,45 m<sup>2</sup></b>	
		<b>2ST12,5 + ST12,5/RU12,5/75mm</b>			
<b>MATERIAIS</b>	<b>UN.</b>	<b>CONS. POR m<sup>2</sup></b>	<b>QUANT. ESTIMADA</b>		
PLACA ST12,5 (1200 x 2400) mm	m <sup>2</sup>	3,15	48,68		
PLACA RU12,5 (1200 x 2400) mm	m <sup>2</sup>	1,05	16,23		
FITA	m	2,80	43,27		
MASSA	kg	0,94	14,53		
MONTANTE M70	m	3,40	52,54		
GUIA R70	m	0,90	13,91		
PARAFUSO TTPC 45	pç	30	464		
PARAFUSO TTPC 25	pç	8	124		
PARAFUSO TRPF 13	pç	2	31		
LÃ MINERAL 75mm	m <sup>2</sup>	1,00	15,45		
FITA ACÚSTICA 70mm	m	0,90	13,91		

Fonte: Autora, 2013

Tabela 0.14 - Estimativas de materiais – paredes tipo 11

11	PAREDE 11			ÁREA	
	73/48/600			21,91 m <sup>2</sup>	
	ST12,5 + ST12,5 / 50mm				
MATERIAIS	UN.	CONS. POR m <sup>2</sup>	QUANT. ESTIMADA		
PLACA ST12,5 (1200 x 2400) mm	m <sup>2</sup>	2,10	46,01		
FITA	m	2,80	61,35		
MASSA	kg	0,94	20,59		
MONTANTE M48	m	2,50	54,77		
GUIA R48	m	0,90	19,72		
PARAFUSO TTPC 25	pç	22	482		
PARAFUSO TRPF 13	pç	2	44		
LÃ MINERAL 50mm	m <sup>2</sup>	1,00	21,91		
FITA ACÚSTICA 48mm	m	0,90	19,72		

Fonte: Autora, 2013

O somatório total dos insumos utilizados está descritos na Tabela 5.15. A saber, os insumos são: placas padrão (ST), placas resistentes à umidade (RU), fitas para vedação, massa (a base de gesso) aço para a estrutura, parafusos e lâ mineral.

Tabela 0.15 – Estimativa do consumo de materiais para paredes de *drywall*.

MATERIAIS		CONS. POR m <sup>2</sup>	QUANT. ESTIMADA	UN.	PESO Kg/m	PESO TOTAL Kg	
PLACAS	PLACA ST12,5 (1200 x 2400) mm	1,05	197,64	m <sup>2</sup>	8,35	1650,27	2939,701
	PLACA RUBR12,5 (1200 x 2400) mm	1,05	149,93	m <sup>2</sup>	8,6	1289,43	
FITAS	FITA	2,8	315,55	m	-	-	
	FITA ACUSTICA 70mm	0,9	315,55	m	-	-	
MASSA	MASSA	0,94	105,93	kg	0,94	105,93	105,93
AÇO	MONTANTE M70	3,4	294,76	m	0,594	175,09	243,84
	MONTANTE M48	2,5	54,77	m	0,508	27,82	
	GUIA R48	0,9	19,72	m	0,401	7,91	
	GUIA R70	0,9	67,80	m	0,487	33,02	
PARAFUSOS	PARAFUSO TTPC 25	30	2494,74	pç	-	-	
	PARAFUSO TRPF 13	2	225,39	pç	-	-	
	PARAFUSO TTPC 45	22	803,56	pç	-	-	
LÃ MINERAL*	LÃ MINERAL 75mm	1	112,70	m <sup>2</sup>	20	1690,43	1690,43
			84,52	m <sup>3</sup>	Kg/m <sup>3</sup>		

\*Density Typical density: 16 - 24 kg/m3.

Fonte: Autora, 2013.

O tempo estimado para a execução do trabalho foi de seis dias, com a mão de obra de um funcionário.

### 5.1.3.3 Uso e Manutenção

A Tabela 5.17 expõe o levantamento de consumo mensal de energia, baseado no simulador da Light com dados de estimativa de equipamentos para uma casa de classe média com três pessoas, numa habitação de três quartos.

Esta tabela indica o consumo básico, desconsiderando carregadores de aparelhos eletrônicos (como de celular, tablet, câmeras fotográficas), outros que podem variar conforme hábitos pessoais dos moradores (impressora, sanduicheira, torradeira, outros computadores) e outros de manutenção da casa (o cortador de grama foi desconsiderado, visto que a construção se encontra dentro de condomínio). E teve como resultado um consumo mensal de 440,40kW/mês.

Todos os equipamentos funcionam com energia elétrica, com exceção do uso de gás para cozimento de alimentos. O uso de gás para aquecimento de água é comum em edificações unifamiliares, porém não é usual se utilizar em habitações unifamiliares. Em especial na cidade de São Gonçalo, que possui temperatura média anual acima 20º, clima quente, que não justifica grande investimento de instalação para uso de gás em aquecimento de (vide Tabela 4.1).

Tabela 0.16 - Consumo doméstico por residência por fonte

Consumo doméstico de energia na residência.		
	Gás natural (%)	Eletricidade (%)
Ar condicionado		100
Aquecimento de água		100
Cozimento de alimento	90	10
Iluminação		100
Eletrodomésticos		100

Fonte: Autora, 2013

Tabela 0.17- Consumo médio de energia estimado para a residência.

Aparelhos Elétricos	Quant.	Potência Média (Watts)	Tempo Médio de Utilização por Dia	Dias de Uso no Mês	Consumo Médio (kWh/mês)
Aparelho de som	1	20	3h	5	0,30
Ar condicionado 7.500 BTU	2	1000	8h	15	240,00
Computador	2	80	4h	30	19,20
Cafeteira elétrica	1	600	10min	30	3,00
Chuveiro elétrico	3 pessoas	3500	10min	30	52,50
Ferro elétrico	1	1000	1h	4	4,00
Forno microondas	1	1200	10min	30	6,00
Geladeira 1 porta	1	200	-	-	45,00
Aspirador de pó	1	10	30min	4	0,02
Lâmpada fluorescente 11W	4	11	8h	30	10,36
Lâmpada fluorescente 15W	2	15	2h	30	1,80
Lavadora de roupas	1	500	1h	12	6,00
Secador de cabelo pequeno	1	600	15min	20	3,00
TV-Cor – 29 pol.	1	110	5 h	30	16,50
Home Theater	1	350	2 h	8	5,60
Circulador de ar	1	90	8h	30	21,60
Bomba d'água 1/2 CV	1	368	30min	30	5,52
<b>Total (kWh/mês)</b>					<b>440,40</b>

Fonte: autora, com auxílio da ferramenta Simulador de Consumo da Companhia Light, 2012.

Portanto, há predominância do uso de energia elétrica. Em especial, com o uso de ar condicionado para climatização, que eleva bastante no consumo de energia na etapa de operação da edificação.

#### 5.1.3.4 Demolição e Descarte

Para o desmantelamento da edificação considerou-se a demolição mecânica, com escavadeiras a diesel e transporte de caminhão para o aterro e para a usina de reciclagem. Baseado nos estudos apresentados na Tabela 2.6, as distâncias estimadas para demolição e descarte foram de 30 km, percorridas por caminhões.

Os resíduos da construção de paredes em arenaria são classificados, conforme a resolução nº302 do CONAMA (2002, atualizada), como:

a) Agregados, aglomerantes e tijolos: classe A – Reciclável como agregado.

Os resíduos da construção de paredes em *drywall* são classificados, segundo a resolução nº302 do CONAMA (2002, e atualizações), como:

a) Guias e montantes de aço e parafusos: classe A – Reciclável produzindo aço;

b) Gesso acartonado: classe B – Reciclável;

c) Lã de vidro (lã mineral), Restos de massa e fitas: classe C – Não reciclável.

Os resíduos de aço dos perfis de *drywall* são encaminhados para a reciclagem enquanto os resíduos de chapas de gesso acartonado vão para o aterro.

#### **5.1.4 Avaliação de impactos ambientais**

Os impactos ambientais produzidos por materiais de construção não variaram muito em categorização. De forma que a quantificação cuidadosa, num espaço de tempo mais extenso se faz importante. A norma NBR ISO 14044 (ABNT, 2009) exige um prazo mínimo de um ano de medições para que a avaliação dos impactos possa ser considerada realmente válida.

##### **5.1.4.1 Alvenaria**

As saídas da construção com este tipo de vedação podem tornar-se impactos potenciais através de emissões de particulados e gases para o ambiente e produção de resíduos não recicláveis, resíduos não biodegradáveis e não recicláveis lançados no meio-ambiente e efluentes líquidos.

A Tabela 5.18 elucida os efeitos possíveis das categorias de ponto médio e de ponto final para o sistema construtivo de alvenaria.

Tabela 0.18 - Efeitos possíveis das categorias de ponto médio e de ponto final.

	Categoria ponto médio	Categoria ponto final
Emissões de particulados, gases para o ambiente, resíduos não recicláveis.	Toxicidade humana e ecotoxicidade	Doenças respiratórias, degradação de ecossistemas com possível desaparecimento de espécies.
Resíduos não biodegradáveis e não recicláveis lançados no meio-ambiente.	Toxicidade humana e ecotoxicidade	Doenças respiratórias, degradação de ecossistemas.
Efluentes líquidos	Contaminação de solo, rios e lençóis fre	Degradação de ecossistemas, doenças por parasitas, redução do volume de água doce.

Fonte: autora, 2013.

#### 5.1.4.2 Drywall

Assim como na construção em alvenaria, as saídas da construção com vedação em *drywall* podem tornar-se impactos potenciais através de emissões de particulados e gases para o ambiente e produção de resíduos não recicláveis, resíduos não biodegradáveis e não recicláveis lançados no meio-ambiente e efluentes líquidos. Porém, como descritos na seção 2.8.2.1, os resíduos particulados do gesso e da lã mineral são de alta periculosidade.

Tabela 0.19 - Efeitos possíveis das categorias de ponto médio e de ponto final.

	Categoria ponto médio	Categoria ponto final
Emissões de particulados, gases para o ambiente, resíduos não recicláveis.	Toxicidade humana e ecotoxicidade	Doenças respiratórias, degradação de ecossistemas com possível desaparecimento de espécies.
Resíduos não biodegradáveis e não recicláveis lançados no meio-ambiente.	Toxicidade humana e ecotoxicidade	Doenças respiratórias, degradação de ecossistemas com possível desaparecimento de espécies.
Efluentes líquidos	Contaminação de solo, rios e lençóis freáticos	Categoria ponto final: degradação de ecossistemas, doenças por parasitas, redução do volume de água doce.

Fonte: autora, 2013.

## 5.2 MODELAGEM DOS PROCESSOS

Os processos produtivos de alvenaria e *drywall* já apresentados na seção 2.8 desta dissertação encontram-se modelados dentro dos princípios da NBR ISO 14044

neste capítulo. Identificando, os fluxos de entradas e saídas dos processos em ambos os sistemas construtivos: alvenaria e *drywall* e representando-os graficamente, conforme a Figura 5.5.

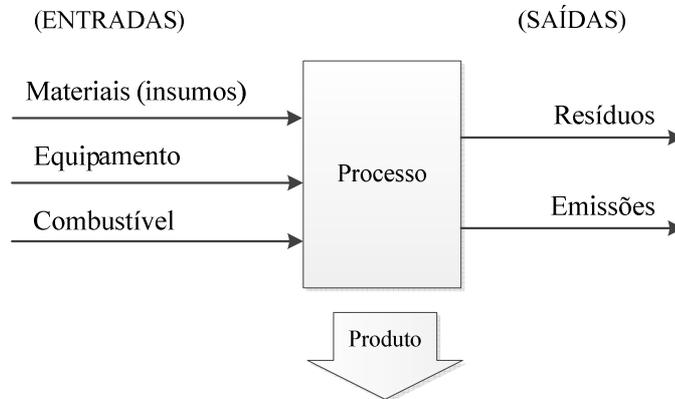


Figura 0.5 – Base gráfica para modelagem dos processos.

Fonte: Autora, 2013 (baseado em modelo de COSTA, 2012).

### 5.2.1 Alvenaria

Os insumos necessários para paredes em alvenaria são tijolo cerâmico, cimento e areia e processos relativos a estes insumos estão descritos na seção 2.8.1, com entradas e saídas de cada processo.

O processo produtivo da alvenaria divide-se em extração das matérias primas, beneficiamento e produção dos produtos primários, embalagem, depósito em armazéns de comércio atacadista, construção, uso e manutenção, reformas, demolição e descarte.

#### 5.2.1.1 Processos pré-construção

Os processos pré-construção são a extração de matérias-primas, beneficiamento, produção de materiais primários, embalagem e comércio.

##### a) Tijolo cerâmico

A Figura 5.6 apresenta o modelo início da cadeia produtiva do tijolo: a extração de seu principal insumo, a argila vermelha. A argila é retirada de jazidas com o uso de retroescavadeira e trator e é transportada por caminhão. Os equipamentos são movidos a diesel, conseqüentemente são produtores de GEE.

## 01- EXTRAÇÃO

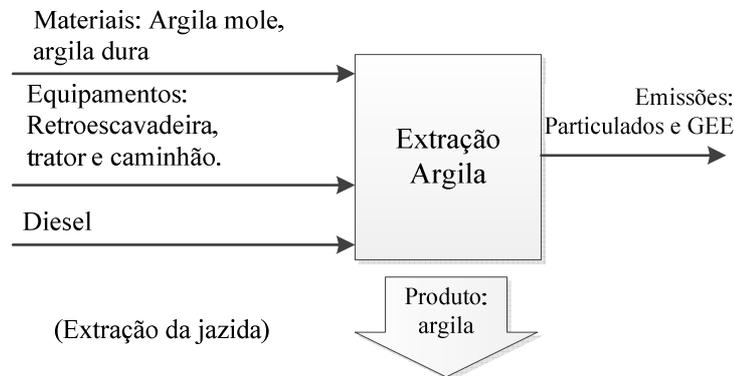


Figura 0.6 – Modelagem de extração de argila.

Fonte: Autora, 2013.

Deste ponto, o fluxo de material segue para o processo de Produção do tijolo. O tijolo é produzido, em maioria, em olarias de pequeno porte, sem padrão de qualidade, com grande quantidade de perdas.

A modelagem apresentada na Figura 5.7 identifica entradas e saídas na produção do tijolo cerâmico, que é composto dos processos: preparação da massa, molde das peças, secagem e queima.

Os processos de preparação, molde e secagem requisitam forno contínuo, esteira automática, maromba (para molde), laminador (para corte), carimbo, caldeira e exaustor, que consomem energia elétrica e diesel. Nesta fase há produção de GEE e o produto final é o tijolo cru, que segue para queima em forno a lenha. Esta segunda etapa da produção do tijolo gera a produção de cinzas (produzidas no forno) e tem como produto o tijolo cerâmico.

## 02- PRODUÇÃO DOS PRODUTOS PRIMÁRIOS

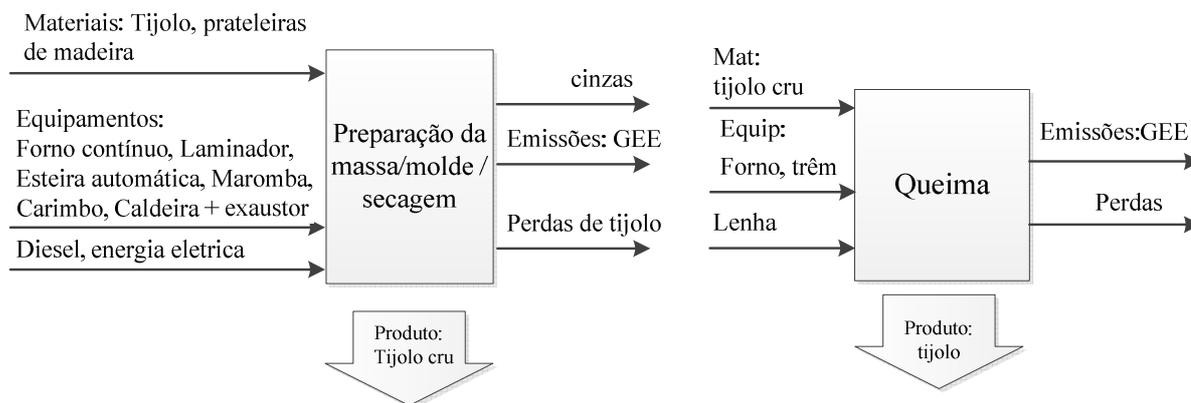


Figura 0.7 – Modelagem dos produtos primários.

Fonte: Autora, 2013.

Como visto na seção 2.8.1.1.1, a produção esta produção é tida como semi-artesanal, e possui grande quantidade de perdas. Isso se deve não apenas ao processo produtivo, mas também à falta de cuidado no transporte e no armazenamento das peças.

Apoiar as peças em paletes e amarra-las com fitas plásticas ou embrulha-las com plástico são medidas não usuais, mas que podem reduzir consideravelmente a taxa de perda por quebra em transporte. Resultando em um processo de produção mais sustentável.

A Figura 5.8 apresenta a modelagem para embalagem manual simples em filmes plásticos e paletes de madeira. Os paletes de madeira são reutilizados, não pode ser considerado como saída do processo.

## 03- EMBALAGEM

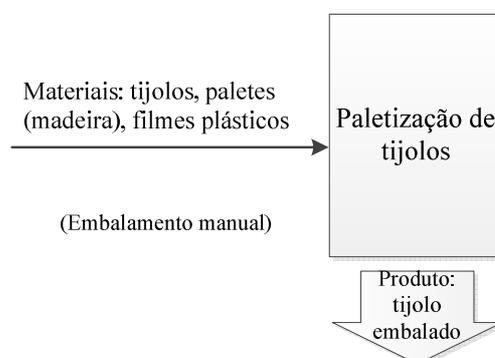


Figura 0.8 – Modelagem de embalagem de tijolo.

Fonte: Autora, 2013.

O processo seguinte é o transporte do tijolo por caminhão para o comércio atacadista (Figura 5.9). Em grandes construções, cujas construtoras fazem grandes encomendas, esta etapa não se justifica e o material segue da olaria para o canteiro.

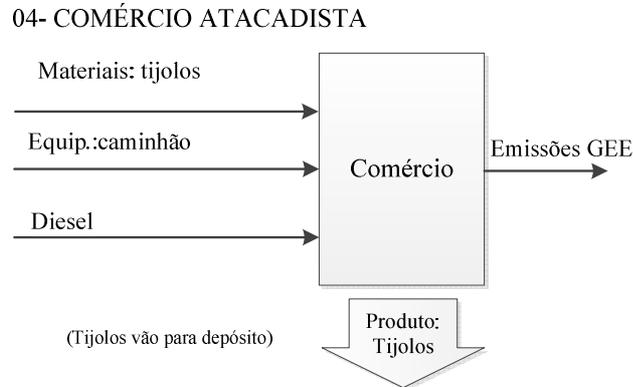


Figura 0.9 – Modelagem dos processos para o insumo tijolo.

Fonte: Autora, 2013.

Estudando os processos de extração e da produção do tijolo pode-se perceber que há larga extração de recurso natural não renovável (argila) e que a principal fonte de energia para as máquinas e para o transporte é o diesel, que é uma fonte não renovável e que gera muitas emissões de GEE, assim como a lenha utilizada nos fornos para a queima.

## b) Cimento

Os processos pré-construção do cimento são extração do calcário e da argila, britagem, mistura e moagem cru (preparação do clíquer), cozedura, moagem do cimento, embalagem e comércio.

O calcário é extraído através de perfuração e desmonte por explosivos a pedra. As matérias-primas são transportadas para a fábrica de cimento (Figura 5.10).

## CIMENTO

## 01- EXTRAÇÃO

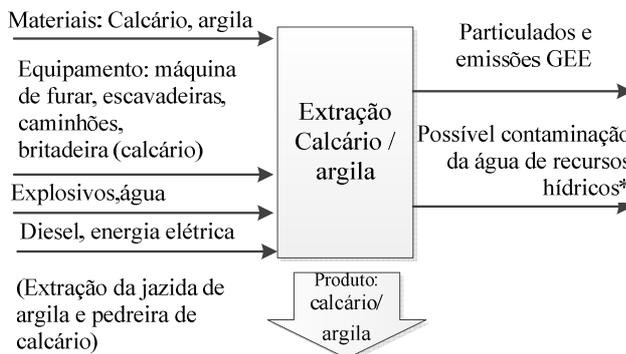


Figura 0.10 – Modelagem de extração de insumos para o cimento.

Fonte: Autora, 2013.

\* A grande movimentação de minério e estéril, devido ao assoreamento ou à suspensão de sólidos (MME, 2009).

Para a produção do cimento (Figura 5.11), utilizam-se equipamentos movidos à energia elétrica e de forno alimentado por madeira. Na tentativa de minimizar devastações de áreas verdes, algumas cimenteiras tem usado material residual (da indústria moveleira, por exemplo).

## 02- PRODUÇÃO DOS PRODUTOS PRIMÁRIOS

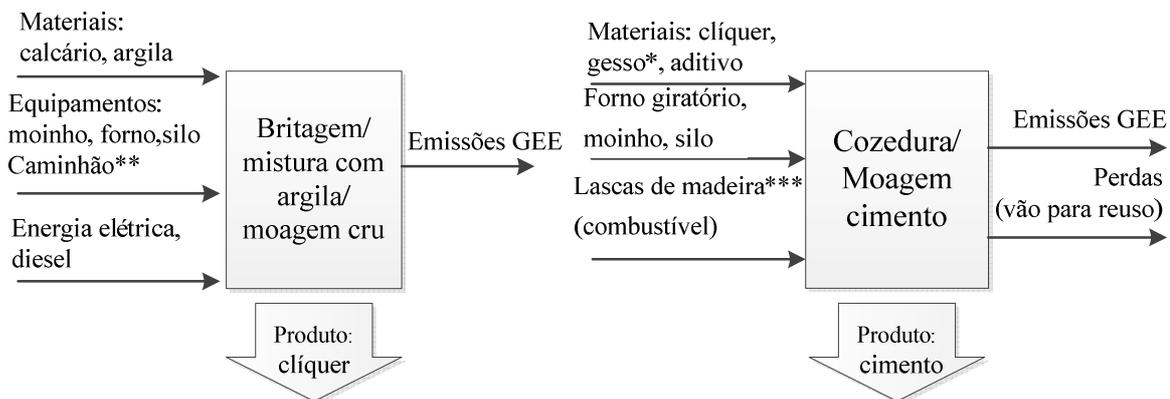


Figura 0.11 – Modelagem da produção do cimento.

Fonte: Autora, 2013.

\* gesso – reciclado / \*\*O material extraído segue por caminhão a loca de beneficiamento, porém, a distância percorrida não descrita na bibliografia. / Os aditivos dependem do tipo de tijolo / \*\*\* Lascas de madeira – material residual da indústria moveleira

A expedição de cimento, tanto a granel (são usados em grandes construções para minimizar custos) como ensacado, pode ser feita pelo transporte rodoviário, ferroviário e marítimo. Contudo, a maioria do comércio de cimento é feita pelo produto ensacado por transporte rodoviário e o estudo adotou desta forma.

A Figura 5.12 é sobre a modelagem da embalagem do cimento, com o cenário usual de ensacamento enquanto a Figura 5.13 modela os processos do comercio atacadista do cimento.

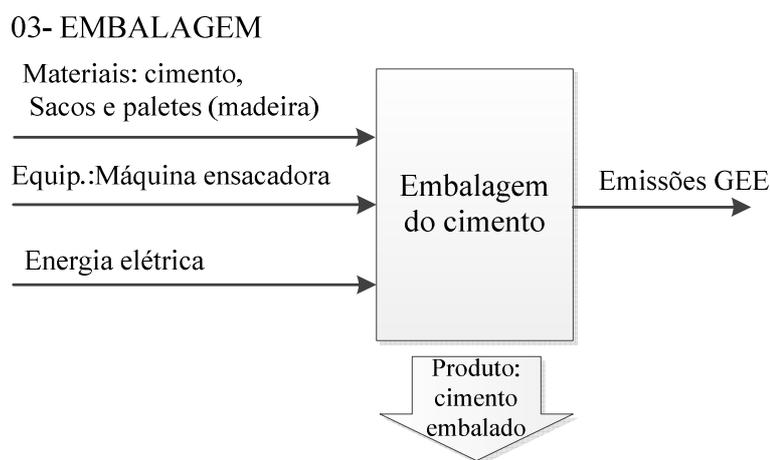


Figura 0.12 - modelagem da embalagem do cimento

Fonte: Autora, 2013.

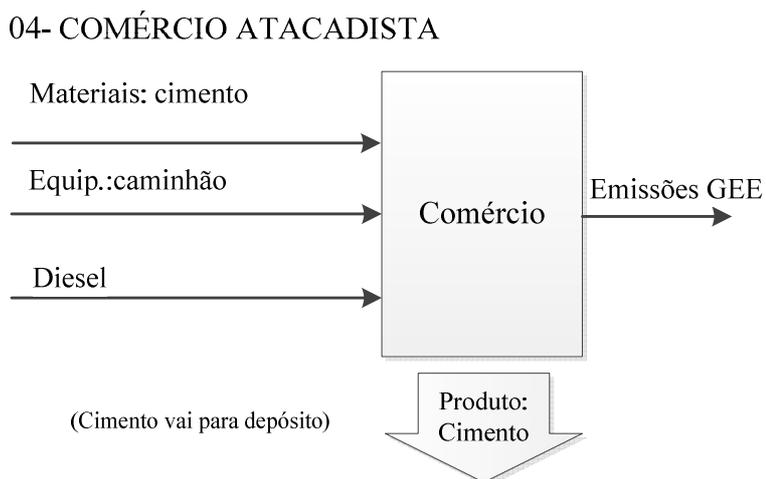


Figura 0.13 - Modelagem comércio atacadista do cimento.

Fonte: Autora, 2013.

A indústria cimenteira brasileira está em um nível de organização mais elevado do que as olarias. Com vista no grande consumo nacional deste material e dos impactos devastadores que esta indústria pode causar ao meio ambiente, a

mesma busca minimizar impactos reutilizando água da extração de calcário, instalando filtros nas chaminés dos fornos e inserindo aditivos e gesso reciclado em sua composição, como medidas de aumento da sustentabilidade.

### c) Areia

A Figura 5.14 e a Figura 5.15 mostram a modelagem para a areia. Observando os fluxos da areia para a construção, nota-se que esta é retirada do rio por bombas de sucção e beneficiada a céu aberto e posteriormente é transportada por caminhões para os canteiros. Pequena parte é transportada para depósitos de pequenas lojas de materiais de construção.

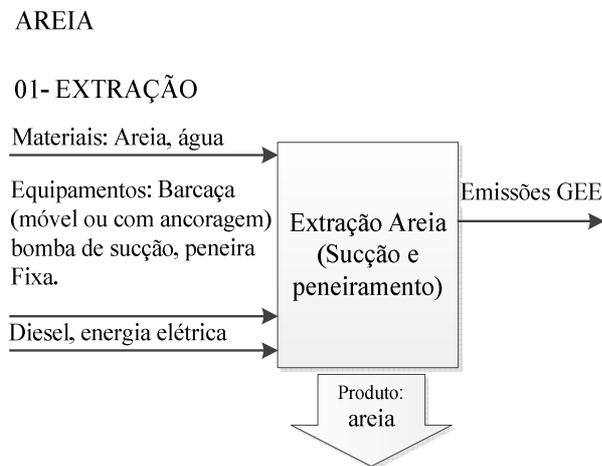


Figura 0.14 – Modelagem de extração de areia.

Fonte: Autora, 2013.

Para a extração e beneficiamento da areia são necessárias barcaça, bombas de sucção, peneira fixa, pás mecânicas, tratores e caminhões, que são equipamentos movidos a diesel e energia elétrica.

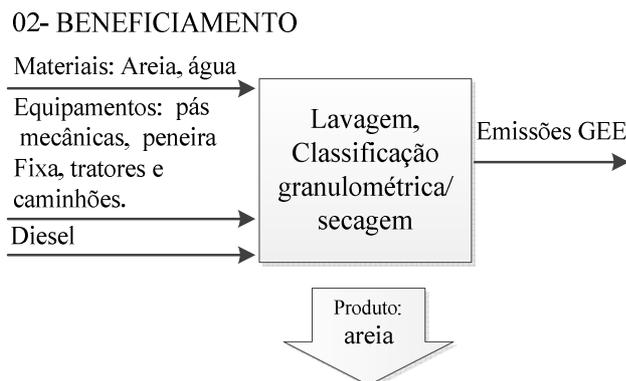


Figura 0.15 - Modelagem dos processos para o insumo areia.

Fonte: Autora, 2013.

Analisando as modelagens para a areia, percebe-se que é um processo relativamente simples, que costuma ser feita próximo aos canteiros no intuito de reduzir distâncias, minimizando a queima de combustíveis e a emissão de GEE.

#### d) Cal

A Figura 5.16 ilustra as entradas e saídas da extração de calcário e a Figura 5.17 ilustra as entradas e saídas para produção de cal hidratada que é utilizada em construção.

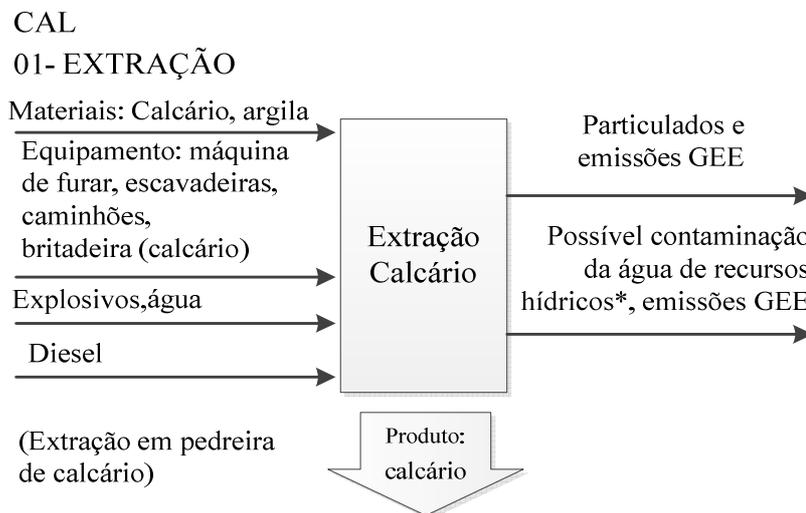


Figura 0.16 – Modelagem para extração de calcário.

Fonte: Autora, 2013.

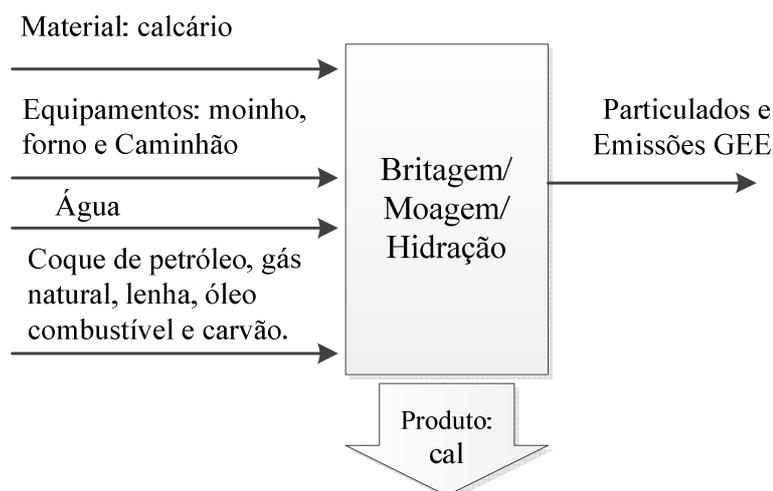


Figura 0.17 - Modelagem produção do cal hidratado.

Fonte: Autora, 2013.

Conforme apresentado na seção 2.8.1.1.4, a indústria produtora da cal é extremamente poluidor do ambiente, pela grande emissão de GEE produzidos na queima de combustíveis.

### 5.2.1.2 Construção

Para a construção foi feita a modelagem da execução das paredes com acabamento de chapisco, emboço, reboco e pintura.

#### 05- CONSTRUÇÃO

Materiais: tijolos, cimento, cal, areia (fina, grossa e média)

Água: preparação da argamassa

Equip.: caminhões

Diesel

Paredes em alvenaria

Resíduos: perdas de tijolos, cimento, cal, Areia, embalagens

Emissões: efluentes líquidos (limpeza), Particulados e GEE

Produto: Alvenaria

Processos da construção de paredes em alvenaria:

-Assentamento manual de tijolos cerâmicos com rejunte de argamassa de cimento, cal e areia grossa lavada (traço 1:2:8).

-Aplicação manual de Chapisco (cimento e cal, com traço 1:4).

-Aplicação manual de Emboço com cimento, cal e areia média (traço 1:2:9).

-Aplicação manual de Reboco com cal e areia fina (traço: 1:4)

Figura 0.18 - Modelagem dos processos da execução de paredes.

Fonte: Autora, 2013.

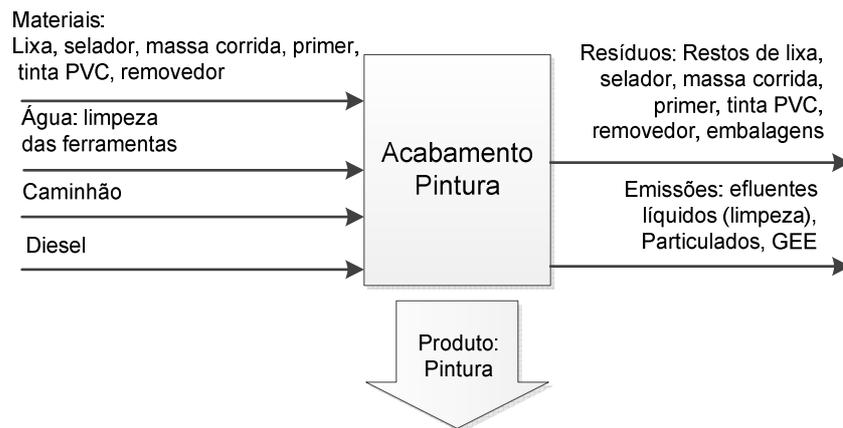


Figura 0.19- Modelagem da execução de pintura.

Fonte: Autora, 2013.

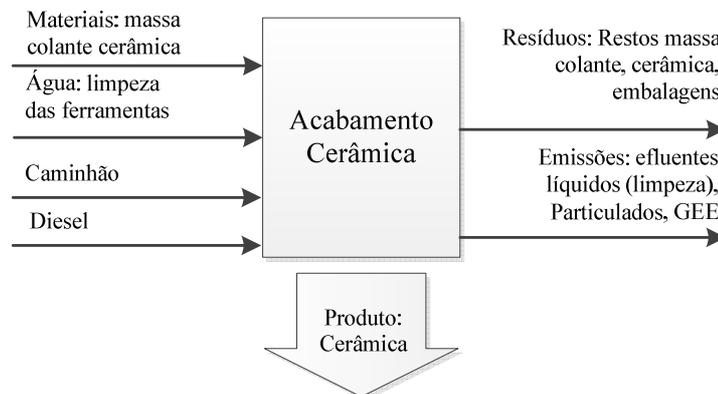


Figura 0.20- Modelagem da execução de pintura.

Fonte: Autora, 2013.

Estudando a Figura 5.18 e a Figura 5.19 pode-se observar que há grande geração de resíduos sólidos, líquidos e particulados. Nesta fase a geração de resíduos é bem mais significativa do que a emissões diretas de GEE.

### 5.2.1.3 Uso e Manutenção

Durante o uso e manutenção, eventualmente as paredes precisam ser reparadas por motivo de reformas estéticas (decoração) funcionais (modificação na planta para mudanças de uso e reparo de instalações) e manutenção (por infiltrações, problemas nas instalações).

Baseado na norma brasileira de desempenho, que dispõe do prazo 20 anos de vida útil de fechamento em alvenaria e de cinco anos de garantia para vedações

verticais, foi adotado que a edificação sofreria 4 reformas durante a vida útil do material (MATOZINHOS, 2012).

## 06- USO/MANUTENÇÃO

### 06a- REFORMA

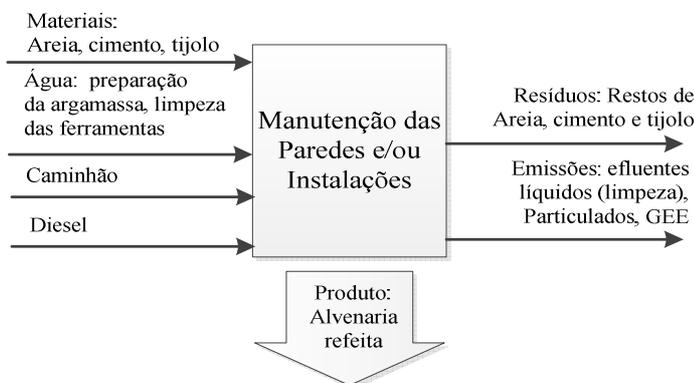


Figura 0.21 - Modelagem dos processos do uso, manutenção e reforma.

Fonte: Autora, 2013.

Com a análise das modelagens da Figura 5.21 e da Figura 5.22, pode-se observar que, assim como na fase da construção, a fase de manutenção é grande geradora de resíduos.

Um inventário detalhado deve considerar todas as questões da edificação, e na fase de uso, é de suma importância considerar o consumo energético para o funcionamento da edificação. A Tabela 5.16 ilustra o consumo médio estimado para esta habitação.

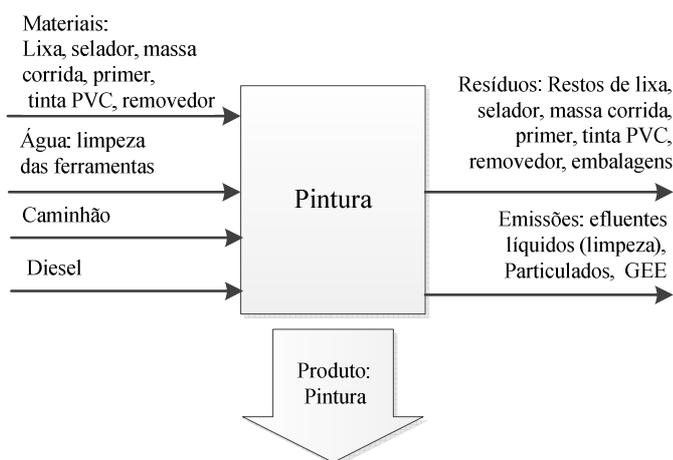


Figura 0.22 - Modelagem da Pintura.

Fonte: Autora, 2013.

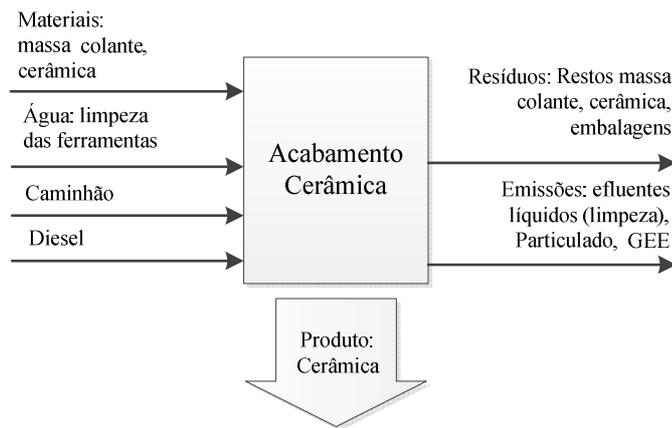


Figura 0.23 - Modelagem de Cerâmica.

Fonte: Autora, 2013.

A Figura 5.22 e a Figura 5.23 modelam os processos de acabamento com pintura e com cerâmica, respectivamente. A execução de acabamento gera sobras de materiais, as quais são reduzidas de acordo com o cuidado da modulação no projeto detalhamento de arquitetura.

#### 5.2.1.4 Demolição

A fase de demolição representa o fim da vida da edificação e é a fase que gera maior quantidade de resíduos. Observando a Figura 5.24, percebemos que além dos resíduos sólidos, há emissão de ruídos, de resíduos líquidos de resíduos particulados.

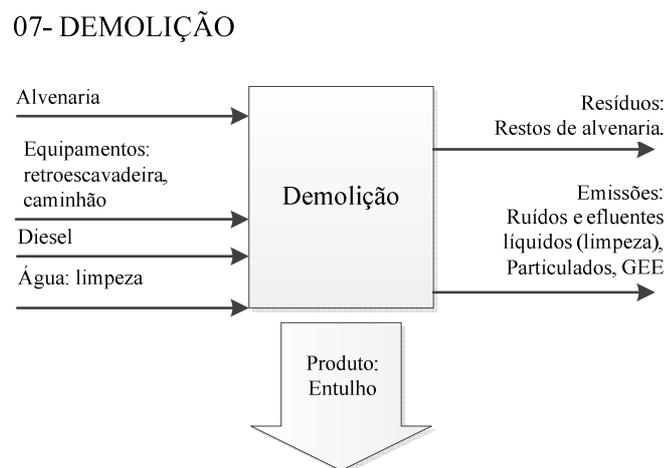


Figura 0.24 - Modelagem dos processos da demolição.

Fonte: Autora, 2013.

Nesta fase é importante a que haja um planejamento para a triagem do material demolido de forma que resíduos com alto potencial para reciclagem seja contaminado.

### 5.2.1.5 Descarte de material de demolição

As modelagens da Figura 5.25 e da Figura 5.26 evidenciam que este material pode ser todo reciclado e reutilizado como agregados, porém tem a desvantagem de ter grande consumo de energia elétrica e de produção de particulados e de GEE. Contudo, no intuito de diminuir estas emissões deve-se racionalizar as distâncias de transporte e ao mesmo tempo se distanciar o suficiente para não prejudicar a vizinhança com os ruídos.

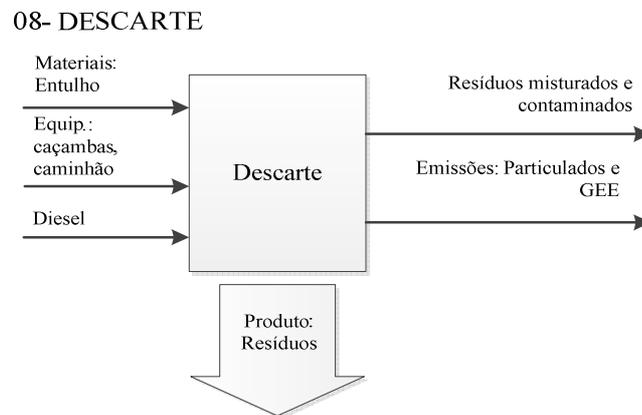


Figura 0.25 - - Modelagem dos processos de descarte em aterro.

Fonte: Autora, 2013.

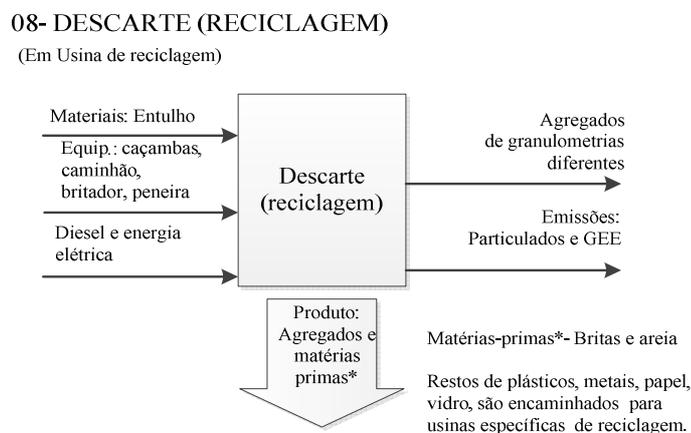


Figura 0.26 - Modelagem dos processos de descarte em usina de reciclagem.

Fonte: Autora, 2013.

## 5.2.2 Drywall

Os principais insumos necessários para paredes em *drywall* são placas de gesso acartonado, estrutura de aço galvanizado e lã mineral e processos relativos a estes insumos estão descritos na seção 2.8.2, com entradas e saídas de cada processo.

O processo produtivo da *drywall* divide-se em extração da gipsita (matéria prima do gesso) e do minério de aço, beneficiamento e produção dos produtos primários (gesso e aço galvanizado), importação de papel cartão e aditivos, produção das placas (ou chapas) de gesso acartonado, embalagem, depósito, construção, uso e manutenção, reformas, demolição e descarte.

### 5.2.2.1 Fases Pré-construção

Os processos pré-construção são a extração de matérias-primas, beneficiamento, produção de materiais primários, importação de materiais, embalagem e comércio.

#### a) Placas de gesso acartonado

A Figura 5.27 expõe a modelagem da extração da gipsita e Figura 5.28 detalha beneficiamento e produção do gesso.



Figura 0.27 – Modelagem de extração da gipsita.

Fonte: Autora, 2013.

## 02- BENEFICIMENTO E PRODUÇÃO DOS PRODUTOS PRIMÁRIOS

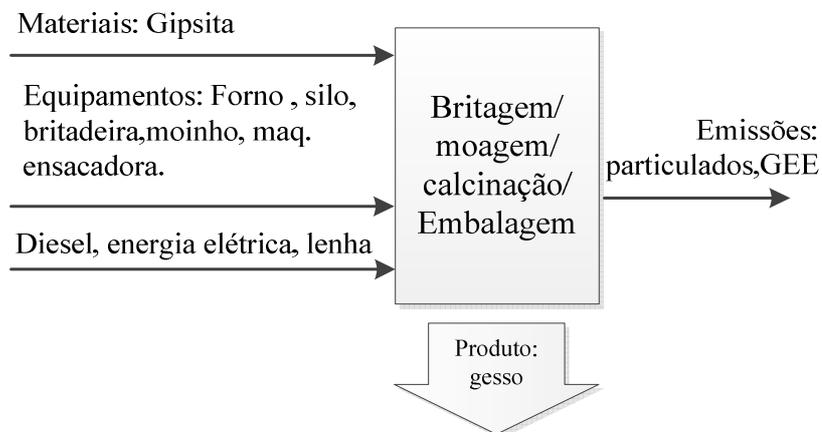


Figura 0.28– Modelagem do beneficiamento e produção do gesso.

Fonte: Autora, 2013.

Estudando a Figura 5.27 e a Figura 5.28, observa-se que estes processos são grandes geradores de GEE. A extração da gipsita agride o meio ambiente alterando a paisagem e contribuindo para o esgotamento dos recursos. Mesmo sendo este um material abundante na natureza, convém elaborar planejamentos a médio ou longo prazo, de reduzir a quantidade de extração de material virgem.

### 02a- IMPORTAÇÃO

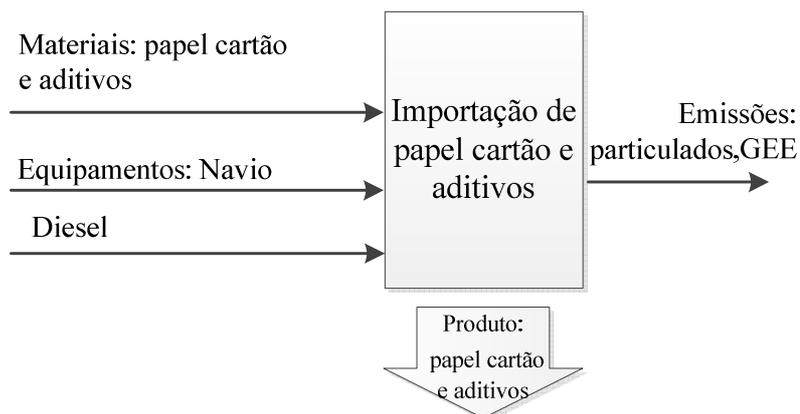


Figura 0.29 – Modelagem para importação de papel cartão e aditivos.

Fonte: Autora, 2013.

### 03- FABRICAÇÃO DE PLACAS DE GESSO ACARTONADO

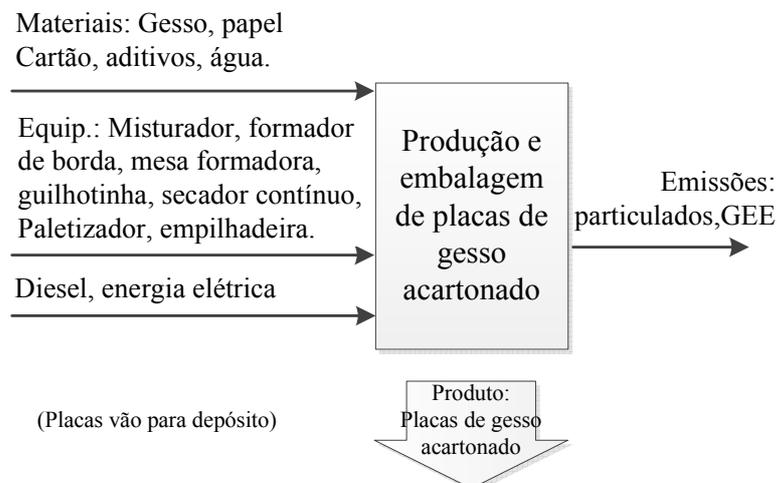


Figura 0.30 – Modelagem da fabricação de placas de gesso acartonado e aditivos.

Fonte: Autora, 2013.

Conforme ilustrado na Figura 2.47, as chapas são produzidas continuamente, paletizadas e armazenadas em depósitos.

Estudando a Figura 5.31 e a Figura 5.32, observamos que o impacto preocupante é a emissão de GEE.

### AÇO

#### 01- EXTRAÇÃO

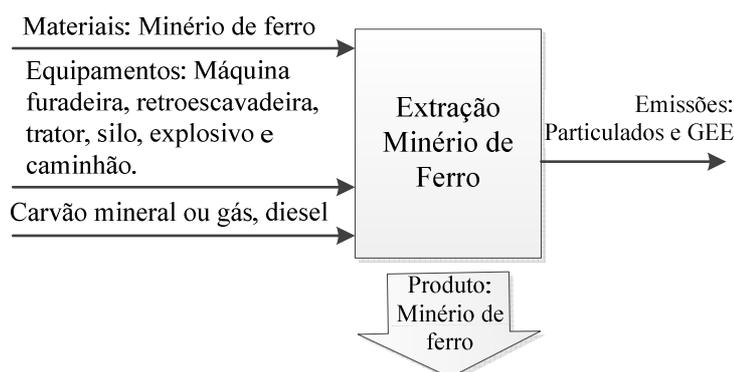


Figura 0.31 – Modelagem da extração de minério de ferro.

Fonte: Autora, 2013.

## 02- BENEFICIMENTO E PRODUÇÃO DOS PRODUTOS PRIMÁRIOS

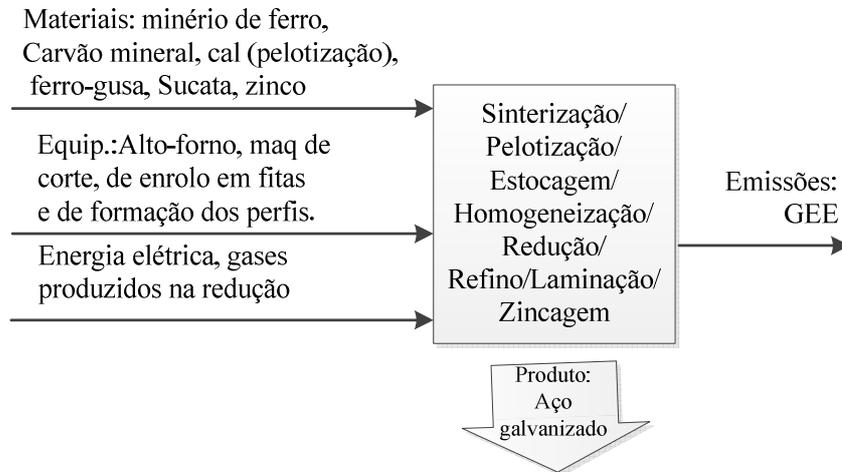


Figura 0.32 - Modelagem do beneficiamento e produção para o aço.

Fonte: Autora, 2013.

Para a estrutura de aço galvanizado, considerou-se que estes são oriundos de produção nacional, visto que as empresas siderúrgicas no Brasil atendem a maior parte da demanda nacional (conforme comentado na seção 2.8.2.1.2).

O aço é um material com grande potencial de reciclagem. Conforme discutido na seção 2.8.2.1.2, indústria siderúrgica nacional utiliza sucata como matéria-prima evitando o esgotamento de recursos e utilizando carvão mineral junto ao coque para redução em alto-forno como uma forma de reduzir emissões de GEE (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2012, p.21).

### 5.2.2.2 Construção

Os materiais chegam aos canteiros em caminhões. Foi estimada uma distância de 80 km entre as fábricas de placa de gesso acartonado e de materiais de aço para o canteiro de obras.

O processo de montagem que foi representado na seção 2.8.2 é relativamente rápido, com o uso de parafusadeira para fixar a estrutura e as placas na estrutura. Esta fase da construção em drywall gera poucos resíduos por ser um sistema modular, executado por profissionais especializados.

#### 04- CONSTRUÇÃO

Materiais: Placas de gesso acartonado, perfis e montantes de aço galvanizado, parafusos, fitas perfuradas de papel, lã mineral, fita acústica e massa

Equip.: Empilhadeira, parafusadeira e caminhão

Diesel e energia elétrica

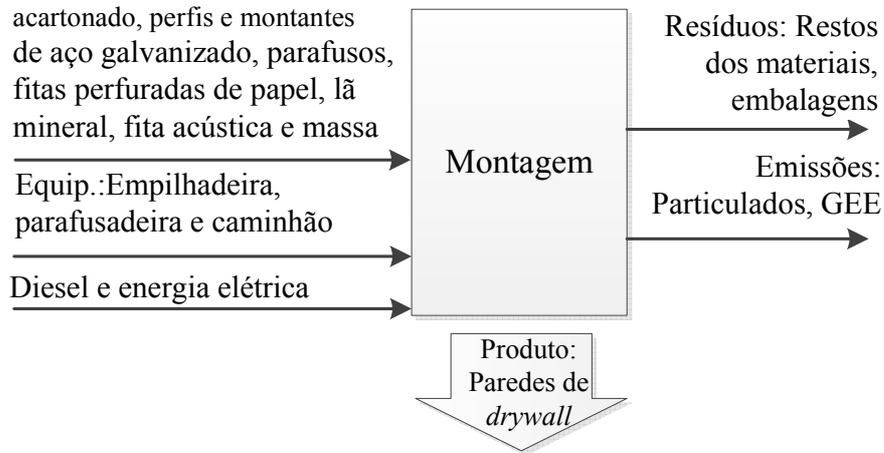


Figura 0.33 – Modelagem para a construção.

Fonte: Autora, 2013.

As saídas deste processo são pequenas sobras de materiais (placas de gesso acartonado, guias e montantes de aço, massa, fita lã mineral), particulados (poeira) e emissões de GEE produzidas pelo uso de energia elétrica e, principalmente, pela queima de combustível no transporte (diesel).

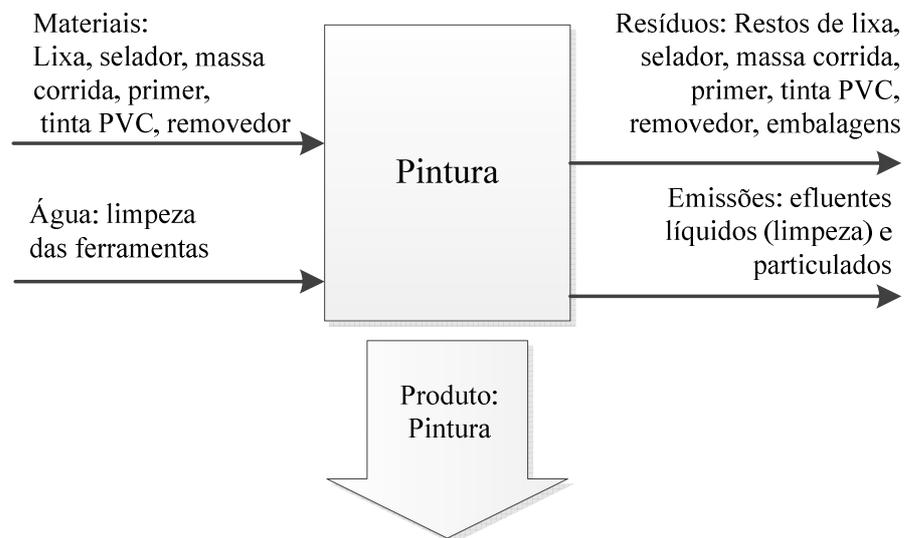


Figura 0.34 – Modelagem para pintura.

Fonte: Autora, 2013.

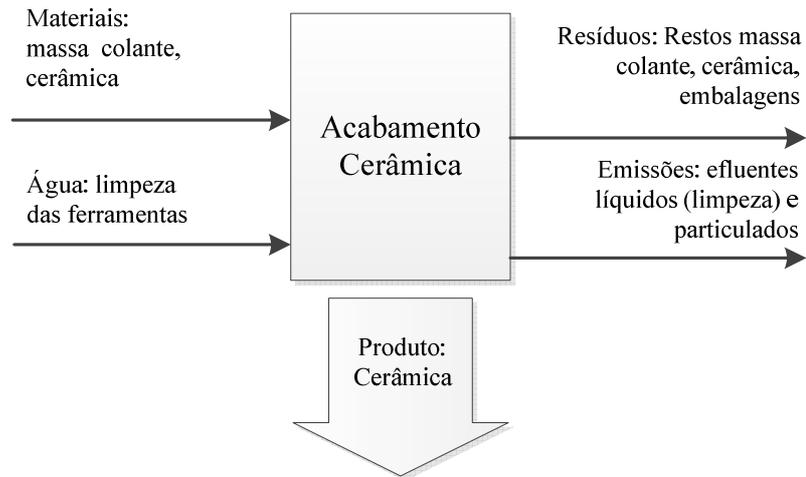


Figura 0.35– Modelagem para cerâmica.

Fonte: Autora, 2013.

A Figura 5.35 e a Figura 5.36 modelam os processos de acabamento com pintura e com cerâmica, respectivamente. A execução de acabamento gera sobras de materiais, as quais são reduzidas de acordo com o cuidado da modulação no projeto detalhamento de arquitetura.

### 5.2.2.3 Uso, Manutenção e Reformas

Para a fase de uso, assim como na construção, a manutenção deve ser executada por profissional habilitado para evitar o desperdício e garantir a funcionalidade do sistema. O desconhecimento sobre o sistema pode gerar perdas de materiais e danos ao sistema.

Baseado na norma brasileira de desempenho, que dispõe do prazo 20 anos de vida útil de divisórias leves e de 5 anos de garantia para vedações verticais, foi adotado que haveriam 5 reformas durante a vida útil do material (MATOZINHOS, 2012).

Um inventário detalhado deve considerar todas as questões da edificação, e na fase de uso, é de suma importância considerar o consumo energético para o funcionamento da edificação. A Tabela 5.16 ilustra o consumo médio estimado para esta habitação.

## 05- USO/MANUTENÇÃO

### 05a- REFORMA

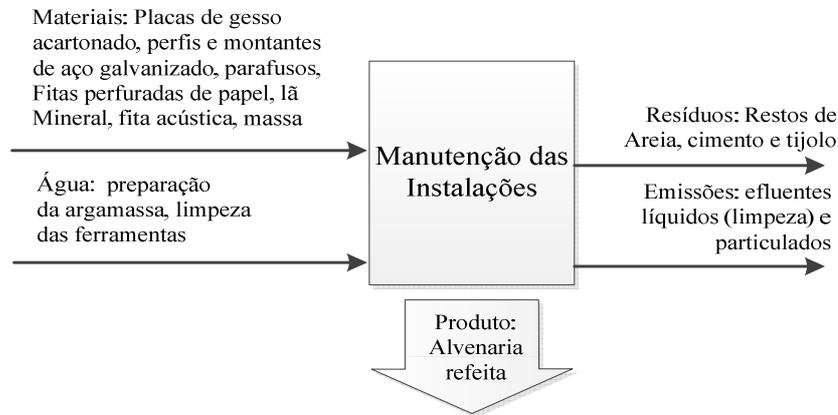


Figura 0.36 – Modelagem para manutenção, uso e reforma.

Fonte: Autora, 2013.

Estudando a Figura 5.36, as entradas e saídas são as mesmas da fase de construção, evidentemente em escala reduzida. Portanto, as saídas deste processo são pequenas sobras de materiais (placas de gesso acartonado, guias e montantes de aço, massa, fita lã mineral), particulados (poeira) e emissões de GEE produzidas pelo uso de energia elétrica e, principalmente, pela queima de combustível no transporte (diesel).

As saídas deste processo são pequenas sobras de materiais (placas de gesso acartonado, guias e montantes de aço, massa, fita lã mineral), particulados (poeira) e emissões de GEE produzidas pelo uso de energia elétrica e, principalmente, pela queima de combustível no transporte (diesel).

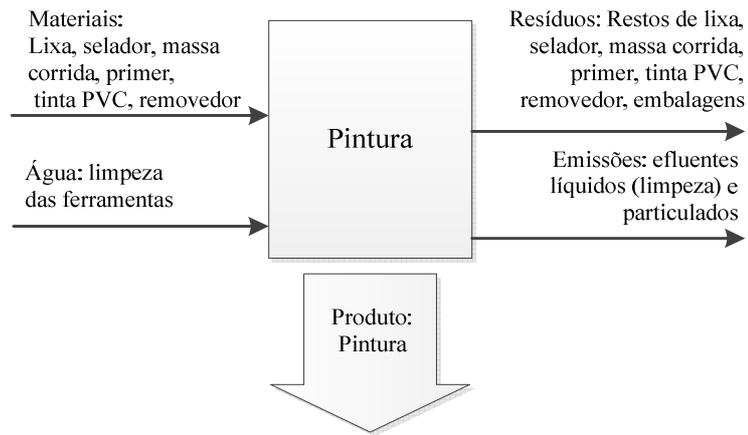


Figura 0.37– Modelagem para Pintura.

Fonte: Autora, 2013.

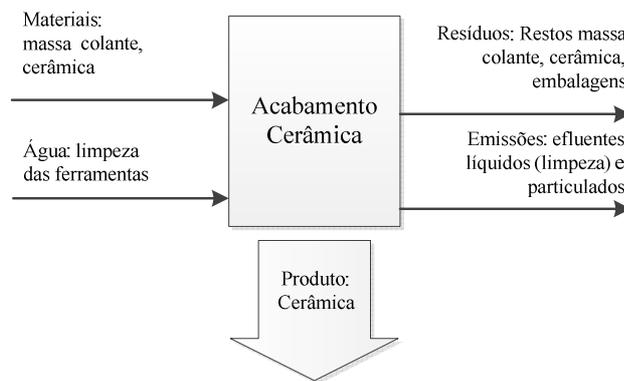


Figura 0.38- Modelagem para Cerâmica.

Fonte: Autora, 2013.

A Figura 5.37 e a Figura 5.38 modelam os processos de acabamento com pintura e com cerâmica, respectivamente. A execução de acabamento gera sobras de materiais, as quais são reduzidas de acordo com o cuidado da modulação no projeto detalhamento de arquitetura.

#### 5.2.2.4 Demolição

A fase de demolição representa o fim da vida da edificação e é a fase que gera maior quantidade de resíduos. Observando a Figura 5.39 pode-se perceber que além dos resíduos sólidos, há emissão de resíduos líquidos e de resíduos particulados.

Os resíduos da construção no Brasil são comumente abandonados em terrenos inapropriados. Porém, a PNRS (2010) e com os Planos Municipais e Estaduais de Resíduos Sólidos já descritos na seção 2.5, a indústria da construção está se mobilizando para encontrar soluções factíveis, como o uso de bancos de resíduos e de pequenas usinas de reciclagem.

Pensando nesta transição de comportamento na construção, foi feita a modelagem de forma habitual e de forma como deve ser feita num futuro próximo (reciclagem).

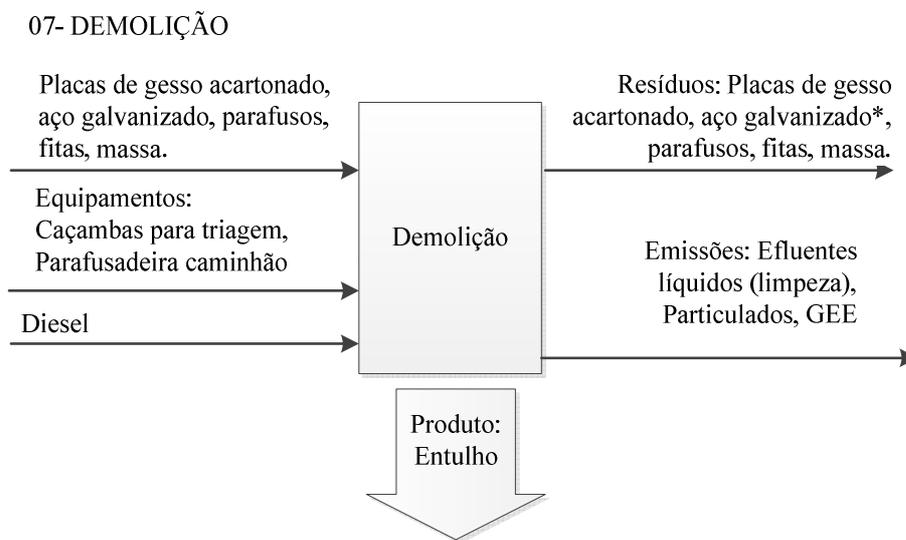


Figura 0.39 – Modelagem para demolição de *drywall*.

Fonte: Autora, 2013.

\* Os restos de aço (escória), são encaminhados para serem reciclados nas siderúrgicas.

Nesta fase é importante a que haja um planejamento para a triagem do material demolido. O gesso é um material contaminante (partículas tóxicas no ar), seus resíduos podem contaminar outros materiais e se depositado no solo pode contaminar o lençol freático e/ou reagir com o ar e liberar gases tóxicos (vide seção 2.8.2.1.1).

### 5.2.2.5 Descarte de material de demolição

A fase de demolição representa o fim da vida da edificação e é a fase que gera maior quantidade de resíduos. Observando a Figura 5.40, percebe-se que são produzidos resíduos sólidos, líquidos e particulados.

Na Figura 5.40, pode-se observar que o descarte de entulho em aterros gera emissões de particulados no ar e no solo (podendo contaminar o lenções freático e produzir gases tóxicos) e consome diesel (transporte) que gera emissões de GEE no ar. Já o aço é comumente reciclado, e reutilizado como matéria prima de produção de novos materiais.

#### 08- DESCARTE

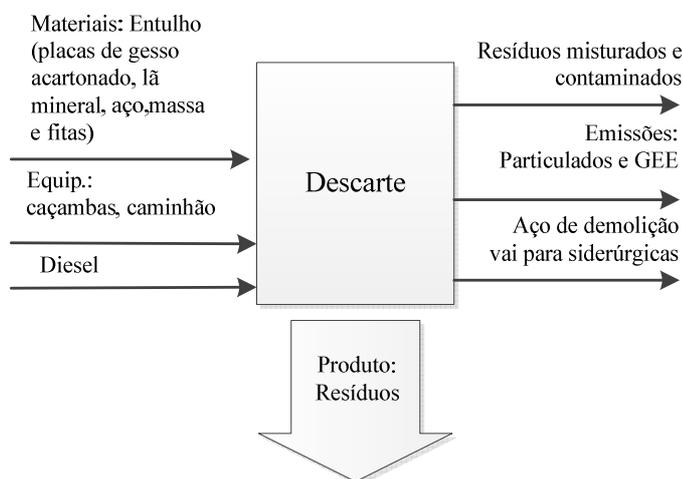


Figura 0.40 – Modelagem para descarte em aterro.

Fonte: Autora, 2013.

O cenário de reciclagem difere do contexto nacional pela reciclagem das placas de gesso acartonado. A modelagem no cenário com reciclagem foi baseada no caso descrito na seção 2.8.2, em que a empresa Knauf recicla placas de gesso acartonado com o uso de máquina própria, que tem tecnologia que propicia transformar o gesso em um “produto de gesso” que poder ser utilizado na produção de novas placas de gesso acartonado.

Os impactos nas saídas deste processo seriam particulados e emissões de GEE produzidas pelo consumo de energia elétrica da máquina e da queima do diesel pelo transporte.

## 08- DESCARTE (RECICLAGEM)

(Em Usina de reciclagem)

Materiais: Entulho (placas de gesso acartonado, lâ mineral, aço, massa e fitas)

Equip.: caçambas, Caminhão vedado, máquina para separação do papel cartão e o gesso\*\*

Diesel, energia elétrica

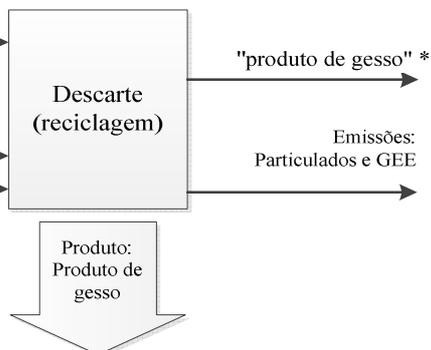


Figura 0.41 – Modelagem para descarte em usina de reciclagem.

Fonte: Autora, 2013.

\* "produto de gesso" : material apto a ser reutilizado para a produção de gesso cartonado.

\*\* Baseado no caso da Knauf, em UK (vide seção 0).

\*\*\* Restos de plásticos, metais, papel, vidro, são encaminhados para usinas específicas de reciclagem.

### 5.2.3 Modelos consolidados

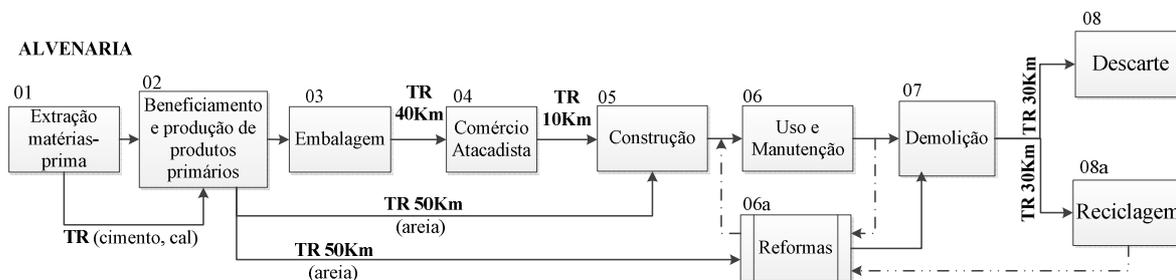


Figura 0.42 – Inventário dos processos para alvenaria (do berço ao túmulo).

Fonte: Autora, 2013.

TR= transporte rodoviário (caminhão)

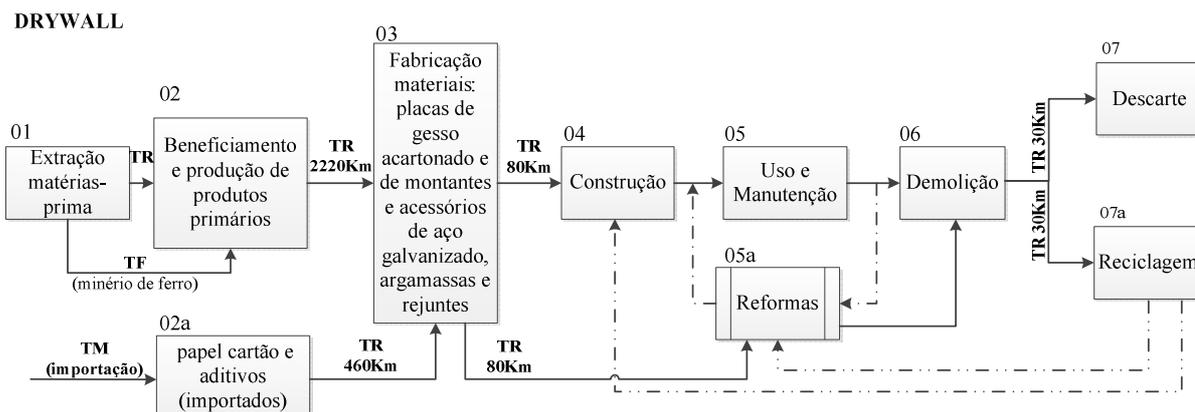


Figura 0.43– Inventário dos processos para *drywall* (do berço ao túmulo).

Fonte: Autora, 2013.

**TR**= transporte rodoviário (caminhão)

**TM**=transporte marítimo (navio)

**TF**= transporte ferroviário (trem)

-Papel cartão e aditivos são importados: chegam no Porto de Santos , SP (MARCONDES, 2007).

-O gesso é oriundo do polo gessoso de Araripe, região NE.

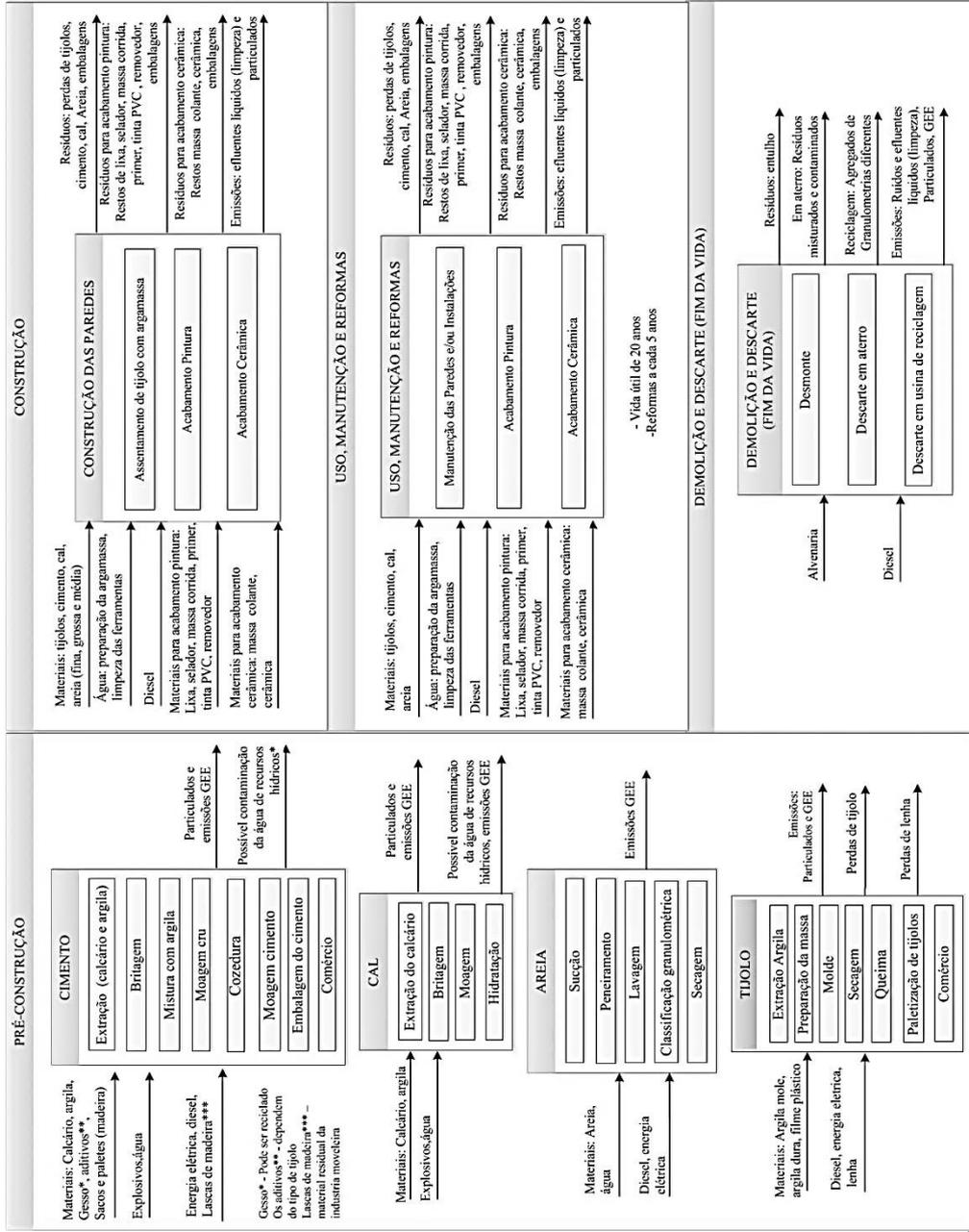


Figura 0.44 – Entradas e saídas para alvenaria (do berço ao túmulo)

.Fonte: Autora, 2013.

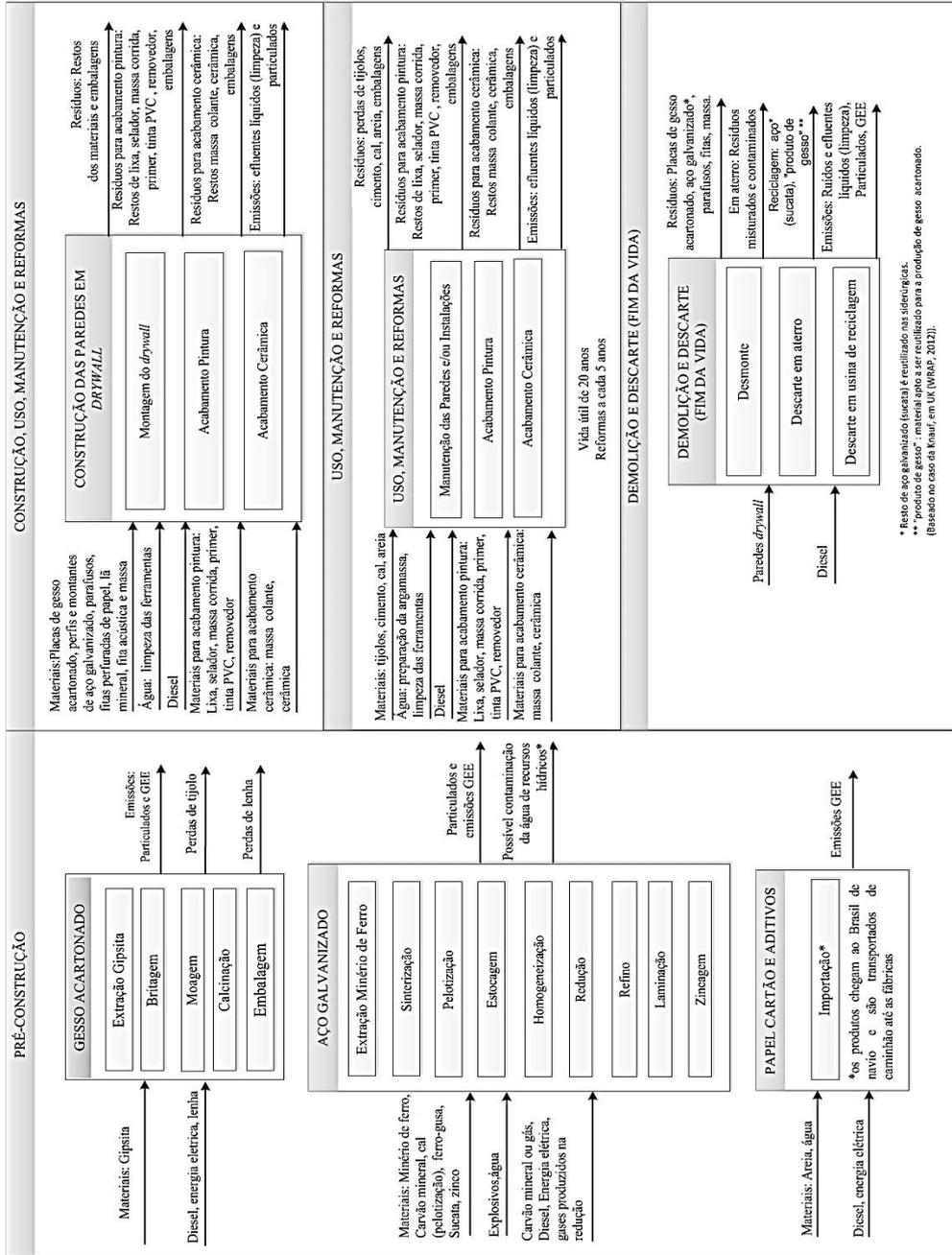


Figura 0.45 - Entradas e saídas para drywall (do berço ao túmulo).

Fonte: Autora, 2013.

### 5.3 ACV – INVENTÁRIO DE IMPACTOS DO CICLO DE VIDA

Os dados quantitativos dos impactos gerados em ambos os sistemas foram baseados na escolha de materiais similares no EcolInvent (ECOINVENT CENTRE, 2013), adotando o Ecoindicador99. Onde são quantificados impactos gerados na qualidade do ecossistema (acidificação e eutrofização, ecotoxicidade e ocupação agrícola), na saúde humana (cancerígenos, mudanças climáticas, radiação ionizante, destruição da camada de ozônio e efeitos respiratórios) e nos recursos (combustíveis fósseis e extração mineral).

Os materiais adotados para a alvenaria foram:

- a) *brick, at plant*: tijolo cerâmico.
- b) *portland calcareous cement, at plant*: cimento Portland.
- c) *lime, hydrated, packed, at plant*: cal hidratada.
- d) *silica sand, at plant*: areia.

Para *drywall*, os materiais adotados foram:

- a) *gypsum plaster board, at plant*: placa de gesso acartonado.
- b) *steel product manufacturing, average metal working e zinc coating, pieces*: aço galvanizado.
- c) *stucco, at plant*: massa (a base de gesso).
- d) *glass wool mat, at plant*: lã de vidro.

A Tabela 2.1 traz especificações dos materiais do EcolInvent adotados para este estudo, tais como categoria, subcategoria, local, tempo de avaliação, ano de publicação, título do estudo e relatório em que os dados foram publicados, pelo EcolInvent.

Tabela 0.20 – Especificação dos materiais adotados no Ecolnvent.

ALVENARIA					
Material:	tijolo	cal	areia	cimento	
Nome:	<i>brick, at plant</i>	<i>lime, hydrated, packed, at plant</i>	<i>silica sand, at plant</i>	<i>portland calcareous cement, at plant</i>	
Categoria:	materiais de construção	materiais de construção	materiais de construção	materiais de construção	
Subcategoria:	tijolo	ligante	aditivos	ligante	
Local:	Suíça	Suíça	Suíça	Suíça	
Tempo de avaliação:	1992-2002	2000-2002	1998-2001	1997-2001	
publicação:	Swiss Centre for LCI, EMPA-DU, 2007	Swiss Centre for LCI, Empa - TSL, 2007	Swiss Centre for LCI, Empa - TSL, 2007	Swiss Centre for LCI, EMPA-DU, 2004	
Título:	<i>Life Cycle Inventories of Building Products</i>	<i>Life Cycle Inventories of Building Products</i>	<i>Life Cycle Inventories of Building Products</i>	<i>Life Cycle Inventories of Building Products</i>	
Relatório:	Final report ecoinvent data v2.0	Final report ecoinvent data v2.0	Final report ecoinvent data v2.0	Relatório Final Ecoinvent 2000	
DRYWALL					
Material:	montantes e perfis de aço	galvanização	placa de gesso acartonado	massa a base de gesso	lã de vidro
Nome:	<i>steel product manufacturing, average metal workin</i>	<i>zinc coating, pieces</i>	<i>gypsum plaster board, at plant</i>	<i>stucco, at plant</i>	<i>glass wool mat, at plant</i>
Categoria:	metais	metais	materiais de construção	materiais de construção	materiais de isolamento
Subcategoria:	geral de fabricação	processamento	revestimento	ligante	produção
Local:	Suíça	Suíça	Suíça	Suíça	Suíça
Tempo de avaliação:	2006-2007	1996-2002	1997-2003	1997-2003	1996-2000
publicação:	Swiss Centre for LCI, SEU, 2007	Swiss Centre for LCI, Empa - TSL, 2007	Swiss Centre for LCI, EMPA-DU, 2004	Swiss Centre for LCI, Empa - TSL, 2007	Swiss Centre for LCI, EMPA-DU, 2004
Título:	<i>Life Cycle Inventories of Metal Processing and Compressed Air Supply</i>	<i>Life Cycle Inventories of Wood as Fuel and Construction Material</i>	<i>Life Cycle Inventories of Building Products</i>	<i>Life Cycle Inventories of Building Products</i>	<i>Life Cycle Inventories of Building Products</i>
Relatório:	Final report ecoinvent Data v2.0	Final report ecoinvent data v2.0	Final report ecoinvent 2000	Final report ecoinvent data v2.0	Final report ecoinvent 2000

Fonte: Ecolnvent, 2013 (adaptado pela autora).

Estudando a Tabela 5.20 pode-se observar o material aço é somado ao processo galvanização, que é a aplicação de zinco para proteger o material de corrosão.

Na Tabela 5.21 são apresentados os impactos para os insumos para o sistema de alvenaria (areia, cimento, tijolo e cal) e na Tabela 5.22 são apresentados os impactos para o sistema *drywall* (gesso acartonado, aço galvanizado, massa a base de gesso e lã de vidro).

Tabela 0.21 – Impactos gerados por alvenaria.

ECOINDICADOR99						
ALVENARIA						
Área de proteção	Impactos	Areia	Cimento	Tijolo	Cal	Total (pontos)
		massa x indicador	massa x indicador	massa x indicador	massa x indicador	
qualidade do ecossistema	eutrofização	0,094	0,406	1,313	0,578	5,985
	ecotoxicidade	0,266	0,128	0,450	0,163	
	ocupação agrícola	-0,054	0,129	1,262	1,250	
	<b>total</b>	<b>0,305</b>	<b>0,664</b>	<b>3,025</b>	<b>1,991</b>	
saúde humana	carcinogênicos	0,026	0,090	0,473	0,180	44,609
	mudanças climáticas	0,501	3,023	7,383	9,073	
	radiação ionizante	0,006	0,026	0,061	0,044	
	destruição da camada de ozônio	0,000	0,000	0,002	0,003	
	efeitos respiratórios	0,888	3,403	12,255	7,170	
	<b>total</b>	<b>1,422</b>	<b>6,543</b>	<b>20,174</b>	<b>16,470</b>	
recursos	combustíveis fósseis	4,137	4,193	39,127	27,043	125,679
	extração mineral	0,034	0,079	0,412	0,059	
	<b>total</b>	<b>5,898</b>	<b>11,479</b>	<b>62,739</b>	<b>45,563</b>	

Fonte: Autora, 2013.

Tabela 0.22 – Impactos gerados por *drywall*.

ECOINDICADOR99							
DRYWALL							
Área de proteção	Impactos	Gesso acartonado	Aço	Zincagem	Massa	Lã de vidro	Total (pontos)
		massa x indicador	massa x indicador	massa x indicador	massa x indicador	massa x indicador	
qualidade do ecossistema	acidificação e eutrofização	1,368	0,448	0,541	0,007	5,521	41,411
	ecotoxicidade	2,018	2,346	24,218	0,008	4,251	
	ocupação agrícola	2,416	0,844	0,306	-0,001	2,921	
	<b>total</b>	<b>5,802</b>	<b>3,638</b>	<b>25,066</b>	<b>0,014</b>	<b>12,692</b>	
saúde humana	carcinogênicos	0,726	0,984	7,230	0,004	4,115	80,688
	mudanças climáticas	5,657	2,379	1,241	0,042	13,659	
	radiação ionizante	0,109	0,092	0,025	0,001	1,570	
	de ozônio	0,003	0,001	0,001	0,000	0,010	
	efeitos respiratórios	26,553	8,096	5,463	0,725	35,049	
	<b>total</b>	<b>33,048</b>	<b>11,552</b>	<b>13,961</b>	<b>0,772</b>	<b>54,403</b>	
recursos	combustíveis fósseis	39,821	11,129	6,953	0,391	131,368	281,991
	extração mineral	0,266	2,426	4,587	0,002	3,033	
	<b>total</b>	<b>78,934</b>	<b>28,746</b>	<b>50,566</b>	<b>1,179</b>	<b>201,499</b>	

Fonte: Autora, 2013.

A Figura 5.47 apresenta estes mesmos resultados do ecoindicador 99, obtidos no Ecolnvent, através de um gráfico de barras. Estudando este gráfico, pode-se observar que os impactos nos recursos são predominantes em ambos os

sistemas, seguidos pela saúde humana e pela qualidade do ecossistema. E que o sistema de alvenaria se traduz em menos impactos do que o sistema *drywall*.

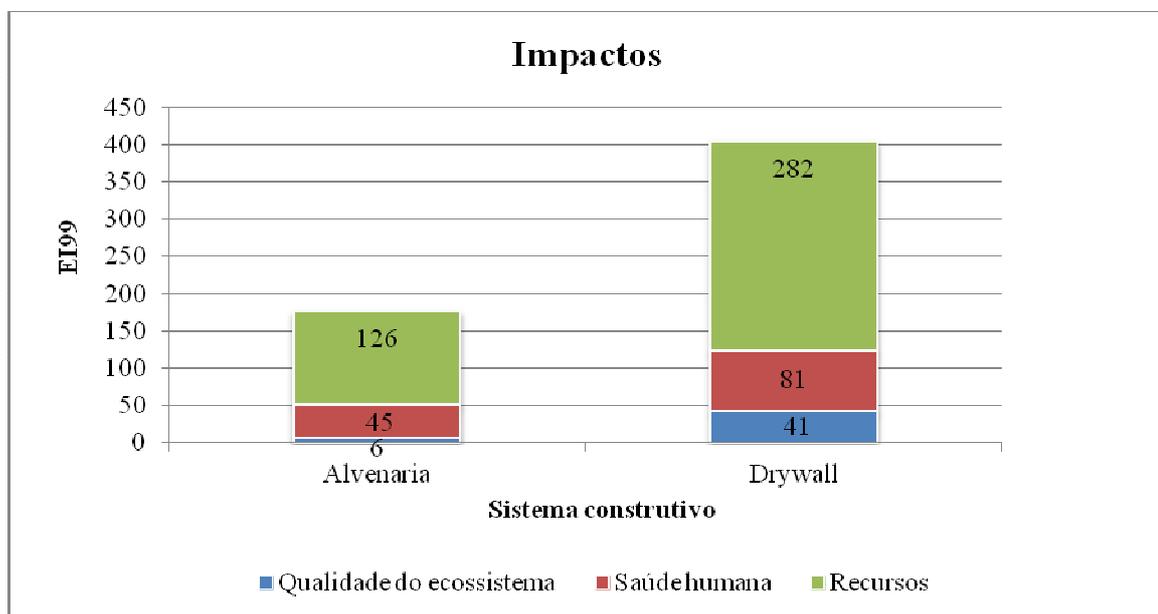


Figura 0.46 - Impactos gerados pelos sistemas alvenaria e *drywall*.

Fonte: Autora, 2013.

Os impactos gerados pelo consumo de combustíveis fósseis e pela extração de recursos minerais são preponderantes diante aos demais impactos. Portanto, estes são pontos fracos no ciclo de vida de edificações e devem ser alvo de melhoria.

## 6 CONCLUSÕES

O estudo desenvolvido nesta dissertação permite concluir:

- a) **Utilizar a metodologia de ACV para avaliar partes mais poluentes da cadeia produtiva de cada material, avaliando os impactos ambientais em dois cenários: construção em fechamento vertical em alvenaria não estrutural e construção em fechamento vertical em sistema drywall.**

O estudo de ACV na análise da cadeia produtiva dos materiais de construção usados no Brasil evidenciou pontos críticos, tais como a grande emissão de CO<sub>2</sub> na extração de minerais não renováveis (como argila e calcário) e na produção de tijolo cerâmico, gesso e cal (nas quais há pouco controle de emissões).

Nas cadeias produtivas referentes aos materiais do sistema *drywall*, há grande queima de combustíveis (diesel) com as grandes distâncias percorridas por meio rodoviário do nordeste para o sudeste do país (gesso) e da importação de papel cartão e aditivos por meio marítimo e rodoviário.

No fim da vida dos materiais, no cenário atual, há descarte de grande quantidade de resíduos misturados e contaminados por materiais tóxicos em locais apropriados (aterros), provocando poluição atmosférica (gases poluentes produzidos pelos materiais, em especial, o gesso), possível poluição de águas fluviais e lençóis freáticos (pela lixiviação dos materiais), e do solo (com o despejo dos materiais em terreno que não estão preparados). De forma que a fase de extração e de demolição são as fases mais poluentes.

Porém, para comparar os impactos em relação sistemas de vedação empregados de forma efetiva, é importante preencher as lacunas quanto à produção dos materiais importados (papel cartão e aditivos) e produção da lã mineral utilizados no sistema *drywall*.

Contudo, este resultado se repete ao analisar o ciclo de vida de tais materiais com o uso de dados do ecoindicador99 (EcoInvent). Reforçando a importância da logística reversa (com a reciclagem de materiais fechando o ciclo) como forma de reduzir extração de recursos naturais. Assim como, a relevância de minimizar as distâncias dos fluxos de materiais.

Os impactos gerados pelo consumo de combustíveis fósseis e pela extração de recursos minerais são preponderantes diante aos demais impactos. Portanto, estes devem ser pontos fracos no ciclo de vida de edificações e devem ser alvo de melhoria.

**b) Identificar os pontos críticos no ciclo de vida da alvenaria não estrutural e do *drywall* tais como desperdício de energia, desperdício de matéria prima, gestão de resíduos.**

O sistema vedação em alvenaria tem produção semi-artesanal e pouco padronizada na fase pré-construção (extração, beneficiamento e produção de produtos primários), com grande perda na produção e no transporte dos produtos.

Assim como na execução de paredes, em que se produzem as argamassas no canteiro e se aplica as argamassas de forma manual, dando margem a erros técnicos que provocam patologias construtivas.

Na fase de manutenção e principalmente de demolição, há geração de grande quantidade de resíduos, de particulados e de ruídos. Portanto esse sistema se destaca pelo desperdício de matéria-prima e pela grande produção de resíduos.

Já o sistema *drywall* se destaca por ser de aplicação rápida e limpa, com produção de pouca quantidade de resíduo na construção e na manutenção. Porém, o uso da matéria-prima gipsita na produção de placas de gesso acartonado, sem inserir nenhum material reciclado na produção recorre em extração de recursos naturais, contribuindo para o esgotamento deste recurso, e queima de combustível pelas longas distâncias percorridas por transporte rodoviário, que poderia ser evitada se utilizando material reciclado na produção deste material.

Outro ponto crítico do sistema *drywall* seria a importação de papel cartão e de aditivos. Visto que o papel cartão é produzido através com o uso de papel reciclado,

caso fosse produzido no Brasil, evitaria não só a queima de combustível, como daria destino à parte dos resíduos de celulose produzidos nacionalmente.

O desconhecimento sobre a composição do insumo lã de vidro pelos profissionais da construção prejudica a avaliação destes profissionais quanto aos cuidados necessários para sua manipulação ao longo da vida da construção e no fim da vida do sistema *drywall*, produzindo impactos indesejáveis à saúde humana.

Este possui a característica de produzir resíduos tóxicos que exigem cuidado especial na manipulação, triagem e despejo, que devem ser geridos de forma cautelosa evitando contaminação em outros materiais e dos seres humanos que manipulam os materiais.

Logo, para este sistema ser vantajoso, deve não só otimizar a sua cadeia produtiva, como também exige um amadurecimento do mercado consumidor quanto ao entendimento do sistema para que possa utilizá-lo de forma plena e evitando perdas desnecessárias de material.

**c) Analisar do ciclo de vida dos dois materiais e de seu nível de desempenho;**

Para que o sistema *drywall* tenha um desempenho acústico semelhante ao de alvenaria deve-se aplicar a lã mineral em todas as paredes e, eventualmente, utilizar placas duplas de gesso acartonado nos dois lados, produzindo paredes da mesma espessura da parede de alvenaria.

Assim, para que este seja considerado um sistema leve é necessário utilizar configurações básicas de parede, as quais não atendem ao mesmo desempenho acústico que a alvenaria e nem ao desempenho acústico recomendado pelas normas brasileiras.

Ainda sobre o *drywall*, é imprescindível que haja um planejamento sobre a decoração dos ambientes, isto ainda não faz parte do perfil do consumidor brasileiro. A necessidade de desmonte de módulos do sistema por profissionais habilitados para inserir reforços entre montantes, para apoiar armários, suporte de televisão, etc. gera transtornos e prejuízos aos moradores. Contribuindo com a insatisfação deste consumidor pelo sistema.

Considerando que a vida útil recomendada para paredes em alvenaria é de 40anos e para divisórias é de 20anos, há a tendência de o sistema *drywall* precisar ser substituído em um espaço de tempo bem menor, gerando resíduos com mais frequência do que a alvenaria.

**d) Servir como ferramenta para futuras tomadas de decisões das empresas construtoras, fornecedores e entes, instituições ou entidades governamentais.**

Ao final deste estudo, ficam seguintes sugestões:

- a. Incentivo para que empresas produtoras de tijolo cerâmico e cal busquem certificações e se adequem a padrões de qualidade.
- b. Fiscalização quanto à extração de areia de rios.
- c. Incentivo para que o papel cartão e aditivos sejam produzidos na Brasil.
- d. Inclusão de nova classificação de resíduos, pelo CONAMA, de resíduos recicláveis para a mesma destinação em o produto de origem (este item está intimamente ligado ao item seguinte).
- e. Pressão governamental específica para a criação ou importação de tecnologia de reciclagem do gesso acartonado para uso em mesmo material minimizaria a extração do recurso não renovável (gipsita) e diminuiria o deslocamento (nordeste-sudeste), minimizando distâncias percorridas.
- f. Adoção de normas nacionais para sobre lã de vidro para o uso deste material no sistema *drywall*.
- g. Elaboração de estudos pós-ocupação do sistema *drywall* no intuito de criar uma classificação específica quanto a sua vida útil, no contexto da construção no Brasil.

Contudo, este estudo trás informações inventário de materiais de construções no contexto brasileiro que pode ser considerado uma contribuição aos bancos de dados internacionais, como um ponto de partida para criação do banco de dados de materiais de construção com dados nacionais.

Quanto a trabalhos futuros, seria interessante a elaboração de inventários detalhados de processos e impactos gerados pelas cadeias produtivas descritas

nesta dissertação. Gerando dados condizentes com o panorama nacional, que permitam que a aplicação da metodologia de ACV de forma efetiva.

## REFERÊNCIAS

ABRANCHES, Sérgio. *Copenhague: antes e depois*. Rio de Janeiro: Civilização brasileira, 2010.

AGOPYAN, V. et al. (1998). Alternativas para a redução de desperdício de materiais nos canteiros de obras. Relatório Final. PCC-USP/FINEP/ITQC, 5 volumes, 1998.

ALMEIDA, Salvador Luiz Matos de; LUZ, Adão Benvindo da (ed.). *Manual de agregados para construção civil*. 2.ed. Rio de Janeiro, RJ: CETEM/MCT, 2012. 412 p.

AKADIRI, Peter O.; OLOMOLAIYE, Paul O. Development of sustainable assessment criteria for building materials selection. Engineering, *Construction and Architectural Management*, Leicestershire, United Kingdom, 2012, v. 19, p. 666 – 687. Disponível em:  
<[http://www.emeraldinsight.com/products/journals/editorial\\_team.htm?id=ecam](http://www.emeraldinsight.com/products/journals/editorial_team.htm?id=ecam)>. Acesso em: 10 Jan. 2012.

ANGULO, Sérgio Cirelli et al. Resíduos de construção e demolição: avaliação de métodos de quantificação. Eng. Sanit. Ambient, Rio de Janeiro, v. 16, n. 3, 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/scielo.php>>. Acesso em: 30 dez. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP (2012). Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/conteudo/basico-sobre-cimento/fabricacao/fabricacao>> Acesso em: 17 jan. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MATERIAIS DA CONSTRUÇÃO & FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS (2011). *Perfil da Cadeia Produtiva da Construção e da Indústria de Materiais e Equipamento*. Ed. 2011. 61p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NORMA BRASILEIRA REGULAMENTADORA - NBR 10004/rev2004 – Classificação de resíduos sólidos.

\_\_\_\_\_. NBR 7211:2005. Agregados para concreto – Especificação.

\_\_\_\_\_. NBR 10151: 2000. Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas.

\_\_\_\_\_. NBR 12721:2006. Avaliação de custos unitários de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edifícios – Procedimento.

\_\_\_\_\_. NBR 14037:2011. Diretrizes para elaboração de manuais de uso, operação e manutenção das edificações — Requisitos para elaboração e apresentação dos conteúdos.

\_\_\_\_\_. NBR ISO 14040: 2001. Gestão ambiental: Avaliação do Ciclo de Vida - Princípios e Estruturas. Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura.

\_\_\_\_\_. NBR ISO 14044: 2009. Gestão ambiental: Avaliação do Ciclo de Vida - Princípios e Estruturas. Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e Guia.

\_\_\_\_\_. NBR14715: 2010- parte1: Requisitos.

\_\_\_\_\_. NBR14715: 2010- parte2: Métodos de ensaio.

\_\_\_\_\_. NBR15758:2009- sistemas construtivos em chapa de gesso para drywall.

\_\_\_\_\_. NBR 15112:2004- Gestão de resíduos sólidos na construção civil.

\_\_\_\_\_. NBR 15112:2004. Resíduos da construção civil e resíduos volumosos - Áreas de Transbordo e Triagem – Diretrizes para projetos, implantação e operação.

\_\_\_\_\_. NBR 15270-1: 2005 - Componentes cerâmicos, Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação - Terminologia e requisitos.

\_\_\_\_\_. NBR15758:2009- sistemas construtivos em chapa de gesso para drywall- Projeto e procedimentos executivos para montagem. Parte 1: Requisitos para sistemas usados como paredes.

ASSOCIAÇÃO DE DIRIGENTES DE EMPRESAS DO MERCADO IMOBILIÁRIO DO RIO DE JANEIRO - ADEMIRJ. Disponível em: <[http://www.ademi.org.br/article.php3?id\\_article=49751](http://www.ademi.org.br/article.php3?id_article=49751)>. Acesso em: 27 dez. 2012.

ATHENA INSTITUTE. Disponível em: < <http://www.athenasmi.org/what-we-do/lca-data-software/>>. Acesso em: 28 fev. 2013.

BALLOU, Ronald H. *Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos*: Planejamento, Organização e Logística Empresarial. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

BANCO DO NORDESTE DO BRASIL S/A. Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste – ETENE. *Informe Setorial Cerâmica Vermelha*, 2010. Disponível em: [http://www.bnb.gov.br/content/aplicacao/etene/etene/docs/ano4\\_n21\\_vermelha.pdf](http://www.bnb.gov.br/content/aplicacao/etene/etene/docs/ano4_n21_vermelha.pdf)> Acesso em: 10 fev. 2012.

BARBOZA, Elza Maria Ferraz. *Rotulagem ambiental*: Rótulos ambientais e Análise do Ciclo de Vida (ACV), IBICT, 2001. Disponível em: <<http://acv.ibict.br/publicacoes/realatorios/Rotulagem%20Ambiental.pdf> >. Acesso em: 26 maio 2012.

BARROS, Mercia S. Bottur; ARAÚJO, Viviane Miranda. Redução de impactos ambientais do canteiro de obras. In: *Projeto Tecnologias para construção*

*habitacional mais sustentável: Estado da Arte*. São Paulo: PCC- Escola Politécnica da USP, 2007, cap.9, p.1-33. Disponível em: <<http://pcc2540.pcc.usp.br/Material%202007/Cap%209%20-%20Canteiro.pdf>>. Acesso em: 20 dez. 2012.

BARROS, Ricardo Luiz Peixoto; LEMOS, Haroldo Matos. *Gestão do Ciclo de Vida dos Produtos e Rotulagem Ambiental nas micro e pequenas empresas*. Rio de Janeiro: Comitê Brasileiro do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, 2008.

BIN, G. *Exploring the Environmental Impact of A Residential Life Cycle, Including Retrofits*: Ecological Footprint Application to A Life Cycle Analysis Framework In Ontario by. Canada, 2011. 100p. (Dissertação) - Universidade de Waterloo, Canadá.

BODNAR, Z.; CRUZ, P. M. Pensar globalmente y actuar localmente: el Estado Transnacional Ambiental en Urich Beck. *Jurid. Manizales*, Colombia , v.5, n. 2, p.13-25, 2008.

BORGES, Carlos Alberto. Chapas cimentícias: Desempenho avaliado. *Revista Tèchne*, PINI Web. Disponível em: <<http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/113/artigo31825-5.asp>>. Acesso em: 29 ago. 2012.

BRASIL. Decreto Federal nº 7404, de 23 de dezembro de 2010. Regulamenta a Lei n.12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 23 dez. 2010.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 3 ago. 2010. Seção 3. p. 62.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução n. 307, de 5 de julho de 2002, estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão de resíduos da construção civil. 2002. Diário Oficial da União, n. 136, de 17 de julho de 2002, Seção 1, p. 95-96.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução n. 431, de 24 de maio de 2011, que altera o artigo 3º da Resolução nº 307. 2011. Diário Oficial da União, n. 96, de 25 de maio de 2011, p. 123.

BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL- DNPM. *Anuário Mineral Brasileiro* - 2010. Brasília, 2010. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=68&IDPagina=2005>>. Acesso em: 12 jan. 2013.

BRASIL: TERRA DO GESSO ENTRA NA ERA DO GÁS NATURAL. In: *Oil&Gas Journal Latinoamerica*, 16 maio 2011. Disponível em: <<http://ogjla.com.br/noticias/brasil-terra-do-gesso-entra-na-era-do-gas-natural>>. Acesso em: 23 maio 2012.

BROUN, R.; MENZIES, G. F. Life Cycle Energy and Environmental Analysis of Partition Wall Systems in the UK. *Procedia Engineering*, v. 21, p. 864-873, jan. 2011.

BRUNDTLAND COMMISSION. *World Commission on Environment and Development: our common future*, Oxford University Press, New York (1987). Disponível em: <[http://conspect.nl/pdf/Our\\_Common\\_Future-Brundtland\\_Report\\_1987.pdf](http://conspect.nl/pdf/Our_Common_Future-Brundtland_Report_1987.pdf)>. Acesso em: 13 maio 2012.

CALDEIRA-PIRES, Armando (2006). A situação atual de desenvolvimento do Inventário do Ciclo de vida (ACV) no Brasil. In: Seminário da “Avaliação do Ciclo de Vida do Produto e Ecodesign”. FIESP, São Paulo.

CÂMARA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO - CBIC. *Guia de Sustentabilidade na Construção*. Belo Horizonte: FIEMG, 2008. 60p.

\_\_\_\_\_. Programa de Inovação Tecnológica, 2009. Disponível em: <<http://www.pit.org.br/2a-fase/ct>>. Acesso em: 20 dez. 2012.

CAMARGO CORREA. Bolsa de resíduos C4. Camargo Correa, 2012. Disponível em: <<http://www.dr2c4.drresiduo.com.br/>>. Acesso em: 20 dez. 2012.

CARVALHO, Paula Geandra Coutinho Aragão. *Aplicação do Programa SimaPro na Avaliação do Impacto Ambiental causado na Produção e Exploração Offshore de Petróleo*. Rio de Janeiro, 2008, XXf. Monografia (Química) – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro, 2008.

CAVALCANTI, Elizabeth. Programa Brasileiro de Avaliação do Ciclo de Vida. In: VII WORKSHOP INTERNACIONAL DE ACV DO INMETRO, 2012. Disponível em: <[http://www.inmetro.gov.br/download/wac/painel\\_4/wac\\_15\\_05.pdf](http://www.inmetro.gov.br/download/wac/painel_4/wac_15_05.pdf)>. Acesso em: 26 out. 2012.

CHAU, C. K. et al. Assessment of CO2 emissions reduction in high-rise concrete office buildings using different material use options. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 61, p. 22-34, abr. 2012.

CLIMATEMPO. Climatologia: características climáticas de São Gonçalo. Disponível em: <<http://www.climatepo.com.br/climatologia/325/saogoncalo-rj>>. Acesso em: 21 dez. 2012.

CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 2, 1992, Rio de Janeiro. *Agenda 21*. Brasília: Senado Federal, Subsecretaria de Edições Técnicas, 1996. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/igce/ceurb/cidades%20sustentaveis.htm>>. Acesso em: 23 jan. 2012.

COMITÊ BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL - CBCS. *Plataforma Global de Avaliação do Ciclo de Vida Simplificado para Construção Sustentável*. Disponível em: <<http://www.cbcs.org.br/userfiles/download/CBCS.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2012.

COLODEL, Cecília Makishi. A indústria no Desenvolvimento da ACV na Europa: Usos e Benefícios. FIESP, São Paulo, 02 out. 2008. Disponível em: <<http://www.pdf.io.com>>. Acesso em: 23 jan. 2013.

CONSELHO NACIONAL DE ENGENHARIA E ARQUITETURA- PARANÁ (CREA-PR). Curitiba discute Norma de Desempenho NBR 15575. 14 de Agosto de 2012. Disponível em: <<http://www.crea-pr.org.br/index.php?option=com-15575>>. Acesso em: 01 set. 2012.

CONSELHO NACIONAL DE ENGENHARIA E ARQUITETURA- MINAS GERAIS (CREA-MG). NBR15575- novas normas técnicas podem melhorar a construção civil. Revista CREA-MG. 20 fev. 2012. Disponível em: <<http://blogdopetcivil.com/2012/02/20/2412/>>. Acesso: 01 set. 2012.

COSTA, Kelly Alonso. *A utilização da avaliação do ciclo de vida no processo de tomada de decisão em sustentabilidade na indústria da construção no subsetor de edificações*. Niterói, 2011. 215f. (Tese) - Escola de Engenharia civil, Universidade Federal Fluminense, Niterói. 2012.

COSTA, R. Viabilidades térmica, econômica e de materiais de um sistema solar de aquecimento de água a baixo custo para fins residenciais. Natal, 2007. , 61f. (Dissertação) – Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 2007.

CRUZ, Paulo Márcio; BODNAR, Zenildo. O clima como necessidade de governança transnacional: reflexões pós-Copenhague 2009. *Pensar Revista de Ciências Jurídicas*, Fortaleza, v.15, n.2, 2010.

CUÉLLAR-FRANCA, Rosa M.; AZAPAGIC, Adisa. *Environmental impacts of the UK residential sector: Life cycle assessment of houses. Building and Environment. Building and Environment*; Vol. 54, 2012, pp. 86-99.

CUNHA, D. Assessoria de Comunicação Social do Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia – IBICT. Disponível em: <<http://www.ibict.br/noticia.php?id=484>. 01/04/2008>. Acesso em: 12 fev. 2008.

CURRAN, Mary Ann. *Life cycle assessment: principles and practice, Scientific Applications International Corporation (SAIC)*. Ohio, 2006. IN: EPA – United States Environment Protection Agency. National Service Center for Environmental Publications (NSCEP). Disponível em: <http://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET>>. Acesso em: 07 jul. 2012.

DEGANI, C. M. Operação e manutenção – PCC 2540 - USP (2007). Notas de aula. <http://pcc2540.pcc.usp.br>. Acessado em 15/06/2011.

DEL MAR, Carlos Pinto. Normas técnicas Desempenho - ABNT NBR 15575 - Responsabilidades- Garantias - aspectos jurídicos. 2010 (apresentação em ppt). Sinduscon-MG. Disponível em: <<http://www.sinduscon-mg.org.br/site/arquivos/up/geral/NormasDesempenhoResp.pdf>>. Acesso: 10 nov. 2012.

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE CONSTRUÇÃO CIVIL - PCC. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – EPUSP. O futuro da construção civil no Brasil: Resultados de um estudo de prospecção Tecnológica da cadeia produtiva da Construção habitacional. São Paulo, 2003.

DEPARTAMENTO INTERSINDICAL DE ESTATÍSTICA E ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS - DIEESE – *Estudo Setorial da Construção, 2011*, Estudos e Pesquisas, n.56, 2011, 31p.

DICIONÁRIO online Priberam. Dicionário Priberam da Língua Portuguesa. Disponível em: <<http://www.priberam.pt/dlpo/default.aspx?pal=sustentabilidade>>. Acesso em: 02 nov. 2012.

ECOINVENT CENTRE. Disponível em: <<http://www.ecoinvent.ch/>>. Acesso em 31 jan. 2013.

EGAS, Leonardo. *Análise pluridimensional da sustentabilidade do ciclo de vida de um sistema estrutural de cobertura em madeira de Pinus. Caso Assentamento Rural Pirituba II*. São Carlos, 2008. 234f. (Dissertação) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18141/tde-11082008-092212/>>. Acesso em: 01 nov. 2011.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. *Balanço Energético Nacional-BEN - 2012 – Ano base 2011: Resultados Preliminares*. Rio de Janeiro: EPE, 2012. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/acessoainformacao/Documents/Institucional/2011.pdf>>. Acesso em: 03 dez. 2011.

ENCONTRO NACIONAL E I ENCONTRO LATINO AMERICANO SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS- ANTAC, 2001, Canela. Anais. *Agenda 21: uma discussão de proposta para o construbusiness brasileiro*. P.9. 2001. Disponível em: <[http://pcc5100.pcc.usp.br/arquivos/Constru%C3%A7%C3%A3o e desenvolvimento sustent%C3%A1vel/Agenda 21 CCivil - evento ANTAC.pdf](http://pcc5100.pcc.usp.br/arquivos/Constru%C3%A7%C3%A3o%20e%20desenvolvimento%20sustent%C3%A1vel/Agenda%2021%20CCivil%20-%20evento%20ANTAC.pdf)>. Acesso em: 06 ago 2012.

ENVIRONMENTAL BUILDING NEWS - EBN, *Establishing priorities with green building*. Brattlebore, US: BuildingGreen, v.4, n.5, Set./Out., 1995. p.8.

ETOOL. Disponível em: < <http://etool.net.au/about/>>. Acesso em: 28 fev. 2013.

EUROPEAN COMMISSION. Ecodesign: your future, 2012. Disponível em: <[http://ec.europa.eu/enterprise/policies/sustainable-business/ecodesign/files/brochure\\_ecodesign\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/enterprise/policies/sustainable-business/ecodesign/files/brochure_ecodesign_en.pdf)>. Acesso em 26 out. 2012.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – Fiesp. Banco de resíduos. Disponível em: < <http://apps.fiesp.com.br/bolsaresiduos/noticias.asp>>. Acesso em: 20 dez. 2012.

FELDER Richard M.; ROUSSEAU, Ronald W. Princípios Elementares dos Processos Químicos. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2005. 579 p.

FERREIRA, Sander Renato Lara. *O pensamento do ciclo de vida como suporte à gestão dos resíduos sólidos da construção e demolição: exemplo no Distrito Federal e estudos de casos de sucessos no Brasil e no exterior*. Brasília, 2009, 192f (Dissertação) - Centro de desenvolvimento sustentável. Universidade de Brasília, Brasília. 2009. Disponível em: <<http://repositorio.bce.unb.br/handle/10482/5024>>. Acesso em: 02 fev. 2012.

FINANCIADORA DE ESTUDOS E PROJETOS – FINEP. CT-VERDE-AMARELO (Universidade - Empresa), 2012. Disponível em: <<http://www.finep.gov.br/pagina.asp?pag=30.42.10>>. Acesso em: 26 de out. 2012.

FRISCHKNECHT, R.; JUNGBLUTH, N.; ALTHAUS, H. Implementation of life cycle impact assessment methods. n. 3, 2007. Disponível em: <[http://www.ecoinvent.org/fileadmin/documents/en/03\\_LCIA-Implementation.pdf](http://www.ecoinvent.org/fileadmin/documents/en/03_LCIA-Implementation.pdf)>. Acesso em: 03 jul 2012.

FUNDAÇÃO INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DE JOINVILLE - IPPUJ (Org.). Manual de Custos para Obras Públicas Abril/2012. Volume I: Metodologia e Conceitos. Joinville: Prefeitura Municipal, 2012. 49 p.

GERVÁSIO, HELENA. Comparative housing case study (steel vs. Concrete) through a quantitative Life Cycle Approach. In: World Steel Construction Council 2nd meeting. Paris, 2007.

GLOBAL FOOTPRINT NETWORK. *Ecological Footprint Standards 2009*. Tradução de: Alexander Van Parys Piergili. Oakland: Global Footprint Network. Disponível em: <[www.footprintstandards.org](http://www.footprintstandards.org)>. Acesso em: 05 jul. 2012.

GONÇALVES, João Ricardo. Centro de Referência de Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolições – CRCD. O dia, Vida e meio ambiente. p.38. Publicado em 9 set. 2012. Disponível em: <[http://odia.ig.com.br/polopoly\\_fs/1.487010.1347157659!/menu/standard/file/10\\_info\\_entulho.pdf](http://odia.ig.com.br/polopoly_fs/1.487010.1347157659!/menu/standard/file/10_info_entulho.pdf)>. Acesso em: 27 dez. 2012.

HOSSAINI, N.; HEWAGE, K. Sustainable Materials Selection for Canadian Construction Industry: An Emergy-Based Life-Cycle Analysis (Em-LCA) of Conventional and LEED Suggested Construction Materials. *Journal of Sustainable Development*, v. 5, n. 1, p. 2-12, 27 dez. 2012.

INFOMET. Siderurgia. Disponível em: <<http://www.infomet.com.br/siderurgia-1a.php>>. Acesso em: 28 fev. 2013.

INSTITUTO AÇO BRASIL – Relatório de Sustentabilidade 2012. Disponível em: <[http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/biblioteca/relatorio\\_sustentabilidade\\_2012.pdf](http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/biblioteca/relatorio_sustentabilidade_2012.pdf)>. Acesso em: 11 de janeiro de 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Média de moradores por domicílio - Censo Demográfico 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/imprensa/ppts/0000000402.pdf>>. Acesso em: 22 dez. 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA -IBICT. Disponível em : <[acv.ibict.br](http://acv.ibict.br)>. Acesso em: 05 maio 2012.

\_\_\_\_\_. Avaliação do Ciclo de Vida inicia projeto dos “Res”. 26 set. 2008. Disponível em: <<http://www.ibict.br/sala-de-imprensa/noticias/2008/avaliacao-do-ciclo-de-vida-inicia-projeto-dos-6/impresao>>. Acesso em: 02 set. 2012.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. Genebra, Suíça, 2007. P. 104.

\_\_\_\_\_. Climate Change: Synthesis Report. Contribution of Working Change. IPCC, Geneva, Switzerland, 2007. Resenha de AVILA, A.M.H. Universidade Estadual de Campinas. Revista Multiciências, Campinas, v.8, mudanças Climáticas, 2007. p.163-168.

INTERNATIONAL COUNCIL FOR RESEARCH AND INNOVATION IN BUILDING AND CONSTRUCTION – CIB. Agenda 21 on sustainable construction. Rotterdam, Netherlands: CIB, Report Publication 237, 1999. 120 p.

JACOBI, R. P. Meio Ambiente e Sustentabilidade. In: CEPAM. O Município no Século XXI. São Paulo: CEPAM, 1999, p.175-184.

JAZRA, Gustavo. Custo da construção fecha 2012 com alta de 7,23%. PINIWEB, 21 dez. 2012. Disponível em: <<http://www.piniweb.com.br/construcao/custos/custo-da-construcao-fecha-2012-com-alta-de-723-275777-1.asp>>. Acesso em: 28 dez. 2012.

KIBERT, Charles J. Sustainable Construction: Green Building Design and Delivery. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 2007. 407p.

KOSSOY, Alexandre ; GUIGON, Pierre. State and Trends of the Carbon Market 2012. Washington DC. Ed. Carbon Finance at the World Bank, 2012.

KULAY, L.; SEO, E. M. Orientações conceituais para elaboração de inventários de ciclo de vida. INTERFACEHS-Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente, v. 5, n. 1, p. 32, 2010. Disponível em: <<http://www.interfacehs.sp.senac.br/>>. Acesso em: 05 maio 2012.

LAGO, A.A.C. Estocolmo, Rio, Joanesburgo, o Brasil e as três Conferências Ambientais das Nações Unidas. Instituto Rio Branco. Fundação Alexandre de Gusmão (FUNAG), 2006.

LAFONTAINE, Mia et al. Quantis Canada. Análise comparativa do ciclo de vida de paredes construídas com tijolos de cerâmica, blocos de concreto e concreto armado moldado in loco, Montreal: ANICER. 25 maio 2012. Disponível em: <[http://redladrilleras.net/documentos\\_galeria/ANICER%20ACV.pdf](http://redladrilleras.net/documentos_galeria/ANICER%20ACV.pdf)> . Acesso em: 22 dez. 2012.

LIGHT. Serviços de Eletricidade S.A. Simulador de consumo. Disponível em: <<http://www.light.com.br/web/institucional/atendimento/simuladores/consumo/index.htm>>. Acesso: 28 dez. 2012.

GUSTAVO, F.; LIMA, C. O DEBATE DA SUSTENTABILIDADE NA SOCIEDADE INSUSTENTÁVEL. Revista Eletrônica Política e Trabalho, Paraíba, n. 1, p. 1–12, 1997. Disponível em: <<http://www.cefetsp.br/edu/eso/debatesustentabilidade.html>>. Acesso em 20 jun.2012.

KNAUF DRYWALL. Disponível em: < <http://www.knauf.com.br/>>. Acesso: 2012.

LAFARGE. Disponível em: < <http://www.lafarge.com.br/>>. Acesso em: 2012.

LIMA, A. M. F. Avaliação do Ciclo de Vida no Brasil: Inserção e Perspectivas, 2007. Bahia. 116f. (Dissertação) - Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia. Bahia. 2007. Disponível em: <[http://www.teclim.ufba.br/site/material\\_online/dissertacoes/dis\\_angela\\_lima.pdf](http://www.teclim.ufba.br/site/material_online/dissertacoes/dis_angela_lima.pdf)>. Acesso em: 14 abr. 2012.

LIMMER, C. V. Planejamento, Orçamentação e Controle de Projetos e Obras. Rio de Janeiro: Livros e Técnicos e Científicos, 1997. P. 225.

MAGALHÃES, Paulo Vitor. O São Gonçalo Online. Caderno Cidades. Publicada em 12/6/2010. Disponível em: <<http://www.osaogoncalo.com.br/site/caderno+cidades/2010/7/3/13575/extra%C3%A7%C3%A3o+de+areia+com+preserva%C3%A7%C3%A3o>>. Acesso em: 8 jan. 2013.

MAINIER, F. B.; VIOLA, E. D. M. O SULFETO DE HIDROGÊNIO ( H 2 S ) E O MEIO AMBIENTE. p.612–618, 2005. Disponível em: <[http://adm.aedb.br/seget/artigos05/261\\_H2S.pdf](http://adm.aedb.br/seget/artigos05/261_H2S.pdf)>. Acesso em: 03 abr. 2012.

MAIS espaços nos próximos anos. Exame, 16 Nov. 2011. Academic OneFile. Web. Disponível em: < [www.periodicos.capes.gov.br](http://www.periodicos.capes.gov.br)>. Acesso em: 20 dez. 2012.

MANUAL de Agregados para Construção Civil/Ed. Salvador Luiz M. de Almeida, Adão Benvindo da Luz. - Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2009. 245 p.

MARCONDES, F. C. S. Sistemas logísticos reversos na indústria da construção civil: estudo da cadeia produtiva de chapas de gesso acartonado. 2007. 365f. (Dissertação) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2007. Disponível em: <[http://fcardoso.pcc.usp.br/Disserta%C3%A7%C3%A3oF%C3%A1bia Marcondes ed rev.pdf](http://fcardoso.pcc.usp.br/Disserta%C3%A7%C3%A3oF%C3%A1bia%20Marcondes%20ed%20rev.pdf)>. Acesso em: 12 dez 2011.

MARTINS, Juliana. Equipe de obra/ Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial - SENAI. Disponível em: <<http://www.equipededeobra.com.br//construcao-reforma/56/fixadores-para-drywall-peso-do-objeto-posicao-definitiva-e-276980-1.asp>>. Acesso em: 31 jan. 2013.

MATOZINHOS, Roberto. Manual de uso, operação e manutenção das edificações, sistema de gestão de manutenção, diretrizes para elaboração, Sinduscon - MG, Edificar- feira de negócios da construção, 2012.

MEADOWS et al. *The Limits to Growth: A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind*. New York: Universe Books, 1972, p. 205.

MELO, L. F.; OJIMA, R. Além das certezas e incertezas: desafios teóricos para o mito da explosão populacional e os acordos internacionais. Associação Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade - ANPPAS. Anais do XIV Encontro Nacional de Estudo Populacional - ABEP. Unicamp, São Paulo, 2004.

MENEGUIN, Fernando. O que é o mercado de carbono e como ele opera no Brasil? Brasil economia e governo. Publicado em 13 ago. 2012. Disponível em: <<http://www.brasil-economia-governo.org.br/2012/08/13/o-que-e-o-mercado-de-carbono-e-como-ele-opera-no-brasil/>>. Acesso em: 17 dez. 2012.

MILES, Duílio Castro. Desenvolvimento: incluyente, sustentável, sustentado. Rio de Janeiro: Garamond, 2008. Resenha de: SACHS, Ignacy. Estratégias de Transição para do século XXI – Desenvolvimento e Meio Ambiente. São Paulo: Studio Nobel – Fundação para o desenvolvimento administrativo, 1993.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME; BANCO INTERNACIONAL PARA A RECONSTRUÇÃO E DESENVOLVIMENTO - BIRD. Perfil do calcário. Projeto de assistência técnica ao setor de energia. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/sgm/galerias/arquivos/plano\\_duo\\_decenal/a\\_mineracao\\_br\\_asileira/P27\\_RT38\\_Perfil\\_do\\_Calcxrio.pdf](http://www.mme.gov.br/sgm/galerias/arquivos/plano_duo_decenal/a_mineracao_br_asileira/P27_RT38_Perfil_do_Calcxrio.pdf)>. Acesso em: 10 dez. 2012.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME; SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL-SGM. Desenvolvimento de estudos para elaboração do plano duodecenal (2010 - 2030) de geologia, mineração e transformação mineral, 2009. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/pdf>>. Acesso em: 22 jan. 2013.

MONTEIRO FILHA, Dulce Corrêa, et al. Perspectivas e desafios para inovar na construção civil. Construção Civil. BNDES, setorial 31, 2010, p.353-410. Disponível em: <[http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes\\_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set3110.pdf](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set3110.pdf)>. Acesso em: 10 set. 2012.

MORETTI, T. V. Método de avaliação da estrutura de inventários de Ciclo de vida: análise para casos brasileiros. Curitiba. 112 f. (Dissertação) - Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica. Federal do Paraná. Curitiba. 2011.

MOTTA, S. R. F. Sustentabilidade na construção civil: crítica, síntese, modelo de política e gestão de empreendimentos. Minas Gerais, 122 f. (Dissertação) - Programa de Pós-graduação em Construção Civil da Universidade Federal de Minas Gerais. Minas Gerais. 2009.

NOVAES, et al. Agenda 21 brasileira: bases para discussão. Brasília. MMA/PNUD, Brasília, 2000.

NATIONAL INSTITUTE OF BUILDING SCIENCE – NIBS. Disponível em: <<http://www.nibs.org/>>. Acesso em: 28 fev. 2013.

NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS NA TECHNOLOGY – NIST. Disponível em: <http://www.nist.gov/el/economics/BEESSoftware.cfm/>. Acesso em: 31 jan. 2013.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU. Declaração do Milênio: Cimeira do Milênio, Nova Iorque, 2000.

ORTIZ, O.; CASTELLS, F.; SONNEMANN, G. *Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA*. Construction and Building Materials, v. 23, n. 1. 2009. p.28–39.

ORTIZ, Oscar et al. *Sustainability based on LCM of residential dwellings: A case study in Catalonia, Spain*. Building and Environment. v. 44. pp 584– 594, 2009.

ORTIZ-RODRÍGUEZ, Oscar Orlando. *Sustainability assessment within the residential building sector: practical life cycle method applied in a developed and a developing country*. Espanha. 2009.296f. (Tese) - Universitat Rovira i Virgili, Tarragona, Espanha. 2009.

PE INTERNATIONAL. Gabi Product Sustainability Software. Disponível em: <<http://www.gabi-software.com/brazil/software/gabi-software/>>. Acesso em: 31 jan. 2013.

PEREZ, Eduardo. Tendências do mercado brasileiro de galvanização. Votorantim. Latingalva, 2010. Disponível em: <<http://www.icz.org.br/upfiles/arquivos/apresentacoes/latinalva-2010-eduardo-perez-votorantim.pdf>>. Acesso em: 19 jan. 2013.

PESTANA, Marcus. Mobilização social e resultados da Rio + 20. Congresso em Foco (online). 11 jul. 2012. Disponível em: <<http://congressoemfoco.uol.com.br/opiniaocolumnistas/mobilizacao-social-e-resultados-da-rio20/>>. Acesso em: 22 ago. 2012.

PLACO. Disponível em: < <http://www.placo.com.br/> >. Acesso: 2012.

PLATT, Allan Augusto; NUNES, Rogério da Silva. Logística e cadeia de suprimento. Florianópolis: Departamento de Ciências da Administração, UFSC, 2007. 88p.

PORTAL DA COPA. SITE OFICIAL DA COPA DO MUNDO DE 2014. FÉDÉRATION INTERNATIONALE DE FOOTBALL ASSOCIATION - FIFA. Disponível em: <<http://www.copa2014.gov.br/pt-br/sobre-a-copa/copa-de-2014> >. Acesso em: 10 jun. 2012.

PORTAL EMPRESARIAL. Bolsa de Resíduos. Disponível em: <<http://www.portalempresarial.com.br/data/Pages/LUMIS1593352DPTBRNNGUEST.htm>>. Acesso em: 20 dez. 2012.

PRADO FILHO, Hayrton Rodrigues. NBR 15575 – Edificações habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho. 2010. Disponível em: <<http://qualidadeonline.wordpress.com/2010/03/29/nbr-15575-%E2%80%93-edificacoes-habitacionais-de-ate-cinco-pavimentos-%E2%80%93-desempenho/>>. Acesso em: 01 set. 2012.

PRODUCT ECOLOGIC CONSULTANTS- PRÉ. Eco-indicator 99 : A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment. Manual for Designers, 2.ed., 2000. 22p.

PROGRAMA BRASILEIRO DE AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA - PBACV. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR. 2010. Disponível em: < [http://www.mdic.gov.br/arquivos/dwnl\\_1283451608.pdf](http://www.mdic.gov.br/arquivos/dwnl_1283451608.pdf)>. Acesso em: 15 mar. 2012.

PROTOCOLO DE QUIOTO: – MANUAL DE REFERÊNCIA. Convenção das Nações Unidas sobre o quadro das mudanças climáticas. In: *Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change* – UNFCCC, 2008.130p.

PROTOCOLO DE QUIOTO - GOVERNO FEDERAL (1997). *O que está em jogo?* Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/cop/panorama/o-que-esta-em-jogo/protocolo-de-quioto>>. Acesso em: 26 jul. 2012.

QUATRO décadas de discussões ambientais. O Globo online, Economia. Disponível em: <<http://oglobo.globo.com/infograficos/environmental-debates/>>. Acesso em: 02 jun. 2012.

QZDN STEEL. Aço galvanizado. Disponível em: <<http://www.qdznsteel.com/aco-galvanizado.html>>. Acesso em: 28 jan. 2013.

RADHI, H. On the optimal selection of wall cladding system to reduce direct and indirect CO2 emissions. *Energy*, v. 35, n. 3, p. 1412-1424, mar. 2010.

RAJAGOPALAN, N.; BILEC, M. M.; LANDIS, A. E. Life cycle assessment evaluation of green product labeling systems for residential construction. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 17, n. 6, p. 753-763, 12 abr. 2012.

REVISTA ACADÊMICA SÃO MARCOS - RASM, Alvorada, ano 1, n. 1, p. 95-106, jul./dez. 2011 Disponível em:< <http://www.saomarcos.com.br/ojs>>. Acesso em: 20 nov. 2012.

RIBEIRO, F. D. M. Inventário de ciclo de vida da geração hidrelétrica no Brasil - Usina de Itaipu : primeira aproximação. São Paulo, 2003. (Dissertação) - Programa Interunidades de Pós Graduação em Energia da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003. Disponível em: <[http://www.maternatura.org.br/hidreletricas/biblioteca\\_docs/ICV\\_Itaipu.pdf](http://www.maternatura.org.br/hidreletricas/biblioteca_docs/ICV_Itaipu.pdf)>. Acesso em: 29 maio 2012.

RICCI, Gino. *Estudo de característica mecânicas do concreto compactado com rolo com agregados reciclados de construção e de demolição para pavimentação*. 2007. 203f. (Dissertação) - Engenharia de Transportes, Escola politécnica da Universidade de São Paulo, 2007.

ROCHA, Hildebrando Fernandes. Importância da manutenção predial preventiva. *Holos*, Ano 23, Vol. 2 – 2007. pp72-77.

ROSSI, B. et al. Life-cycle assessment of residential buildings in three different European locations, basic tool. *Building and Environment*, v. 51, p. 395-401, maio. 2012.

SABBATINI, Fernando Henrique. O conceito de vida útil e sua aplicação. In: XV COBREAP – Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias, 2007.

São Paulo: INSTITUTO BRASILEIRO DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS DE ENGENHARIA – IBAPE.

SALLES, Ana Claudia Nioac. *Emissões de gases do efeito estufa de dormentes de Madeira natural e de Madeira plástica no Brasil e na Alemanha com base nos seu ciclo de vida*. Rio de Janeiro, 2009. 218f. (Tese) - Programa de planejamento energético da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2009.

SAMPAIO, Ricardo. Banco Nacional de resíduos. Camargo Correa, 2012. Disponível em: <<http://www.slideshare.net/ruimaciell/bolsa-de-resduos-camargo-corra#btnNext>>. Acesso em: 20 dez. 2012.

SATTLER, Miguel Aloysio. Habitações de baixo custo mais sustentáveis: a casa Alvorada e o Centro Experimental de tecnologias habitacionais sustentáveis. Coleção HABITARE, Porto Alegre: FINEP, 2007. P. 21-23.

Serviço Brasileiro de Apoio à Micro e Pequenas Empresas - SEBRAE/ Escola de Propaganda e Marketing - ESPM. Cerâmica vermelha para construção: Telhas, tijolos e tubos. Sumário executivo. Estudos de mercados, São Paulo, 2008

SECIL. Processo de fabrico de cimento. Disponível em: <<http://www.secil.pt/pdf/Processo%20de%20Fabrico%20de%20Cimento.pdf>>. Acesso em: 18 dez. 2012.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO - SMA. Decreto nº 33971: 2011. Diário Oficial do Município do Rio de Janeiro | Poder Executivo | Ano XXVI | Nº 133 | 27 set. 2012. Disponível em: <[http://doweb.rio.rj.gov.br/ler\\_pdf](http://doweb.rio.rj.gov.br/ler_pdf)>. Acesso em: 02 jan. 2012.

SEDREZ, Michele. M. *Sustentabilidade do ambiente construído: contribuições para a avaliação de empreendimentos habitacionais de interesse social*. Porto Alegre, 2004. 167f. (Dissertação) - Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2004.

SHAH, Sunil. Sustainable Practice for the Facilities Manager. Blackwell Publishing, 2007.

SILVA, Gil Andrei. Avaliação do Ciclo de Vida e da Sustentabilidade na gestão da indústria. Federação das Indústrias do Estado de São Paulo-FIESP, 2010.

SILVA, N. N. *Paredes internas de chapas de gesso acartonado empregadas em edifícios habitacionais: avaliação em uso*. São Paulo, 2002. 277f. (Dissertação) – Instituto de pesquisas Tecnológicas – IPT- do estado de São Paulo, 2002.

SILVA, V.G. Metodologias de avaliação de desempenho ambiental de edifícios: estado atual e discussão metodológica. FINEP: São Paulo, 2007. p. 60.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO ESTADO DE SÃO PAULO - SINDUSCON-SP. PBQP-H. 20 fev. 2008. Disponível em: <[www.sindusconsp.com.br/msg2.asp?id=3238](http://www.sindusconsp.com.br/msg2.asp?id=3238)>. Acesso em: 30 abr. 2012.

\_\_\_\_\_. Guia de boas práticas para transporte de resíduos da construção civil, 2012. Disponível em: <[http://www.sindusconsp.com.br/envios/2012/eventos/residuos/folheto\\_sinduscon\\_2012\\_5.pdf](http://www.sindusconsp.com.br/envios/2012/eventos/residuos/folheto_sinduscon_2012_5.pdf)>. Acesso em: 01 jan 2013.

\_\_\_\_\_. Levantamento do estado da arte: Energia. Projeto Tecnologias para construção habitacional mais sustentável, coleção Habitação mais Sustentável. Projeto Finep 2386/04, São Paulo, 2007. Disponível em: <<http://www.sindusconsp.com.br/img/meioambiente/16.pdf>>. Acesso em: 16 dez. 2012.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DO GESSO DO ESTADO DE PERNAMBUCO – Sindusgesso. Disponível em: <<http://www.sindusgesso.org.br/>>. Acesso em: 23 maio 2012.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO. A indústria do Cimento no Brasil. Disponível em: <<http://www.snica.org.br/perfil.htm>>. Acesso em: 23 maio 2012.

SOARES, S.R.; SOUZA, D.M., PEREIRA, S.W. Avaliação do ciclo de vida no contexto da construção civil. In: SATTER, Miguel Aloysio; RUTTKAY, Fernando Oscar (Eds), Construção e Meio Ambiente. Porto Alegre, ANTAC, 2006, Coleção Habitare, v7, cap.4, p.98.

TAE, S. et al. Life cycle environmental loads and economic efficiencies of apartment buildings built with plaster board drywall. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 15, n. 8, p. 4145-4155, out. 2011.

THE INTERNATIONAL COUNCIL FOR RESEARCH AND INNOVATION IN BUILDING AND CONSTRUCTION-CIB, *Agenda 21 on sustainable construction*. Rotterdam, Netherlands: CIB, Report. n. 237, 1999. p.120.

TORGAL, F.P.; JALILI, S. *Construção sustentável*. O caso dos materiais de construção. Congresso Construção 2007 - 3.º Congresso Nacional, Coimbra, Portugal, Universidade de Coimbra, 2007.

UGAYA, Cassia. M. L. *Análise de Ciclo de Vida: estudo de caso para materiais componentes automotivos no Brasil*. Campinas, 2001. (Tese) - Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2001.

\_\_\_\_\_. Avaliação do ciclo de vida. *Sustainable building 2010*, Brasil. SB10 Brasil, 2010.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME – UNEP. *Perspectivas do Meio Ambiente Mundial-2002-GEO-3: Passado, presente e futuro*. ed. brasileira. Brasil: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais- IBAMA; Universidade Livre da Mata Atlântica- UMA, 2004. Cap1. 24p. Disponível em: <[http://www.wwiuma.org.br/geo\\_mundial\\_arquivos/index.htm](http://www.wwiuma.org.br/geo_mundial_arquivos/index.htm)>. Acesso em 20 jul. 2012.

\_\_\_\_\_. *Declaration of the United Nations Conference on the Human Environment*. Disponível em:

<<http://www.unep.org/Documents.Multilingual/Default.asp?documentid=97&articleid=1503>>. Acesso em: 20 jul. 2012.

\_\_\_\_\_. *Building and Construction*. Disponível em: <<http://www.unep.org/CLIMATENEUTRAL/Default.aspx?TabId=141>>. Acesso em 04 jun. 2012.

\_\_\_\_\_. *Brief Summary of the General Debate*. Disponível em: <<http://www.unep.org/Documents.Multilingual/Default.asp?DocumentID=97&ArticleID=1497&l=en>>. Acesso em: 20 jul. 2012.

\_\_\_\_\_. *Action on Ozone*. Nairobi, UNEP, 2000. Disponível em: <<http://ozone.unep.org/pdfs/ozone-action-en.pdf>>. Acesso em: 30 jul. 2012.

UNITE STATES. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - US EPA. *Green building basic information*. [Online], 2009. Disponível em: <<http://www.epa.gov/greenbuilding/pubs/about.htm>>. Acesso em: 18 jul. 2012.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP. PCC 2540 – O edifício e o ambiente – Notas de aula 2004. Disponível em: <<http://pcc2540.pcc.usp.br>>. Acesso: 15 jun. 2012.

\_\_\_\_\_. PCC-2302 – Gestão da Produção na Construção Civil II – aula 12: Elementos do canteiro, Notas de aula 2006. Disponível em: <<http://pcc2302.pcc.usp.br/Aulas/2006/PCC%202302%202006%20AULA%2012%20elem%20canteiro.pdf>>. Acesso em: 15 dez. 2012.

VERDE GHAIA. BLOG VG: CANAL DE NOTÍCIAS DO GRUPO VERDE GHAIA. Rio de Janeiro lança Plano de Gerenciamento de Resíduos da construção civil. 13 set. 2012. Disponível: <<http://www.verdeghaia.com.br/blog/rio-de-janeiro-lanca-plano-de-gerenciamento-de-residuos-da-construcao-civil/>>. Acesso em: 27 dez. 2012.

VIRGÍLIO, Nelson. Processo de Produção Química (apostila), 2011.

WASTE RESOURCES ACTION PROGRAMME – WRAP. *Plasterboard case study: Plasterboard waste minimisation and management*, 2008. Disponível em: <[http://www2.wrap.org.uk/downloads/Case\\_Study\\_-\\_Plasterboard\\_waste\\_minimisation\\_and\\_management.efe77323.3834.pdf](http://www2.wrap.org.uk/downloads/Case_Study_-_Plasterboard_waste_minimisation_and_management.efe77323.3834.pdf)>. Acesso em: 23 jun 2012.

WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT - WCED. *Our Common Future*. Oxford: Oxford University Press, 1987, p.27.

YUDELSON, J. *The green building revolution*. Washington: Island press, WA, 2007.

YUBA, A.N. *Análise de pluridimensionalidade da sustentabilidade na cadeia produtiva de componentes construtivos de madeira de plantios florestais*. São Carlos, 2005. (Tese) - Universidade de engenharia de São Carlos, São Paulo, 2005.

WEBRESOL. Bolsa de Recicláveis de São Paulo. Disponível em: <<http://www.resol.com.br/bolsa/bolsa.php>>. Acesso em: 20 dez. 2012.

**OBRAS CONSULTADAS:**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO DRYWALL. Disponível em: <http://www.drywall.org.br/>>. Acesso em: 1 jun. 2012.

BEIRIZ, Fernando. *Um modelo de aplicação da logística reversa na sustentabilidade da indústria da construção*. Niterói, 2010. 196f. (Tese) – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal Fluminense, Niterói. 2010.

BILEC, M. *A hybrid life cycle assessment model for Construction processes*. United States of America – USA, 2007. 297p. (Tese) - Escola de engenharia da Universidade de Pittsburgh, USA.

BIRD, R. B.; STEWART, W. E., and LIGHTFOOT, E. N. *Transport Phenomena*. 2.ed. New York: John Wiley & Sons, 2002.

BOURDEAU, Luc. Centre Scientifique et Technique Edifício- CSTB. Agenda21 sobre construção sustentável. Especial CIB Publicação, 02 jun. 2012. Disponível em: <[cic.vtt.fi/eco/cibw82/a21.htm](http://cic.vtt.fi/eco/cibw82/a21.htm) ½ >. Acesso em 03 set. 2012.

BRE ENVIRONMENTAL ASSESSMENT METHOD - BREEAM. Disponível em: <<http://www.breeam.org/about.jsp?id=66>>. Acesso em: 02 set. 2012.

BUILDING ECOLOGY. Disponível em: <<http://be.dev.netcorps.org/sustainability/life-cycle-assessment/life-cycle-assessment-software/lcait-4>>. Acesso em: 01 jun. 2012.

CÂMARA DOS DEPUTADOS. Disponível em: <http://www2.camara.gov.br/agencia/noticias/ADMINISTRACAO-PUBLICA/196187-DEFICIT-HABITACIONAL-NO-BRASIL-E-DE-5,5-MILHOES-DE-MORADIAS.html>. Acesso em: 01 jun. 2012.

CARLOS, Edison. Instituto do PVC. *Aplicação do PVC na construção civil* . Disponível em: <[http://www.institutodopvc.org/publico/?a=conteudo\\_link&co\\_id=122](http://www.institutodopvc.org/publico/?a=conteudo_link&co_id=122)> . Acesso em: 23 dez. 2012.

CENTRO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO EM AÇO – CBCA. Disponível em: <<http://www.cbca-iabr.org.br>>. Acesso em: 01 jun. 2012.

ECOINVENT CENTRE. Disponível em: < <http://www.ecoinvent.org>>. Acesso em: 01 jun. 2012.

ENVEST2. Disponível em: <<http://www.envest2.bre.co.uk/account.jsp>>. Acesso em: 01 jun. 2012.

ERTHAL, J.M. A insustentável grandeza da Rio+20. Meio Ambiente. Veja online, 23/06/2012. Disponível em: <<http://veja.abril.com.br/noticia/brasil/a-insustentavel-grandeza-da-rio-20>>. Acesso em: 22 ago. 2012.

EUROPA. Síntese da legislação da União Européia. Disponível em: <[europa.eu/legislation\\_summaries/environment/tackling\\_climate\\_change/l28060\\_pt.htm](http://europa.eu/legislation_summaries/environment/tackling_climate_change/l28060_pt.htm)>. Acesso em: 01 jun. 2012.

FERREIRA, Romário. Custo comparado: Paredes de drywall x alvenaria de bloco cerâmico. Piniweb. Disponível em: <<http://revista.construcaomercado.com.br/guia/habitacao-financiamento-imobiliario/133/artigo264201-1.asp>>. Acesso em: 02 jan. 2013.

GABI-SOFTWARE. Disponível em: <<http://www.gabi-software.com/international/index/>>. Acesso em: 12 jun. 2012.

HIMENVIRO. Environmental Technologies. Disponível em: <<http://www.intensiv-filter.com/pt/geschaeftsfelder/zement-kalk-gips/>>, Acesso em: 01 jun. 2012.

INSTITUTO BRASIL PNUMA. Disponível em: <<http://www.brasilpnuma.org.br>>. Acesso em: 01 jun. 2012.

LAJES DE CONCRETO ARMADO. Disponível em: <<http://www.lmc.ep.usp.br/pesquisas/TecEdu/flash/Lajes-tipos.html>>. Acesso em: 01 jun. 2012.

LAMBERT, Douglas M.; STOCK, James R.; VANTINE, José Geraldo. Administração: Estratégica da Logística. São Paulo: Vantine Consultoria, 1998

LIBRELOTTO, D. ; JALALI, S. Aplicação de Uma Forma de Análise do Ciclo de Vida em Edificações Residenciais – Estudo de Caso. Universidade do Minho, Portugal, 2008.

MEDEIROS, Heloisa. Construção mercado 87 - outubro 2008. Disponível em: <<http://revista.construcaomercado.com.br/negocios-incorporacao-construcao/87/artigo120604-1.asp>>. Acesso em: 16 jan. 2013.

METÁLICA. Disponível em: <<http://www.metalica.com.br/importacao-de-aco-subiu-155-ate-abril>>. Acesso em: 21 jan. 2013.

NATIONAL INSTITUTE OF BUILDINGS SCIENCES. Disponível em: <<http://www.wbdg.org/tools/blcc.php>>. Acesso em: 01 jun. 2012.

NORMA REGULAMENTADORA - NR 1 - disposições gerais. Publicação. Diário Oficial da União - D.O.U. Portaria GM n.º 3.214, de 08 de junho de 1978. Disponível em: <[http://portal.mte.gov.br/data/files/FF8080812BE914E6012BEF0F7810232C/nr\\_01\\_at.pdf](http://portal.mte.gov.br/data/files/FF8080812BE914E6012BEF0F7810232C/nr_01_at.pdf)>. Acesso: 10 dez. 2012.

ORNSTEIN, S. W.; BRUNA, G. C.; ROMÉRO, M. Avaliação Pós - Ocupação do Ambiente Construído. 1a. ed. São Paulo: StudioNobel/Editora da Universidade de São Paulo, 1992.

PORTAL DO GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Disponível em: <<http://www.saopaulo.sp.gov.br>>. Acesso em: 01 jun. 2012.

PRè-SOFTWARE. Disponível em: <<http://www.pre-sustainability.com/simapro-lca-software>>. Acesso em: 01 jun 2012.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS – UNEP. Disponível em: <<http://www.unep.org>>. Acesso em: 01 jun 2012.

PULSELLI, et al. Energy analysis of building manufacturing, maintenance and use: em-building indices to evaluate housing sustainability. In: *Energy and Buildings*, 2007. 620-628p.

PULSELLI, R. M., et al. Sustainability concern of housing: energy storage and flow assessment. In: *Management of Natural Resources, Sustainable Development and Ecological Hazards*. MITpress, v.99, 2006.

PULSELLI, R. M., et al. Specific energy of cement and concrete: an energy-based appraisal of building materials and their transport. In: *Ecological indicators*, MITpress, n.8, 2008. 647-656 p.

SOCIETY OF ENVIRONMENTAL TOXICOLOGY AND CHEMISTRY – SETAC. Disponível em: <<http://www.setac.org/>>. Acesso em: 01 jun. 2012.

SUSTENTABILIDADE CORPORATIVA. Um olhar sustentável sobre o mundo empresarial. Disponível em: <<http://www.sustentabilidadecorporativa.com/2011/07/construcao-civil-e-suas-perspectivas-em.html#ixzz1t5xpYNMu>>. Acesso em: 01 jun. 2012.

SUSTAINABLE ELETRONINCS INITIATIVES. University of Illinois at Urbana-Champaign. Disponível em: <<http://www.sustainelectronics.illinois.edu/resources/fullrecord.cfm?id=2581>>. Acesso em: 01 jun. 2012.

TAN, R.R; CULABA, A.B. *Environmental Life-Cycle Assessment: A Tool for Public and Corporate Policy Development*. De La Salle University – Filipinas, 2002. Disponível em: <<http://www.imamu.edu.sa/topics/IT/IT%206/A%20Tool%20for%20Public%20and%20Corporate%20Policy%20Development.pdf>>. Acesso em: 03 abr. 2012.

TC207. Environment Management. Disponível em: <<http://www.tc207.org/>>. Acesso em: 01 jun. 2012.

WWF Brasil. Disponível em: <[http://www.wwf.org.br/natureza\\_brasileira/questoes\\_ambientais/desenvolvimento\\_sustentavel/](http://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/questoes_ambientais/desenvolvimento_sustentavel/)>. Acesso em: 01 jun. 2012.

ZENID, Geraldo José, coordenador. Madeira: uso sustentável na construção civil. 2.ed. São Paulo : Instituto de Pesquisas Tecnológicas:SVMA, 2009.

AUTOR DO PROJETO:

CONDEIXA, Fernando J.P. Autor do projeto de arquitetura e construção.