

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL**

**ANÁLISE DO CICLO DE VIDA NA CONSTRUÇÃO CIVIL:
UM ESTUDO COMPARATIVO ENTRE VEDAÇÕES ESTRUTURAIS
EM PAINÉIS PRÉ-MOLDADOS
E ALVENARIA EM BLOCOS DE CONCRETO**

Felipe Henrique Azevedo Campos

Belo Horizonte
Escola de Engenharia da UFMG
2012

**ANÁLISE DO CICLO DE VIDA NA CONSTRUÇÃO CIVIL:
UM ESTUDO COMPARATIVO ENTRE VEDAÇÕES ESTRUTURAIS
EM PAINÉIS PRÉ-MOLDADOS
E ALVENARIA EM BLOCOS DE CONCRETO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Construção Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Construção Civil.

Área de concentração: Construção Civil
Orientador: Prof.Dr. Aldo Giuntini de Magalhães
Coorientador: Prof. Dr. Guilherme Fernandes Marques

Belo Horizonte
Escola de Engenharia da UFMG
2012

C198a

Campos, Felipe Henrique Azevedo.

Análise do ciclo de vida na construção civil [manuscrito] : um estudo comparativo entre vedações estruturais em painéis pré-moldados e alvenaria em blocos de concreto / Felipe Henrique Azevedo Campos. – 2011.
122 f., enc.: il.

Orientador: Aldo Giuntini de Magalhães.

Co-orientador: Guilherme Fernandes Marques.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Anexos: f.102-122.

Bibliografia: 92-101.

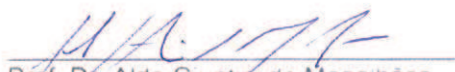
1. Engenharia civil -- Teses. 2. Materiais de construção -- Teses. I. Magalhães, Aldo Giuntini. II. Marques, Guilherme Fernandes. III. Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia. IV. Título.

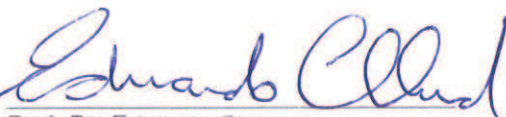
CDU: 691 (043)

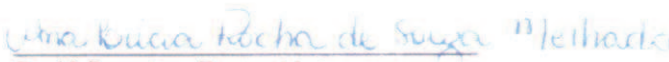
**ANÁLISE DO CICLO DE VIDA NA CONSTRUÇÃO CIVIL:
UM ESTUDO COMPARATIVO ENTRE VEDAÇÕES ESTRUTURAIS
EM PAINÉIS PRÉ-MOLDADOS
E ALVENARIA EM BLOCOS DE CONCRETO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Construção Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Construção Civil.

Comissão examinadora:


Prof. Dr. Aldo Giuntini de Magalhães
DEMC/UFMG (orientador)


Prof. Dr. Eduardo Chahud
DEMC/UFMG


Prof.ª Dra. Ana Rocha Melhado
FEFAAP - Faculdade de Engenharia da Fundação Armando Alvares Penteado

Belo Horizonte
Escola de Engenharia da UFMG

2012

AGRADECIMENTOS

Seria impossível o término deste trabalho sem a ajuda de pessoas que, ao longo deste caminho, aprendi a admirar o bastante para chamar de amigos.

Então, agradeço ao meu amigo, professor e orientador Aldo Giuntini de Magalhães, que tão pacientemente me orientou nestes últimos anos e cuja determinação culminou no término deste trabalho. Muito obrigado pelos bons momentos, por todas as vezes que você me colocou no caminho certo e por toda confiança em mim depositada. Sem este apoio, eu não teria conseguido.

Agradeço imensamente pela minha eterna companheira, amiga e esposa Valéria, com quem, durante o período do mestrado, dividi a maior alegria de nossas vidas, e que com quem, a cada dia que passa, tenho mais orgulho e felicidade de compartilhar minha vida.

A minha filha, linda e maravilhosa, que mesmo tão pequena, entendeu a minha ausência em alguns momentos de sua vida.

A Melissa, pela valiosa colaboração e apoio, pela sua visão imparcial e pela sua vontade em ajudar. (Não posso esquecer aqui daqueles importantes sucos de maracujá oferecidos por você.)

Ao professor Guilherme, que sempre entendeu as minhas dificuldades. Obrigado por dividir comigo o seu valioso conhecimento.

Aos meus pais e minha irmã, que sempre apoiaram as minhas decisões.

Aos meus amigos, como sempre me apoiando e me tranquilizando em momentos de incertezas.

Portanto, brindo a todos vocês – desejando alegria, sucesso, paz e tudo de melhor que a vida possa oferecer.

Muito obrigado.

A minha filha Manuela e minha esposa Valéria.

***“Um sonho sonhado sozinho é um sonho.
Um sonho sonhado junto é realidade.”***

Raul Seixas

SUMÁRIO

Lista de figuras.....	10
Lista de quadros.....	12
Lista de tabelas.....	13
Lista de abreviaturas e siglas	15
Resumo.....	17
Abstract.....	18
1 INTRODUÇÃO.....	19
1.1 Objetivo geral	21
1.2 Objetivos específicos	21
1.3 Estrutura do trabalho	22
2 REVISÃO DA LITERATURA	23
2.1 - Introdução à sustentabilidade: desenvolvimento sustentável	23
2.1.1 Emissões de CO ₂ , efeito estufa e a questão energética	26
2.2 - Panorama mundial da construção civil e sustentabilidade	31
2.3 - Análise do Ciclo de Vida (ACV)	33
2.3.1 Definição de Objetivo e Escopo	38
2.3.2 Análise de inventário de ciclo de vida (ICV)	39
2.3.3 Avaliação de impacto do ciclo de vida	40
2.3.4 Interpretação de resultados	41
2.4 - ACV em um contexto mundial	42
2.4.1 ACV em países desenvolvidos	42
2.4.2 ACV nos países em vias de desenvolvimento.....	47

2.5 - A ACV e a indústria da construção civil	54
2.6 - Elementos estruturais de vedação: blocos de concreto e painéis pré-moldados de concreto	55
2.6.1 Painéis pré-moldados de concreto	56
2.6.2 Blocos de concreto	57
2.7 - A ACV por meio de <i>softwares</i> de balanço de massa	59
3 MATERIAIS E MÉTODOS	62
3.1 - Objetivos e escopo da ACV para os elementos estruturais de vedação	62
3.1.1 Unidade funcional	63
3.1.2 Fronteiras dos sistemas	63
3.2 - Ambiente de estudo	64
3.3 - Solução construtiva em painéis pré-moldados de concreto	67
3.3.1 Fabricação dos painéis pré-moldados de concreto	68
3.4 - Solução construtiva em blocos de concreto	70
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	73
4.1 - Criação das redes de fluxo	73
4.2 - Elaboração dos inventários necessários para quantificação dos efeitos dos processos	76
4.2.1 Considerações para a realização dos inventários de materiais	77
4.2.2 Considerações para realização dos inventários de transporte	79
4.3 - Apresentação e análise das emissões de GEE	82
4.3.1 Emissões de GEE na fabricação dos painéis pré-moldados de concreto	83
4.3.2 Emissões de GEE na fabricação dos blocos de concreto	85
4.4 Análise comparativa das soluções construtivas estudadas	87

5	CONCLUSÕES	90
6	REFERÊNCIAS	92
	ANEXOS	102

LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Curva de crescimento da população.....	24
Figura 2 – Dimensões que envolvem o conceito de sustentabilidade	24
Figura 3 – Artigos contendo o termo ‘desenvolvimento sustentável’	25
Figura 4 – Emissões brasileiras de GEE	30
Figura 5 – Desafios da construção sustentável	32
Figura 6 – O novo enfoque da construção civil dentro do contexto global	33
Figura 7 – Fases de uma ACV	36
Figura 8 – Histograma dos artigos que citam ACV	37
Figura 9 – Categorias de fluxos de materiais de um inventário	39
Figura 10 – Relacionamento entre as fases da ACV	42
Figura 11 – Painéis pré-moldados	63
Figura 12 – Alvenaria – fabricação do bloco estrutural de concreto	64
Figura 13 – Alvenaria – sistema de revestimento do bloco de concreto	64
Figura 14 – Condomínio Mariana	65
Figura 15 – Implantação do Condomínio Mariana	65
Figura 16 – Fachada do Condomínio Mariana	66

Figura 17 – Fachada – elevação lateral direita e esquerda do Condomínio Mariana	66
Figura 18 – Plantas dos tipos de apartamentos do Condomínio Mariana	67
Figura 19 – Planta baixa do Condomínio Mariana e distribuição dos painéis pré- moldados	68
Figura 20 – Fabricação em pista e bateria	69
Figura 21 – Pórtico para movimentação dos painéis	70
Figura 22 – Representações utilizadas nas redes de fluxos	74
Figura 23 – Diagrama de rede para a etapa de fabricação do painel	75
Figura 24 – Diagrama de rede para a etapa de fabricação dos blocos	76
Figura 25 – Diagrama de rede para a etapa de fabricação do painel – balanço de massas	83
Figura 26 – Diagrama de emissões de CO ₂	84
Figura 27 – Percentual de massa correspondente às emissões de CO ₂ no processo	85
Figura 28 – Diagramadas emissões de CO ₂ decorrentes do processo de fabricação da alvenaria em blocos de concreto	86
Figura 29 – Diagrama de rede de fluxo para fabricação da argamassa de assentamento dos blocos	104
Figura 30 – Diagrama de rede de fluxo para fabricação do reboco	105
Figura 31 – Diagrama de rede de fluxo para fabricação do chapisco	106

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Comparação de emissões de poluentes nos processos de fabricação dos blocos de concreto e dos painéis pré-moldados	87
Quadro 2 – Comparação de emissões nos processos de fabricação dos blocos de concreto e dos painéis pré-moldados	88
Quadro 3 – Comparação de emissões de CO ₂ durante a fase de fabricação do cimento	88
Quadro 4 – Comparação de emissões na fase de transporte dos processos de fabricação dos blocos de concreto e dos painéis pré-moldados	89
Quadro 5 – Comparativo dos <i>softwares</i> de balanço de massa	103

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dimensões reais dos blocos de concreto.....	58
Tabela 2 – Traços de concreto.....	69
Tabela 3 – TKU.....	80
Tabela 4 – ICV para a etapa de transporte do cimento.....	82
Tabela 5 – ICV para a extração de areia.....	107
Tabela 6 – ICV para a fabricação do cimento.....	108
Tabela 7 – ICV para a etapa de fabricação do concreto.....	109
Tabela 8 – ICV para a etapa de fabricação do aço.....	110
Tabela 9 – ICV para a etapa de transporte da areia.....	111
Tabela 10 – ICV para a etapa de transporte.....	112
Tabela 11 – ICV para a etapa de transporte do aço.....	113
Tabela 12 – ICV para a etapa de transporte do concreto.....	114
Tabela 13 – ICV para a etapa de fabricação dos blocos de concreto.....	115
Tabela 14 – ICV para a etapa de transporte do cimento para a fabricação dos blocos.....	116
Tabela 15 – ICV para a etapa de transporte de areia para a fabricação dos blocos.....	117
Tabela 16 – ICV para a etapa de transporte da brita para a fabricação dos blocos.....	118

Tabela 17 – ICV para a etapa de transportes dos blocos até a obra.....	119
Tabela 18 – ICV da etapa de assentamento dos blocos (argamassa).....	120
Tabela 19 – ICV para a execução do emboço.....	121
Tabela 20 – ICV para a execução do chapisco.....	122

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT –	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV –	Avaliação do Ciclo de Vida
ALCAS –	Australian Life Cycle Assessment Society
APEC –	Asia-Pacific Economic Cooperation
BMCC –	Building Material and Component Combinations
CALCAS –	Co-ordination Action for innovation in Life Cycle Analysis for Sustainability
CCPA –	Canadian Chemical Producers Association
CIB –	International Council for Research and Innovation in Building and Construction
CML –	Centrum voor Milieuwetenschappen Leiden
CPM –	Centre for Environmental Assessment of Product and Material Systems
EUROSTAT –	Gabinete de Estatísticas da União Europeia
FMI –	Fundo Monetário Internacional
GEE –	Gases de Efeito Estufa
IBICT –	Informação em Ciência e Tecnologia
ICV –	Índice do Ciclo de Vida
IFEU –	Institute for Energy and Environmental Research
ISO –	International Organization for Standardization
ITRI –	Industrial Technology Research Institute
MCT –	Ministério da Ciência e Tecnologia

MITI –	Ministry of International Trade and Industry
MMF –	Materiais de mudança de fase
MRI –	Idwest Research Institute
ONU –	Organização das Nações Unidas
PBACV –	Programa Brasileiro de Avaliação do Ciclo de Vida
PIB –	Produto Interno Bruto
REPA –	Resource and Environmental Profile Analysis
SAGE –	Strategic Advisory Group Environment
SETAC –	Society of Environmental Toxicology and Chemistry
TEI –	Thailand Enviromental Institute
WPC –	Whole Process of the Construction
CFCs –	clorofluorcarbonos
CH ₄ –	metano
CO –	monóxido de carbono
CO ₂ –	dióxido de carbono
HFC –	hidrofluorcarbono
N ₂ O –	óxido nitroso
NO _x –	óxidos de nitrogênio
PFC –	perfluorcarbono

RESUMO

Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável são dois conceitos emergentes e imperiosos de aplicação para a sociedade mundial. O modelo hegemônico de desenvolvimento produziu bens e serviços de consumo em larga escala, atendendo às demandas que foram se impondo no curso do tempo; porém, concomitantemente, ele foi responsável pelo aumento dos níveis de emissão de CO₂ e geração de gases de efeito estufa. Por ignorarem quase sempre o fator ambiental, os processos produtivos resultaram em alterações no meio ambiente e no clima, a ponto de a qualidade de vida no planeta estar ameaçada. A construção civil responde por boa parte da emissão de CO₂ e de gases de efeito estufa na atmosfera. Frente à emergência da crise ambiental, este setor é chamado a adequar seus processos produtivos a este novo paradigma. A Análise do Ciclo de Vida (ACV) no setor, tema desta pesquisa, é ferramenta hoje indispensável para o enfrentamento do problema e compatibilização entre crescimento e sustentabilidade. Com base na ACV e na utilização de um *software* de balanço de massas (Umberto), é realizada uma análise comparativa entre duas soluções construtivas para edifícios residenciais – paredes de bloco de concreto e painéis pré-moldados de concreto –, com o objetivo de verificar qual dos dois sistemas é ambientalmente mais favorável. Conclui-se, então, que o *software* é adequado para tanto e que os painéis pré-moldados estudados não contribuíram para mitigar os efeitos negativos de materiais e processos construtivos sobre o meio ambiente.

Palavras-chave: sustentabilidade na construção civil; ACV; painéis pré-moldados de concreto.

ABSTRACT

Sustainability and sustainable development are two emerging concepts and compelling application for the global society. The hegemonic model of development produced consumer goods and services on a large scale, meeting the demands that were being imposed in the course of time, however, concomitantly increased levels of CO₂ and generated greenhouse gases. For ignore almost always the environmental factor, production processes resulted in changes in the environment and climate as to the quality of life on Earth be threatened. The construction industry accounts for much of the CO₂ emissions and greenhouse gases in the atmosphere. Faced with the emergence of the environmental crisis, is required to adapt its processes to this new paradigm. The Life Cycle Analysis (LCA) in this industry, theme of this research, is today indispensable tool to tackle the problem and reconcile growth and sustainability. Based on LCA and using Umberto software, is performed a comparative analysis between two constructive solutions for residential buildings, walls of concrete block and precast panels of concrete, in order to determine which of the two systems are more environmentally friendly. It is concluded that the software is suitable for both panels and that the precast panels of concrete considered for this research can't help to mitigate the negative effects of materials and construction processes on the environment.

Keywords: sustainability in construction, LCA, prefabricated panels of concrete.

1

INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil é responsável por aproximadamente 5 a 15% do PIB nacional, e sua cadeia produtiva é responsável por mais de 9,2% do PIB, correspondendo a 40% dos investimentos e gerando mais de 10 milhões de empregos (CBIC, 2010).

Nesse contexto, a indústria da construção civil representa uma das atividades econômicas mais importantes e impactantes do planeta. Em termos ambientais, essa indústria é responsável por 30% das emissões de carbono, sendo que o parque edificado consome 42% da energia produzida (TORGAL, 2010). Estima-se, também, que a construção civil é responsável pela utilização de 60% das matérias-primas disponíveis no planeta. Seu desenvolvimento, portanto, exige que sejam revistos os aspectos relacionados à concepção de seus projetos, incluindo a seleção de materiais e o aprimoramento de seus processos produtivos.

Tais demandas vêm tornando a Análise do Ciclo de Vida (ACV) uma ferramenta cada vez mais usada na construção civil. Por meio dela, é possível avaliar o desempenho de um determinado material, de um sistema produtivo ou mesmo de uma edificação ao longo de toda sua vida útil. A ACV permite a averiguação de oportunidades de melhoria na construção civil, oferecendo, especialmente, informações sobre os impactos ambientais gerados.

O presente estudo se propõe a realizar uma análise comparativa entre os ciclos de vida de painéis maciços de concreto pré-moldado e paredes estruturais de blocos de concreto, utilizados como sistema de vedação estrutural em um edifício de quatro pavimentos situado no município de Vespasiano, Minas Gerais, utilizando a ferramenta supracitada. Para tanto,

serão consideradas a metodologia e as recomendações apresentadas nas normas ISO (*International Organization for Standardization*)¹ 14040, 14041, 14042 e 14043.

A maioria dos inventários utilizados neste trabalho foi obtida de estudos nacionais. Toda a emissão de gases decorrente da movimentação de matérias-primas e produtos acabados identificados nos processos produtivos foi avaliada utilizando parâmetros pertinentes à frota brasileira, possibilitando a elaboração de ICVs de transporte específicos para esta pesquisa.

Conforme o esperado, a ACV mostrou-se uma ferramenta eficiente para avaliar os danos causados ao meio ambiente pelas atividades exercidas pelo setor da construção civil. Os esforços necessários para uma maior utilização da ACV no Brasil, onde a metodologia ainda não é amplamente adotada e onde a construção civil possui papel de destaque no desenvolvimento econômico, são justificáveis pela qualidade e importância dos resultados fornecidos.

¹ Organização internacional que normatiza procedimentos em diferentes campos e áreas de atuação. No Brasil, é representada pela ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas.

1.1 Objetivo geral

Esta pesquisa pretende realizar uma análise comparativa entre os ciclos de vida de painéis maciços de concreto pré-moldado e paredes estruturais de blocos de concreto. Para tanto, será utilizada a técnica de análise de ciclo de vida (ACV).

1.2 Objetivos específicos

Este estudo tem como objetivos específicos:

- a) avaliar o fluxo de massa nos processos de fabricação de painéis maciços de concreto pré-moldado e paredes estruturais de blocos de concreto, sendo ambas alternativas estudadas no contexto da construção de um edifício de cinco pavimentos na cidade de Vespasiano, Minas Gerais;
- b) verificar o nível de emissões totais de Gases de Efeito Estufa (GEE) ao longo das etapas de produção dos dois sistemas construtivos analisados;
- c) verificar o nível de emissões de GEE provenientes das etapas de transporte existentes nos dois sistemas construtivos analisados;
- d) identificar em ambos os sistemas construtivos as etapas críticas, tomando-se como parâmetro de análise o consumo de recursos naturais e a emissão de GEE; e
- e) apresentar, levando-se em consideração os parâmetros analisados, a solução ambientalmente mais favorável.

1.3 Estrutura do trabalho

Este trabalho encontra-se estruturado em seis capítulos, sendo complementado por vinte anexos.

No capítulo 2, é feita uma revisão bibliográfica, na qual se procura fornecer uma visão geral dos tópicos de maior relevância deste estudo. Primeiramente, são apresentados os conceitos básicos relacionados ao desenvolvimento sustentável. Em um segundo momento, são apresentadas as principais características da análise do ciclo de vida (ACV). Nessa etapa, é descrita a ferramenta e sua aplicação no contexto da construção civil. Exemplos são apresentados sobre seu uso em diversos países do mundo. Finalizando o capítulo, são descritos os aspectos gerais dos dois sistemas construtivos utilizados como base de comparação desta pesquisa.

No capítulo 3, são descritos os materiais e os métodos utilizados. Nele, são ainda definidas todas as premissas necessárias para a análise do ciclo de vida dos elementos estruturais de vedação. São, também, descritos os processos construtivos dos painéis pré-moldados de concreto e das alvenarias estrutural em blocos de concreto.

No capítulo 4, são apresentadas as redes de fluxo de massa e os inventários para análise do ciclo de vida, incluindo as considerações para elaboração dos inventários das etapas de transporte. Os resultados obtidos são apresentados de modo a possibilitar uma análise comparativa das soluções construtivas estudadas.

O capítulo 5 apresenta as conclusões deste estudo, sendo sucedido pelas referências bibliográficas do mesmo.

Os anexos trazem diversos diagramas de rede utilizados nas análises, bem como os inventários utilizados para o desenvolvimento desta pesquisa.

2

REVISÃO DE LITERATURA

O presente item do estudo dedica-se à compreensão do cenário relativo à preservação da natureza, abrangendo a questão da filosofia da sustentabilidade no âmbito da construção civil, destacando, especialmente, as questões relativas aos agentes poluentes que integram tal setor produtivo da economia. A análise deste cenário serve como base para apreciações mais profundas sobre sustentabilidade, que, no caso específico desta pesquisa, trata-se da temática Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Assim, neste capítulo encontra-se a estrutura macroteórica, consolidada com base na literatura existente.

2.1 – Introdução à sustentabilidade: desenvolvimento sustentável

A humanidade, nos últimos séculos, teve um crescimento tecnológico de significativa importância, principalmente após a Revolução Industrial, que teve início na Inglaterra no século XVIII, quando várias descobertas no campo das ciências possibilitaram uma enorme produção. Em decorrência dessas descobertas, verificou-se o desgaste dos elementos naturais e uma excessiva contaminação do meio ambiente natural, o que, hoje em dia, encontra reflexos no cotidiano da sociedade, sobretudo frente ao grande crescimento populacional, como é possível observar na Fig.1:

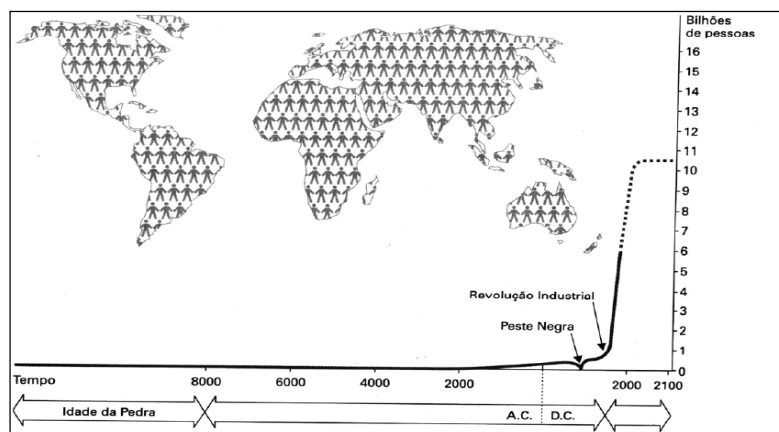


Fig. 1: Curva de crescimento da população
Fonte: BRAGA *et al*, 2005.

O termo “desenvolvimento sustentável” foi discutido, primeiramente, no documento intitulado *World Conservation Strategy*, instituído na *International Union for Conservation of Nature* (IUCN), em 1980 (MORSE; BELL, 2003). Neste documento, afirma-se que, para que o desenvolvimento seja sustentável, deve-se considerar aspectos referentes às dimensões social e ecológica, bem como fatores econômicos, dos recursos vivos e não vivos, e também as vantagens de curto e longo prazo das ações alternativas, conforme ilustrado na Fig. 2:

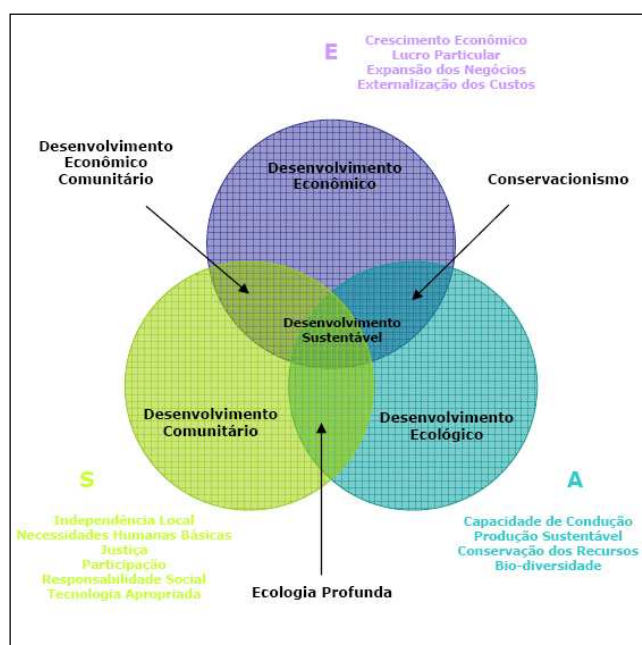


Fig. 2 – Dimensões que envolvem o conceito de sustentabilidade
Fonte: MORSE; BELL, 2003.

O Relatório Brundtland² apresentou pela primeira vez, segundo Dias (2008), uma versão mais elaborada do conceito de desenvolvimento sustentável. Segundo esse autor, “desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade de as futuras gerações satisfazerem as suas próprias necessidades”.

Antes da definição de desenvolvimento sustentável proposta pelo Relatório Brundtland já existiam, porém, diversos trabalhos que discorriam sobre o assunto. Entretanto, após sua divulgação, o mundo científico despertou o interesse de pesquisar e publicar trabalhos relacionados ao desenvolvimento sustentável. Isso pode ser observado na Fig. 3, que mostra o grande crescimento do volume de obras ligadas ao tema sustentabilidade ao longo das décadas:

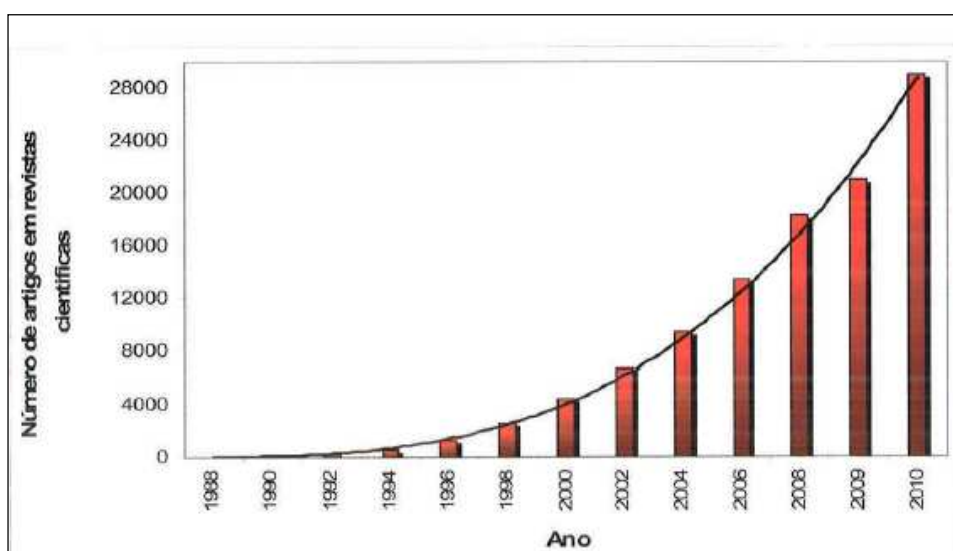


Fig. 3- Artigos contendo o termo “desenvolvimento sustentável”
Fonte: TORGAL e JALALI, 2010.

Para alguns, alcançar o desenvolvimento sustentável é obter o crescimento econômico contínuo por meio de um manejo mais racional dos recursos naturais e da utilização de tecnologias mais eficientes e menos poluentes; para outros, o desenvolvimento sustentável é, antes de tudo, um projeto social e político destinado a erradicar a pobreza, elevar a qualidade de vida e satisfazer as necessidades básicas da humanidade (ALIGLERI *et al*, 2009).

Vollenbroek (2002) afirma que, apesar de a definição tradicional de desenvolvimento sustentável ser forte e impor uma grande carga de responsabilidade sobre a geração presente,

² Documento emitido por uma comissão que teve como presidentes Gro Harlem Brundtland e Mansour Khalid, composta por ONGs e cientistas do mundo inteiro; foi elaborado a partir da *World Commission on Environment and Development* (WCED), 1987.

não é tão simples identificar as necessidades das gerações futuras. Segundo o autor, com o surgimento de novas tecnologias, provavelmente surgirão novas necessidades. O autor define desenvolvimento sustentável como o equilíbrio entre tecnologias disponíveis, estratégias de inovação e políticas governamentais.

2.1.1 – Emissões de CO₂, efeito estufa e a questão energética

O debate sobre como promover o desenvolvimento sustentável e a sustentabilidade do planeta é cada vez mais frequente, e a partir do início deste século, a discussão em torno das emissões de CO₂ e outros gases de efeito estufa (GEE) e da matriz energética mundial tornou-se predominante. Do ponto de vista ambiental, os processos produtivos, sobretudo os relacionados às atividades industriais, são postos no centro desse debate, considerando ainda que tais atividades ainda dependem de uma matriz energética movida à base de combustíveis fósseis.

Todas as atividades de produção e consumo geram efeitos que podem ou não impactar de forma direta o ambiente externo ao de produção propriamente dito, e quando estes efeitos intervêm no bem-estar da sociedade, as empresas criam um diferencial ambiental denominado “externalidade” (CARDOSO, 2004).

As externalidades podem ser positivas ou negativas. Do primeiro grupo fazem parte, por exemplo, benefícios sociais e preservação ambiental; e, do segundo, os custos adversos para a sociedade, isto é, os custos que ela internaliza. Externalidades negativas são as ações ou interferências prejudiciais ao bem-estar que determinados sistemas de produção causam em outros sistemas externos, inclusive o sistema ambiental (MOURA, 2000).

A energia, em seu sentido mais amplo, tem papel fundamental para a sociedade, sendo elemento-chave de inclusão social, do desenvolvimento sustentável e da melhoria da qualidade de vida da população. No entanto, a obtenção e uso excessivo de energia produzem externalidades de impacto ambiental que incluem a poluição do ar (por meio das emissões de gases, hidrocarbonos e particulados); a poluição da água (por exemplo, com o derrame de petróleo); e a modificação de ecossistemas (propiciada, por exemplo, pelas hidrelétricas). Há, ainda, impactos sobre o ambiente global pelas emissões de GEE, principalmente de CO₂, oriundo da queima de combustíveis fósseis. Qualquer uso de energia primária tem,

necessariamente, custos ambientais, seja no nível local, no regional ou no global (INEE, 2001).

O efeito estufa, ocasionado por alguns gases que têm a capacidade de reter sobre a atmosfera terrestre, por um determinado período de tempo, o calor irradiado pela superfície do planeta é um dos principais riscos ambientais enfrentados pela sociedade, estando também intimamente associado à elevação do consumo de energia. Apesar de o efeito estufa ser um fenômeno natural, existem fortes sinais de que a atividade humana é responsável por aumentar rapidamente a concentração desses gases, fazendo com que esse fenômeno natural seja reconhecidamente um dos principais riscos ambientais enfrentados pela sociedade (IBGE, 2010).

Segundo Mendonça e Gutierrez (2000), entre os exemplos mais conhecidos de gases de efeito estufa estão o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4), o óxido nitroso (N_2O) e os clorofluorcarbonos (CFCs). Gases como os óxidos de nitrogênio (NO_x), o monóxido de carbono (CO), os halocarbonos e outros de origem industrial, como o hidrofluorcarbono (HFC) e o perfluorcarbono (PFC), no entanto, também são exemplos de GEE.

Entre todos, o CO_2 é o principal causador do efeito estufa, tanto em função da sua produção antropogênica estar associada à produção e consumo de energia em termos globais quanto porque sua permanência na atmosfera é bastante duradoura. Mesmo no longo prazo, “nada parece indicar uma mudança na prevalência do CO_2 como principal protagonista do efeito estufa” (MENDONÇA e GUTIERREZ, 2000, p. 2). É importante ressaltar que existem outros gases com maiores potenciais de intensificação do efeito estufa, tais como o HFC-23, o N_2O e o CH_4 , porém a quantidade envolvida de emissões de CO_2 é a grande responsável pelo fenômeno.

Como já foi mencionado, as emissões de CO_2 são determinadas basicamente pela queima de combustíveis fósseis – carvão, petróleo, gás natural, etc. O nível destas emissões está intimamente relacionado ao nível da atividade econômica – quanto mais desenvolvida a economia, maior a atividade industrial e, por conseguinte, a emissão deste gás. E níveis de emissão de CO_2 acima do nível de segurança são incompatíveis com o crescimento sustentável (MENDONÇA e GUTIERREZ, 2000).

Emissões de CO₂ e de outros GEE associadas a uma matriz energética baseada no uso de combustíveis fósseis são, portanto, externalidades negativas, uma vez que geram custos para a sociedade e o meio ambiente. Conforme Altvater (*apud* ROIG *et al*, 2009, p. 21):

A exacerbação dos problemas ambientais é inerente ao processo de desenvolvimento capitalista e conduz inexoravelmente, como duas faces da mesma moeda, a uma polarização entre, de um lado, uma minoria de países com alto nível de consumo de recursos naturais, e de outro, os demais países excluídos destes benefícios, fadados a servirem como reserva destes recursos ou receptáculos da poluição passível de externalização por parte dos primeiros (como depósitos de resíduos perigosos ou como produtores de bens cujos processos produtivos são altamente poluentes).

Segundo Roig *et al* (2009), estudos do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) apontam o papel deletério dos combustíveis fósseis na emissão de gases que podem levar a mudanças climáticas, e projetam a necessidade de, partindo-se dos níveis atuais dessas emissões, reduzi-las entre 50% a 80% até 2050, para que seja possível manter o aquecimento global entre 2°C e 2,4°C – níveis mais aceitáveis.

O Relatório da Agência Internacional de Energia (World Outlook Energy) de 2008 destaca que a matriz energética mundial atual é responsável por 61% das emissões desses gases. Mais de 80% da oferta primária de energia vem de origem fóssil – 34,4% de petróleo; 26% de carvão e 20,5% de gás, composição que apresentou redução praticamente irrelevante se comparada à participação dos combustíveis fósseis em 1973, que era de 86% (*apud* ROIG *et al*, 2009).

O cenário atual indica, portanto, um aumento praticamente insustentável na tendência de aquecimento global, sobretudo porque as fontes de energia renováveis, excetuando a biomassa e a hidráulica, partem de uma base muito restrita, com participação reduzida na matriz energética mundial (ROIG *et al*, 2009).

Ao manter-se este quadro, será gerada uma alteração irreversível no meio ambiente, acarretando mudanças significativas em diversos aspectos da vida. Nesse contexto, a alteração do perfil da demanda energética, a ampliação da eficiência na produção, bem como no uso final de energia, e a substituição de energias fósseis por renováveis constituem desafios de grande relevância.

Para um cenário mais favorável, as emissões de CO₂ vinculadas à geração de energia teriam de cair severamente a partir de 2020 (ROIG *et al*, 2009). O problema é que, conforme Sachs (*apud* ROIG *et al*, 2009), até o momento nenhuma das energias alternativas oferece vantagens econômicas claras. Paralelamente, o imperativo ecológico tende a atuar com maior força, à medida que transparecem os contornos de uma crise desencadeada pelas mudanças climáticas.

Em comparação com o resto do mundo, o Brasil apresentou, no ano de 2005, índices de emissão da ordem 44% a menos que os demais países analisados, resultado proveniente de maior oferta de fontes renováveis de energia interna – como, por exemplo, derivados de cana-de-açúcar, gás natural e lenha de reflorestamento. Apesar disso, entre 1990 e 2005, as emissões de gás carbônico, o principal gás de efeito estufa, cresceram 65% (TOLMASQUIM *et al*, 2007; OLIVEIRA, 2011).

De acordo com dados do World Resources Institute, o Brasil é hoje o 4º maior emissor de GEE na atmosfera, e até 2030 será também um dos cinco países com maior potencial para reduzir essas emissões – em torno de 4% (McKINSEY, 2009).

Também em um horizonte de longo prazo, Tolmasquim *et al* (2007) estimam que, pelo ritmo de crescimento da economia e pela estrutura da expansão do consumo de energia, mesmo levando-se em conta o aumento da participação de fontes renováveis na matriz energética brasileira, o nível de emissões do Brasil deve aumentar significativamente nos próximos 25 anos. De acordo com esses autores, projetam-se emissões de cerca de 970 milhões de toneladas de CO₂ em 2030.

Segundo Oliveira (2011), em 2005, 61% das emissões brasileiras de GEE foram geradas pela mudança de uso de terras e florestas (desmatamento), 19% pelas atividades agropecuárias, 15% pelo setor de energia, 3% por processos industriais e 2% pelo tratamento de resíduos. Portanto, ao contrário dos países desenvolvidos no mundo, o setor de energia do Brasil contribui menos para as emissões de gases do efeito estufa do país (Fig. 4):

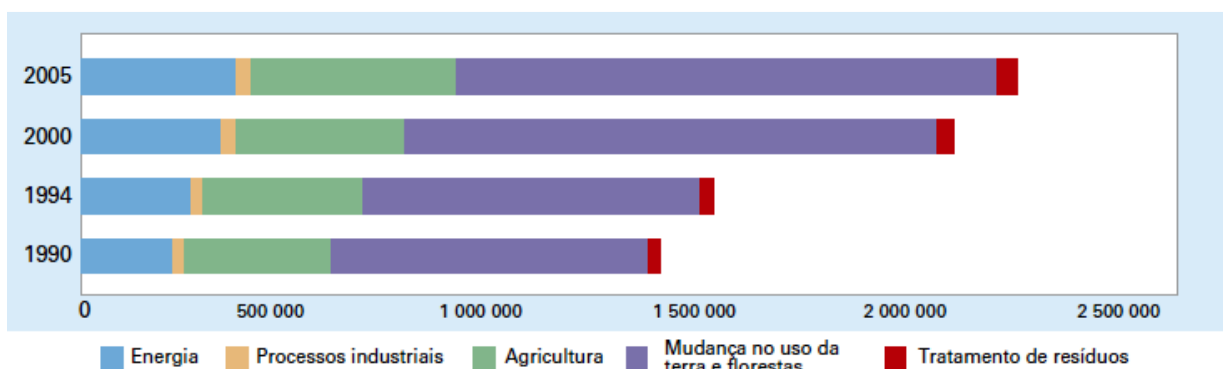


Fig. 4 – Emissões brasileiras de GEE
Fonte: OLIVEIRA, 2011.

Apesar de o desmatamento ainda ser o maior responsável pelas emissões de CO₂ e de outros GEE no Brasil, as emissões do setor industrial vêm crescendo paralelamente ao Produto Interno Bruto (PIB) nacional. Projeções da empresa McKinsey (2009) consideram que as emissões do setor poderão aumentar em 100% até 2030 em função da expansão industrial dos últimos anos, somada à expansão do transporte rodoviário brasileiro.

Dentro do setor industrial, a cadeia produtiva da construção civil representa 8% das emissões do Brasil, valor estimado gerado pelos fornecedores de materiais utilizados na construção, tais como na produção de cimento e de aço, no transporte, e, por último, na extração madeireira. O setor da construção civil tem como estimativa futura a responsabilidade de reduzir para 1% as emissões totais de GEE até 2030 junto à área de edificações. O setor de cimento é o que tem perspectivas de maior crescimento de emissões de tais gases até 2030, e o de edificações é o que apresenta potencial limitado de abatimento dos mesmos. (MCKINSEY, 2009).

No que se refere à cadeia de produção de materiais de construção, segundo Agopyan e John (2011), três são as principais fontes de emissões de GEE: o uso de combustível fóssil na fase de produção e transporte dos materiais, a decomposição do calcário e outros carbonetos durante a calcinação (materiais cerâmicos, cimento, aço, vidro, alumínio e outros), e a extração de madeira nativa. Na próxima seção, será analisado o binômio construção civil/sustentabilidade.

2.2 – Panorama mundial da construção civil e sustentabilidade

Na Europa, a indústria da construção civil representa um dos maiores e mais ativos setores, representando 28,1% do PIB e correspondendo a 7,5% de toda a economia europeia (TORGAL e JALALI, 2010).

Segundo o CIB – *International Council for Research and Innovation in Building and Construction* (2002),³ a atividade de construção e demolição da indústria da construção civil é um dos modelos de produção e consumo mais ineficientes, sendo responsável por:

- uma parcela entre 12% e 16% de consumo de água;
- 25% de utilização da madeira florestal;
- 30% a 40% da energia consumida;
- 40% do consumo da matéria-prima extrativa;
- 20% a 30% de produção de GEE; e
- 40% dos resíduos gerados, sendo que destes, parte é depositada em aterros sanitários.

Na Fig. 5, apontam-se, por meio da ótica do CIB (*apud* ISAIA, 2007), os aspectos e desafios da construção sustentável (água, energia, terra e materiais).

³ Entidade engajada no desenvolvimento científico, técnico, econômico e social relacionado com as edificações e construções, apoiando estudos e melhorias no processo construtivo e desempenho do ambiente construído.

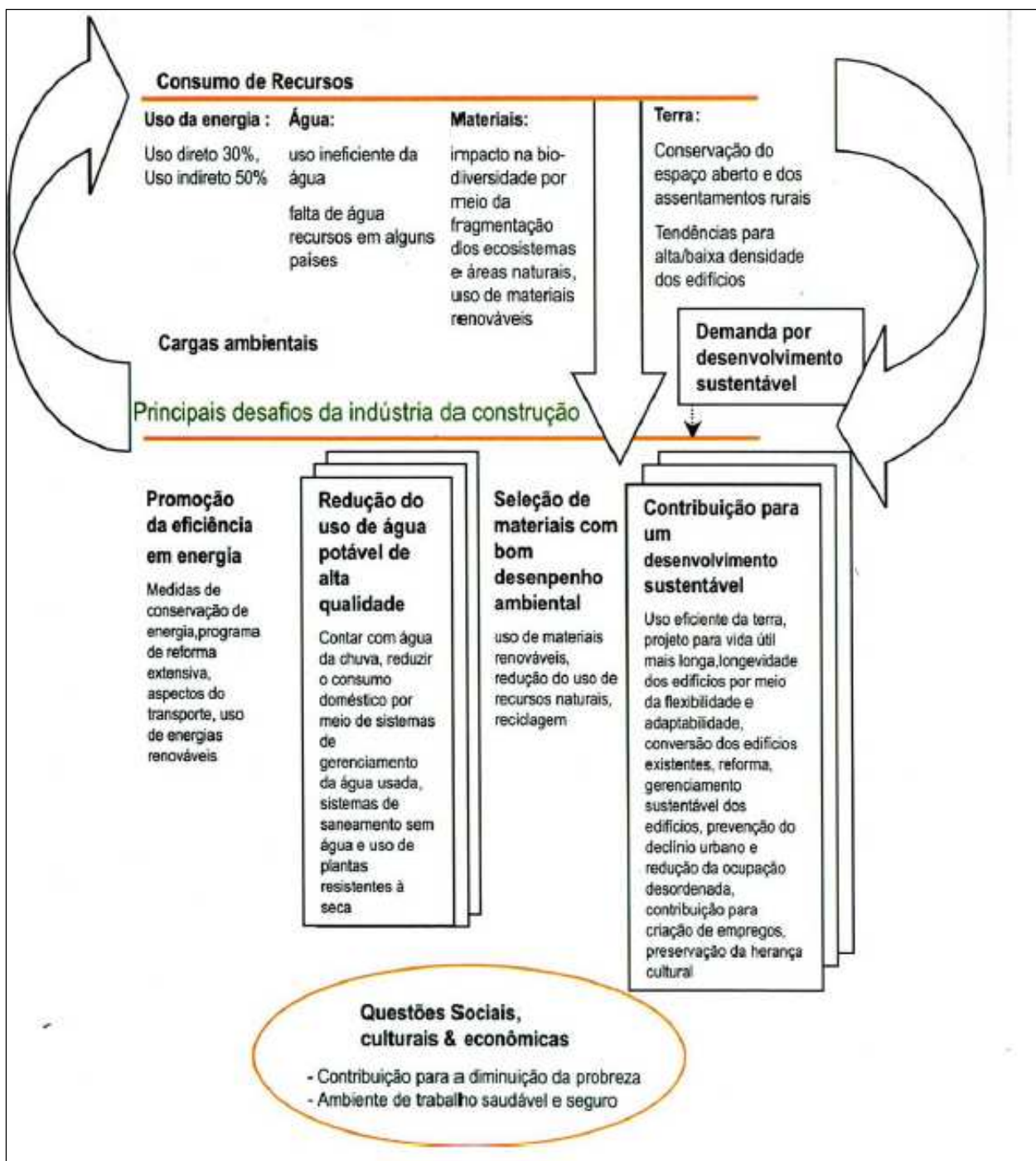


Fig. 5 – Desafios da construção sustentável
Fonte: CIB, 2002 *apud* Isaia, 2007.

Extraída da Agenda 21 e baseada em Vanegas, Dubose e Pearce (1996, *apud* KLEIN, 2002), a Fig. 6 mostra os objetivos ampliados da construção tradicional, considerando demandas ambientais (novo paradigma: recursos, biodiversidade e emissões) e fatores sociais, econômicos e culturais (contexto global):

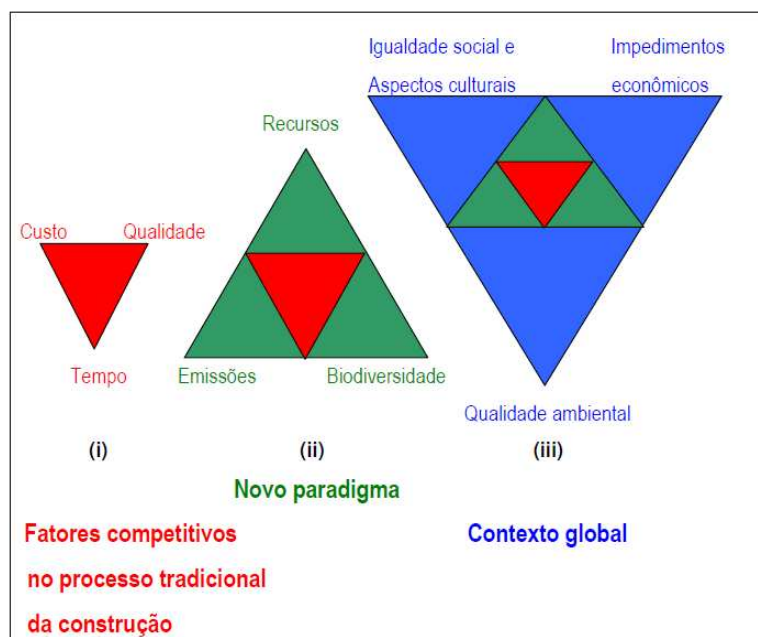


Fig. 6 – O novo enfoque da construção civil dentro do contexto global
 Fonte: Agenda 21 do CIB, 2000 apud KLEIN, 2002.

Em entrevista citada por John (2001), uma das tendências mais importantes e considerada fundamental para o setor da construção civil por um grupo de 1.500 construtores, projetistas e pesquisadores de todo o mundo era a questão ambiental, o que demonstra ser um elemento significativo a preocupação com a sustentabilidade, ao se ter em conta a atividade da construção civil.

Tendo em vista que condutas ambientalmente positivas recebem destaque como critérios de diferenciação de empresas, o setor da construção civil precisa entender seus impactos ambientais em todas as suas fases, para, assim, estabelecer as condições de controle, de diminuição ou eliminação de tais impactos (CARVALHO, 2002).

2.3 – Análise do Ciclo de Vida (ACV)

Muitas corporações, na década de 1970, se viram obrigadas a promover alterações de conduta no sentido de reduzir impactos negativos decorrentes de suas atividades. Em particular, desde a primeira crise do petróleo, no início daquela década, o mundo intensificou a busca por formas alternativas de energia e a melhoria dos processos para otimizar a utilização dos

recursos naturais. Já na década de 80, a noção de que a preservação da natureza poderia reduzir despesas operacionais levou as corporações a uma evolução de atitude em termos de administração de negócios.

Um dos primeiros problemas surgidos foi como comparar produtos ou processos distintos, do ponto de vista de suas consequências ambientais. Esta tarefa, aparentemente fácil, mostrou-se extremamente complexa em função da necessidade de estabelecimento de critérios comuns de comparação. Na época, grandes debates foram criados, enaltecendo algumas questões que hoje são consideradas essenciais, tais como:

- a) O produto “A” é melhor que o produto “B”?
- b) Lâmpadas fluorescentes ou lâmpadas incandescentes?
- c) Fraldas de tecido ou fraldas descartáveis?
- d) Embalagens plásticas ou embalagens de papel?

Identificou-se que o grande problema não estava no uso destes produtos, e sim na sua produção, transporte ou descarte (GUINÉE *et al*, 2011).

Todo produto, de alguma forma, causa no meio ambiente um impacto que pode ocorrer tanto durante a extração das matérias-primas utilizadas no processo de fabricação quanto no próprio processo produtivo; ou na sua distribuição; ou, ainda, no seu uso; ou, também, na sua disposição final.

A ACV é uma das metodologias de gestão ambiental utilizadas – no que tange aos parâmetros qualitativos e quantitativos –, para avaliação dos aspectos ambientais e dos impactos potenciais associados a um produto, compreendendo as etapas mencionadas anteriormente, que vão desde a retirada da natureza das matérias-primas elementares que entram no sistema produtivo (berço) até a disposição do produto final (túmulo) (CHEHEBE, 1998).

Um dos primeiros estudos realizados, considerando os conceitos da ACV, foi conduzido pelo *Midwest Research Institute* (MRI) em 1969, utilizando o nome de *Resource and Environmental Profile Analysis* (REPA). Apesar de este estudo não ter sido publicado, uma continuação realizada em 1974 pela *Environmental Protection Agency* e um estudo similar conduzido por Basler e Hofman, na Suíça, marcaram o início do desenvolvimento da ACV como é conhecida atualmente (GUINÉE *et al*, 2011). Antes disso, em 1963, durante a Conferência Mundial de Energia, Harold Smith apresentou um trabalho sobre a quantidade de

energia utilizada na fabricação de produtos químicos. Em 1984, o Laboratório Federal Suíço para Testes e Pesquisas de Materiais apresentou uma grande lista para estudos de ACV baseados nos estudos elaborados pelo REPA (GUINÉE *et al*, 2011).

O setor químico foi o pioneiro na elaboração de diretrizes para a gestão ambiental corporativa. A *Canadian Chemical Producers Association* (CCPA) lançou, em 1984, um documento denominado *Statement of Responsible Care and Guiding Principles*, contendo princípios específicos para a gestão responsável do processo de produção em todo o ciclo de vida do produto.

Na década de 1990, houve um grande crescimento de atividades científicas na área de ACV na Europa e nos EUA, criando, assim, uma grande quantidade de palestras e *workshops* relacionados a este tema. Também naquela década surgiram as primeiras revistas científicas. Na mesma época, a *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* (SETAC), fundada em 1979, começou a coordenar grupos de pesquisadores em ACV. Um dos resultados desse trabalho foi o Código SETAC de Práticas, publicado em 1993 com o propósito de unificar critérios metodológicos para estudos em ACV.

Segundo Fava *et al* (1991), a ACV foi definida naquele momento pela SETAC como um processo para:

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

Segundo a norma da série NBR ISO 14040 (ABNT, 2009), a ACV deverá ser utilizada para:

- a) identificar oportunidades de melhorias de aspectos ambientais de produtos em todo o seu ciclo de vida;

- b) auxiliar as indústrias e organizações governamentais e não governamentais a tomar decisões relacionadas ao seu planejamento estratégico e a definir prioridades de produtos e processos;
- c) selecionar indicadores importantes de desempenho ambiental; e
- d) promover ações de *marketing*.

Em 1992, a ISO criou o comitê temático TC207/SC 5, tendo em vista a normalização de um número de abordagens de gestão ambiental, incluindo a ACV.

Em 1997, foi publicada a norma ISO 14040, que especificava a estrutura geral, princípios e requisitos para conduzir estudos relacionados à Análise do Ciclo de Vida, definindo quatro fases para um estudo de ACV: definição de objetivo e escopo (ISO 14041); análise de um inventário do Ciclo de Vida (ISO 14041); avaliação de impacto do Ciclo de Vida (ISO 14042); e interpretação do Ciclo de Vida (ISO 14043). As fases da ACV podem ser observadas na Fig. 7:

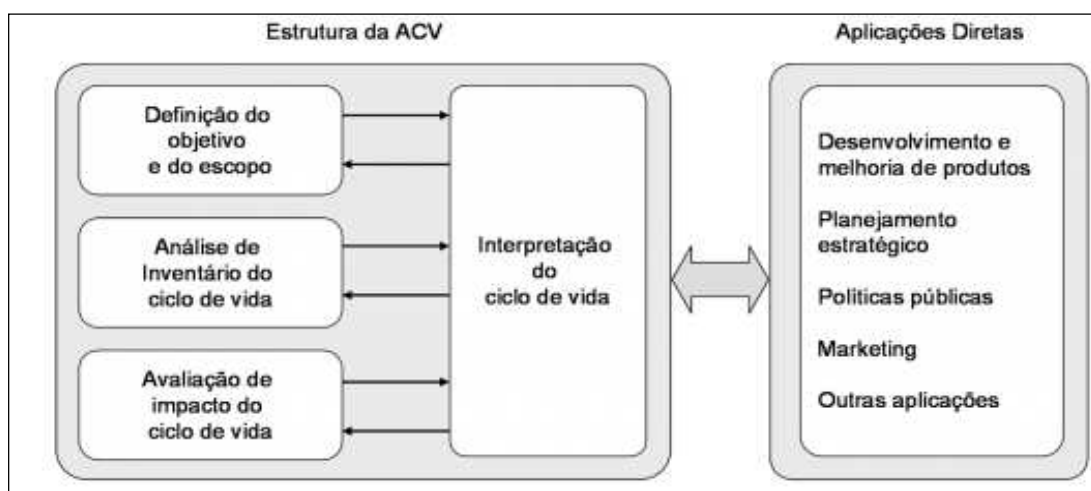


Fig. 7 – Fases de uma ACV
Fonte: IBRAHIM *et al*, 2007.

Segundo Guinée *et al* (2011), a ACV se desenvolveu de uma maneira muito rápida nos últimos 30 anos, sendo a primeira década do século 21 o período de maior crescimento. Este autor divide esta evolução em duas fases, a saber:

- a) **1º Fase (de 1970 a 2000):** esta fase foi dividida em dois períodos: 1) 1970 – 1990: denominada de Década da Concepção; 2) 1990 – 2000: Década da Normalização,

caracterizada como um período de convergência, por meio da SETAC e da ISO, fornecendo assim um padrão de terminologia, estrutura e harmonização dos métodos em ACV (GUINÉE *et al*, 2011).

- b) **2ª Fase (na partir de 2000):** denominada Década da Elaboração, se deu a partir da primeira década do século XXI, após um aumento na demanda de ACV. A UNEP, em conjunto com a SETAP, desenvolveu uma parceria internacional com o objetivo de colocar em prática o conceito de ACV e, também, de melhorar suas ferramentas de controle. Na época, além do crescimento da ACV em comunidades europeias, teve início a utilização da ACV como estratégia para temas como sustentabilidade no uso de recursos e reciclagem de resíduos sólidos.

Na Fig. 8, é possível verificar a evolução do desenvolvimento dos estudos da ACV nas publicações da ES&T a partir da primeira edição, em 1967.

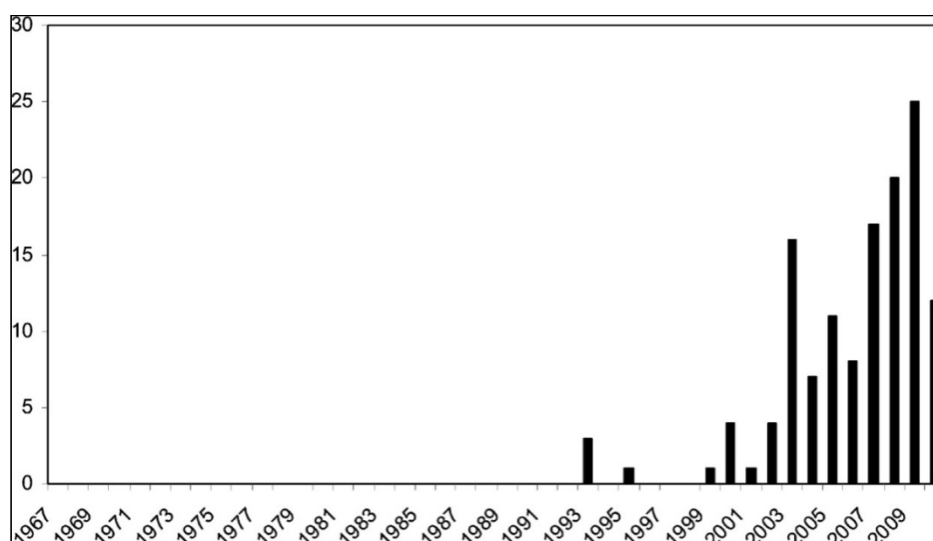


Fig. 8 – Histograma dos artigos que citam a ACV
Fonte: GUINÉE *et al*, 2011.

Segundo Guinée *et al* (2011), em 2006 uma comissão europeia denominada *Co-ordination Action for Innovation in Life Cycle Analysis for Sustainability* (CALCAS) publicou um trabalho ligando a ACV a questões de sustentabilidade. Ainda segundo os autores, essa será a próxima fase do ciclo de vida, a 3ª fase, que ocorrerá entre as décadas de 2010 e 20, e será baseada em análises sustentáveis do ciclo de vida.

É possível afirmar com Caldeira-Pires (*apud* CARVALHO, 2010, p. 128) que, em todo o mundo,

[a] metodologia da ACV encontra-se no momento num estágio de amadurecimento bastante elevado, pois as principais questões metodológicas e científicas encontram-se diagnosticadas e a sua prática tem sido ampliada em todo o mundo, nos mais diversos setores da economia.

Após este breve panorama, as quatro fases do estudo da ACV, de acordo com a NBR ISO 14040 (ABNT, 2009), encontram-se parcialmente transcritas a seguir:

2.3.1 – Definição de Objetivo e Escopo

O objetivo de um estudo de ACV deve indicar inequivocamente a aplicação pretendida, as razões para conduzir o estudo e o público-alvo, isto é, para quem se pretende comunicar os resultados do estudo. Já o escopo deve ser suficientemente bem definido para assegurar que a extensão, a profundidade e o grau de detalhe do estudo sejam compatíveis e suficientes para atender o objetivo estabelecido. Na definição de um escopo de um estudo da ACV, devem ser considerados e claramente descritos os seguintes itens:

- a) Definição das unidades do sistema
- b) Estabelecimento da função e da unidade funcional do sistema
- c) Procedimentos de alocação
- d) Requisitos dos dados
- e) Hipóteses de limitações
- f) Avaliação de impacto, quando necessária, e a metodologia a ser adotada
- g) Interpretação dos dados, quando necessária, e a metodologia a ser adotada
- h) Tipo e formato do relatório relevante para o estudo e a definição dos critérios para a revisão crítica, se necessário

Segundo Barbieri (2004), as fronteiras e limites de um estudo da ACV podem ser do tipo *cradle to grave* (do berço ao túmulo), que considera todas as etapas do ciclo de vida de um produto; *cradle to gate* (do berço ao portão da fábrica), que considera a extração e beneficiamento dos recursos naturais, fabricação dos produtos intermediários e principais; e, por último, *gate to grave* (do portão da fábrica ao túmulo), que considera a distribuição, uso e o descarte final do produto.

2.3.2 – Análise de inventário do ciclo de vida (ICV)

Nesta fase são realizadas a coleta e a quantificação de todas as variáveis – matéria-prima, energia, transporte, emissões para o ar, efluentes, resíduos sólidos, entre outros – que se relacionem ao ciclo de vida de um produto, processo ou atividade (SEO e KULAY, 2006).

Considera-se, nesta fase, que tudo que entra deve ser igual ao que sai do sistema em estudo, em termos de energia ou massa, desde a extração das matérias-primas até o descarte final do produto. A Fig. 9 ilustra esse processo:

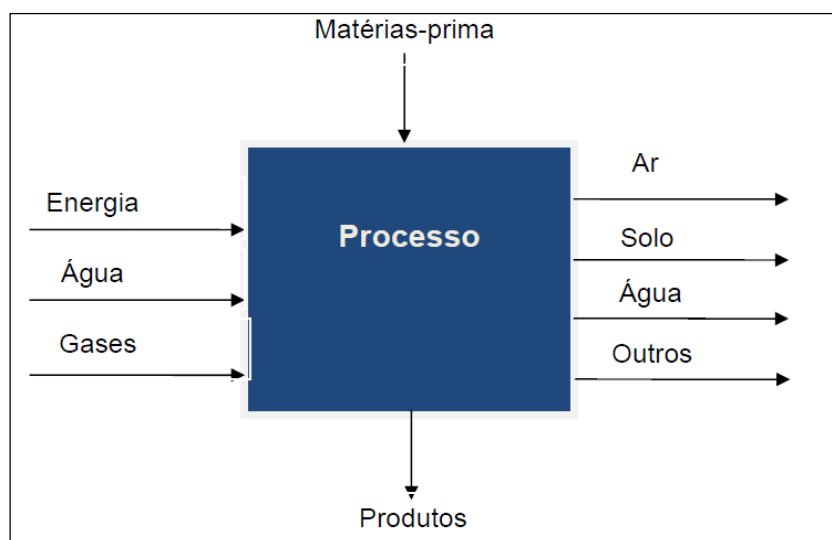


Fig. 9 - Categorias de fluxos de materiais de um inventário
Fonte: LIPIATTI, 2007 *apud* JOHN, 2007.

Segundo Seo e Kulay (2006), esta é a fase mais trabalhosa e difícil na realização de uma ACV, devido a uma série de razões - todas elas ligadas direta ou indiretamente à coleta de

dados, como, por exemplo, a dificuldade de se encontrar dados confiáveis e específicos para cada localidade, a preservação da confidencialidade das informações pesquisadas, etc.

De acordo com Consoli *et al* (1993), os principais objetivos do inventário são:

- a) estabelecer a base de informações dos requerimentos do sistema para futuras análises;
- b) identificar pontos dentro do ciclo de vida como um todo, ou dentro de um dado processo, onde as melhores oportunidades de redução na demanda de recursos e na geração de emissões podem ser alcançadas;
- c) comparar as entradas e saídas do sistema estudado com o de produtos alternativos;
- d) ajudar a guiar o desenvolvimento de novos produtos por meio da redução de demanda de recursos e geração de emissões;
- e) ajudar a identificar necessidades para análise de impacto no ciclo de vida; e
- f) promover informações necessárias para conduzir a análise de melhorias.

2.3.3 – Avaliação de impacto do ciclo de vida

A fase de avaliação de impacto da ACV é dirigida à avaliação da significância de impactos ambientais potenciais, usando os resultados da análise de inventário do ciclo de vida. Esta avaliação pode ser realizada a partir de três elementos obrigatórios de verificação e três elementos opcionais para estudo. Entre os elementos obrigatórios estão as categorias de impacto (identificação da questão ambiental), a classificação (relação das informações coletadas no inventário com algum problema ambiental) e caracterização (quantificação ambiental do prejuízo):

- a) **Seleções de categorias de impacto:** seleção dos indicadores de categorias ou modelos de caracterização que serão definidos. Segundo Seo e Kulay (2006), as categorias devem ser definidas com base no conhecimento científico dos processos e mecanismos ambientais. Caso não seja possível, admite-se que, em alguns casos muito específicos, o julgamento de valores possa substituir parte do conhecimento científico.
- b) **Classificação:** são classificados e agrupados os dados de inventário nas diversas categorias selecionadas, como aquecimento global, destruição da camada de ozônio,

acidificação, toxicidade humana, exaustão dos recursos naturais, etc. Segundo a NBR ISO 14044 (ABNT, 2009), convém que exista uma correlação dos resultados do inventário do ciclo de vida com as categorias de impacto.

- c) **Caracterização:** tal como transcrito na NBR ISO 14044 (ABNT, 2009), a caracterização envolve a concepção dos resultados do ICV para unidades comuns e a agregação dos resultados convertidos dentro da mesma categoria de impacto.

São considerados, ainda, para avaliação de impactos – porém não em caráter obrigatório – os procedimentos de normalização, agrupamento, ponderação e análise da qualidade dos dados, cujas aplicações se destinam à consolidação do perfil de cargas ambientais em um índice único.

2.3.4 – Interpretação de resultados

Segundo Seo e Kulay (2006), esta fase consiste em identificar e analisar os resultados obtidos nas fases de inventário ou avaliação de impacto de um estudo de ACV. Os resultados podem levar a conclusões e recomendações aos profissionais que se valem da ACV. A fase de interpretação de uma ACV compreende as três etapas seguintes:

- a) **Identificação das questões significativas:** identificação e estruturação da informação; critérios de alocação; modelos e fatores de caracterização e indicadores de categoria; identificação das escolhas de valor usadas no estudo, e o papel e as responsabilidades das diferentes partes interessadas; e a significância de categorias de dados, categorias de impacto e processos elementares incluídos no processo (SOARES *et al*, 2006).
- b) **Avaliação:** deve-se assegurar a relevância, a disponibilidade e a completude dos dados, além da confiabilidade dos resultados e a consistência das suposições, métodos e dados.
- c) **Conclusão:** após colhidas e avaliadas as informações, é, então, elaborado um relatório sobre as questões de maior relevância ao processo.

A Fig. 10 representa os relacionamentos da fase de interpretação do ciclo de vida com as outras fases da ACV, podendo, conforme demonstrado, vincular essa fase às demais definições do objetivo e do escopo, enquanto que as outras fases – inventário e a avaliação do impacto – produzem informações sobre o produto ou processo.

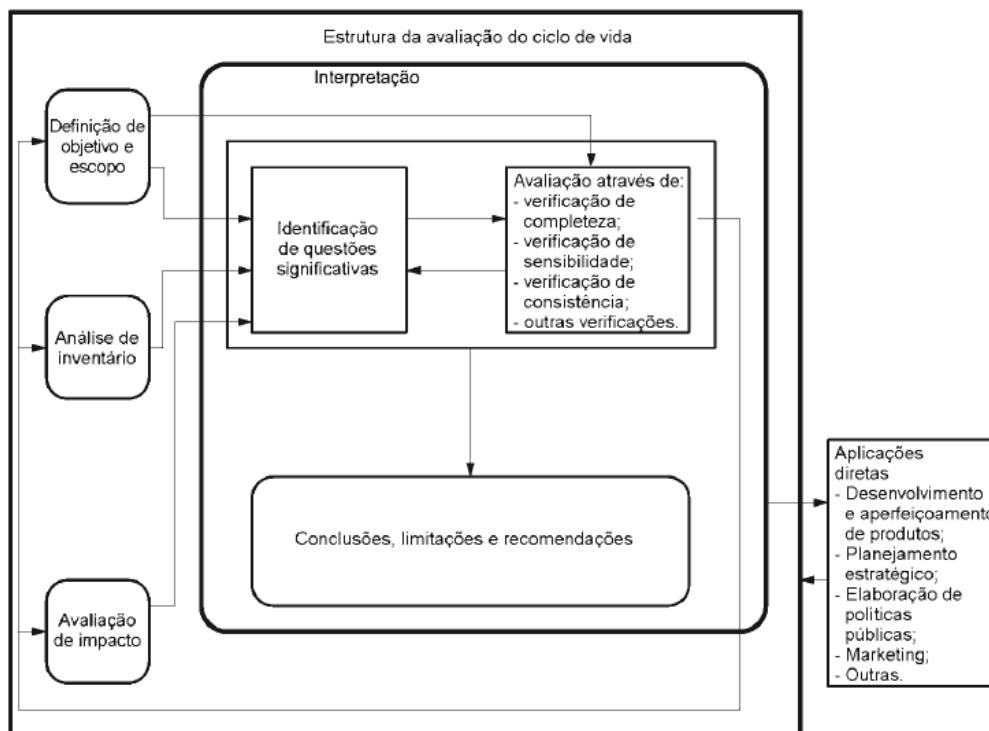


Fig. 10 – Relacionamento entre as fases da ACV
 Fonte: NBR ISO 14044 (ABNT, 2009)

2.4 – A ACV em um contexto mundial

Considerando-se as evidentes diferenças encontradas no mundo entre os países desenvolvidos e aqueles em vias de desenvolvimento, e o papel que cada grupo ocupa no panorama da ACV, apresenta-se, a seguir, uma visão geral de como tais questões estão presentes em cada um destes grupos. Cabe ressaltar que o presente tópico fornece uma visão de agências de pesquisa, políticas governamentais e ferramentas de análise desenvolvidas em cada um dos países abordados.

2.4.1 - ACV em países desenvolvidos

Segundo Lima (2007), a União Europeia já está bem desenvolvida em questões relacionadas à Análise do Ciclo de Vida, tendo bem definidos bancos de dados, *softwares* e políticas públicas com base na ACV.

A partir de 1980, muitos bancos de dados de diferentes fontes vêm sendo desenvolvidos na Europa por diversos setores, conforme pode-se verificar a seguir:

a) Alemanha

Na Alemanha, tem-se a Rede de Inventários de Ciclo de Vida Alemã (*German Network on Life Cycle Inventory Data*), que é uma plataforma de cooperação e informação envolvendo diversos agentes acadêmicos, da indústria e governo (LIMA e KIPERSTOK, 2007).

No país, foram desenvolvidos dois importantes *softwares* de ACV: o *software* Gabi, desenvolvido pela Universidade de Stuttgart, e o *software* Umberto (IBRAHIM *et al*, 2007).

O *software* de balanço de massas organiza seus dados em redes de fluxos, projetos, cenários e períodos. Cada projeto pode ser composto por vários cenários, e cada cenário contém os seus respectivos subprocessos.

As redes de fluxos de materiais são determinadas pelas redes de Petri, sistema desenvolvido por Carl Adam Petri a partir de sua tese de doutoramento, intitulada *Kommunikation mit Automaten* (Comunicação com Autômatos), apresentada à Universidade de Bonn em 1962 (MARRANGHELLO, 2005).

É nas redes Petri que se baseiam as funcionalidades do Umberto. Por meio delas, pode-se utilizar o programa para modelar sistemas do tipo fábricas ou linhas de produção (IBRAHIM *et al*, 2007). As redes Petri partem de representações matemáticas. Por utilizarem como alicerce uma forte base matemática, podem ser enfocadas por meio de três fundamentações: utilizando a teoria do *bag* como suporte; usando os conceitos de álgebra matricial; e fundamentando-se em estrutura definida por relações (FRANCÊS, 2003).

De acordo com Ibrahim *et al* (2007), na utilização do *software* Umberto é necessário levantar dados detalhados sobre o processo e descrever a relação entre as quantidades de entrada e saída. Após o lançamento e configuração de todas as transições e seus materiais dos fluxos da rede, é possível gerar, com o *software*, um balanço geral em forma de planilha (para comparações e análises), elaborar gráficos para melhor visualização de resultados e analisar os resultados por produto e por material, considerando-se a distribuição de recursos e a análise de custos relacionada com esses produtos. Também é possível realizar uma análise de fluxo de materiais e energia por meio de redes de fluxo, contemplando tanto aspectos ambientais quanto financeiros.

b) Suíça

Liderado pelo Instituto Federal Suíço para Pesquisa e Teste de Materiais (EMPA) em parceria com diversos institutos governamentais, foi desenvolvido na Suíça, em 1998, o *software* Ecoinvent, um importante banco de dados que contém um grande número de materiais e sistemas já dimensionados para o contexto suíço e de parte da Europa (HISCHIER, 2005 *apud* LIMA, 2007; LIMA e KIPERSTOK, 2007).

Segundo Hischier (*apud* LIMA e KIPERSTOK, 2007), o banco de dados suíço consiste em valores médios para um grande número de materiais, sistemas de energia, de transporte, de disposição de resíduos, etc. Atualmente, o Ecoinvent contém dados internacionais do ciclo de vida e é uma importante ferramenta para mais de 2.500 usuários, em mais de 40 países (SCLCI, 2011).

O Ecoinvent versão data 2.2. contém mais de 4.000 inventários, cobrindo áreas como agricultura, fornecimento de energia, transportes, biocombustíveis e biomateriais, produtos químicos a granel e de especialidade, materiais de construção, materiais de embalagem, metais básicos e preciosos, e processamento de metais, bem como tratamento de resíduos. É uma das mais completas bases de dados internacionais (SCLCI, 2011).

Os dados estão disponíveis no formato EcoSpold e são compatíveis com todos os princípios da ACV e ferramentas de *software* de ecodesign (SCLCI, 2011).

c) Países nórdicos

Iniciadas em 1991 por um conselho de ministros dos países nórdicos, as atividades de ACV desenvolvidas em empresas e institutos de pesquisas resultaram na publicação do *Nordic Guidelines on Life-Cycle Assessment* (LINDFORS, 1995 *apud* LIMA, 2007). Desde então, a metodologia de ACV teve um forte desenvolvimento teórico e prático naqueles países, movimento que rapidamente se espalhou pela Europa do Norte (CALDEIRA-PIRES, 2004).

Segundo Lima (2007), a Dinamarca iniciou suas atividades de ACV em 1992, por meio de uma sociedade para a promoção do desenvolvimento da ACV. O Centro Dinamarquês de ACV (*LCA Center Denmark*) fomenta a ACV e a abordagem do ciclo de vida, sendo financiado em parte pela Agência de Proteção Ambiental Dinamarquesa (LIMA e KIPERSTOK, 2007).

Na Suécia, o início das atividades ocorreu em 1990, com um estudo sobre materiais de embalagens, desenvolvido na Universidade de Tecnologia de Chalmers (LIMA, 2007).

Questões metodológicas (alocação, limites do sistema, papel da ACV nos processos de tomada de decisão) foram desenvolvidas no Projeto Ecologia do Produto, coordenado pela Federação Sueca das Indústrias, em parceria com outras instituições de pesquisa. Em 1996, foi criado o *Centre for Environmental Assessment of Product and Material Systems* (CPM), dentro da Universidade de Chalmer, financiado pelo governo, indústrias e pela universidade (LIMA e KIPERSTOK, 2007).

Já na Holanda, por meio de uma parceria do governo com o Instituto de Ciências Ambientais *Centrum voor Milieuwetenschappen Leiden* (CML) e a Univeridade de Leiden, em 1997, foi criado o primeiro projeto em política ambiental de ACV. Também nesse país foi desenvolvido o reconhecido *software* de ACV Simapro. (LIMA, 2007).

Nos países nórdicos, desde o ano de 2002, diversos projetos têm sido desenvolvidos, visando à obtenção de metodologias que indiquem uma forma de aplicar a ACV a práticas de tratamento de resíduos, seguindo orientação da ISO 14040 (SOUZA e RUBINGER, 2005).

d) Japão

No Japão, o Projeto Nacional de Avaliação do Ciclo de Vida tem sido conduzido pelo *Ministry of International Trade and Industry* (MITI), com o apoio de mais de 250 organizações (JEMAI, 2003). Várias entidades participam deste projeto, como governo, instituições de pesquisa, indústria e academia. Uma das características do projeto japonês é que o banco de dados do país foi construído com dados primários, isto é, coletados diretamente das indústrias participantes (LIMA e KIPERSTOK, 2007).

Entre os períodos de 1995 a 1997, essas organizações foram estudadas em detalhe, e tais pesquisas resultaram na criação das quatro linhas de estudo a seguir (JEMAI, 2003):

- ✓ ferramentas de análise do ciclo de vida em todo o Japão;
- ✓ criação do banco de dados japonês;
- ✓ definição de regras de aplicação para a ACV; e
- ✓ estabelecimento de sistemas para educar e integrar indústria e pessoas.

e) Austrália

A ACV foi utilizada pela primeira vez na Austrália em 1990, pela BHP Billiton (indústria de mineração e aço), avaliando ambientalmente seus produtos e processos. Nesse país, vários institutos de pesquisa, associações de indústrias e consultores têm desenvolvido bancos de dados em ACV para vários materiais plásticos, garrafas de vidro, alumínio, aço, madeira, concreto, eletricidade e energia, e transportes.

Em junho de 2001, foi criada a *Australian Life Cycle Assessment Society* (ALCAS), com o objetivo de promover e incentivar a correta aplicação de ACV na Austrália, incentivar a ligação com comunidades internacionais em ACV, promover debates regulares e facilitar a troca de informações entre grupos, e desenvolver competências nacionais para enfrentar os desafios ambientais (ALCAS, 2011).

f) Estados Unidos

A Sociedade Internacional para a Química e Toxicologia Ambiental (SETC) foi uma das fomentadoras da metodologia ACV na América do Norte, em 1990 (LIMA e KIPERSTOK, 2007).

Nos Estados Unidos, o desenvolvimento e a aplicação de ACV estão em estágio mais atrasado que na Europa, que tem consolidado várias de suas práticas, principalmente em relação às políticas públicas e aos bancos de dados (LIMA e KIPERSTOK, 2007; LIMA, 2007).

Nesse país, em 2001 foi criado um banco de dados de inventários de ciclo de vida (ICV). Existem vários projetos em andamento de bancos de dados, como o da Agência de Proteção Ambiental Americana de ACV (*U.S. Environmental Protection Agency's LCAccess System*) e o do Projeto de Banco de Dados do Departamento de Energia Americano (*U.S. Department of Energy's Life-Cycle Inventory Data Project*) (LIMA e KIPERSTOK, 2007).

g) Canadá

Os estudos em ACV foram iniciados na primeira metade dos anos 1990 pelas grandes indústrias canadenses, e são relacionados ao alumínio, plástico, papéis, aço e outros metais. O primeiro trabalho de ACV foi elaborado pela Empresa Alcan em conjunto com os Estados Unidos e abordava o IVC para embalagens de bebidas em alumínio. Também naquela década, as universidades canadenses apresentavam os primeiros trabalhos de ACV (VARGAS, 2008).

Atualmente, destacam-se no Canadá os projetos do Banco de Dados de Matérias-Primas Canadenses (*Canadian Raw Materials Database*) e o do Instituto de Materiais Sustentáveis Athena (LIMA e KIPERSTOK, 2007).

h) Outros estudos recentes elaborados em países desenvolvidos

Ortiz *et al* (2010) apresentaram um estudo que relata os impactos ambientais relacionados a diferentes cenários para construção, com diferentes composições de paredes internas e externas (7 diferentes tipos de paredes internas e 8 diferentes tipos de paredes externas) para construção de apartamentos, localizados em Barcelona, na Espanha. A partir de conceitos relacionados à ACV e considerando a fase de construção, fabricação dos materiais, a energia consumida pelos equipamentos, os transportes dos materiais e os desperdícios ocasionados por cada processo, chegou-se à seguinte conclusão: do total da massa dos materiais utilizados nessa construção, 41% representavam a fundação; 25%, as paredes internas e externas; 12%, a estrutura. Concluiu-se, ainda, que a fase de fabricação dos materiais, no que tange as emissões de CO₂, corresponde a 85% das emissões; o transporte, a 6%; o consumo de energia, a 8%; e o gerenciamento de resíduos corresponde a 1% das emissões. Em relação aos desperdícios de recursos, a execução das paredes externas e internas correspondeu a 30% dos resíduos totais gerados.

Ainda segundo Ortiz *et al* (2010), apesar de a fase de operação da edificação corresponder entre 80% e 90% dos impactos de toda a vida de uma edificação, não se pode negar os impactos que também são gerados na fase de construção, principalmente aqueles provenientes do processo de fabricação dos materiais.

Broun e Menzies (2011) compararam, considerando o consumo de energia incorporada, três diferentes tipos de paredes de divisórias utilizadas no Reino Unido: paredes em tijolos cerâmicos, blocos de concretos e paredes com estrutura de madeira. Concluíram que a parede em estrutura de madeira é a que menos impacta o meio ambiente, em termos de aquecimento global e de potenciais de acidificação naquele país.

2.4.2 – ACV nos países em vias de desenvolvimento

Segundo Curran (1996), nos países em vias desenvolvimento, o interesse das indústrias e dos governos na prática e aplicação de ACV de vida ainda é baixo.

Normalmente, os estudos de ACV nestes países são conduzidos por universidade e institutos de pesquisa; porém, o fato de estes países serem fornecedores de matérias-primas para os países desenvolvidos torna necessária a inclusão, nos bancos de dados mundiais, de informações sobre os produtos e serviços produzidos em seus territórios.

Nos países da América Latina, os estudos de ACV ainda são incipientes, pois conduzir uma ACV requer especialistas, custos para sua realização, tempo, disponibilização de dados, etc., o que pode ser muito dispendioso para os mesmos (LIMA e KIPERSTOK, 2007).

a) África do Sul

Por ser um grande exportador de matéria-prima, na África do Sul existe uma demanda externa por dados de ICV. O país possui poucas universidades e institutos de pesquisa atuando nas atividades de ACV nos últimos anos.

Segundo Lima (2007), na África do Sul, indústria e governo ainda não perceberam os benefícios da aplicação da ferramenta.

b) Regiões da Ásia e APEC - Asia-Pacific Economic Cooperation

Impulsionada pelo Japão, a Ásia teve a necessidade de desenvolver um banco de dados público aplicado para seu contexto, sendo que, nas últimas décadas, importantes conferências e *workshops* ocorrerem na região (LIMA, 2007).

O Primeiro Encontro sobre ACV aconteceu em dezembro de 2005, na Tailândia, e resultou na identificação da necessidade de um Fórum Internacional sobre ACV pelos países membros da *Asia-Pacific Economic Cooperation* (APEC)⁴, com o objetivo de incentivar a colaboração e compartilhar informações sobre ACV entre os países em vias de desenvolvimento e os países desenvolvidos (CURRAN, 1996).

Segundo Lima (2007), a organização que fomenta a ACV na APEC é a Rede de Pesquisadores de ACV para membros da APEC. Para a autora, é importante haver uma instituição formal responsável pelas atividades de ACV com a participação do governo, indústria e instituições de pesquisa. A participação de outros países na APEC é também muito importante para o seu desenvolvimento e para a troca de experiências.

⁴ São países membros da APEC: Austrália, Brunei, Canadá, Chile, Indonésia, Japão, Malásia, Nova Zelândia, Filipinas, Cingapura, Coreia do Sul, Tailândia, Estados Unidos, China, Taiwan, México, Papua Nova Guiné, Peru, Rússia e Vietnã (LIMA, 2007).

c) Tailândia

A ACV foi introduzida na indústria tailandesa em 1997. Seu primeiro fórum foi conduzido pela *Chiang Mai University*, intitulado “*Thai LCA Network*”. Em 2000, o primeiro estudo formal foi conduzido pelo *Thailand Enviromental Institute* (TEI). Com o apoio do governo japonês, em 2005 foi criado o projeto de seu banco de dados nacional (CURRAN, 1996).

d) Taiwan

Desenvolvido pelo *Industrial Technology Research Institute* (ITRI), o *software “Do It Pro”* em ACV foi voltado para usuários domésticos em Taiwan. Em 2000, foi divulgado o banco de dados em ACV nacional. Também foi conduzido pelo ITRI o primeiro fórum em ACV do país, para compartilhar informações em ACV, identificar suas lacunas, definir um consenso entre os setores públicos e privados e coordenar o desenvolvimento de ACV no país (CURRAN, 1996).

e) China

Com o apoio do governo, em meados dos anos 1990 começou no país uma série de estudos (de universidades, empresas e laboratórios) sobre ecomateriais e a evolução do ciclo de vida de materiais com forte ênfase em banco de dados, com base nas necessidades da China (LIMA, 2007).

Em 1998, foi lançado o projeto de pesquisa para a ACV de materiais, que teve como alguns de seus resultados alcançados o desenvolvimento de *softwares* para a ACV de materiais e também um método de avaliação de impactos ambientais de materiais que permite calcular o impacto ambiental de materiais metálicos (LIMA, 2007).

A ACV em empresas da China ganhou espaço após o governo ter estabelecido leis para a promoção da tecnologia da produção mais limpa (VARGAS, 2008).

f) México

As primeiras atividades sobre ACV no México tiveram início em 2002, com destaque para a criação de um banco de dados para ICVs para o setor elétrico. Até 2005, esse trabalho continuou se estendendo para outros setores, como combustíveis, substâncias químicas e alguns materiais de construção (LIMA, 2007).

Destacam-se, também, no México, os estudos relacionados à ACV para produtos mexicanos, avaliação de impactos ambientais para a reciclagem de cobre, estudos de ACV para processos metalúrgicos de zinco e cobre, e estudos de ciclo de vida para resina de garrafas PET (VARGAS, 2008).

Em 2005, iniciaram-se as atividades do *Mexican Center for LCA and Sustainable Design*, que hoje gerencia o banco de dados e está trabalhando com o governo e a indústria do país (LIMA, 2007). O México tem participação ativa em conferências relacionadas ao assunto (VARGAS, 2008).

g) Chile

Pode-se dizer que o início dos estudos sobre ACV no Chile se deu a partir de 2000, sendo a mineração o ponto de partida para tais pesquisas. Um dos primeiros estudos comparativos de ACV, denominado *Estudio comparativo de los impactos ambientales del cobre en las plantas de fundición de Chile y Brasil*, foi realizado naquele ano (VARGAS, 2008).

h) Argentina

Na Argentina, foi realizado, no final dos anos 1990, sem muito sucesso, um pequeno encontro de 30 pessoas de diversos setores com algum interesse no tema, com a missão de estudar o estado da arte em ACV, conhecer as pessoas e as organizações envolvidas na aplicação de ACV e o papel das instituições no desenvolvimento do tema, e identificar as oportunidades e ameaças para divulgação do tema no país (VARGAS, 2008).

Segundo Lima (2007), o projeto para a construção de um banco de dados na Argentina, tocado pela Universidade Tecnológica Nacional, localizada na província de Mendoza, até aquela época não contava com aporte financeiro, o que explica o tardio desenvolvimento da ACV no país.

i) Colômbia

As universidades de *Los Andes*, em Bogotá, e *Universidad Pontificia Bolivariana*, em Medellín, impulsionaram o conhecimento e as aplicações de ACV na Colômbia para a formação de um banco de dados nacional.

Os primeiros trabalhos e *workshops* sobre ACV acontecerem a partir de 1997, quando foi criado o Instituto Colombiano de Normas Técnicas e Certificações. No final dos anos 1990

foram realizados vários projetos e seminários internacionais, com o intuito de promover conhecimentos de aplicação do *software* SimaPro. Entre 1998 e 2006 foram elaborados os primeiros trabalhos de ACV no país (VARGAS, 2008).

j) Brasil

Principalmente em relação à Europa, o Brasil ainda está bastante atrasado em termos de ACV (CALDEIRA-PIRES *apud* CARVALHO, 2010). Entretanto, um marco na história do desenvolvimento da ACV no país ocorreu em 1992, durante os preparativos da Rio 92. Naquele momento, a ISO e o *International Electrical Code* (IEC), que um ano antes haviam constituído um grupo denominado SAGE – *Estrategic Advisory Group Environment*, tomaram a iniciativa de estabelecer normas ambientais internacionais até então inexistentes no país (ALBUQUERQUE, 2009). Na sequência, em março de 1993, foi proposto e aprovado pelo Conselho da ISO a criação de um novo comitê temático, o ISO/TC-207, iniciando, assim, o desenvolvimento da nova ISO série 14000 (DIAS, 2008).

Em 1994, por meio da ABNT, foi criado um grupo para acompanhar os trabalhos do TC-207, esse grupo foi designado pela sigla ABNT/GANA (Grupo de Apoio à Normalização Ambiental), composto de profissionais de diversos setores da economia brasileira. A missão deste grupo, segundo Albuquerque (2009), era acompanhar o comitê e os subcomitês da ISO TC-207, avaliar os impactos das proposições e propor alternativas de interesse nacional. No final de 1999 esse grupo foi substituído pelo Comitê Brasileiro Número 38, da ABNT.

A primeira publicação brasileira sobre ACV foi em 1998, pelo autor José Ribamar Chehebe, denominada *Análise de Ciclo de Vida de Produtos: Ferramenta Gerencial da ISO 14000*, que explicou e comentou as normas dessa série relativas à ACV (LIMA e KIPERSTOK, 2007).

Em 1998, outro marco importante para o país foi o nascimento do Grupo GP2 (Grupo de Prevenção da Poluição do Departamento de Engenharia Química da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo), que tem como principal linha de pesquisa a ACV (GP2, 2011).

Em 2002, na cidade do Rio de Janeiro, foi fundada a Associação Brasileira do Ciclo de Vida (ABCV), com a finalidade de divulgar e consolidar práticas de ACV. Surgiu da necessidade de alguns órgãos, entidades e empresas de discutirem as questões relativas à ACV. Segundo Lima e Kiperstok (2007), desde a sua fundação até o ano de 2005, houve uma lacuna a respeito da ABCV como um órgão que reunisse especialistas e empresas interessadas nessa temática no Brasil, pois ela enfrentou questões legais para a sua formação como associação.

Em 2007, a ABCV coordenou a CILCAS 2007, que foi a Segunda Conferência Mundial sobre Avaliação do Ciclo de Vida, na cidade de São Paulo. O Primeiro Congresso Brasileiro sobre Gestão do Ciclo de Vida, também coordenado pela ABCV, aconteceu em 2008, na cidade de Curitiba. No ano de 2010, em Florianópolis, aconteceu o Segundo Congresso Brasileiro sobre Gestão do Ciclo de Vida.

Os primeiros trabalhos sobre a ACV no Brasil foram desenvolvidos pela academia, por meio da capacitação dos estudantes, tanto no nível de graduação quanto na pós-graduação, e da publicação de trabalhos acadêmicos. Estudo desenvolvido por Lima e Kiperstok (2007) afirma que, entre abril e junho de 2006, 67 trabalhos sobre o tema foram produzidos, entre teses de doutorado e dissertações de mestrado. Segundo Caldeira-Pires (2004), o pioneirismo dos acadêmicos se justifica inclusive por sua rede de contatos internacionais.

Poucos trabalhos usando a metodologia ACV foram desenvolvidos por empresas genuinamente brasileiras. Segundo Lima e Kiperstok (2007), as que os desenvolveram são multinacionais, que já possuem a prática de utilizá-la em outras unidades de outros países, principalmente na Europa.

Informações recentes dão conta de que empresas, como a Natura, já vêm realizando estudos de ACV como ferramenta para a tomada de decisão sobre o desenvolvimento e produção de seus produtos), e que outras empresas também já vêm se adaptando à metodologia, principalmente para se adequarem ao mercado externo e melhorarem a sua competitividade, tendo em vista que países desenvolvidos da Europa, além dos Estados Unidos e Japão, utilizam como critério de importação de produtos a ISO 14040 (CARVALHO, 2010). Segundo Caldeira-Pires (*apud* CARVALHO, 2010, p. 128):

[...] os principais países da América Latina têm sido forçados a caracterizarem seus produtos constantes da pauta de exportações por meio de uma ACV. Esta exigência tem ocorrido devido a novas legislações europeias de certificação de produtos, como por exemplo, a ISO14025, a Rhos, a WEEE, que qualquer exportador tem que cumprir para conseguir estabelecer-se como fornecedor nas principais regiões econômicas, com ênfase na Europa.

Ainda na indústria, os setores mais avançados – aqueles com presença marcante no comércio exterior –, deveriam ser os mais preparados para a implementação da ACV, inclusive mais rapidamente. No entanto, o Brasil não possui bases de dados de inventários que caracterizem a sua indústria, o que dificulta esse processo.

Observa-se que justamente setores como a siderurgia, biocombustíveis, produtos de madeira e eletrônicos são os setores mais ameaçados pelas atuais legislações europeias, que avaliam o desempenho socioambiental e toxicológico dos produtos vendidos para a União Europeia. No governo brasileiro, a ACV é tratada pelo Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), por meio do Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT).

Justamente por meio do IBICT foi que o Brasil passou a fazer parte da Plataforma Internacional do Ciclo de Vida, importante fórum internacional para o desenvolvimento da metodologia ACV, podendo participar ativamente no seu aperfeiçoamento e, ao mesmo tempo, disponibilizá-la para a indústria nacional, buscando a manutenção de sua competitividade em nível mundial.

Em dezembro de 2010, o governo brasileiro aprovou a criação do Programa Brasileiro de Avaliação do Ciclo de Vida (PBACV) para disponibilizar e disseminar a metodologia. A Resolução nº 4 do Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior) determinou a implantação do Programa em até seis meses.

No âmbito da América Latina, o Brasil é o único país que possui um programa de desenvolvimento de ICVs, em total consonância com as diretrizes da Plataforma Internacional do Ciclo de Vida, apoiado pelos Ministérios da Ciência e Tecnologia e de Desenvolvimento Indústria e Comércio.

Contudo, apesar de o país possuir um programa governamental, a prática desse programa ainda se encontra em etapa muito inicial, principalmente pela pouca participação da indústria de forma aberta na disponibilização das informações. Ainda segundo Caldeira-Pires (*apud* CARVALHO, 2010, p. 128),

[...] de forma ambígua, há uma forte posição positiva dessa construção no Brasil, acompanhada por um baixo envolvimento industrial. No entanto, este grau de envolvimento tem sido uma característica da implementação da ACV em qualquer país do mundo. Outro fator negativo no nosso caso é a baixa quantidade de profissionais, acadêmicos e do setor privado, que tem capacidade de desenvolver estes estudos com a qualidade exigida para seu uso como ferramenta de gestão e de negócio.

Conforme já exposto, os estudos acadêmicos estão mais vinculados à utilização e demonstração da ACV, como, por exemplo, o estudo de Druszczyk (2002), que averigua a ACV

da produção de blocos cerâmicos utilizados na construção civil. A autora levou em conta quatro fases: extração de matéria-prima, produção do bloco, transporte do bloco e disposição final dos resíduos. Em sua análise final, ela destaca que a fase de produção do bloco de cerâmica foi a mais danosa ao meio ambiente, devido aos gastos com produção dos combustíveis utilizados nos fornos – o consumo de lenha.

2.5 – A ACV e a indústria da construção civil

Segundo Erlandsson e Borg (2003), o setor de construção no mundo corresponde a um percentual entre 30% e 40% de toda a energia demandada e 44% dos materiais consumidos. Portanto, segundo este autor, para alcançar uma sociedade sustentável precisa-se priorizar este setor.

Ortiz *et al* (2009) afirmam que a ACV vem sendo utilizada na construção civil desde 1990, tornando-se, desde então, um importante instrumento para a avaliação de edifícios, e várias ferramentas de ACV foram desenvolvidas a partir daquela época. Na indústria da construção existem duas aplicações para a ACV – uma focada nos materiais de construção e suas combinações, denominada *Building Material and Component Combinations* (BMCC), e outra focada em todo o processo da construção, por sua vez denominada *Whole Process of the Construction* (WPC).

Na edificação, a ACV é um processo de quantificação de análise de uma unidade funcional. A aplicação da ACV para a edificação tem, portanto, como objetivos, avaliar aspectos culturais de consumo tanto na fase de construção quanto na fase de utilização; promover alternativas de melhor desempenho; e desenvolver tecnologias para utilização de energias renováveis, ao passo que a ACV para materiais tem sido aplicada para analisar, comparar e promover produtos e contribuir positivamente para melhorar as decisões ambientais sobre um determinado produto.

Segundo Soares *et al* (2006), é importante ressaltar que o estudo de uma edificação baseada no processo de ACV requer algumas alterações em relação ao ACV de produtos. Conforme indicado pelos autores, de acordo com o relatório do Diretório Geral para Ciência, Pesquisa e Desenvolvimento da Comissão Europeia (1997), a complexidade de análise de edificações

consiste não somente na adaptação da análise para esse novo contexto temporal e estrutural, mas também na estruturação das informações coletadas em partes, de forma que possam ser utilizadas para várias ou somente uma única fase do ciclo de vida da edificação em questão.

2.6 – Elementos estruturais de vedação: blocos de concreto e painéis pré-moldados de concreto

Não há como ignorar que qualquer que seja o material usado na indústria da construção civil, todos são fatores que geram danos ao meio ambiente. Assim, com base em John (2007), Isaia (2007) e John *et al* (2007), cabe selecionar materiais por suas características: os de menos impacto ambiental, advindos de fontes renováveis ou com relação à redução da poluição do ar; os duráveis, com maior resistência (ou conservação) ao longo do tempo; os de Graduações Funcionais (FGM), que são cromoativos, autolimpantes, hiperisolantes térmicos, que geram energia; e os que são capazes de ajustar a umidade internas de edifícios.

Compreender ou mesmo mensurar os tipos de materiais usados em ambiente de edificações não é tarefa fácil. Existem vários tipos de materiais que podem fazer parte de uma seleção que vise ao seu melhor aproveitamento e um menor dano ao ambiente, e eles vão desde os responsáveis pela fundação e edificação, até o acabamento da mesma. No entanto, no presente estudo não cabe enumerá-los, pois o recorte realizado no mesmo analisa a ACV no uso de elementos estruturais de vedação, em blocos de concreto e em painéis pré-moldados de concreto.

O sistema de vedação é apontado como um dos principais gargalos tecnológicos da construção de edifícios, principalmente pela importância para a introdução de novos materiais, componentes e sistemas construtivos, e também como um dos pontos críticos para a implantação de medidas de racionalização da produção de edifícios, por ser um de seus principais subsistemas e pela influência significativa que exerce no seu desempenho final (SILVA e SILVA, 2003).

2.6.1 – Painéis pré-moldados de concreto

Com a evolução da indústria da construção civil, modernos sistemas construtivos têm sido desenvolvidos, com a utilização crescente de elementos pré-moldados de concreto armado. A aplicação de tais sistemas promoveu melhorias nas edificações, uma vez que tais componentes industrializados são fabricados com alto controle de qualidade. Especificamente no Brasil, a racionalização e a busca por alternativas tecnológicas para a construção habitacional tiveram início em fins da década de 1950, levando à introdução de processos construtivos com elementos pré-moldados (SERRA *et al*, 2005).

Na segunda metade da década de 1970, o antigo Banco Nacional de Habitação (BNH) introduz nas obras do setor os elementos pré-moldados de concreto. E, após um período em que estes se tornaram desacreditados, eles retornam na década de 1990.

Entre as várias peças pré-moldadas utilizadas, destacam-se os painéis de vedação vertical, que têm, segundo Elder (*apud* OLIVEIRA, 2004), funções estruturais, estéticas e arquitetônicas. A tecnologia dos painéis pré-moldados para fachadas de edifícios incorporam detalhes construtivos e revestimentos arquitetônicos, que aumentam a velocidade de execução da construção e a qualidade estética do produto final (SERRA *et al*, 2005).

A utilização de painéis pré-moldados de concreto para vedação cresce por se apresentar como uma alternativa ao emprego de alvenarias estruturais tradicionalmente utilizadas nas diversas construções. Afirmam Silva e Silva (2003, p. 10) que o tradicional levantamento da alvenaria tem sido a única forma de racionalização das vedações utilizada de modo fundamentado no Brasil:

A cultura construtiva das empresas de construção brasileiras caracteriza-se, no entanto, pela alvenaria tradicional como solução de vedação, com elevado índice de desperdício e retrabalho embutidos. (...). A construção civil nacional ainda mostra uma clara estagnação no que se refere ao emprego de sistemas racionalizados de vedação, enquanto que painéis pré-fabricados são frequentemente utilizados pela construção civil na Europa, Estados Unidos e Canadá, como solução para aliar racionalização à velocidade de produção do subsistema vedação.

Alguns estudos, como o feito por Van Acker em 2003, afirmam que os painéis pré-moldados de concreto reduzem o uso de materiais em até 45%; diminuem o consumo de energia em até 30%; e o desperdício com demolição em até 40%, sendo, por isso, menos danosos ao meio-ambiente, e que futuramente as indústrias de pré-moldados funcionarão como um sistema de

produção fechado, onde todo material gasto será processado e utilizado novamente. O último aspecto mencionado por esse autor, a vantagem dos painéis pré-moldados de concreto sob o ponto de vista ambiental, é ainda corroborado por Rodrigues *et al* (2010).

De acordo com esses autores, a vedação por meio de peças pré-moldadas reduz o tempo de execução da obra, propicia maior controle de qualidade e é mais sustentável do que o processo convencional de alvenarias, uma vez que a alvenaria gera muitos resíduos provenientes da quebra de tijolos e argamassa de revestimento, necessários para o seu acabamento. Além disso, ainda segundo Rodrigues, peças pré-moldadas de concreto podem também ser executadas com a utilização de concretos com adição de materiais reaproveitados, como é o caso da escória de alto forno, incluindo, desta forma, em sua composição, materiais reaproveitados que virariam resíduos caso não utilizados para este fim.

2.6.2 – Blocos de concreto

A construção de alvenarias estruturais em blocos de concreto é um sistema que utiliza elementos industrializados, de dimensões e peso que os tornam manuseáveis, ligados por argamassa, tornando-se um conjunto monolítico. Paredes estruturais têm como finalidade resistir ao seu próprio peso e também a outras cargas advindas de outros elementos estruturais.

Segundo a NBR ISO 6136 (ABNT, 2007), os blocos de concreto podem ser classificados quanto a seu uso e ser divididos em:

- ✓ Classe A: com função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima ou abaixo do nível do solo. Aplicam-se a alvenarias externas sem revestimento, devendo os blocos possuírem resistência característica à compressão maior do que 6 MPa, além de sua capacidade de vedação.
- ✓ Classe B: com função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo. Aplicam-se a alvenarias internas ou externas com revestimento, devendo possuir resistência característica à compressão de no mínimo 4 MPa.
- ✓ Classe C: com função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo e resistência característica à compressão de no mínimo 3 MPa. Dividem-se

em quatro categorias: M10, M12,5 e M15 e M20, sendo sua utilização para edificações de um pavimento, 2 pavimentos e edificações maiores, respectivamente.

- ✓ Classe D: sem função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo e resistência característica à compressão de no mínimo 2 MPa.

A Tabela 1 apresenta as dimensões e espessuras para os blocos de classe A, B, C e D:

Tabela 1 – Dimensões reais dos blocos de concreto

Famílias de blocos											
Designação	Nominal	20	15		12,5			10			7,5
	Módulo	M - 20	M - 15		M - 12,5			M - 10			M - 7,5
	Amarração	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/3	1/2	1/2	1/3	1/2
	Linha	20 x 40	15 x 40	15 x 30	12,5 x 40	12,5 x 25	12,5 x 37,5	10 x 40	10 x 30	10 x 30	7,5 x 40
Largura (mm)		190	140	140	115	115	115	90	90	90	65
Altura (mm)		190	190	190	190	190	190	190	190	190	190
Comprimento (mm)	Inteiro	390	390	290	390	240	365	390	190	290	390
	Meio	190	190	140	190	115	-	190	90	-	190
	2/3	-	-	-	-	-	240	-	-	190	-
	1/3	-	-	-	-	-	115	-	-	90	-
	Amarração L	-	340	-	-	-	-	-	-	-	-
	Amarração T	-	540	440	-	365	365	-	290	290	-
	Compensador A	90	90	-	90	-	-	90	-	-	90
	Compensador B	40	40	-	40	-	-	40	-	-	40

Fonte: NBR ISO 6136 (ABNT, 2007).

Segundo a NBR ISO 10837 (ABNT, 1989), a alvenaria estrutural não armada de blocos de concreto é aquela feita a partir da construção com blocos vazados de concreto assentados com argamassa e que podem conter armaduras com finalidade construtiva ou de amarração; tais armaduras não podem ser consideradas para absorção dos esforços calculados.

As paredes de alvenaria armada não podem ter espessura inferior a 1/20 de sua altura efetiva e, para os dois casos (armada e não armada), não podem ser inferiores a 14 cm. Para determinar a altura efetiva da parede, consideram-se os seguintes critérios:

- ✓ se a parede é apoiada na base e no topo, segundo a direção normal de seu plano médio, a sua altura efetiva deve ser a altura real da parede;
- ✓ se não há apoio no topo, a sua altura efetiva será duas vezes a altura da parede acima de sua base.

Pondera-se, ainda, como espessura efetiva de uma parede sem enrijecedores, a sua espessura real, não levando em consideração os eventuais revestimentos. A esbeltez máxima da parede não deve exceder os 20 cm, sendo considerada para determinação da esbeltez a relação entre a altura efetiva e espessura efetiva (h/t).

A escolha do bloco estrutural depende da finalidade da alvenaria, se ela é armada ou não armada. Para alvenaria não armada, desde que haja revestimento externo diferente de pintura, o bloco estrutural utilizado deve apresentar uma resistência mínima característica de 4,5 MPa.

Utiliza-se a argamassa de assentamento para solidarizar a ligação entre os blocos pertencentes a uma alvenaria. Geralmente, a argamassa de assentamento é composta por areia, cal, cimento e água, e tem como uma de suas finalidades distribuir uniformemente as cargas atuantes da parede e absorver pequenas deformações. Dependendo de requisitos específicos, pode-se também adicionar aditivos, pigmentos e outras adições minerais.

Sob aspectos técnicos e econômicos, uma das principais vantagens de se utilizar sistemas em alvenaria estruturais, segundo Rabello (2004), é ter um elemento exercendo a mesma função (estrutura e vedação), proporcionando, assim, economia de forma e armação.

2.7 – A ACV por meio de *softwares* de balanço de massa

Com o objetivo de analisar e aplicar a prática de ACV na Construção Civil, existem alguns *softwares* de balanço de massa disponíveis no mercado. Todos eles têm bancos de dados próprios, que são adequados à realidade geográfica na qual se inserem, o faz com que eles se tornem ferramentas regionalizadas. Este fator, apesar de trazer grandes benefícios para determinadas análises, pode se transformar em um complicador, caso tal particularidade não seja levada em consideração ao aplicar estes *softwares* em outros países.

Muitas destas ferramentas apresentam características e funções comuns relevantes para o estudo de ACV. Segue, aqui, uma lista dos mais utilizados (um quadro comparativo entre os *softwares* de balanço de massa encontra-se detalhado no Anexo 1):

EcoScan - É um software da TNO Industrial Technology, voltado para a análise do impacto ambiental e do custo de um produto, considerando todas as fases de seu ciclo de vida. Os resultados são apresentados graficamente, permitindo calcular os melhoramentos do produto.

GaBi 4.0 - O sistema de *software* GaBi4 permite a inserção de uma quantidade expressiva de dados, além da modelação do ciclo de vida do produto. É um software para desenvolver o ciclo de vida. Fornece suporte através da gestão de uma enorme quantidade de dados e através da reprodução de ciclo de vida do produto. Esta ferramenta fornece soluções para problemas diferentes relativos a custos, critérios ambientais, sociais e técnicos, e otimização de processos.

LCA-it – Esta ferramenta compila os dados da ACV de acordo com o formato SPINE. Uma das grandes funcionalidades deste software é a possibilidade de se trabalhar com dados obtidos de outros equivalentes, ou ainda de se exportar os dados nele contidos para outras ferramentas de balanço de massas.

SimaPro – Mais uma das ferramentas de balanço de massas voltadas para o desempenho ambiental, o SimaPro (*System for Integrated Environmental Assessment of Products*) permite analisar e monitorar a performance ambiental dos produtos e serviços. O usuário pode modelar e analisar ciclos de vida complexos, de forma sistemática e perceptível de acordo com as recomendações ISO 14040. Suas bases de dados possuem variados processos e os principais métodos de avaliação de impacto.

Team 4.0 - (*Tools for Environmental analysis and management*) é uma ferramenta para ACV que permite a criação e utilização de uma grande base de dados, além de trabalhar qualquer sistema relativo a operações associadas a produtos, processo e atividades. Este *software* permite descrever qualquer sistema industrial e calcular o inventário do ciclo de vida associado e potenciais impactos ambientais de acordo com a ISO 14040.

Umberto - É um *software* de modelação de fluxos de materiais e energia, que visa à otimização de sistemas de produção fabril ou processos de produção de materiais. Seu objetivo principal é identificar e tratar os pontos críticos de processos de produção, reduzindo assim recursos e energia necessários, e, conseqüentemente, propiciando ambiente para

mudanças de comportamento produtivo, combatendo excessos em custos ou danos ambientais.

Surgelas (2010, p.91-92) destaca o *software* Umberto como uma “plataforma utilizada para a elaboração da rede de fluxo de materiais e inventário do ciclo de vida”. Assim sendo, permite o controle em gestão ambiental e, sobretudo, o desenvolvimento de ACV. O *software* Umberto armazena dados sobre materiais e realiza processos individualizados, fundamentados por atributos tais como tipo, quantidade, qualidade dos materiais.

Com isso, o *software* Umberto possibilita a tomada de decisão gerencial por meio de análise de cenários alternativos, permitindo a melhor escolha nas atitudes gerenciais. Ele possibilita:

- ✓ modelar redes de fluxos de materiais;
- ✓ gerenciar materiais e seus respectivos custos;
- ✓ utilizar base de dados pré-existentes;
- ✓ analisar e avaliar diferentes cenários e seus respectivos impactos ambientais;
- ✓ especificar e definir processos;
- ✓ efetuar cálculos e apresentar resultados, por meio de relatórios e sob forma de inventários; e
- ✓ representar graficamente os resultados.

Ao processar individualmente dados sobre material, o *software* Umberto faz cálculos e aproximações, estruturando análises sobre o mesmo e seus processos de utilização e/ou produção, criando, assim, cenários apresentados em diagramas. Para cada cenário do presente estudo relacionado ao uso de painel pré-moldado e de alvenaria estrutural (blocos de concreto) adotou-se uma sequência de entradas (*inputs*) e saídas (*outputs*), como: transporte, produtos, energia e resíduos. Os cenários propiciam ambiente para compreensão do fluxo de materiais e emissão de CO₂, e sua observação possibilitou a criação dos inventários de emissão de CO₂ para devida comparação, o que é de grande significância para esta pesquisa.

3

MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta etapa, serão apresentadas as premissas consideradas para a ACV como objeto da pesquisa, e o primeiro passo é a definição do objetivo e escopo da ACV, para, depois, definir a unidade funcional adotada para o estudo.

O empreendimento que servirá como base para análise comparativa do ciclo de vida é aqui apresentado, assim como descreve-se, ainda, o detalhamento da elaboração do ICV do processo de fabricação de um painel maciço pré-moldado de concreto, e também em blocos estruturais de concreto. Destaca-se, ainda, que os dados levantados em campo são empregados na modelagem da rede e montagem do ICV com adoção de um *software* de balanço de massa, com o objetivo de identificar as emissões de CO₂ nos dois processos acima indicados.

A unidade funcional neste estudo foi definida como sendo a solução estrutural de engenharia para a edificação de um mesmo empreendimento, podendo esta ser também executada, conforme normas brasileiras, nas duas modalidades acima descritas, criando referência para o estudo da ACV deste tipo de material.

3.1 – Objetivos e escopo da ACV para os elementos estruturais de vedação

Nesta pesquisa, utilizam-se as diretrizes de ACV, buscando estabelecer relações entre as etapas específicas do ciclo de vida de dois tipos distintos de elementos de vedação estruturais – o painel pré-moldado de concreto e os blocos de concreto, visando a identificar pontos significativos relacionados à emissão de CO₂. O escopo considerou o estabelecimento da unidade funcional e a seleção da base de dados a ser utilizada.

3.1.1 – Unidade funcional

Para uma avaliação comparativa entre os elementos acima mencionados, optou-se por definir a unidade funcional como o atendimento dos requisitos estruturais de uma edificação. Foi considerado como objeto de estudo a construção de um condomínio de edifícios de quatro pavimentos, construídos a partir de duas diferentes soluções – os painéis pré-moldados de concreto e os blocos de concreto –, visando, com isso, a alcançar o mesmo desempenho estrutural.

3.1.2 – Fronteira dos sistemas

Considerando a comparação dos dois processos – painel pré-moldado e alvenaria estrutural (blocos de concreto) –, optou-se por limitar os sistemas nas fases similares de ambos: extração da matéria-prima, transporte para o local de fabricação, fabricação do produto e processos determinantes para o equilíbrio entre as soluções. As Figs. 11, 12 e 13 ilustram as diferenças entre os dois processos.

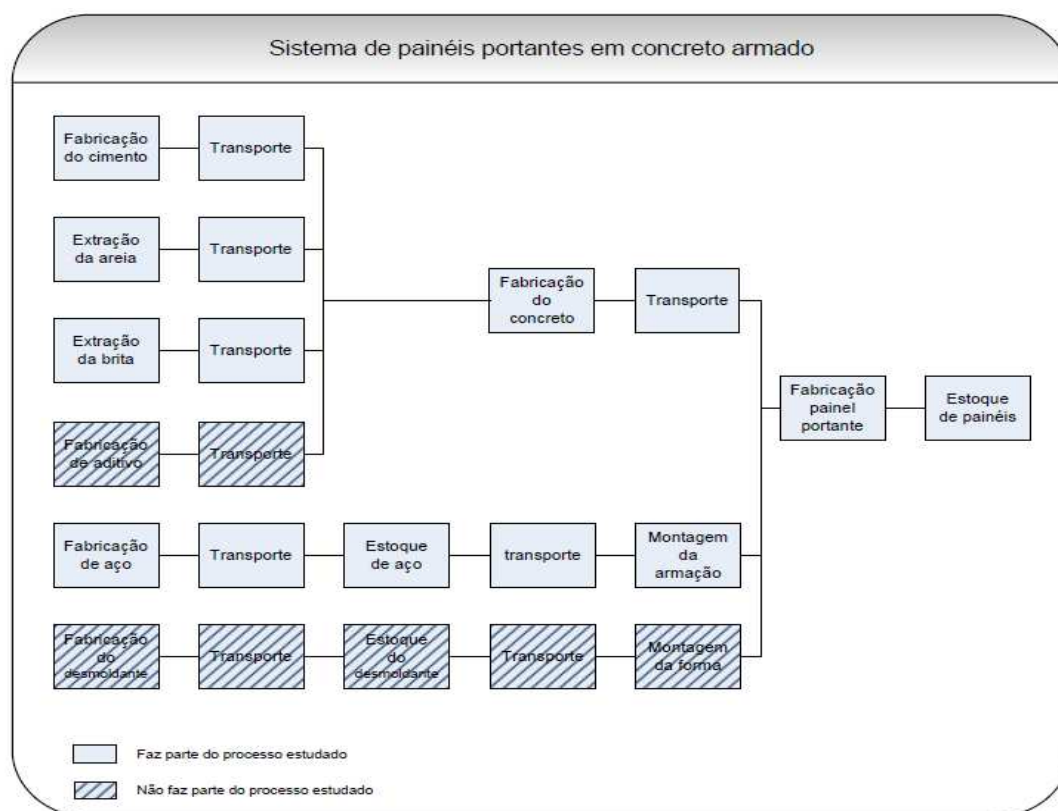


Fig. 11 – Painel pré-moldado

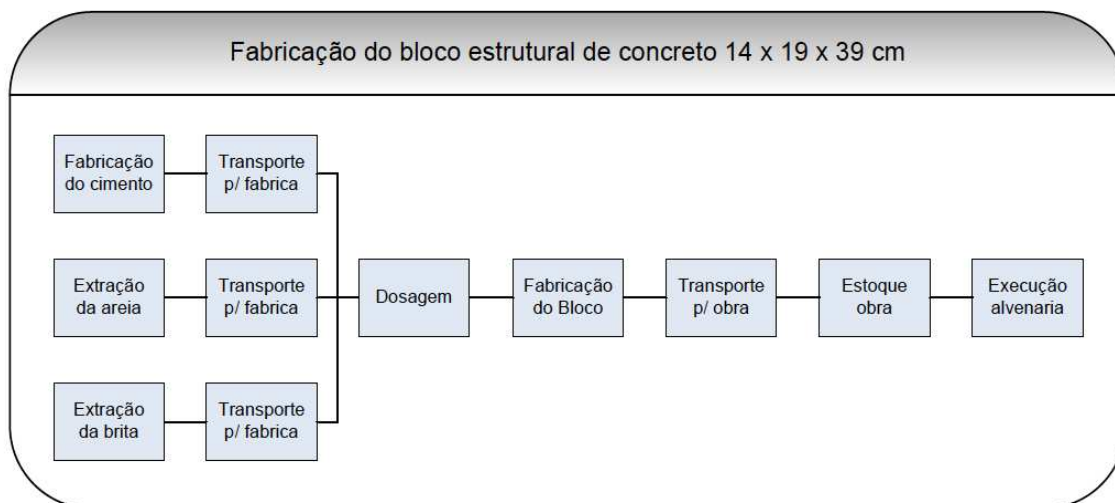


Fig. 12 – Alvenaria - fabricação do bloco estrutural de concreto

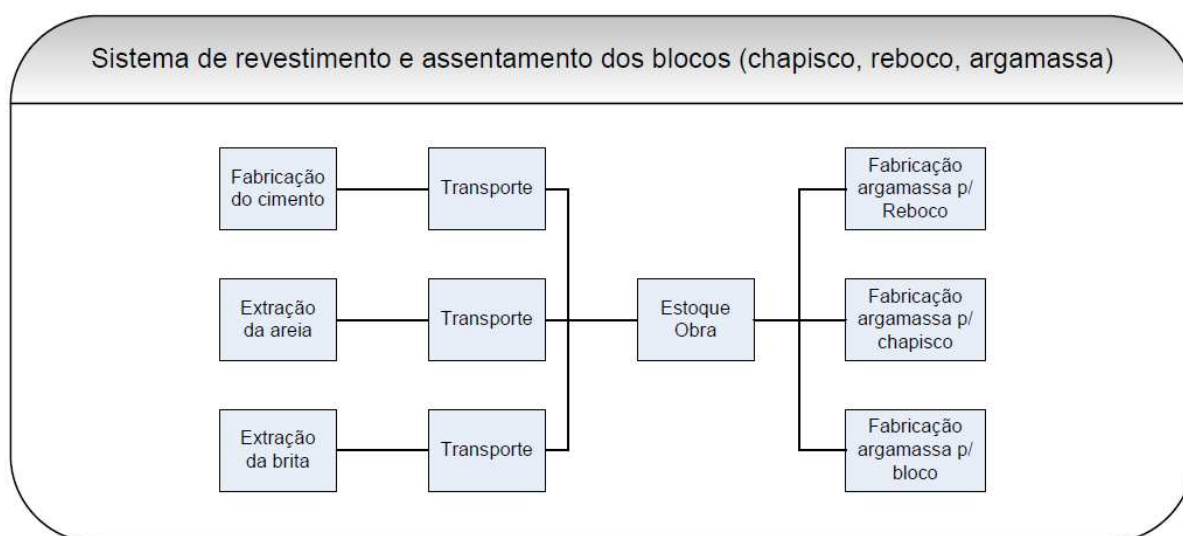


Fig. 13 – Alvenaria - sistema de revestimento do bloco estrutural de concreto

3.2 – Ambiente de estudo

Para a elaboração da análise comparativa dos ciclos de vida apresentada neste estudo, o ambiente escolhido foi o empreendimento Condomínio Mariana, localizado em Vespasiano, estado de Minas Gerais. Trata-se de uma edificação para uso residencial, implantada em uma

área de 3.147,58 m². O empreendimento total apresenta três blocos, em uma área de construção projetada de 4.163,50 m², conforme se vê na Fig. 14:



Fig. 1 – Condomínio Mariana
Fonte: Estratégia Imóveis, 2011.

A Fig. 15 apresenta o Condomínio Mariana, com detalhe da planta de implantação da edificação. Destaca-se que os três blocos do referido condomínio são similares, possuem quatro andares e têm suas unidades de apartamentos com 36,55 m²; 46,26 m²; e 55,09 m².



Fig. 15 – Implantação do edifício Mariana

As Figs. 16 e 17 apresentam as fachadas do Condomínio Mariana:



Fig. 16 – Fachada do Condomínio Mariana

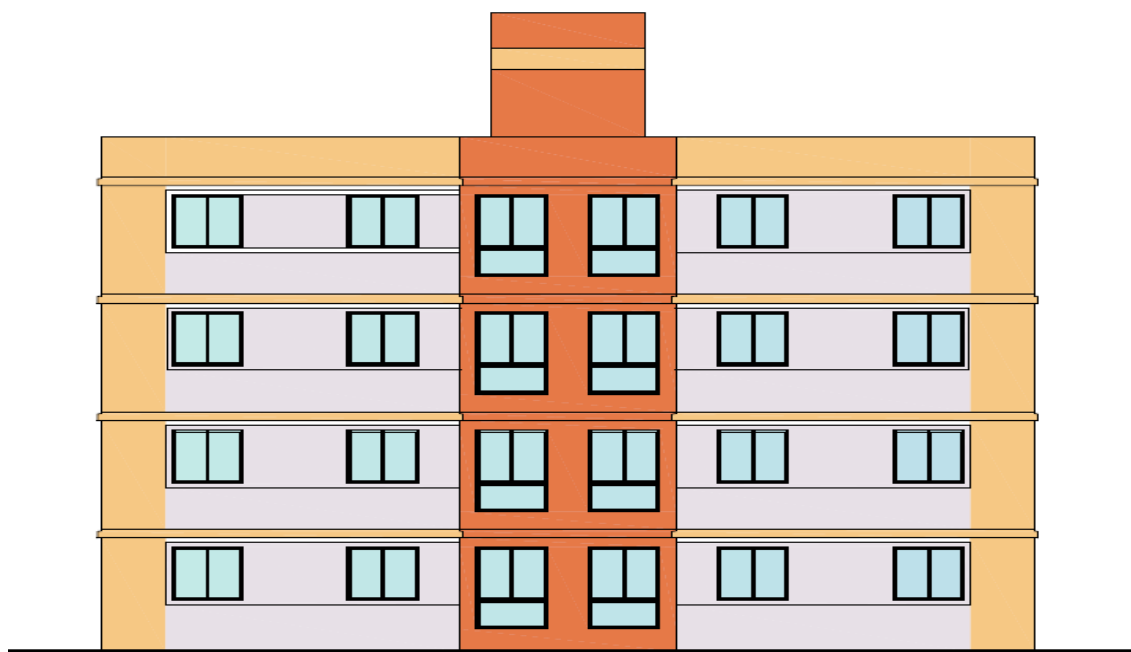


Fig. 17 – Fachada elevação lateral direita e esquerda do Condomínio Mariana

Já a Fig. 18 apresenta a planta de alguns dos tipos de apartamentos do Condomínio Mariana, adotando, ainda, a exposição de um bloco de apartamentos:

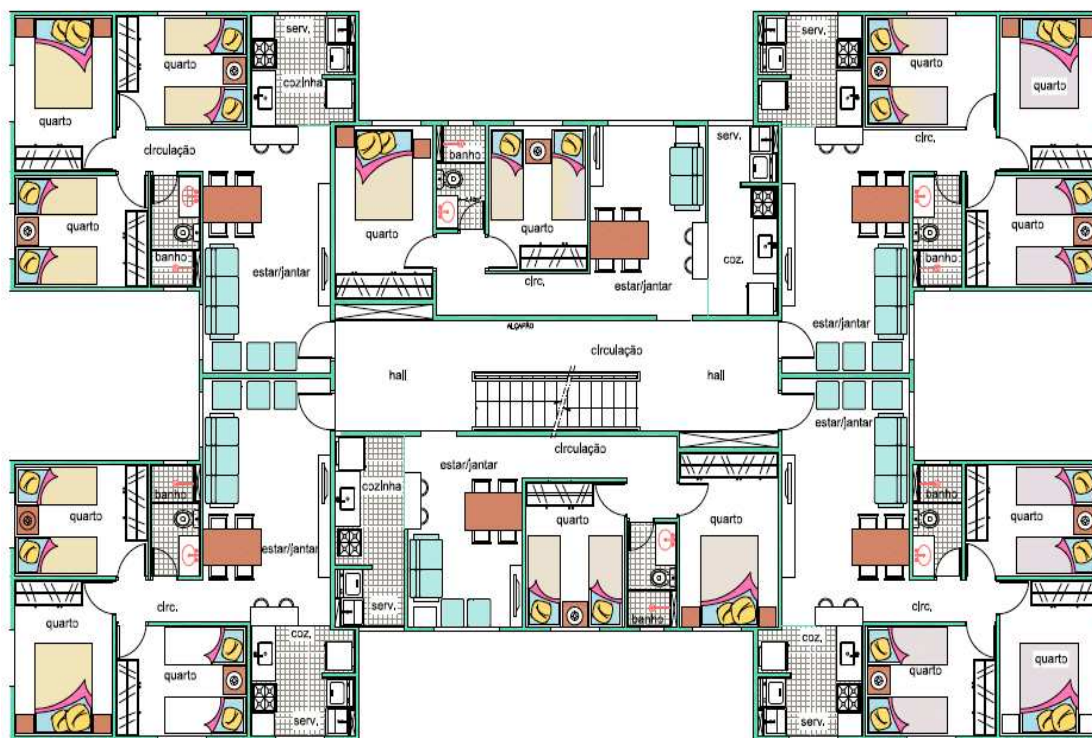


Figura 18 – Plantas dos tipos de apartamentos do Condomínio Mariana.

Tendo em vista que o desempenho estrutural da edificação foi a unidade funcional utilizada neste trabalho, para a ACV, faz-se necessário apresentar o detalhamento dos painéis de concreto pré-moldado e das alvenarias de blocos de concreto, no que se refere a suas dimensões e à especificação dos materiais utilizados para sua fabricação.

3.3 – Solução construtiva em painéis pré-moldados de concreto

O sistema construtivo adotado no Condomínio Mariana é composto por painéis pré-moldados de concreto, dimensionados segundo a norma NBR ISO 15575-2 (ABNT, 2010). Atendendo à norma, os painéis pré-moldados maciços de concreto armado apresentam as seguintes espessuras: 10 cm para os painéis das paredes externas (fachada); 10 cm para as paredes de separação entre unidades; e 8 cm para as paredes internas das unidades. Estes últimos podem ter armadura simples de tela, enquanto os painéis de 10 cm necessitam de armadura dupla.

Cada um dos três blocos do Condomínio Mariana é constituído por 734 painéis (incluindo os de laje, pré-laje, escadas, etc., sendo que os específicos de vedação – divisórios, portantes internos e portantes de fachada – totalizam 484 painéis), e cada pavimento é constituído por 114 painéis, divididos da seguinte maneira: 13 tipos de painéis para fachada; 22 tipos de painéis internos; e 6 tipos de painéis divisórios. A planta baixa do pavimento do Condomínio Mariana apresentada na Fig. 19 mostra a localização dos mesmos:

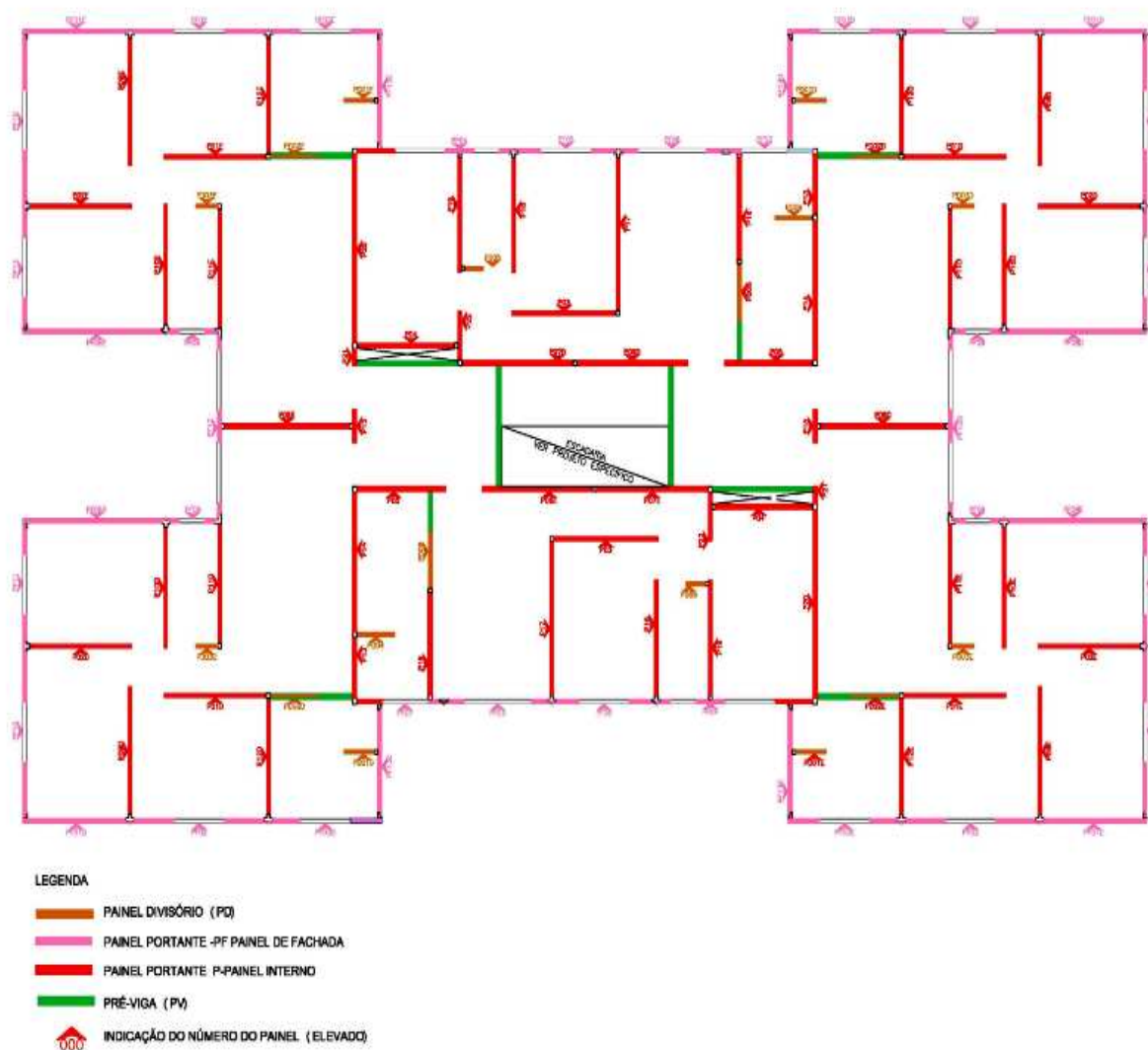


Figura 19 – Planta baixa do Condomínio Mariana e distribuição dos painéis pré-moldados

3.3.1 - Fabricação dos painéis pré-moldados de concreto

Os painéis pré-moldados de concreto foram fabricados utilizando aço tipo tela L113, de malha 10 cm x 30 cm; fios de 3.8 mm de diâmetro; e concreto de $f_{ck} = 20$ MPa. O traço para a fabricação do concreto pode ser visto na Tabela 2:

Tabela 2 – Traços de concreto

TRAÇOS DE CONCRETO - Fck = 25 Mpa				
Descrição	Un	Materiais	Un	Quantidade
Traço para peças a serem feitas em baterias	m3	Cimento CP V	kg	325,00
		Areia natural média	kg	813,00
		Brita 0	kg	1.000,00
		Brita 1	kg	0,00
		Aditivo CE 40 (Chryso)	kg	3,25
		Perda	%	5,00
Traço para peças a serem feitas na pista (chão)	m3	Cimento CP V	kg	295,00
		Areia natural média	kg	833,00
		Brita 0	kg	1.010,00
		Brita 1	kg	0,00
		Aditivo CE 40 (Chryso)	kg	2,95
		Perda	%	5,00

O processo construtivo dos painéis ocorreu no local de implantação da obra, tanto na posição horizontal (pista) quanto na vertical (bateria). Para a produção, utiliza-se um pórtico com capacidade de três toneladas para a movimentação dos materiais utilizados no processo, como pode-se observar nas Figs. 20 e 21:



Fig. 20 – Fabricação em pista e bateria



Fig. 21 – Pórtico para movimentação dos painéis

3.4 – Solução construtiva em blocos de concreto

As fábricas de blocos de concreto no país apresentam diferentes níveis de modernização. Ainda hoje, existem fábricas de operação manual, onde funcionam betoneiras e vibroprensas – assim como era feito na década de 1940. Apesar de existirem indústrias de blocos de concreto instaladas no Brasil com tecnologia para se fabricar componentes de qualidade e com o uso de tecnologia mais avançada, grande parte dos blocos encontrados no mercado é fabricada de maneira precária, resultando em diferentes qualidades dessas peças no mercado.

A produção em série de blocos contribuiu de forma considerável para a diminuição dos seus custos e para a melhoria da qualidade. O processo de fabricação dos blocos envolve a moldagem de concreto de consistência rija em moldes com as dimensões pré-estabelecidas do bloco, que são compactados e vibrados por equipamentos automáticos. Estes blocos são, após este processo, levados para cura e armazenagem, até o momento da entrega. O Edifício Mariana foi construído com a solução de painéis de concreto pré-moldado. Em termos de comparação, para este estudo foi adotada a solução em blocos de concreto, cujo processo de produção foi totalmente automatizado, como pode ser visto na descrição do processo a seguir:

a) Recebimento dos materiais

No momento da descarga dos agregados, deve-se proceder à correta amostragem e determinar sua curva granulométrica e outras propriedades do material, tais como massa específica, massa unitária no estado solto, massa unitária no estado compactado, etc. Uma amostra padrão deve ser mantida para que se possa compará-la aos materiais que serão recebidos posteriormente. Estas análises dos materiais devem ser feitas a cada lote recebido ou a cada mudança do fornecedor. O cimento deve ser guardado em local seguro e sem umidade, como em silos. Os demais materiais – aditivos, adições, pigmentos, etc. – devem seguir as especificações dos fabricantes para sua armazenagem.

b) Pesagem e mistura dos materiais

É de extrema importância a quantificação da matéria-prima, visando à manutenção da qualidade e de propriedades físicas necessárias para a produção dos blocos de concreto. A mensuração dos materiais por volume deve ser evitada, devido às variações que podem ocorrer neste tipo de procedimento. Os principais casos de variabilidade são os equívocos durante a determinação da quantidade correta de água de amassamento, causados por não se considerar a umidade dos agregados; erros causados pelo inchamento da areia, o que gera variações no volume quando a medida de proporcionalidade é tomada por este fator; e erros devidos a variações na quantidade de cimento, especialmente nos casos em que se considera a proporcionalidade em relação ao saco de cimento.

Deve-se sempre definir o traço de acordo com as especificidades projetadas para cada tipo de bloco fabricado, e o mesmo deve ser ajustado de acordo com a umidade dos agregados. Os sistemas de medição e determinação da massa dos materiais podem variar, dependendo da fábrica. Percebe-se, portanto, que a correta determinação das proporções de areia, brita, cimento e água é um procedimento fundamental, que interfere e determina a qualidade do produto final.

c) Vibroprensagem

O equipamento denominado vibroprensa é a peça central de uma fábrica de blocos. As máquinas moldam os blocos de alvenaria (por meio de moldes e pentes). O concreto fresco é colocado em moldes, nos quais sofre uma determinada vibração e é prensado pelos extratores, verticalmente. O molde é então suspenso; os pentes permanecem imóveis, mantendo os blocos sobre o palete. Logo após, os extratores são elevados e o palete com as peças recém-moldadas é retirado. Outro palete é colocado no local, e o processo se reinicia. A quantidade de blocos fabricados por ciclo depende das dimensões dos equipamentos.

O mecanismo de vibração das vibroprensas tem influência direta sobre as propriedades das peças moldadas, tendo como principais parâmetros de interferência a direção, amplitude, velocidade, aceleração e tempo de adensamento. Na prática, este tempo é determinado em função das propriedades do bloco após a desmoldagem. Ele é o mínimo necessário para que se obtenha total preenchimento e adensamento do concreto nos moldes da prensa, aparência adequada após a desmoldagem, resistência ao manuseio logo após a desmoldagem, e produtividade das operações dentro dos critérios estabelecidos.

Uma vez aprovados segundo os critérios mencionados, os blocos são transportados por uma esteira rolante até o *finger*, equipamento composto por plataformas elevatórias para transporte dos paletes até a câmara de cura, e, após a cura, para a esteira de paletização.

d) Cura

A cura em ambiente saturado é fundamental para que se obtenha boas propriedades dos blocos de concreto, evitando-se, deste modo, a perda de água durante as primeiras fases do endurecimento. A cura úmida deve ser feita em local livre de sol direto e de ventos, para evitar que os blocos sequem, se molhem e voltem a secar. O local ideal deve, ainda, possuir um rígido controle de temperatura e umidade.

O aumento de temperatura com a inserção de vapor em câmara térmica e à pressão atmosférica é o procedimento mais comum de cura térmica. As temperaturas e duração do ciclo térmico podem variar, dependendo do ciclo de produção de cada fábrica. Em alguns países é comum acelerar o processo de carbonatação durante a cura para reduzir a retração dos componentes de alvenaria (Concrete Masonry Association of Australia – CMAA, 2003).

e) Transporte e estocagem

Após os dois processos descritos anteriormente – a saber, moldagem e cura –, os blocos permanecem sobre paletes. Nesta etapa, eles são transferidos manualmente ou automaticamente para um palete maior, de madeira, em um processo denominado cubagem. Os equipamentos utilizados especificamente para esta etapa utilizam apenas um operador, ao passo que, nos processos manuais, são necessárias duas ou mais pessoas.

4

APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Apresentam-se, neste capítulo, os resultados alcançados neste estudo, no que se refere à avaliação das duas estruturas aqui comparadas: os painéis pré-moldados de concreto e os blocos de concreto.

A metodologia para se alcançar tais resultados baseou-se na ACV, que demanda uma descrição das redes de fluxo, baseadas nos processos construtivos de cada uma das soluções analisadas, e a elaboração dos ICVs compatíveis com o contexto específico do problema aqui considerado. Estas duas etapas alimentam o balanço de massa, possibilitando a quantificação dos possíveis impactos ambientais e sua consequente comparação, para determinar qual processo produtivo é o menos danoso ao ambiente.

4.1 – Criação das redes de fluxos

A criação das redes de fluxos representa, de forma esquemática, os processos produtivos. A partir dessa representação é possível visualizar as principais etapas da produção e as interfaces entre elas – que ocorrem por meio de processos de transformação e armazenamento, representados por entradas e saídas de uma determinada rede.

Foram, portanto, criadas as seguintes redes: rede de fluxo de fabricação dos painéis pré-moldados de concreto; rede de fluxo para a fabricação dos blocos de concreto; rede de fluxo para fabricação da argamassa de assentamento dos blocos de concreto; rede de fluxo para

fabricação do chapisco; e rede de fluxo para fabricação do reboco. A descrição das duas primeiras redes aqui mencionadas será apresentada neste estudo, e as demais encontram-se nos Anexos 2 a 4.

Utilizou-se, para as redes aqui descritas, as seguintes representações (Fig. 22):

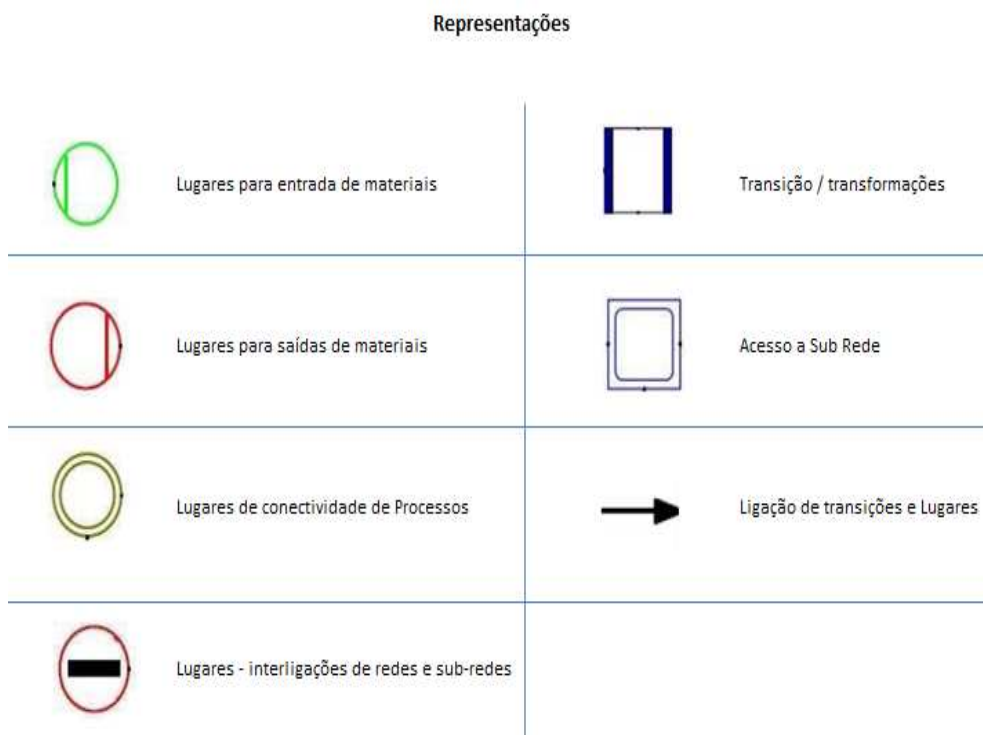


Fig. 22 – Representações utilizadas nas redes de fluxos (são as mesmas utilizadas pelo *software* Umberto)

Adotou-se, para as redes de fluxo, a seguinte disposição:

- ✓ Cada transição está ligada por pelo menos uma seta, que chega ou sai dela.
- ✓ Os lugares (entradas ou saídas) poderão ser ligados por um número indeterminado de setas.
- ✓ Cada seta deverá ligar um lugar a uma transição.
- ✓ Transformações de materiais ou processos só ocorrem na transição.

A Fig. 23 apresenta a rede de fluxo para a etapa de fabricação dos painéis pré-moldados de concreto.

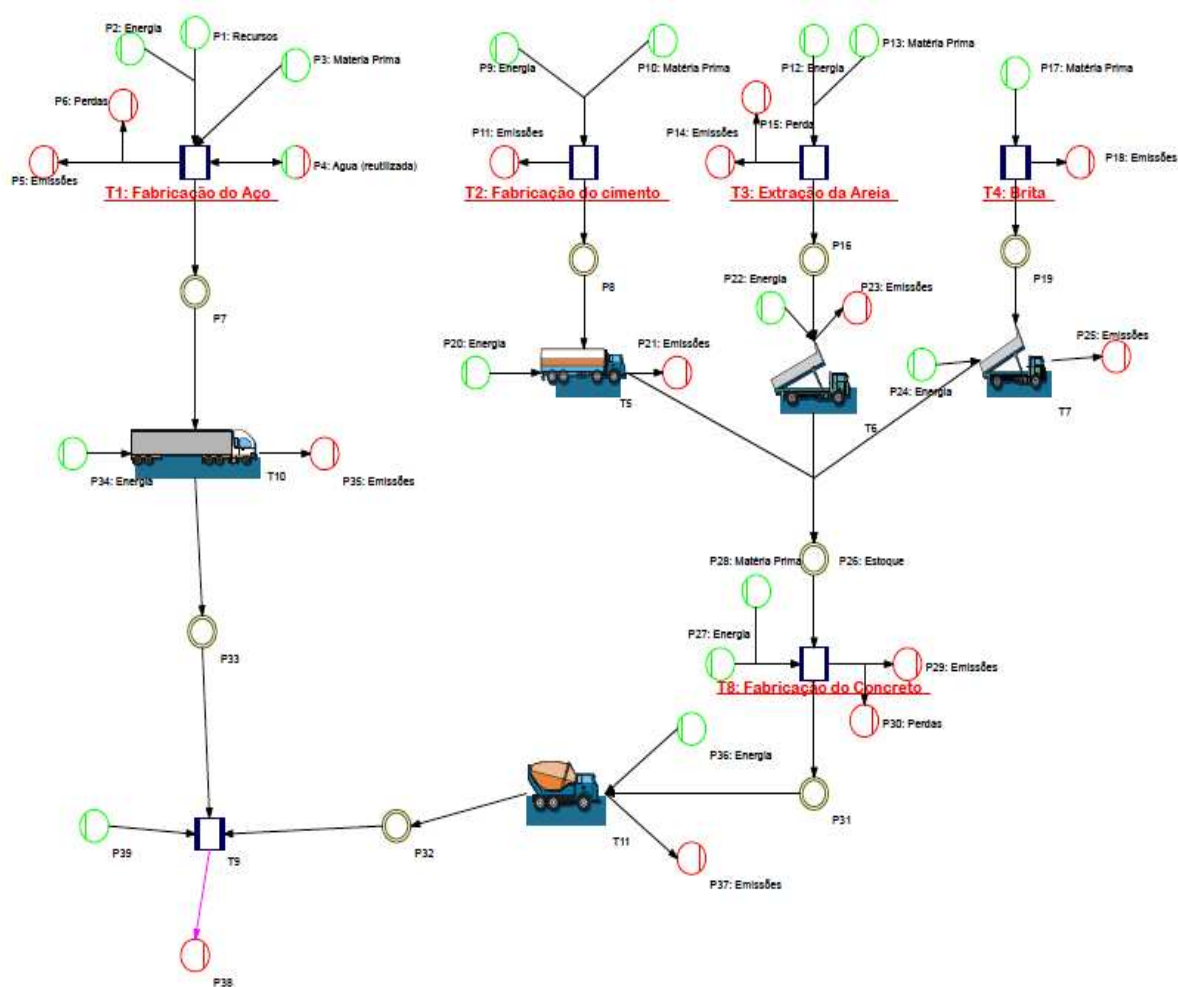


Fig. 23– Diagrama de rede para a etapa de fabricação do painel

A Fig. 24 representa a rede de fluxo para o processo de fabricação dos blocos de concreto. Consideraram-se as transições T2, T3 e T4 para os processos de transformação das matérias-primas, e a transição T8 para a fabricação dos blocos. As transições T5, T6, T7 e T11 são aquelas relacionadas à fase de transporte.

contextos diferenciam (e influenciam) a construção do ICV, e fazem com que cada inventário seja completamente adaptado à realidade na qual se insere.

A grande maioria dos dados aqui utilizados para a construção dos inventários foi obtida de estudos nacionais. Toda a emissão de gases decorrente da movimentação de matérias-primas e produtos acabados identificados nos processos produtivos já descritos foi avaliada utilizando parâmetros pertinentes à frota brasileira, possibilitando a elaboração de ICVs de transporte específicos para esta pesquisa, um dos fatores que destacam a relevância da mesma para os estudos da ACV no Brasil. Todos os ICVs utilizados no presente estudo são apresentados nos Anexos 5 a 20⁵, com exceção dos inventários de transporte, que serão aqui inseridos por terem sido especialmente elaborados para esta pesquisa.

4.2.1 – Considerações para a realização dos inventários de materiais

A seguir, são apresentadas as considerações para a elaboração dos ICVs utilizados tanto no processo de fabricação de pré-moldados quanto na produção dos blocos de concreto, a saber:

a) Areia

Foram adotadas para este trabalho as emissões atmosféricas relacionadas à fase de dragagem fluvial da areia e um percentual de perda inerente a este processo.

b) Brita

Não foi considerado o ICV para extração da rocha e posterior processamento da brita, visto que não foram encontradas informações nacionais para a elaboração desse inventário. Considerou-se, entretanto, o ICV de transporte da mesma.

c) Cimento

Considerou-se a produção do cimento do tipo CPII, com adição de 14% de escória. Todas as matérias-primas utilizadas na sua produção encontram-se localizadas na própria planta de produção da fábrica.

⁵ Inventários da fase de extração da matéria-prima utilizada em ambos os processos propostos e inventários específicos da rede de fluxo de cada processo.

d) Argamassas

Os ICVs para as argamassas utilizadas nos serviços de assentamento de blocos, chapisco e reboco estudados nesta pesquisa foram elaborados considerando os dados apresentados nas tabelas dos Anexos 18 a 20.

e) Concreto

Para a fabricação do concreto, foi utilizada uma central dosadora do tipo P4 com produção média de 30 m³/h, que opera por meio de motores elétricos. Para abastecimento da central, foi utilizada uma retroescavadeira, considerando, portanto, o consumo de diesel no ICV para a fabricação do concreto.

O ICV de concreto utilizado para esta pesquisa resulta dos ICVs dos dois traços do concreto utilizados no processo: concreto das peças fabricadas em bateria e concreto das peças fabricadas em pista, apresentados na Tabela 2 (na p.76).

f) Aço

O inventário para o processo de fabricação do aço está baseado no *Workshop Report – SECO – funded Project Capacity Building in Life Cycle Inventory Database Development in Brazil*, realizado em 2006 pelo instituto Ekos Brasil, na cidade de São Paulo.

g) Painéis de concreto pré-moldados

Os painéis foram fabricados e estocados no próprio canteiro de obras. Foram moldados *in loco*, com concreto de $f_{ck} = 20$ MPa e armadura em telas de aço, como detalhado anteriormente.

h) Blocos de concreto

O método de dosagem utilizado no processo estudado foi baseado em sugestões da ABCP (Associação Brasileira de Concreto Portland), que propõe um método experimental baseado na NBR ISO 7810 (ABNT, 1983). Essa dosagem é obtida a partir de moldes experimentais que levam em conta as propriedades dos materiais e os equipamentos utilizados.

Para os estudos relacionados a este trabalho, considerou-se o traço fornecido por uma indústria de fabricação de blocos, localizada na cidade de Belo Horizonte – MG, para a produção de uma unidade de bloco 14x19x39cm.

4.2.2 – Considerações para realização dos inventários de transporte

O transporte rodoviário é um fator gerador de impactos ambientais e está presente em todos os processos de inventário para ACV. As emissões nocivas ao meio ambiente, medidas em gramas por tonelada-quilômetro útil (quantidade em massa ao se transportar uma tonelada de produto por um quilômetro), são ocasionadas pela queima do diesel e, portanto, são as mais significativas, pois relacionam-se à emissão de CO₂.

Nesse sentido, os parâmetros mais importantes na fase do transporte são o consumo de combustível (l/km), as emissões de gases e os materiais particulados, o percurso de transporte (km) e o fator de carga (%), que é definido pela proporção da massa transportada e a capacidade de transporte de um determinado veículo.

Para estimativa da frota brasileira, segundo o método adotado por Stadler *et al* (2010), foram considerados os dados de licenciamento obtidos entre os anos de 2002 e 2009 aplicados a uma curva de sucateamento. Dos valores obtidos por faixa, calculou-se a porcentagem de cada faixa em relação à frota total. Essas porcentagens foram aplicadas à frota de 2009, apresentadas pela Associação Norte Fluminense de Arquitetos (Anfea).

A partir da frota especificada e de uma quilometragem percorrida acima de 4 milhões de km para veículos semileves, 12 milhões para veículos leves, 8 milhões para veículos médios, 40 milhões para veículos semipesados e, por fim, 42 milhões de km para veículos pesados, consideram-se neste trabalho, para as emissões atmosféricas, os valores médios retirados da Tabela 3, tendo como referência o fluxo em gramas de emissões de poluente por transporte de uma tonelada de carga por quilômetro (TKU).

Tabela 3 – TKU

EMISSIONES ATMOSFÉRICAS	TKU	SEMILEVE	LEVE	MÉDIO	SEMIPEADO	PESADO
CO	MÁXIMO	1,3279	0,2414	0,2181	0,0779	0,0391
	MÍNIMO	2,5239	0,3835	0,2617	0,1229	0,0974
	MÉDIO	1,9259	0,31245	0,2399	0,1004	0,06825
NOx	MÁXIMO	0,0409	0,0074	0,0117	0,0055	0,0027
	MÍNIMO	0,0777	0,0118	0,0141	0,0086	0,0068
	MÉDIO	0,0593	0,0096	0,0129	0,00705	0,00475
NMHC	MÁXIMO	0,8172	0,1285	0,0839	0,1095	0,055
	MÍNIMO	1,5532	0,236	0,1007	0,1727	0,1369
	MÉDIO	1,1852	0,18225	0,0923	0,1411	0,09595
MP	MÁXIMO	3,3709	0,6128	0,3233	0,339	0,1701
	MÍNIMO	6,4068	0,9734	0,5436	0,5347	0,4238
	MÉDIO	4,88885	0,7931	0,43345	0,43685	0,29695
CO - 2	MÁXIMO	12,3232	7,8176	5,7365	8,3389	4,368
	MÍNIMO	23,42	12,4186	6,8384	13,1534	10,88
	MÉDIO	17,8716	10,1181	6,28745	10,74615	7,624

Fonte: STADLER *et al* (2010). (Adaptado)

A metodologia apresentada a seguir foi especificamente desenvolvida para este trabalho, após o levantamento dos dados aqui mostrados. O ICV de transporte tem como memória de cálculo as fórmulas abaixo. Tanto o ICV quanto as fórmulas desenvolvidas podem ser utilizados para o cálculo de ACV de transporte de outros trabalhos de análise do ciclo de vida.

Cálculo para emissões dos poluentes:

$$\text{Emissão de poluentes total (Empt)} = \text{Emp} \times \text{Pmt} \times \text{Dmt} \quad (1)$$

Onde:

Empt = Emissão média dos poluentes em kg

Emp = emissão média do poluente em kg

Pmt = Peso dos materiais transportados em toneladas

Dmt = Distância média transportada em km

Cálculo para consumo de diesel:

$$Cdt = [(Dmt/cm) \times Nvt] / Pmt \quad (2)$$

Onde:

Cdt = Consumo de diesel total

Dmt = Distância média transportada em km

Cm = Consumo médio (km/lts)

Nvt = número de viagens transportadas

Pmt = Peso dos materiais transportados em kg

Utilizando-se a formulação proposta para o caso real do transporte de cimento para o local de fabricação dos painéis pré-moldado, temos:

(I) tipo de transporte: veículo tipo pesado

(II) capacidade de transporte: 27 ton.

(III) consumo médio: 1km/l

(IV) dmt = 20km

(V) TKU = 7,626 gramas

Cálculo para emissão de CO₂ relacionada ao transporte de 1 kg de cimento:

$$Empt = (7,626 \text{ gramas} / 1000) \times (1\text{kg}/1000) * 20\text{Km}$$

$Empt = 0,007626 \text{ kg} * 0,001 \text{ ton} * 20 \text{ km}$

$Empt = 0,000153 \text{ Kg de CO}_2$

Aplicando as etapas acima para o cálculo das emissões relacionadas à fase de transporte de cimento, temos o seguinte ICV:

Tabela 4 – ICV para a etapa de transporte de cimento

SISTEMA: Painel pré-moldado			Processo / Atividade: Transporte pesado		
PRODUTO: Cimento			Para produção de: 75.899,25 Kg		
ORGANIZAÇÃO DE DADOS					
ENTRADAS (matérias-primas e recursos naturais)			SAÍDAS (emissões atmosféricas, efluentes e resíduos sólidos)		
Material	Quant.	Unid.	Material	Quant.	Unid.
Cimento	1,0000000000	Kg	CO	0,0000013650	Kg
Diesel	0,0008240043	Kg	NOX	0,0000000950	Kg
			NMHC	0,0000019190	Kg
			MP	0,0000059390	Kg
			CO2	0,0001524810	Kg
Comentários: Consideradas 3 viagens de caminhão pesado com consumo médio de 1km/l DMT = 20 km (local de fabricação do cimento até o local de fabricação dos painéis Consumo necessário de 72.815,15 Kg					

4.3 – Apresentação e análise das emissões de GEE

Com base nas redes de fluxo e ICVs apresentados anteriormente, e com o auxílio do *software* de balanço de massa Umberto – responsável pela geração dos diagramas de rede de cada etapa do processo –, foram realizados os cálculos referentes ao ciclo de vida dos elementos analisados. Por meio dessas análises, foi possível quantificar a emissão de GEE pertinente a cada processo.

4.3.1 – Emissões de GEE na fabricação dos painéis pré-moldados de concreto

Na construção do edifício do Condomínio Mariana, foram gastos 484 painéis pré-moldados de concreto com a função estrutural de vedação em uma área de 2.556 m², totalizando uma massa total movimentada de 7.184 t. O fluxo de rede referente ao balanço de massa para a fabricação destes painéis pode ser visualizado na Fig. 25:

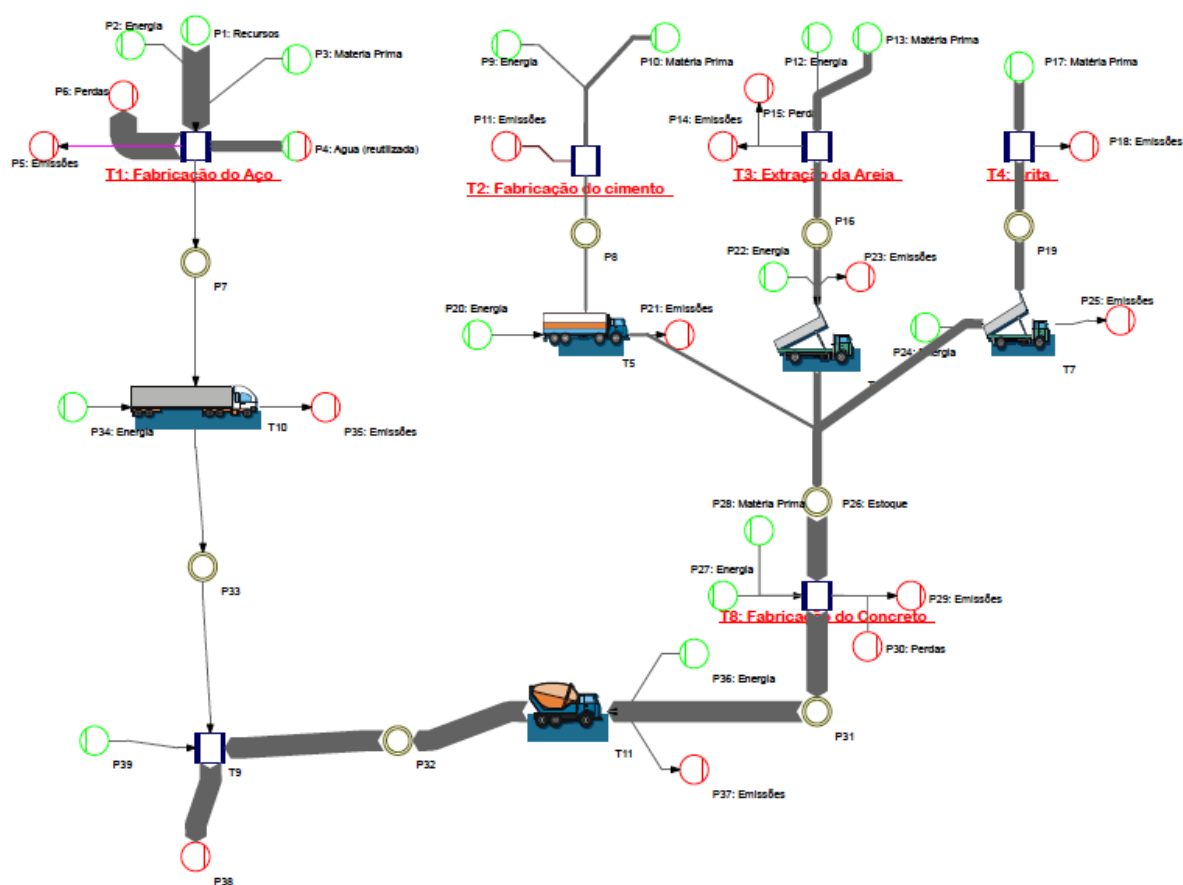


Figura 25 – Diagrama de rede para a etapa de fabricação do painel – balanço de massa

Observa-se, neste diagrama, o fluxo de massa decorrente da produção dos painéis, e a espessura das setas está diretamente relacionada ao fluxo de massa das etapas do processo. A massa total das matérias-primas que alimentam o sistema é de 1.719.182 kg, sendo que o produto final – os painéis propriamente ditos – tem uma massa total incorporada de 588.423 kg. A diferença constatada de 65,7% (1.130.754 kg) resulta das perdas do processo, inclusive água, e das emissões de gases.

A perda de água corresponde a 43,3% (744.206 kg), e o total de gases emitidos⁶ corresponde a 2,72% (46.765 kg). As emissões de CO₂ são extremamente significativas, pois correspondem a 97% da emissão de gases (45.197 kg), perfazendo um total de 2,63% do fluxo de massa do processo.

É importante, portando, realizar uma análise mais detalhada para que sejam identificados os pontos de maior emissão de CO₂ no processo de fabricação do painel. A Fig. 26 representa a intensidade de emissões de CO₂ nas etapas do processo:

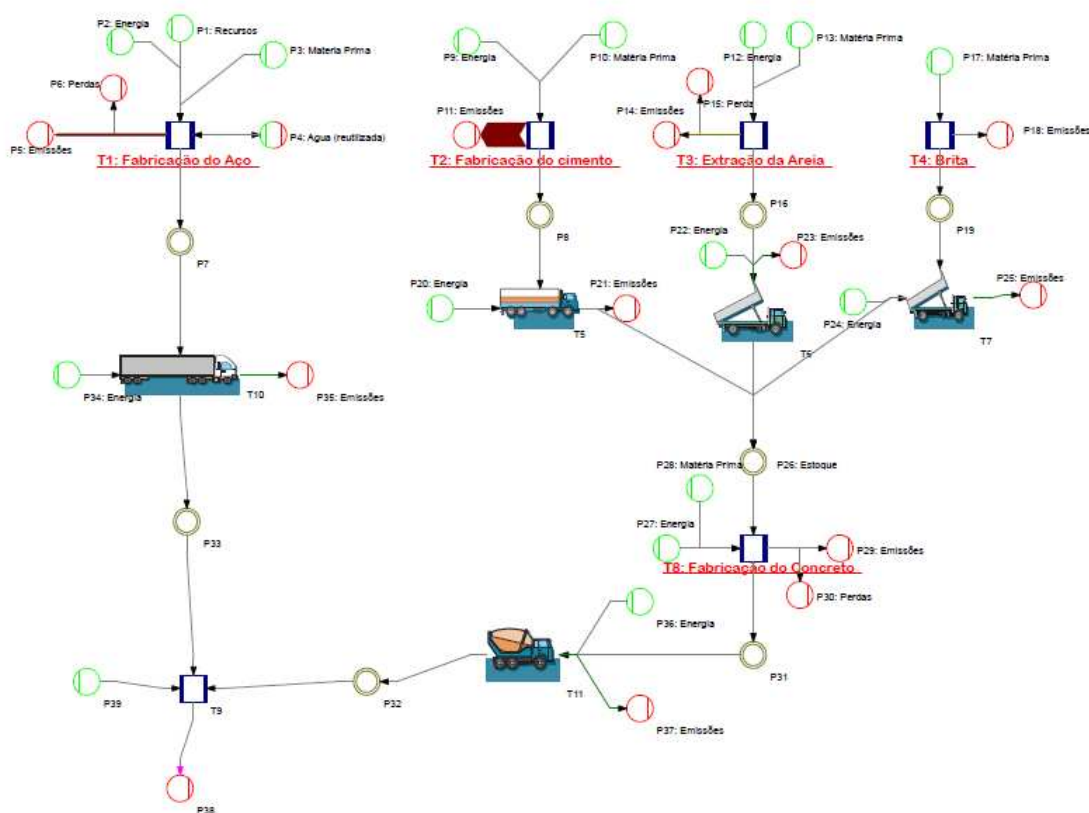


Figura 1 – Diagrama de emissões de CO₂ decorrentes do processo de fabricação do painel

A maior parte das emissões de CO₂ decorrentes do processo de fabricação do painel concentram-se em duas etapas: a fabricação do cimento, especialmente em função da fabricação do clínquer Portland (emissão de 90%), e a produção do aço (7%). No transporte, apenas 0,6%; e o restante encontra-se distribuído nas demais etapas, como pode-se ver na Fig. 27:

⁶ Os gases emitidos, além de CO₂, foram MNO, P₂O₅, SiO₂, SO_x, CO, SO₂, NO, NMHC e NO_x.

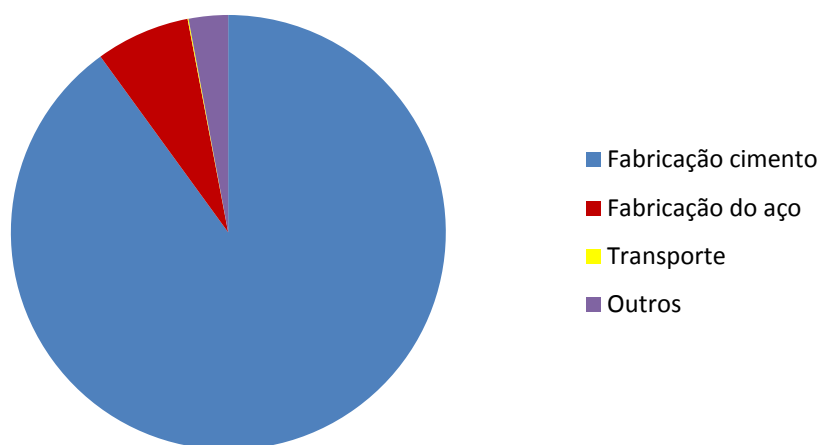


Figura 27 – Percentual de massa correspondente às emissões de CO₂ no processo

Dos 46.799 kg de poluentes emitidos durante a fabricação dos painéis, apenas 301 kg ocorreram durante a fase de transporte. Para os poluentes gerados nesta fase, destacam-se as emissões que ocorreram durante o processo de transporte da areia e da brita – 117 kg e 143 kg, respectivamente.

4.3.2 – Emissões de GEE na fabricação dos blocos de concreto

Diferentemente das vedações em painéis de concreto, previu-se, nas alvenarias realizadas com bloco de concreto, o revestimento com chapisco e reboco nas fachadas externas. No caso dos painéis, não é necessário revestimento para aplicação do acabamento final.

A massa total das matérias-primas que alimentam o sistema é de 749.336 kg, sendo que o produto final – os blocos propriamente ditos – tem uma massa total incorporada de 652.601 kg. A diferença constatada 12,9% (96.784 kg) resulta das perdas do processo e das emissões de gases.

As perdas de massa decorrentes da fabricação das alvenarias em blocos de concreto (12,9%) mostraram-se bastante inferiores às obtidas no processo de fabricação dos painéis pré-moldados de concreto (65,7%). Tal diferença se justifica pela grande quantidade de aço

utilizado para a fabricação dos painéis – que, por sua vez, consomem quantidades significativas de água em sua produção.

O total de gases emitidos⁷ corresponde a 2,5% (18.832 kg). As emissões de CO₂ são extremamente significativas, pois correspondem a 94,3% da emissão de gases (17.767 kg), perfazendo um total de 2,4% do fluxo de massa total do processo.

É importante, portando, realizar uma análise mais detalhada para que sejam identificados os pontos de maior emissão de CO₂ no processo de fabricação dos blocos de concreto. A Fig. 28 representa a intensidade de emissões de CO₂ nas etapas do processo:

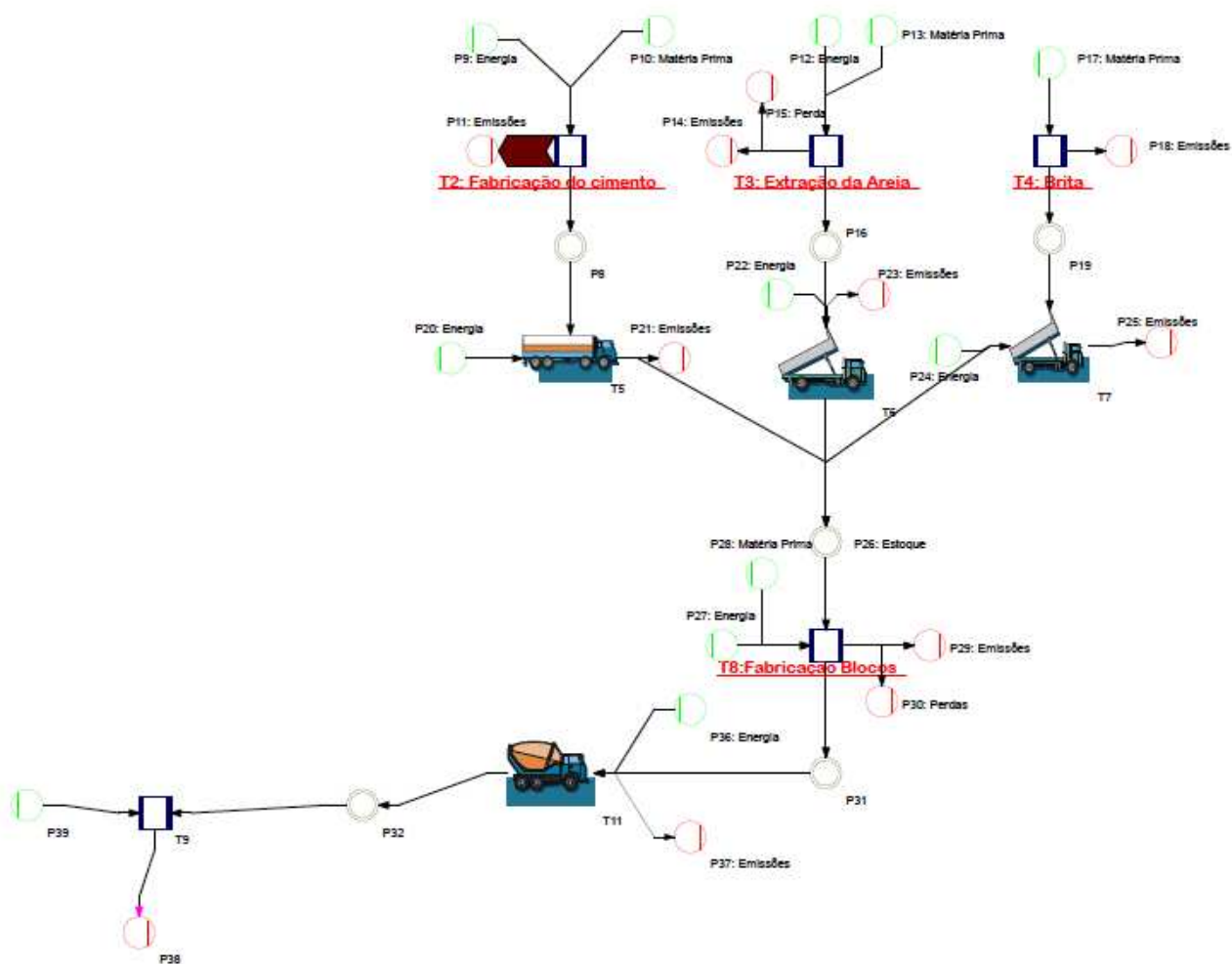


Figura 28 – Diagrama de emissões de CO₂ decorrentes do processo de fabricação da alvenaria em blocos de concreto

⁷ Os gases emitidos são os mesmos emitidos no processo de fabricação dos painéis.

De forma análoga ao processo de fabricação dos painéis, a fabricação de cimento continua sendo o elemento mais impactante no processo, representando uma emissão de 95,1% de CO₂. Dos 18.832 kg de poluentes emitidos durante a fabricação da alvenaria estrutural em blocos de concreto o transporte foi responsável pela emissão de 909,5 Kg - 4,8% do fluxo de massa total do processo.

4.4 – Análise comparativa das soluções construtivas estudadas

Conforme se depreende dos resultados apresentados, pode-se perceber que, considerando os quesitos analisados, a solução de alvenaria estrutural em blocos de concreto é ambientalmente a mais favorável. Isto porque, além de as emissões de GEE serem menores – da ordem de 2,5 vezes –, o percentual de aproveitamento dos recursos no processo de fabricação dos blocos corresponde a 87%, enquanto no processo dos painéis pré-moldados esse percentual é de 34,2%. (Quadro 1).

Quadro 1 – Comparação de emissões de poluentes nos processos de fabricação dos blocos de concreto e dos painéis pré-moldados

Sistema estudado	Fluxo de massa do processo	Massa produto final	GEE
Painel pré-moldado	1.719.182,00	588.423,00	46.765,00
Alvenaria blocos estruturais	749.336,00	652.601,00	18.832,00

Por sua vez, a solução para vedação de uma edificação em painéis pré-moldados é um processo de construção mais rápido, limpo, que demanda uma quantidade menor de mão de obra. Entretanto, sua fabricação exige um consumo muito elevado de cimento, em comparação à solução em blocos.

No Quadro 2 estão representadas as análises comparativas de emissões de CO₂ entre os dois processos:

Quadro 2 – Comparação de emissões de CO₂ nos processos de fabricação dos blocos de concreto e dos painéis pré-moldados

Sistema estudado	Fluxo de massa do processo	GEE - CO ₂	Percentual
Painel pré-moldado	1.719.182,00	45.197,00	2,6%
Alvenaria blocos estruturais	749.336,00	17.767,00	2,4%

Conclui-se, a partir de sua análise, que, em média, as emissões de CO₂ correspondem, em kg, a aproximadamente 2,5% do fluxo de materiais dos processos. É importante destacar que a emissão média de CO₂, tomando como base os dois sistemas estudados, foi de 92,6%, conforme pode ser visto no Quadro 3:

Quadro 3 – Comparação de emissões de CO₂ durante o processo de fabricação do cimento

Sistema estudado	GEE - CO ₂	CO ₂ - fabricação do cimento	Percentual
Painel pré-moldado	45.197,00	40.677,30	90,0%
Alvenaria blocos estruturais	17.767,00	16.896,42	95,1%

Já para a análise comparativa de emissões de GEE durante a fase de transporte, observe-se o Quadro 4:

Quadro 4 – Comparação de emissões na fase de transporte dos processos de fabricação dos blocos de concreto e dos painéis pré-moldados

Sistema estudado	Fluxo de massa do processo	GEE	GEE - CO ₂
Painel pré-moldado	1.719.182,00	301,18	283,11
Alvenaria blocos estruturais	749.336,00	909,58	869,56

Apesar de o fluxo de massa dos blocos ser quase 2,3 vezes menor que o de fabricação dos painéis, as emissões de poluentes encontradas durante a fase de transporte envolvida no processo de fabricação da alvenaria estrutural em bloco de concreto foi aproximadamente três vezes maior que as emissões encontradas na fase de transporte para a fabricação das estruturas de vedação em painéis. A fábrica de blocos encontra-se a uma distância de 50 km do canteiro de obras, enquanto os painéis de concreto foram fabricados no próprio canteiro. A escolha dos fornecedores próximos ao local de produção é, portanto, de grande relevância para a redução dos impactos gerados pelo setor da Construção Civil, uma vez que tal proximidade reduz a distância do transporte e, conseqüentemente, a emissão de GEE emitidos, além de contribuir para o desenvolvimento das comunidades nas quais estes encontram-se inseridos.

5

CONCLUSÕES

Visto que a Construção Civil consome grandes quantidades de recursos naturais não renováveis, os resultados obtidos demonstraram que o sistema construtivo em alvenaria estrutural utilizando blocos de concreto demandou quantidades muito inferiores de tais recursos. O fluxo de massa da solução de blocos foi de 749.336 kg, em contraponto aos 1.719.182 kg da solução em painéis.

Ao pré-moldar uma peça de concreto, deve-se levar em consideração, para sua composição, alternativas que mitiguem o uso exclusivo do cimento; o processo deve, ainda, permitir que novos agentes atuem na composição final da peça pré-moldada. No que tange a emissão de GEE, menores impactos também foram causados pelo sistema construtivo em alvenaria estrutural utilizando blocos de concreto. Na solução em painéis, considerada para a construção das vedações do edifício do Condomínio Mariana, de 5 pavimentos, verificou-se a emissão de aproximadamente 40,7 toneladas de CO₂, enquanto que na solução alternativa, a emissão foi de aproximadamente 16,7 toneladas. Tal resultado se justifica pelo maior consumo de cimento utilizado na fabricação dos painéis.

Pode-se constatar que o processo de fabricação do cimento foi o responsável pela maior parcela das emissões totais de CO₂, especialmente concentradas durante a operação de clínquerização. Tais resultados mostram que a substituição do clínquer por adições tais como as escórias de alto-forno é uma forma eficiente de reduzir as emissões dos GEE nas construções.

As emissões de CO₂ decorrentes das etapas de transporte na solução em painéis pré-moldados de concreto foram aproximadamente 1/3 das relativas ao processo de fabricação da alvenaria

estrutural em bloco de concreto. Tal fato demonstra que a escolha de fornecedores próximos ao local de produção é um fator significativo para a redução dessas emissões, minimizando os impactos gerados pelo setor da Construção Civil.

Pelos resultados apresentados neste trabalho pioneiro, portanto, pode-se afirmar que, tomando em consideração os parâmetros analisados, a solução de alvenaria estrutural em blocos de concreto é ambientalmente a mais favorável.

Conforme o esperado, a ACV mostrou-se uma ferramenta eficiente para avaliar os danos causados ao meio ambiente pelas atividades exercidas pelo setor da Construção Civil. Tal instrumento permitiu uma avaliação minuciosa dos materiais e processos envolvidos nas etapas produtivas, identificando os efeitos ambientalmente críticos de cada alternativa analisada. Os esforços necessários para uma maior utilização da ACV no Brasil, onde a metodologia ainda não é amplamente adotada e onde a construção civil possui papel de destaque no desenvolvimento econômico, são justificáveis pela qualidade e importância dos resultados fornecidos.

6

REFERÊNCIAS

ABNT, *Associação Brasileira de Normas Técnicas*. Disponível em: <<http://www.abnt.org.br/>> Acesso em julho de 2011.

_____. *NBR 6136*. Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – requisitos. Rio de Janeiro, 2007.

_____. *NBR 10837*: Cálculo de alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto. Rio de Janeiro, 1989.

_____. *NBR 14040*. Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida: princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2009.

_____. *NBR 14044*. Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida: requisitos e orientações. Rio de Janeiro, 2009.

_____. *NBR 15575 – 2*. Edifícios habitacionais até cinco pavimentos – Desempenho. Parte 2: requisitos para sistemas estruturais. Rio de Janeiro, 2010.

ABCP – *Associação Brasileira de Cimento Portland*. Boletim Técnico – guia básico para a utilização do cimento Portland. 7 ed. São Paulo, 2002

AGOPYAN, V. ; JOHN, V. M. . *O Desafio da Sustentabilidade na Construção Civil*. 1. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2011. v. 1. 142 p.

ALCAS, *Australian Life Cycle Assessment Society*. Disponível em: <<http://www.alcas.asn.au/>> Acesso em julho de 2011.

ALBUQUERQUE, E. D. Catching Up no século XXI: construção combinada de sistemas de inovação e de bem-estar social. In: SICSÚ, João; MIRANDA, Pedro (orgs.). *Crescimento: Estratégias e Instituições*. pp. 55-84, Rio de Janeiro: IPEA, 2009.

ALIGLERI, Lilian; ALIGRERI, Luiz Antônio; KRUGLIANSKAS, Isak. *Gestão Socioambiental: responsabilidade e sustentabilidade do negócio*. São Paulo: Atlas, 2009.

AZARI, Rahman; KIM, Young-Woo. Comparative assessment of life cycle impacts of curtain wall mullions. *Building and Environment*, vol. 48, pp. 135-145, 2011.

BAUER, Luiz Alfredo Falcão. *Materiais de Construção 1*. 5 ed. Revisada. Rio de Janeiro, 2008.

BARBIERI, José Carlos. *Gestão ambiental Empresarial: conceitos, modelos e instrumentos*. 1 ed. São Paulo: Saraiva, 2004.

BRAGA, Benedito *et al.* *Introdução à Engenharia Ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável*. São Paulo: Prentice Hall, 2005.

BROUN, Reza; MENZIES, Gillian F. Life cycle energy and environmental analysis of partition wall systems in the UK. *Procedia Engineering*, vol. 21, pp. 864-973, 2011.

CALDEIRA-PIRES, Armando de Azevedo. Entrevista. *Revista Ecodesign News*, Ano 2, n. 14. Brasília, agosto de 2004.

CAMACHO, Jefferson Sidney. *Concreto Armado: estados limites de utilização*. Apostila. São Paulo: Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira/Departamento de Engenharia Civil, 2005.

CARDOSO, Eleonora Ribeiro. Subsídio – um instrumento econômico de política ambiental: usos e limitações. *Anais... XLII Congresso da Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural*, SOBER/UFMT, 2004. Cuiabá, 2004.

CARVALHO, Juliana de. *Análise do ciclo de vida ambiental aplicada à construção civil – Estudo de Caso: comparação entre cimentos Portland com adições de resíduos*. Dissertação de Mestrado. 102 f. Escola Politécnica Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

CARVALHO, Maria Beatriz Maury de. Entrevista: Armando Caldeira-Pires. *Revista Sustentabilidade em Debate*, vol. 1, n. 1, pp. 127-129, Brasília, abril de 2010.

Cascudo, P.R.L. Helene: *Produção e obtenção de barras e fios de aço para concreto armado*. São Paulo: EPUSP, 2000. 17p. (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/256).

CBIC, Câmara Brasileira da Indústria da Construção Civil. *Construção Civil: análises e perspectivas*. 2010. Disponível em: < <http://www.cbcs.org.br/> > Acesso em julho de 2011.

CHEHEBE, José Ribamar B. *Análise do Ciclo de Vida de Produtos: ferramenta gerencial da ISO 14000*. Rio de Janeiro: Quality Mark, 1998.

CIB, International Council for Research and Innovation in Building and Construction. *Construction site waste management and minimisation. International Report*. Prepared by Dennis S. Macozoma. South Africa: CIB/CSIR, Project Number BP485, Report Number BOU/C361, February 2002.

CONCRETE SHOW. Premo participa da Concrete Show w comemora 50 anos. 26/08/2010. Disponível em: <<http://www.concreteshow.com.br/index.php?canal=releases&pgID=260810-153437-5c3d85fc>> Acesso em outubro de 2011.

CONSOLI, Frank *et al.* *Guidelines for life-cycle assessment: a code of practice*. Brussels: Society of Environmental Toxicology and Chemistry, SETAC, 1993.

CURRAN, Mary Ann. *Environmental Life-cycle Assessment*. New York: McGraw-Hill, 1996.

DIAS, Reinaldo. *Gestão Ambiental: responsabilidade social e sustentabilidade*. São Paulo: Atlas, 2008.

DRUSZCZ, Monica Tabor. *Avaliação dos aspectos ambientais dos materiais de construção civil: uma revisão bibliográfica com estudo de caso do bloco cerâmico*. Dissertação apresentada no curso de Pós-graduação em construção civil, setor de tecnologia. Orientador Aloísio Leoni Smith. Paraná: Universidade Federal do Paraná, 2002.

EIRES, Rute; JALALI, Said; CAMÕES, Aires. Novos compósitos eco-eficientes para aplicações não estruturais na construção. *Anais...* III Congresso Nacional de Construção. 2007. Coimbra, 17 a 19 de dezembro de 2007.

ERLANDSSON, Martin & BORG, Mathias. Generic LCA - methodology applicable for buildings, constructions and operation services: today practice and development needs. *Building and Environment*, vol. 38, pp. 919-938, 2003.

ESTRATÉGIA IMÓVEIS. *Condomínio Mariana*. Disponível em: <http://www.estrategiaimoveis.com/visualizar_empreendimentos.php?IdImovel=0007> Acesso em outubro de 2011.

EUROSTAT. *Economy-wide material flow accounts and derived indicators: a methodological guide*. Luxemburgo: Comissão das Comunidades Europeias, 2001.

FAVA *et al.* *A Technical framework for Life Cycle Assessment*. SETAC and SETAC Foundation for Environmental Education, Washington, January 1991.

FERREIRA, José Vicente Rodrigues. *Análise do ciclo de vida dos produtos*. Texto para discussão. Viseu: Instituto Politécnico de Viseu, 2004.

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*. Dissertação de Mestrado. Centro de Desenvolvimento Sustentável. Brasília: Universidade de Brasília, 2009.

FONSECA, Julia Bussab; SANTOS, Fernando César Almada. Desenvolvimento de Produtos Ambientalmente Corretos: Estudo de Caso em uma Empresa Alemã Produtora de Eletrodomésticos. *Anais... 3rd International Workshop - Advances in Cleaner Production*. São Paulo, 18-20/05/2011.

FRANCÊS, Carlos Renato Lisboa. *Introdução às Redes de Petri*. LACA (Laboratório de Computação Aplicada) UFPA. Pará, UFPA, agosto de 2003.

FRANCO, Vitor Ramos; PRATA, Danilo Moura; LOPES JÚNIOR, Vicente. Identificação de falhas utilizando materiais inteligentes e otimização. *Anais... XV Simpósio Internacional de Iniciação Científica da USP, SIICUSO*, 2007. São Paulo, 22 e 23 de novembro de 2007.

FRASSON Júnior; OLIVEIRA; PRUDÊNCIO Junior. *Caderno Técnico Alvenaria estrutural – CT10*, Disponível em: <www.mandarim.com.br/download.asp?arquivo=2052008143236.pdf> Acesso em fevereiro de 2012.

GP2. *Grupo de Prevenção da Poluição*: Escola Politécnica da USP. Disponível em: <http://gnmd.lme.usp.br/old/poli/?grupo_id=21&mod=gs> Acesso em julho de 2011.

GIL, Antonio Carlos. *Métodos e Técnicas em Pesquisa Social*. São Paulo: Atlas, 2008.

GODINHO, K.O; SILVA, A.G.P; HOLANDA, J.N.F. Avaliação da estabilidade térmica de parafina por calorimetria diferencial de varredura. *Anais... XIX Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais*. 2010. Campos do Jordão, 21 a 25 de novembro de 2010.

GUINÉE, Jeroen B.; HEIJUNGS Reinout; HUPPES, Gjalt. Life Cycle Assessment: Past, Present and Future. *Environmental Science & Technology*, v. 45, n. 1, pp. 90-96, Iowa, janeiro de 2011.

IBRAHIM, Gabriela Delgado; PEIXOTO, José Antonio Assunção; XAVIER, Leydervan de Souza; SOUZA, Dejair pontes de. Análise de Ciclo de Vida de sacos plásticos produzidos por reciclagem: estudo de caso em Seropédica, RJ. *Anais... XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção*. ENEGEP 2007. Foz do Iguaçu, 09 a 11 de outubro de 2007.

INEE, Instituto Nacional de Eficiência Energética. *A eficiência energética e o novo modelo do setor energético*. Rio de Janeiro: INEE, 2001.

ISAIA, Geraldo (coord.). *Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais*. Vol. 2. São Paulo: Ibracon, 2007.

JEMAI, Japan Environmental Management Association for Industry. *LCA Project*. 2003. Disponível em: < <http://www.jemai.or.jp/english/lca/project.cfm>>. Acesso em abril de 2011.

JOHN, Vanderley M. Aproveitamento de resíduos sólidos como materiais de construção. In: CASSA, José Clodoaldo Silva; CARNEIRO, Alex Pires; BRUM, Irineu Antônio Schadach de (orgs.). *Reciclagem de entulho para produção de materiais de construção*. Salvador: EDUFBA/Caixa Econômica Federal, 2001.

_____. *Materiais de Construção e Meio Ambiente*. In: ISAIA, Geraldo (coord.). *Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais*. Vol. 2. São Paulo: Ibracon, 2007.

JOHN, Vanderley Moacir; OLIVEIRA, Daniel Pinho de; LIMA, José Antonio Ribeiro de. *Levantamento do Estado da Arte: seleção de materiais*. Projeto FINEP. São Paulo, 2007.

JORNAL SÃO JUDAS TADEU. *Projetos inovadores de engenharia civil*. São Paulo, Ano XX, n. 165, Universidade São Judas Tadeu, abril de 2010.

KLEIN, Sheila Elisa Scheidemantel. *Diretrizes de gestão ambiental na indústria da construção civil de edificações*. Dissertação de Mestrado. 84 f. Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2002.

LIMA, Ângela Maria Ferreira. *Avaliação do Ciclo de Vida no Brasil: inserção e perspectivas*. Dissertação de Mestrado. 116 p. Salvador, Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, 2007.

LIMA, Ângela Maria Ferreira; KIPERSTOK, Asher. Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) no mundo e no Brasil. *Anais... XXIV Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. 2007. Belo Horizonte, 02 a 07 de setembro de 2007.

MCKINSEY&COMPANY. *Caminhos para uma economia de baixa emissão de carbono no Brasil*. São Paulo, 2009.

MARRANGHELLO, Norian. *Redes de Petri: conceitos e aplicações*. São Paulo: UNESP, 2005.

MARTINEZ, Laura Dominguez; AMORIM, Sérgio Roberto Leusin. Inserção de aspectos sustentáveis no projeto de arquitetura unifamiliar e capacitação de profissionais de arquitetura em Niterói. *Anais... VI Congresso Nacional de Excelência em Gestão*, Rio de Janeiro, 5-7 de agosto de 2010.

MENDONÇA, Mário Jorge Cardoso de; GUTIEREZ, Maria Bernadete Sarmiento. O efeito estufa e o setor energético brasileiro. *Texto para Discussão n. 719*. Rio de Janeiro: IPEA, abril de 2000.

MORSE, Stephen; BELL, Simon. *Measuring sustainability*. London: Earthscan, 2003.

MOURA, Luiz Antônio Abdalla de. *Economia Ambiental: Gestão de Custos e Investimentos*. São Paulo: Juarez de Oliveira, 2000.

OLIVEIRA, Marilene Silva de. *Análise da intensidade de emissão de gases de efeito estufa na demanda final brasileira através do Modelo de Insumo/Produto*. Dissertação de Mestrado. 78 f. Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Ciência da Informação e Documentação. Brasília, UNB, 2011.

OLIVEIRA, Valdir Pereira de. *Fachadas arquitetônicas em painéis pré-fabricados de concreto*. Trabalho de Conclusão de Curso. 116 f. Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2004.

ONU. *Relatório sobre a Situação da População Mundial 2011*. Divisão de Informações e Relações Externas do Fundo de População das Nações Unidas, 2011. In http://www.unfpa.org.br/swop2011/swop_2011.pdf. Acesso em outubro de 2011.

ORTIZ, Oscar; CASTELLS, Francesc; SONNEMANN, Guido. Sustainability in the construction industry: a review of recent developments based on LCA. *Construction and Building Materials*, vol. 23, pp. 28-39, 2009.

ORTIZ, Oscar; PASCALINO Jorgelina C; DÍEZ Gloria; CASTELLS Francesc;. The environmental impact of the construction phase: An application to composite walls from a life cycle perspective. *Resources, Conservation And Recycling*, vol. 54, pp. 832-840, 2010.

Plano Brasileiro de Normalização – PNB - Resolução n.º 4, de 08 de novembro 2004. Disponível em <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/resc/pdf/RESC000179.pdf>. Acesso em novembro de 2011.

PEDROSO, Fábio Luiz. Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem. *Revista Concreto & Construções*, Ano XXXVII, n. 53, pp. 14-19, São Paulo, Ibracon, janeiro/fevereiro/março de 2009.

RODRIGUES, Monique Cordeiro et al. Mudanças na Construção com a aplicação do conceito de sustentabilidade. *Anais... 4º Construmetal*, Congresso Latino-Americano da Construção Metálica, 2010. São Paulo, 31 de agosto a 02 de setembro de 2010.

ROIG, Carla de Almeida; SILVA, Ivan Prado; GUERRA, Sinclair Mallet-Guy. Eficiência energética e o retorno às energias renováveis no século XXI. *Revista OIDLES*, Observatorio Iberoamericano del Desarrollo Local y la Economía Social, vol. 3, n. 7, pp. 13-23, Málaga, Diciembre de 2009.

SALVADOR FILHO, José Américo Alves. *Blocos de Concreto para alvenaria em construções industrializadas*. Tese de Doutorado. 246 f. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

SANTI, Auxiliadora Maria Moura; SEVÁ FILHO, Arsênio Oswaldo. Combustíveis e riscos ambientais na fabricação de cimento; casos na Região do Calcário ao Norte de Belo Horizonte e possíveis generalizações. *Anais... II Encontro Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade – ANPPAS*. Campinas, 26-29/05/2004.

SCLCI, *Swiss Centre for Life Cycle Inventories*. Disponível em: < <http://www.ecoinvent.ch/> > Acesso em julho de 2011.

SEO, Emilia Satoshi Miyamaru; KULAY, Luiz Alexandre. Avaliação do ciclo de vida: ferramenta gerencial para tomada de decisão. *InterfaceHS*, Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente, vol. 1, n. 1, pp. 1-23, agosto de 2006.

SERRA, Sheyla Mara Baptista; FERREIRA, Marcelo de A.; PIGOZZO, Bruno N. Evolução dos Pré-fabricados de concreto. *Anais... 1º Encontro Nacional de Pesquisa-Projeto-Produção em Concreto Pré-Moldado*, 2005. São Carlos, 03 e 04 de novembro de 2005.

SILVA, Maristela Gomes da; SILVA, Vanessa Gomes da. *Manual de Construção em Aço: painéis de vedação*. Rio de Janeiro: CBCA, 2003.

SOARES, Sebastião Roberto; SOUZA, Danielle Maia de; PEREIRA, Sibele Warmling. A avaliação do ciclo de vida no contexto da construção civil. In: SATTTLER, Miguel Aloysio; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay (orgs.). *Coleção Habitare: construção e meio ambiente*. Vol. 7. Porto Alegre: ANTAC, 2006.

SOUZA, Danielle Maia de; RUBINGER, Sabrina Dionísio. Implementação da metodologia de Análise do Ciclo de Vida na gestão de resíduos sólidos urbanos. *Anais... XXIII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. 2005. Campo Grande, 18 a 23 de setembro de 2005.

STADLER P. J.; CORRÊA C. R. S; PEGORARO A. L; UGAYA L. M. C. Emissões atmosféricas da combustão do óleo diesel do transporte rodoviário de carga no Brasil para ACV. *Anais... 2º Congresso Brasileiro em Gestão de Ciclo de Vida em Produtos e Serviços*, 2010. Florianópolis, 2010.

SURGELAS, Vladimir. *Inventário do ciclo de vida dos processos de produção do bloco cerâmico e bloco de resíduos de construção e demolição RCD*. Dissertação de mestrado do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Belo Horizonte: CEFET-MG, 2010.

TACHIZAWA, Elio Takeshy; MENDES, Gildásio. *Como Fazer Monografia na Prática*. Rio de Janeiro: FGV, 2008.

TAE, Sungho; BAEK, Cheonghoon; SHIN Sungwoo. Life cycle CO₂ evaluation on reinforced concrete structures with high-strength concrete. *Enviromental Impact Assessment Review*, vol. 31, pp. 253-260, 2011.

TOLMASQUIM, Mauricio T.; GUERREIRO, Amilcar; GORINI, Ricardo. Matriz Energética Brasileira: uma prospectiva. *Revista Novos Estudos CEBRAP*, n. 79, pp. 47-69, São Paulo, novembro de 2007.

TORGAL, Fernando Pacheco; JALALI Said. *A Sustentabilidade dos Materiais de Construção*. Minho: Tecminho, 2010.

TOSTA, Sandes Cristiane. *Inserção da Análise do Ciclo de Vida no estado da Bahia através da Atuação do Órgão Ambiental*. Dissertação de Mestrado. 189 f. Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Ambiental. Salvador, Universidade Federal da Bahia, 2004.

UMBERTO. *Software de gestão ambiental e análise de fluxos de materiais e energia*. Disponível em < <http://www.umberto.de/en/home/language/portuguese/> >. Acesso em abril de 2011.

VAN ACKER, Arnold. *Manual de Sistemas Pré-Fabricados de Concreto*. Tradução Marcelo de Araújo Ferreira. São Paulo: ABCIC, Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto, 2003.

VARGAS, Jairo Raúl Chacón. Historia ampliada y comentada del análisis de ciclo de vida (ACV) com una bibliografía seleta. *Revista de la Escuela Colombiana de Ingenieria*, n. 72, pp. 37-70, Bogotá, outubro/dezembro de 2008.

VERGARA, Sylvia Constant. *Projetos e Relatórios de Pesquisa em Administração*. São Paulo: Atlas, 2007.

VOLLENBROEK, Frans A. Sustainable development and the challenge of innovation. *Journal of Cleaner Production*, vol. 10, n. 3, pp. 215-223, Amsterdam, 2002.

WCED, World Commission on Environment and Development. *Relatório Brundtland*. Oxford: Oxford University Press, 1987.

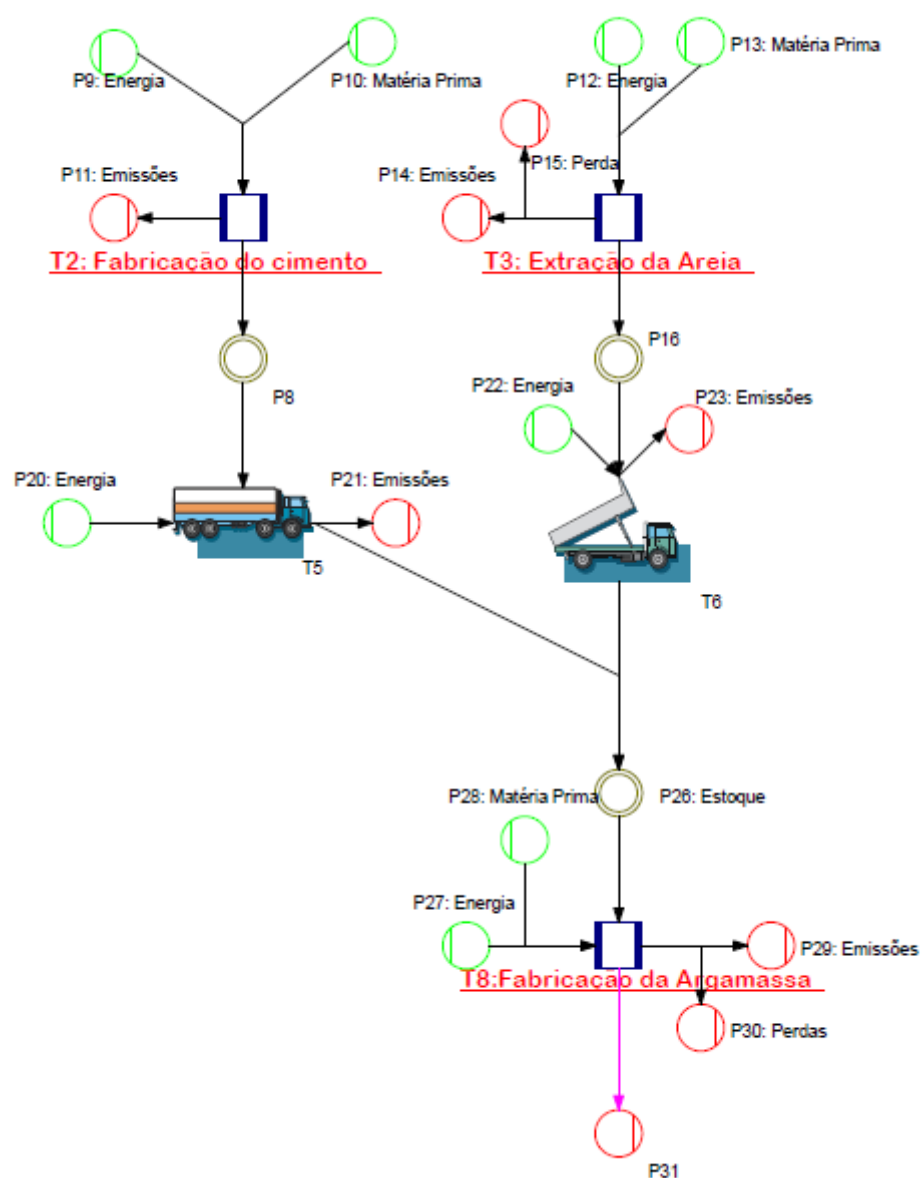
ZAMARION, José. Entrevista. *Revista Concreto & Construções*, Ano XXXVII, n. 53, pp. 8-13, São Paulo, Ibracon, janeiro/fevereiro/março de 2009.

ANEXOS

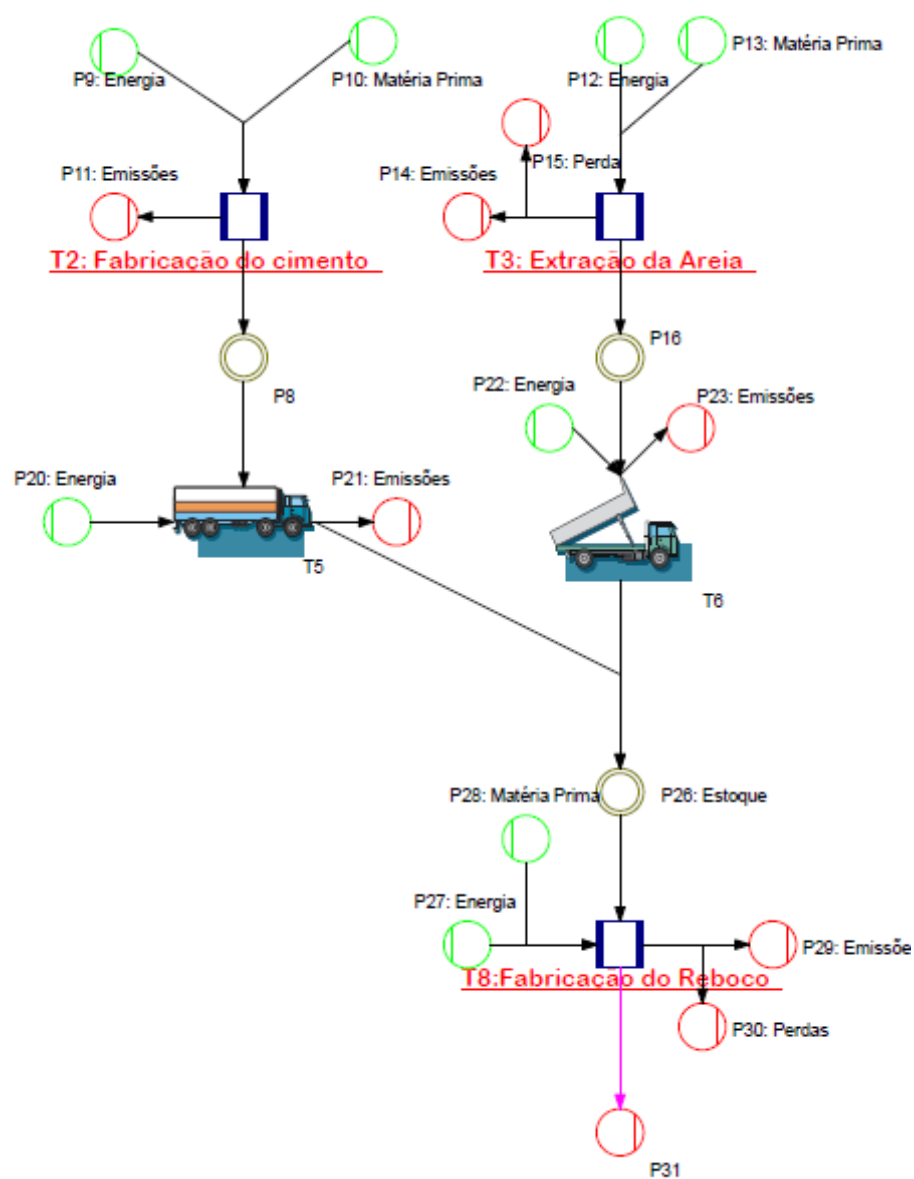
Anexo 1 – Quadro 5 - Comparativo dos *softwares* de balanço de massa

Características Gerais			Resultados		Dados/Base de dados		Apreciação Global		Aplicação				Avaliação		Avaliação Ambiental
Nome	Desenvolvimento	Software/ Método	Avaliativo/ Descritivo	Descrição dos resultados	Qualidade dos dados e base de dados	Ponto forte e pontos fracos	Usuários	Nível especialização	Aplicação na construção civil	Avaliação técnica	Avaliação Económica				
EcoScan	Turtle Bay para TNO- Institute of Industrial Technology	Software	Avaliativo	Valores quantitativos representados em Millipoints (unidade do Ecoindicator). Apresenta impactos gerais e impactos relativos de diferentes etapas do ciclo de vida. Apresenta ainda impactos relativos de diferentes materiais e componentes. Compara os produtos em gráficos circulares e de barras, diagramas de ciclo de vida e outros tipos de gráficos.	Disponíveis diferentes versões de bases de dados. Método utilizado entre o Ecoindicator 95 e Ecoindicator 99. Não contém todos os materiais e processos. Dados no geral de boa qualidade.	Fácil de usar, com um tutorial (que guia por etapas. Boa explicação das séries de dados. Relativamente transparente e fácil de seguir a modelação. Modelação de sistemas complexos pode ser difícil. Preço relativamente baixo. Bases de dados bastante geral. Algumas empresas desenvolveram as suas próprias BD (Philips), incluindo dados dospormenorizados sobre materiais e processos.	Designers, engenheiros e gestores	Não é exigida experiência aprofundada.	Sim	Cenários de modelação de materiais e montagem, ciclo de vida e eliminação /reutilização	Integração total dos aspectos económicos (custo do ciclo de vida (CCV))	ACV Com utilização do BD do Ecoindicator			
GaBi 4.0	Institute for Polymer Testing and Polymer Science da Universidade de Stuttgart e PE Europa GmbH.	Software e Gestão de Base de Dados	Avaliativo	Valores quantitativos (inventário, categorias de impacto ou avaliação de categorias), tabela de inventário, suporte gráfico, função de exportação (e.g. para Excel)	Boa qualidade, conjuntos de dados transparente (documentação), vasta gama de dados, abrangendo diversas áreas da indústria e do mercado (e.g. automóvel, electrónica, construção, metais, minerais, materiais plástico, recursos renováveis, energias, transportes fim de vida / reciclagem).	Gestão da BD flexível e bem estruturada; fácil importação/exportação; Consórcio KP/PE apoia GaBi há mais de 10 anos e é um dos maiores grupos mundiais em ACV; formação em software ACV sob pedido.	Engenharías, arquitectura, empresas de consultoria, institutos, universidades, laboratórios de investigação.	Nível básico de informática; conhecimentos de engenharia para análise e representação de sistemas complexos	Sim	Modelagem de processos técnicos pré-requisito	Integração total dos aspectos económicos (custo do ciclo de vida (CCV))	ACV, varios metodos de avaliação dos impactos.			
SimaPro	PRé Consultants	Software	Avaliativo	Resultados ICV, perfil AICV (especificação por substâncias e processos) visualização em árvore, análise da contribuição do processo	Disponíveis numerosos dados de diferentes bases de dados; qualidade variável.	Em contínuo desenvolvimento; fácil aplicação do rastreio ACV; modelagem do sistema complexa e difícil devido à estrutura predefinida e à ausência de apoio gráfico (menos transparência e exactidão); vários idiomas disponíveis.	Engenharías do ambiente, especialistas em ACV.	Elevado nível de conhecimento em ACV	Sim	Cenários de modelação da montagem do ciclo de vida e eliminação, desmontagem/reutilização	Não	ACV			
Team 4.0	Ecoblan S.A. (PriceWaterhouse Coopers)	Software	Avaliativo	Tabelas de inventário, resultados AICV com apoio gráfico.	Boa qualidade.	Gestão pouco flexível da BD por causa da separação do Explorer e do Editor do Sistema; Obtenção de resultados requer mais etapas instantâneos/exercícios); Funções de exportação /importação pouco flexíveis.	Engenharías do ambiente, especialistas em ACV.	Elevado nível de conhecimento em ACV	Sim	Disponível análise de cenário e variáveis de processo/globais; Indicador de processo/globais; Indicador de disponível solução.	Não	Não			
Umberto	IFU - Institute for Environmental Informatics Hamburg GmbH	Software e Gestão de Base de Dados	Avaliativo e descritivo	1. Descrição qualitativa: possibilidade de representar uma matriz relativa ao impacto ambiental pelo qual o material é responsável 2. Descrição quantitativa 3. Tabela de inventário 4. Ajuda Gráfica 5. Possibilidade de importação /exportação com outras aplicações.	Muito boa qualidade, com uma ampla gama de dados.	Apoio do Institute for Environmental Informatics, Hamburgo e pelo Institute for Energy and Environmental Science ,Heidelberg.	Especialistas ambientais, engenharías de processos, profissionais em ACV. Os resultados podem ser utilizados por gestores, investigadores e consultores.	Não é exigida experiência aprofundada mas conhecimento exigida formação (software fornecido com tutorial), mas é recomendada.	Sim	Modelagem de processos técnicos	Integração total dos aspectos económicos (custo do ciclo de vida (CCV))	1. ACV 2. Propriedades ecológicas utilizadas para os sistemas de Avaliação do Impacto.			

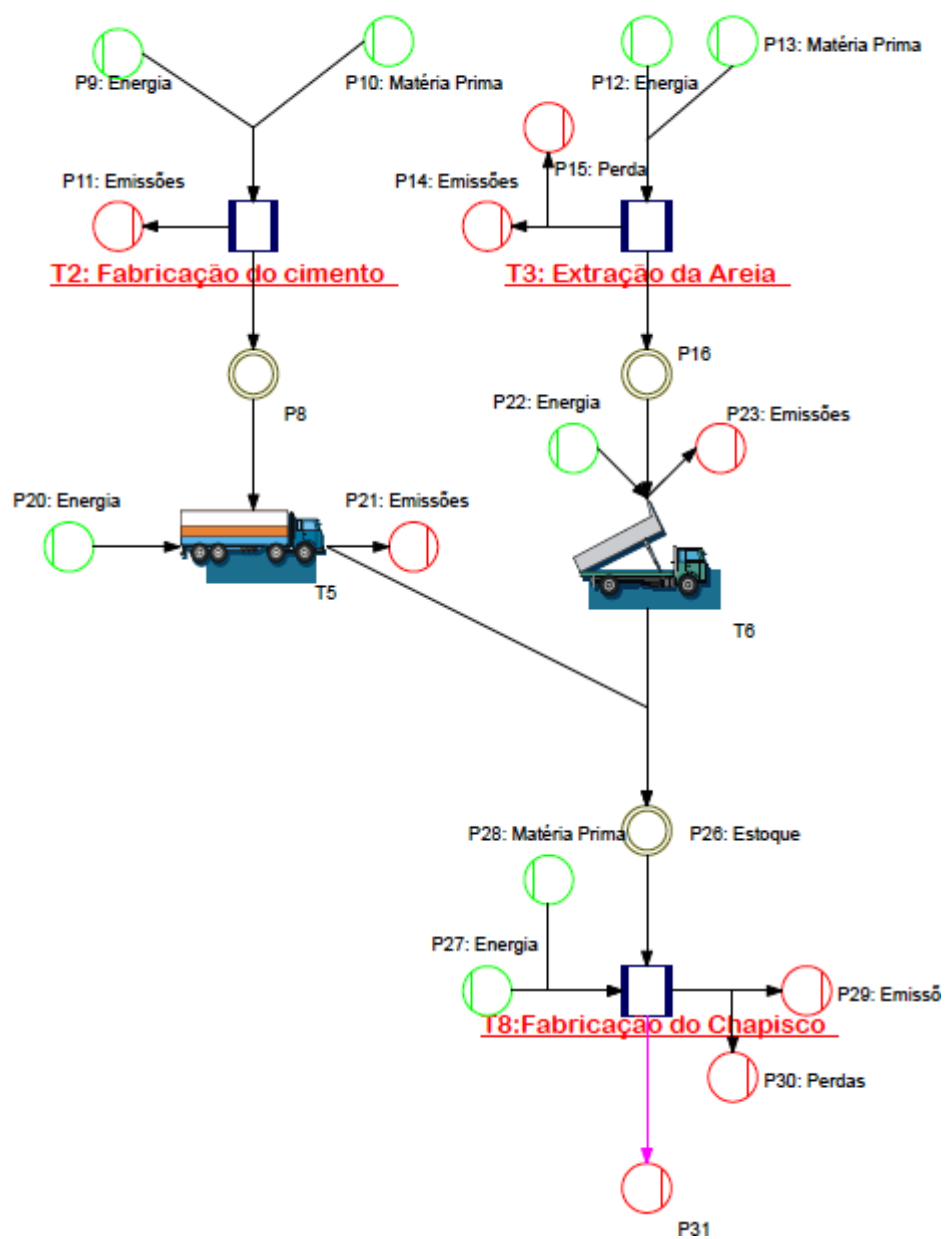
Anexo 2 – Figura 29 - Diagrama de rede de fluxo para fabricação da argamassa de assentamento dos blocos



Anexo 3 – Figura 30 - Diagrama de rede de fluxo para fabricação do reboco



Anexo 4 – Figura 31 - Diagrama de rede de fluxo para fabricação do chapisco



Anexo 5: Tabela 5 – ICV para a extração de areia

SISTEMA: Ambos			Processo / Atividade: Extração		
PRODUTO: Areia			Para produção de: 1kg		
ORGANIZAÇÃO DE DADOS					
ENTRADAS (matérias-primas e recursos naturais)			SAÍDAS (emissões atmosféricas, efluentes e resíduos sólidos)		
Material	Quant.	Unid.	Material	Quant.	Unid.
Areia	1,0000000000	kg	Perda de areia no cais	0,0100000000	kg
Diesel	0,0089397742	kg	Monóxido de carbono	0,0007624529	kg
			Hidrocarbonetos	0,0001829987	kg
			Dióxido de enxofre	0,0000914994	kg
			Óxido de nitrogênio	0,0010064617	kg
			Material particulado	0,0004879862	kg
Comentários: Areia natural extraída por draga Considerado 1% de perda no cais					

Fonte: SURGELAS (2009)

Anexo 6 – Tabela 6 – ICV para a fabricação do cimento

SISTEMA: Ambos			Processo / Atividade: Extração		
PRODUTO: Cimento			Para produção de: 1kg		
ORGANIZAÇÃO DE DADOS					
ENTRADAS (matérias-primas e recursos naturais)			SAÍDAS (emissões atmosféricas, efluentes e resíduos sólidos)		
Material	Quant.	Unid.	Material	Quant.	Unid.
Calcário	0,5473251029		Dióxido de carbono	0,5000000000	
Argila	0,1460905350		Óxido de nitrogênio	0,0031893004	
Minério de ferro	0,0370370370		Dióxido de enxofre	0,0013353909	
Gesso	0,0300411523		Material particulado	0,0008477366	
Carbonato de cálcio	0,1008230453				
Escoria de alto-forno	0,1399176955				
Energia elétrica	0,1000000000				
Energia térmica	0,6995884774				
Carvão vegetal	0,5032921811				
Distância até o próximo processo: 15 KM					
Comentários: Perda de 2% considerada na fase de transporte baseado em Surgelas (2009)					
Fonte: SURGELAS (2009).					

Anexo 7 – Tabela 7 – ICV para a etapa de fabricação do concreto

SISTEMA: Painel pré-moldado			Processo / Atividade: Extração		
PRODUTO: Concreto - consolidado			Para produção de: 1M³		
ORGANIZAÇÃO DE DADOS					
ENTRADAS (matérias-primas e recursos naturais)			SAÍDAS (emissões atmosféricas, efluentes e resíduos sólidos)		
Material	Quant.	Unid.	Material	Quant.	Unid.
Cimento	0,1406202806	kg	Cimento	0,0070310140	kg
Areia	0,3742834493	kg	Areia	0,0187141725	kg
Brita	0,4569144519	kg	Brita	0,0228457226	kg
Aditivo	0,0014062028	kg	Aditivo	0,0000703101	kg
Água	0,0773411544	kg	Água	0,0038670577	kg
Energia	0,00000000000	Kj	Energia	0,00000000000	Kj
			Diesel	0,00000000000	Kj
Comentários: Perda de 5% Fator A/C = 0,55 Peso por m³ de concreto considerado = 2200 kg DMT para fornecimento de cimento matéria-prima: 15 km DMT para fornecimento de areia matéria-prima: 75 km DMT para fornecimento de brita matéria-prima: 75 km Considerado, para abastecimento da Central de Concreto, a utilização de 15 horas de pá carregadeira					

Anexo 8 – Tabela 8 – ICV para a etapa de fabricação do aço

SISTEMA: Painel pré-moldado			Processo / Atividade: Extração		
PRODUTO: Aço			Para produção de: 1kg		
ORGANIZAÇÃO DE DADOS					
ENTRADAS (matérias-primas e recursos naturais)			SAÍDAS (emissões atmosféricas, efluentes e resíduos sólidos)		
Material	Quant.	Unid.	Material	Quant.	Unid.
Minério de ferro	1,3500000000	kg	Aço	1,2019000000	kg
Sucata	0,2850000000	kg	Água (perdida)	96,120000000	kg
Ferro liga	0,0119000000	kg	Água (recirculada)	37,380000000	kg
Ferro gusa	0,7760000000	kg	Material particulado	0,0029900000	kg
Ferro esponja	0,0120000000	kg	Amônia	0,0001090000	kg
Calcário	0,1970000000	kg	CO ₂	0,5277000000	kg
Carvão mineral	0,4007570000	kg	CO	0,0723000000	kg
Carvão vegetal	0,2387010000	kg	SO _x	0,0064800000	kg
Óleo diesel	0,0007640000	kg	MnO	0,0067400000	kg
Óleo combustível	0,0076800000	kg	P ₂ O ₅	0,0109000000	kg
Eletricidade	0,5172310000	Kj	SiO ₂	0,0002400000	kg
Minério de manganês	0,0090000000	kg	Resíduos sólidos	0,5500000000	kg
Dolomita	0,0530000000	kg			
Zinco	0,0020000000	kg			
Água	133,50000000	kg			
Comentários: Baseado em Ugaya, (2006). Consumo necessário = 7.184 kg					

Fonte: Workshop Report – SECO (2006)

Anexo 9 – Tabela 9 – ICV para a etapa de transporte da areia

SISTEMA: Painei pré-moldado			Processo / Atividade: Transporte semipesado		
PRODUTO: Areia			Para produção de: 1kg		
ORGANIZAÇÃO DE DADOS					
ENTRADAS (matérias-primas e recursos naturais)			SAÍDAS (emissões atmosféricas, efluentes e resíduos sólidos)		
Material	Quant.	Unid.	Material	Quant.	Unid.
Areia	1,0000000000	kg	CO	0,0000050200	kg
Diesel	0,0017199045	kg	NOX	0,0000003525	kg
			NMHC	0,0000070550	kg
			MP	0,0000218425	kg
			CO2	0,0005373075	kg
Comentários: Consideradas 20 viagens de caminhão semipesado com consumo médio de 3km/l DMT = 50 km (local de extração da areia até o local de fabricação dos painéis) Necessidade total de 193.809,21 kg Considerado somente transporte de IDA					

Anexo 10 – Tabela 10 – ICV para a etapa de transporte

SISTEMA: Painel pré-moldado			Processo / Atividade: Transporte semipesado		
PRODUTO: Brita			Para produção de: 1kg		
ORGANIZAÇÃO DE DADOS					
ENTRADAS (matérias-primas e recursos naturais)			SAÍDAS (emissões atmosféricas, efluentes e resíduos sólidos)		
Material	Quant.	Unid.	Material	Quant.	Unid.
Brita	1,0000000000	kg	CO	0,0000050200	kg
Diesel	0,0017610840	kg	NOX	0,0000003525	kg
			NMHC	0,0000070550	kg
			MP	0,0000218425	kg
			CO	0,0005373075	kg
Comentários: Consideradas 25 viagens de caminhão semipesado com consumo médio de 3km/l DMT = 50 km (local de extração da brita até o local de fabricação dos painéis) Consumo necessário de 236.596,70 kg					

Anexo 11 – Tabela 11 – ICV para a etapa de transporte do aço

SISTEMA: Painel pré-moldado			Processo / Atividade: Transporte semipesado		
PRODUTO: Aço			Para produção de: 1kg		
ORGANIZAÇÃO DE DADOS					
ENTRADAS (matérias-primas e recursos naturais)			SAÍDAS (emissões atmosféricas, efluentes e resíduos sólidos)		
Material	Quant.	Unid.	Material	Quant.	Unid.
Aço	1,0000000000	kg	CO	0,0000095550	kg
Diesel	0,0125278396	kg	NOX	0,0000006650	kg
			NMHC	0,0000134330	kg
			MP	0,0000415730	kg
			CO2	0,0010673670	kg
Comentários:					
Considerada 1 viagem de caminhão semipesado com consumo médio de 3km/l					
DMT = 140 km (local de fabricação do aço até o local de fabricação dos painéis)					
Consumo necessário de 7.184 kg					

Anexo 12 – Tabela 12 – ICV para a etapa de transporte do concreto

SISTEMA: Painel pré-moldado			Processo / Atividade: Transporte semipesado		
PRODUTO: Concreto			Para produção de: 1kg		
ORGANIZAÇÃO DE DADOS					
ENTRADAS (matérias-primas e recursos naturais)			SAÍDAS (emissões atmosféricas, efluentes e resíduos sólidos)		
Material	Quant.	Unid.	Material	Quant.	Unid.
Concreto	1,0000000000	kg	CO	0,0000000502	kg
Diesel	0,0005890146	kg	NOX	0,0000000035	kg
			NMHC	0,0000000706	kg
			MP	0,0000002184	kg
			CO2	0,0000053731	kg
Comentários: Consideradas 61 viagens de caminhão semipesado com consumo médio de 0,1km/l DMT = 0,500 km (Central de concreto até pátio de concretagem)					

Anexo 13 – Tabela 13 – ICV para a etapa de fabricação dos blocos de concreto

SISTEMA: Alvenaria Estrutural			Processo / Atividade: Fabricação		
PRODUTO: Fabricação dos blocos			Para produção de: 1kg		
ORGANIZAÇÃO DE DADOS					
ENTRADAS (matérias-primas e recursos naturais)			SAÍDAS (emissões atmosféricas, efluentes e resíduos sólidos)		
Material	Quant.	Unid.	Material	Quant.	Unid.
Cimento	0,0791666667	kg	Cimento	0,0039583333	kg
Areia	0,6833333333	kg	Areia	0,0341666667	kg
Brita	0,2833333333	kg	Brita	0,0141666667	kg
Aditivo	0,0000000000	kg	Aditivo	0,0000000000	kg
Água	0,0433333333	kg	Água	0,0021666667	kg
Energia	0,0071300000	Kj	Energia	0,0003565000	Kj
Comentários: Perda de 5% Dados fornecidos pela empresa fabricante dos blocos Considerados 13 blocos/m²					

Anexo 14 - Tabela 14 – ICV para a etapa de transporte do cimento para a fabricação dos blocos

SISTEMA: Alvenaria Estrutural			Processo / Atividade: Transporte pesado		
PRODUTO: Cimento			Para produção de: 1kg		
ORGANIZAÇÃO DE DADOS					
ENTRADAS (matérias-primas e recursos naturais)			SAÍDAS (emissões atmosféricas, efluentes e resíduos sólidos)		
Material	Quant.	Unid.	Material	Quant.	Unid.
Cimento	1,0000000000	kg	CO	0,0000068250	kg
Diesel	0,0063348371	kg	NOX	0,0000004750	kg
			NMHC	0,0000095950	kg
			MP	0,0000296950	kg
			CO2	0,0007624050	kg
Comentários:					
Consideradas 2 viagens de caminhão pesado com consumo médio de 1km/l					
DMT = 100 km (local de fabricação do cimento até o local de fabricação dos blocos)					

Anexo 15 – Tabela 15 – ICV para a etapa de transporte de areia para a fabricação dos blocos

SISTEMA: Alvenaria Estrutural			Processo / Atividade: Transporte semipesado		
PRODUTO: Areia			Para produção de: 1kg		
ORGANIZAÇÃO DE DADOS					
ENTRADAS (matérias-primas e recursos naturais)			SAÍDAS (emissões atmosféricas, efluentes e resíduos sólidos)		
Material	Quant.	Unid.	Material	Quant.	Unid.
Areia	1,0000000000	kg	CO	0,0000150600	kg
Diesel	0,0055043554	kg	NOX	0,0000010575	kg
			NMHC	0,0000211650	kg
			MP	0,0000655275	kg
			CO2	0,0016119225	kg
Comentários: Consideradas 30 viagens de caminhão semipesado com consumo médio de 3km/l DMT = 150 km (local de extração da areia até o local de fabricação dos blocos)					

Anexo 16 – Tabela 16 – ICV para a etapa de transporte da brita para a fabricação dos blocos

SISTEMA: Alvenaria Estrutural			Processo / Atividade: Transporte semipesado		
PRODUTO: Brita			Para produção de: 1kg		
ORGANIZAÇÃO DE DADOS					
ENTRADAS (matérias-primas e recursos naturais)			SAÍDAS (emissões atmosféricas, efluentes e resíduos sólidos)		
Material	Quant.	Unid.	Material	Quant.	Unid.
Brita	1,0000000000	kg	CO	0,0000150600	kg
Diesel	0,0075226191	kg	NOX	0,0000010575	kg
			NMHC	0,0000211650	kg
			MP	0,0000655275	kg
			CO2	0,0016119225	kg
Comentários: Consideradas 17 viagens de caminhão semipesado com consumo médio de 3km/l DMT = 150 km (local de extração da brita até o local de fabricação dos blocos)					

Anexo 17 – Tabela 17 – ICV para a etapa de transportes dos blocos até a obra

SISTEMA: Alvenaria estrutural			Processo / Atividade: Transporte semipesado		
PRODUTO: Blocos			Para produção de: 1kg		
ORGANIZAÇÃO DE DADOS					
ENTRADAS (matérias-primas e recursos naturais)			SAÍDAS (emissões atmosféricas, efluentes e resíduos sólidos)		
Material	Quant.	Unid.	Material	Quant.	Unid.
Concreto	1,0000000000	kg	CO	0,0000050200	kg
Diesel	0,0024657474	kg	NOX	0,0000003525	kg
			NMHC	0,0000070550	kg
			MP	0,0000218425	kg
			CO2	0,0005373075	kg
Comentários: Consideradas 59 viagens de caminhão semipesado com consumo médio de 3km/l DMT = 50 km (Fábrica - estoque)					

Anexo 18 – Tabela 18 – ICV da etapa de assentamento dos blocos (argamassa)

SISTEMA: Alvenaria Estrutural			Processo / Atividade: Execução		
PRODUTO: Argamassa de cimento			Para produção de: 1 (m²)		
ORGANIZAÇÃO DE DADOS					
ENTRADAS (matérias-primas e recursos naturais)			SAÍDAS (emissões atmosféricas, efluentes e resíduos sólidos)		
Material	Quant.	Unid.	Material	Quant.	Unid.
Cimento	0,0510526316	kg	Cimento	0,0270578947	kg
Areia	0,4922368421	kg	Areia	0,2608855263	kg
Água	0,0644736842	kg	Água	0,0341710526	kg
Cal Hidratada CH III	0,0076315789	Kj	Cal Hidratada CH III	0,0040447368	Kj
Energia	0,0000001176	Kj	Energia	0,0000000623	Kj
Comentários: Perda de 5% Fator A/C = 1,25 Reboco para parede interna ou externa, com argamassa de cimento e areia Traço: 1:1,5 e=5mm Considerados 1900KG/m³ de areia Fonte: TCPO 2003 Considerada uma área de 2556,39 m² para assentamento de alvenaria					

Anexo 19 – Tabela 19 – ICV para a execução do emboço

SISTEMA: Alvenaria estrutural			Processo / Atividade: Execução		
PRODUTO: Reboco			Para produção de: 1 (kg)		
ORGANIZAÇÃO DE DADOS					
ENTRADAS (matérias-primas e recursos naturais)			SAÍDAS (emissões atmosféricas, efluentes e resíduos sólidos)		
Material	Quant.	Unid.	Material	Quant.	Unid.
Cimento	0,0992105263	kg	Cimento	0,0525815789	kg
Areia	0,1792105263	kg	Areia	0,0949815789	kg
Água	0,0644736842	kg	Água	0,0341710526	kg
Energia	0,0000001176	Kj	Energia	0,0000000623	Kj
Comentários: Perda de 5% Fator A/C = 1,25 Reboco para parede interna ou externa, com argamassa de cimento e areia Traço: 1:1,5 e=5mm Considerados 1900KG/m³ de reboco Fonte: TCPO 2003 Considerada uma área de 2060,69m² para reboco (revestimento interno e externo dos painéis da fachada)					

Anexo 20 – Tabela 20 – ICV para a execução do chapisco

SISTEMA: Alvenaria Estrutural			Processo / Atividade: Execução		
PRODUTO: Chapisco			Para produção de: 1 (m²)		
ORGANIZAÇÃO DE DADOS					
ENTRADAS (matérias-primas e recursos naturais)			SAÍDAS (emissões atmosféricas, efluentes e resíduos sólidos)		
Material	Quant.	Unid.	Material	Quant.	Unid.
Cimento	0,0639473684	kg	Cimento	0,0031973684	kg
Areia	0,2328947368	kg	Areia	0,0116447368	kg
Água	0,0800000000	kg	Água	0,0040000000	kg
Energia	0,0000000588	Kj	Energia	0,0000000029	Kj
Comentários: Perda de 5% Fator A/C = 1,25 Chapisco para parede Interna ou externa com argamassa de cimento e areia traço 1:3 - e=5mm Considerados 1900KG/m³ de chapisco Fonte: TCPO 2003 Considerada uma área de 2060,69m² para chapisco (revestimento interno e externo dos painéis da fachada)					