



CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS – FATECS  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL  
COMPONENTE CURRICULAR: PROJETO FINAL

REBECCA GISSONI ALMEIDA (RA: 21016159)

# ESTUDOS SOBRE ANÁLISE DO CICLO DE VIDA E SUA APLICAÇÃO PARA CONCRETO ESTRUTURAL

BRASÍLIA-DF, 2014

REBECCA GISSONI ALMEIDA (RA: 21016159)

# ESTUDOS SOBRE ANÁLISE DO CICLO DE VIDA E SUA APLICAÇÃO PARA CONCRETO ESTRUTURAL

Monografia apresentada como requisito para conclusão do curso de Bacharelado em Engenharia Civil pela Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas do Centro Universitário de Brasília – UniCEUB.

Orientador: Eng. Civil William Oliveira Bessa

BRASÍLIA-DF, 2014

REBECCA GISSONI ALMEIDA

**ESTUDOS SOBRE ANÁLISE DO CICLO DE VIDA E SUA APLICAÇÃO  
PARA CONCRETO ESTRUTURAL**

Monografia apresentada como requisito para conclusão do curso de Bacharelado em Engenharia Civil pela Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas do Centro Universitário de Brasília – UniCEUB.

Orientador: Eng. Civil William Oliveira Bessa

Brasília, 25 de Novembro de 2014.

**Banca Examinadora**

---

Eng. Civil William Oliveira Bessa  
Orientador

---

Eng. Civil Jorge Antonio da Cunha Oliveira  
Examinador Interno

---

Arquiteta Darja Kos Braga  
Examinadora Externa

*Dedico este trabalho à minha família e amigos, por todo o amor e carinho que forneceram para eu concluir este curso.*

Rebecca Gissoni Almeida

## AGRADECIMENTOS

*Em primeiro lugar, quero agradecer a Deus, por me guiar durante todo o período de minha existência. Quero agradecer a Nossa Senhora de Guadalupe, por me amparar em todas as minhas orações. E ao meu Anjo da Guarda, por me proteger de todo o mal.*

*Quero agradecer minha maravilhosa mãe, Yara Gissoni Almeida, por ser a pessoa que eu mais amo nesta vida e por sempre estar ao meu lado, me dando todo o suporte e todo o amor necessário para viver. Minha mãe, que me proporcionou todo o amparo necessário para eu iniciar e concluir este curso. Por ser meu porto seguro, a pessoa com quem posso contar em todos os momentos da minha vida. Querida mamãe, eu não sei viver sem você. Você é minha inspiração. Quero poder um dia ser como você, a mulher mais maravilhosa do mundo.*

*Meu pai, Paulo Felinto de Almeida, que mesmo com seu jeito difícil de entender, me apoiou durante este curso e esteve presente em inúmeros momentos da minha jornada.*

*Meu querido irmão, Ayrton Gissoni Almeida, por ser a inspiração para eu decidir fazer Engenharia. Muito obrigada por sempre me ensinar o que você sabe, e estar sempre disposto a me ajudar. Obrigada por me ensinar Física 04, Álgebra Linear e Geometria Analítica, Limite, Derivada, Integral... Tudo isso quando eu ainda estava no Ensino Médio. Graças aos seus ensinamentos, eu pude escolher e me apaixonar pela ENGENHARIA.*

*Meu namorado e futuro esposo, Guido Venceslau Barusco Almeida Júnior, por ser o amor da minha vida e sempre estar ao meu lado. Obrigada por ser tão perfeito, e por compartilhar comigo todos os momentos desta graduação, como meu melhor amigo e namorado. Foi nossa paixão pela Engenharia que nos aproximou, e para sempre nos uniu. Obrigada por todos os momentos maravilhosos que passamos juntos, estudando, namorando, projetando, ficando até tarde fazendo os relatórios, estudando para as provas, participando dos eventos e congressos, do grupo de pesquisa, da monitoria, do estágio... Nada seria tão perfeito sem sua presença ao meu lado.*

*Como parte da família, quero agradecer também a minha cachorrinha Fifi, por ser a única que ficou dias e dias aos meus pés, enquanto eu estudava. Minha companheira de madrugadas estudando e fazendo projetos.*

*Agradecer à memória dos meus avós maternos, Desidério Gissoni e Josephina Brena Gissoni, que mesmo não estando vivos para ver este momento da minha graduação,*

*estiveram presentes na minha infância, e foram eles que me incentivaram a estudar todos os dias da minha vida. Sei que eles estão lá no céu olhando por mim, e estariam muito orgulhosos pela realização de mais uma etapa da minha vida.*

*Minha melhor amiga, Flávia Taumaturgo Bento, por ser esta pessoa maravilhosa que me apóia tanto, e por sempre fazer minha vida mais feliz. Obrigada por ser o “ombro amigo” que me escutou em minhas dificuldades ao longo do curso. Obrigada por todas as risadas que demos desde o ensino médio. Minha irmã do coração!*

*Meus melhores amigos e grandes colegas de curso: Geraldo, Alan, Gabriel Ribeiro, Guilherme, Pitanguinha (Ops, Gustavo), Jhonhatas, Vinícius, Marco Antônio, Flávia... E todos os outros, por embarcarem nesta jornada e fazerem o curso mais feliz a cada dia. Obrigada por me aguentarem ficar cobrando os trabalhos, e por estarem sempre dispostos a ajudar em todos os momentos. Obrigada pelas partidas de totó, pelas piadas e risadas na aula, pelas “zuações”, pelos palavrões, pelas comemorações, pelas conversas doidas e por fazerem este curso cada vez mais “fodástico”!*

*Ao pessoal do Grupo de Pesquisas: Sustentabilidade da Construção Civil. Obrigada por acreditarem na minha ideia, obrigada por estarem presentes no Grupo. Com o apoio de vocês foi possível realizar este grupo. Quero agradecer em especial à Diretoria, por serem os membros que toparam “botar a mão na massa”, e realizaram tarefas para o grupo poder funcionar: Sara, Gabriel Seabra, Maria Luiza, Paulo e Natália. Sem vocês, o Grupo não poderia ter crescido tanto. E agradecer à Professora Maruska, pelo o incentivo e orientações para iniciar o Grupo. Ao professor Jairo, por todo o apoio nas reuniões e visitas. E claro, agradecer todos os ensinamentos da arquiteta Marcela Fialho, que sempre esteve disposta a ajudar o Grupo de Pesquisas e sempre disponibilizou materiais para todos. Muito obrigada!*

*A todos os professores que um dia me deram aula, pois eu não estaria me graduando sem o ensinamento, determinação e incentivo de todos vocês. Obrigada a todos os professores que acreditaram em mim. Em especial, quero agradecer todos os professores do Colégio Marista João Paulo II, do período de 2003 a 2009, pois todos estão na minha memória e em meu coração.*

*Quero agradecer à equipe de professores e funcionários do UniCEUB. Todos os professores do curso de Engenharia foram essenciais para a minha formação, e seus ensinamentos que me tornaram capaz de atuar nesta profissão. Em especial, quero agradecer meu orientador William Oliveira Bessa, por toda sua ajuda e dedicação nesta*

*pesquisa, e por ter aceitado este desafio. Agradecer ao Coordenador de Engenharia Civil, Jocinez Lima, por todo o apoio e incentivo, durante todo o período de minha graduação. Aos Técnicos do Laboratório de Engenharia Civil (Dida, Vanilson, Régis), por sempre estarem dispostos a ajudar aos alunos durante a graduação e pesquisas.*

*Quero agradecer minhas queridas chefes do estágio, quando atuei na empresa Ambiente Eficiente: Darja Kos Braga e Ana Maria Abrahão Nicoletti. Obrigada por todo o carinho, todos os ensinamentos e todo o incentivo para atuar na área de sustentabilidade na construção civil. E quero agradecer imensamente à Darja, por ser a pessoa que me explicou primeiramente o tema de Análise do Ciclo de Vida.*

*Aproveitando este momento de agradecimento, quero agradecer o apoio da minha futura família: meus sogros Guido e Fátima, meus cunhados e concunhados, Ana Maria e Roney, João Phellipe e Laísa, e minha tia e primos de coração, Shirley, Elaine, Maria Luiza e Luís Felipe.*

*Agradecer aos grandes amigos: Minha madrinha Palmira, e seus filhos Marcos e Alexandre; o grande casal Gabriel Augusto e Márcia; a querida família gaúcha, vó Ana Maria, Ana Luisa, Priscila e Thiago; e aos amigos da Liturgia da Paróquia Nossa Senhora de Guadalupe.*

*Agradecer também à banca examinadora deste trabalho: meu orientador, Prof. William Oliveira Bessa; Prof. Jorge Antonio da Cunha Oliveira, examinador interno; Darja Kos Braga examinadora externa. Obrigada pela contribuição para melhoria do meu trabalho.*

*E quero agradecer a você, que teve interesse em ler este trabalho!*

*Muito obrigada!*

*Rebecca Gissoni Almeida*

*“Jamais considere seus estudos como uma obrigação,  
mas como uma oportunidade invejável  
para aprender a conhecer  
a influência libertadora da beleza do reino do espírito,  
para seu próprio prazer pessoal e  
para proveito da comunidade  
à qual seu futuro trabalho pertencer.”*

Albert Einstein



## RESUMO

A busca por soluções sustentáveis para combater problemas ambientais, como o Aquecimento Global, é uma realidade na atualidade, inclusive na construção civil. Existe a necessidade de utilizar materiais, processos e edificações que possuam os menores impactos ambientais possíveis, sendo viáveis ambientalmente, economicamente, socialmente e tecnicamente, ou seja, sustentáveis. É através desta necessidade que surge a metodologia da Análise do Ciclo de Vida (ACV), uma metodologia que busca mapear e quantificar os impactos ambientais de materiais, processos e edificações. Esta metodologia é aplicada do berço ao túmulo, ou seja, desde a extração das matérias-primas até a deposição final. No Brasil, existe a necessidade de compor um banco de dados eficaz para a aplicação da metodologia ACV para quantificar os impactos ambientais, porém, a ACV pode ser utilizada como forma de mapear os impactos ambientais, propondo soluções e estratégias para diminuição dos mesmos. Na construção civil, o material mais utilizado é o concreto, normalmente utilizado com função estrutural. Assim, existe a necessidade de estudar os impactos ambientais causados pelo ciclo de vida do concreto estrutural, para poder implantar estratégias de diminuição de impactos ambientais em cada etapa de seu ciclo de vida.

Palavras chaves: Análise do Ciclo de Vida; Concreto; Sustentabilidade; Resíduos; Impactos ambientais.

## **ABSTRACT**

The search for sustainable solutions to tackle environmental problems such as global warming is a reality nowadays, even in civil construction. There is a need to use materials, processes and buildings that have the least possible environmental impacts, and environmentally viable, economically, socially and technically, in other words, sustainable. Through this need arises the methodology of Life Cycle Analysis (LCA), a methodology that seeks to map and quantify the environmental impacts of materials, processes and buildings. This methodology is applied from cradle to grave, in other words, from extraction of raw materials to final disposal. In Brazil, there is the need to compose an effective database for the application of LCA methodology to quantify the environmental impacts, however, the LCA can be used as a way of mapping environmental impacts, proposing solutions and strategies to decrease them. In construction, the most common material used is concrete, usually used with a structural function. Thus, there is a need to study the environmental impacts caused by the life cycle of structural concrete, in order to implement strategies to decrease environmental impacts at each stage of its life cycle.

Key words: Life Cycle Analysis; Concrete; Sustainability; Residues; Environmental impacts.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	19
1.1	Conceitos iniciais .....	19
1.2	Justificativa .....	20
1.3	Objetivos .....	21
1.2.1	Objetivo principal .....	21
1.2.2	Objetivos específicos .....	21
1.4	Estruturação da monografia .....	23
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	25
2.1	Definições iniciais.....	25
2.1.1	Aquecimento Global e Efeito Estufa .....	25
2.1.2	Sustentabilidade na Construção Civil .....	27
2.2	Análise do Ciclo de Vida .....	30
2.2.1	Aspectos iniciais .....	30
2.2.2	ACV e sua relação com a construção civil.....	33
2.2.3	Limitações da aplicação da ACV na construção civil .....	37
2.2.4	Normas relacionadas.....	38
2.2.5	Fases da metodologia ACV .....	39
2.2.6	Softwares utilizados na ACV.....	45
2.2.7	Principais impactos ambientais analisados na ACV .....	48
2.3	Certificações ambientais e a relação com Análise do Ciclo de Vida .....	52
2.3.1	Certificação LEED .....	54
2.3.2	Referencial GBC Brasil Casa.....	56
2.3.3	Certificação AQUA.....	59
2.3.4	Selo Casa Azul .....	60
2.4	Concreto .....	61
2.4.1	Principais constituintes do concreto armado.....	62
2.4.2	Estudos sobre impactos ambientais relacionados com o concreto.....	72

3	METODOLOGIA .....	80
3.1	Método utilizado para a análise crítica da metodologia ACV aplicada à construção civil .....	80
3.2	Método utilizado para a análise crítica da situação ambiental do concreto.....	80
4	ANÁLISES CRÍTICAS .....	84
4.1	Análise crítica da metodologia ACV aplicada à construção civil .....	84
4.1.1	Importância, aplicações e limitações .....	84
4.1.2	Mercado de atuação e contexto brasileiro .....	87
4.2	Análise crítica da situação ambiental do concreto .....	88
4.2.1	Etapa do ciclo de vida: Extração de agregados .....	90
4.2.2	Etapa do ciclo de vida: Fabricação do cimento .....	94
4.2.3	Etapa do ciclo de vida: Transporte de materiais .....	109
4.2.4	Etapa do ciclo de vida: Projetos estruturais e arquitetônicos .....	114
4.2.5	Etapa do ciclo de vida: Canteiro de obras .....	118
4.2.6	Etapa do ciclo de vida: Uso nas construções .....	121
4.2.7	Etapa do ciclo de vida: Destinação final .....	123
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	131
5.1	Sugestões de temas para pesquisas futuras .....	133
	REFERÊNCIAS .....	135
	ANEXO .....	139

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Radiação solar e seu desenvolvimento na Terra. ....	25
Figura 2 – Prioridades para serem consideradas em um projeto de construção sustentável. ....	30
Figura 3 – Estrutura de uma ACV. ....	39
Figura 4 – Categorias de fluxos de materiais de um inventário típico. ....	42
Figura 5 – Brita (agregado graúdo) em diferentes granulometrias. Laboratório de Materiais do UniCEUB, Brasília-DF. ....	63
Figura 6 - Areia (agregado miúdo). Laboratório de Materiais do UniCEUB, Brasília-DF. ....	64
Figura 7 – Clínquer. Laboratório de Materiais do UniCEUB, Brasília-DF. ....	65
Figura 8 – Gipsita. Laboratório de Materiais do UniCEUB, Brasília-DF. ....	69
Figura 9 – Escória de alto-forno granulada. Laboratório de Materiais do UniCEUB, Brasília-DF. ....	70
Figura 10 – Armaduras de aço estocadas no canteiro de obras do empreendimento <i>Green Towers</i> , localizado em Brasília-DF. ....	71
Figura 11 – Principais cimenteiras no Brasil. ....	95
Figura 12 – Mudanças de árvores do cerrado. ....	106
Figura 13 - Vista do projeto da reforma da sede do <i>Facebook</i> . ....	107
Figura 14 – Processo de produção e abastecimento de hidrogênio. ....	112
Figura 15 – Lajes <i>bubble deck</i> montadas para a utilização, no Centro Administrativo de Brasília-DF. ....	116
Figura 16 – Maquinário utilizado para britagem de RCD Classe A, na empresa Areal Bela Vista, Brasília-DF. ....	125
Figura 17 – RCD Classe A, em forma de agregado. Laboratório de Materiais, UniCEUB, Brasília-DF. ....	125
Figura 18 – Blocos para pavimento, confeccionados com agregado reciclado. ....	126
Figura 19 – Mobiliário confeccionado com agregado reciclado. ....	127
Figura 20 - Gabião feito com garrafas PET preenchidas com agregado de RCD. ...	127

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Aplicabilidade da ACV no Setor da Construção Civil. ....	34
Tabela 2 - Normas relativas à ACV, em vigor. ....	38
Tabela 3 – <i>Softwares</i> utilizados para a ACV. ....	46
Tabela 4 – Exemplos de equivalências entre diferentes gases que contribuem para o Aquecimento Global. ....	50
Tabela 5 – Composição dos cimentos portland comum e compostos. ....	68
Tabela 6 – Composição dos cimentos portland Alto-Forno e Pozolânico. ....	68
Tabela 7 – Composição do cimento portland de Alta Resistência Inicial. ....	68
Tabela 8 – Principais impactos ambientais relacionados com a extração de agregados. ....	91
Tabela 9 – Soluções e suas viabilidades, para os impactos ambientais causados pela extração de agregados. ....	93
Tabela 10 – Emissões calculadas para o cimento até a porta da fábrica, valores do ano de 2004, base de dados dos EUA, expressos em kg/t de cimento. ....	96
Tabela 11 - Principais impactos ambientais relacionados com a fabricação de cimento. ....	98
Tabela 12 – Produção, consumo e oferta de cimento por regiões brasileiras. ....	101
Tabela 13 - Soluções e suas viabilidades, para os impactos ambientais causados pela fabricação de cimento. ....	108
Tabela 14 - Atividades de transporte presentes nas diferentes etapas do ciclo de vida de uma edificação. ....	109
Tabela 15 - Principais impactos ambientais relacionados com o transporte de materiais. ....	110
Tabela 16 - Soluções e suas viabilidades, para os impactos ambientais causados pelo transporte de materiais. ....	113
Tabela 17- Principais impactos ambientais relacionados com projetos estruturais e arquitetônicos. ....	115
Tabela 18- Soluções e suas viabilidades, para os impactos ambientais causados pelos projetos estruturais e arquitetônicos. ....	117
Tabela 19- Principais impactos ambientais relacionados com canteiro de obras. ....	118

Tabela 20- Soluções e suas viabilidades, para os impactos ambientais causados no canteiro de obras.....	120
Tabela 21- Principais impactos ambientais relacionados com uso nas construções. ....	122
Tabela 22- Soluções e suas viabilidades, para os impactos ambientais causados pelo uso nas construções.....	123
Tabela 23- Principais impactos ambientais relacionados com a destinação final. ..	124
Tabela 24- Soluções e suas viabilidades, para os impactos ambientais causados pela destinação final.....	129

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Desempenho ambiental total de quatro vigas de concreto armado, utilizando o <i>software</i> BEES 3.0. ....	73
Gráfico 2 – Desempenho ambiental total de quatro vigas de concreto armado, por estágios do ciclo de vida, utilizando o <i>software</i> BEES 3.0. ....	75
Gráfico 3 – Fluxos de Aquecimento Global de quatro vigas de concreto armado, utilizando o <i>software</i> BEES 3.0. ....	76
Gráfico 4 - Fluxos de Saúde Humana de quatro vigas de concreto armado, utilizando o <i>software</i> BEES 3.0. ....	77
Gráfico 5 – Previsão do consumo de Cimento Portland. ....	95
Gráfico 6 – Consumo de energia por materiais constituintes do concreto.....	98
Gráfico 7 - Comparação entre as emissões de CO <sub>2</sub> de diferentes tipos de cimentos brasileiros. ....	100
Gráfico 8 - Sugestão de classificação de concretos plásticos de acordo com a intensidade de ligantes. Elaborado a partir de dados de resultados laboratoriais de 29 países e centrais de concreto brasileiras. ....	104



## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Resistência média de dosagem: .....	102
Equação 2 - Índice de Intensidade de Ligantes:.....	103

## LISTA DE SÍMBOLOS

$C$	Quantidade de ligante por metro cúbico de concreto
$CF_4$	Tetrafluorcarbono
$CF_3Br$	Halon 1301
$CFCs$	Clorofluorcarbonos
$CFC - 11$	Triclorofluormetano
$CH_4$	Metano
$CH_3Br$	Metil-bromo
$CHCl_3$	Clorofórmio
$CH_3Cl$	Metil-cloro
$CH_2Cl_2$	Cloro-metileno
$CO_2$	Dióxido de carbono
$CO_2e$	Dióxido de carbono equivalente
$CO$	Monóxido de carbono
$DBO_5$	Compostos de fósforo
$DQO$	Compostos de nitrogênio
$f_{cj}$	Resistência média de dosagem
$f_{ck}$	Resistência característica do concreto à compressão
$HCl$	Ácido clorídrico
$HCN$	Cianeto de hidrogênio
$HF$	Fluoreto de hidrogênio
$HFC$	Hidrofluorcarbono
$H_2S$	Sulfeto de hidrogênio
$H_2SO_4$	Ácido sulfúrico
$I_l$	Índice de Intensidade de Ligantes
$kg$	Quilograma
$km$	Quilômetro
$PFC$	Perfluorcarbono
$m^3$	Metro cúbico
$MPa$	Mega Pascal
$MP$	Material particulado
$NH_3$	Amônia
$N_2O$	Óxido nitroso
$NO_2^-$	Nitrito
$NO_3^-$	Nitrato
$NO_x$	Óxidos de nitrogênio
$R_c$	Resistência à compressão axial média
$S_d$	Desvio padrão
$SO_2$	Dióxido de enxofre
$SO_x$	Óxidos de enxofre
$t$	Tonelada

## LISTA DE ABREVIações

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV	Análise do Ciclo de Vida
AQUA	Alta Qualidade Ambiental
BIM	<i>Building information modelling</i>
BMCC	<i>Building Material and Component Combinations</i>
CBCS	Conselho Brasileiro da Construção Sustentável
CIB	Conselho Internacional da Construção
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COV	Compostos orgânicos voláteis
EIA-RIMA	Estudo de Impacto Ambiental – Relatório de Impactos Ambientais
EPD	<i>Environmental Product Declaration</i>
GBC	<i>Green Building Council</i>
GEE	Gases de Efeito Estufa
HQE	<i>Haute Qualité Environnementale</i>
IBICT	Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia
ICV	Inventário do Ciclo de Vida
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LEED	<i>Leadership in Energy &amp; Environmental Design</i>
MCT	Ministério da Ciência e Tecnologia
MR	<i>Materials and Resources</i>
PBACV	Programa Brasileiro de Avaliação do Ciclo de Vida
RCD	Resíduos de Construção e Demolição
VOCs	<i>Volatile organic compound</i>
WPC	<i>Whole Process of the Construction</i>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Conceitos iniciais

A evolução da humanidade trouxe benefícios e facilidades para as populações. Na área da construção civil, têm-se construções de grande porte, construções executadas em menos tempo, comodidades para as pessoas, desenvolvimento e crescimento das cidades, entre outros benefícios. Porém, estes benefícios para as pessoas causam diversos problemas ambientais, com o maior consumo de matéria-prima, maior produção de resíduos, emissões de agentes poluentes para o ar, água e solo, entre outros.

Esses problemas, aliados com problemas de outras áreas, causam efeitos globais, como o Aquecimento Global, Efeito Estufa, Ilhas de Calor, extinção de espécies da fauna e flora, desequilíbrios ambientais, entre outros. Como forma de reverter a situação, tem-se a necessidade de restabelecer o equilíbrio ambiental.

Na construção civil, muitos impactos ambientais estão relacionados com os materiais e processos utilizados para construir as edificações. Esses materiais e processos causam danos ambientais desde a extração da matéria-prima, transporte, passando pela sua transformação, utilização e deposição final. Cada etapa do ciclo de vida de um material ou processo possui impactos ambientais, e estes tem agravado a situação ambiental global.

Como forma de mapear e quantificar os impactos ambientais surge a metodologia da Análise do Ciclo de Vida (ACV). Esta metodologia corresponde a fases a serem seguidas, para poder identificar e quantificar os impactos ambientais de materiais, processos ou edificações. Cada etapa do ciclo de vida é analisada, mostrando os verdadeiros impactos ambientais de um determinado produto ou processo. Assim, seguindo os procedimentos, é possível propor soluções para diminuição dos impactos ambientais e propor estratégias. A ACV também é utilizada para comparação ambiental entre diferentes materiais, processos ou edificações.

A ACV já é empregada em diversos países e é item de diversas certificações ambientais. Porém, no Brasil, a ACV ainda possui poucas pesquisas voltadas para a construção civil, o que dificulta sua aplicação.

Entre os materiais mais utilizados na construção civil, cita-se o concreto, material aplicado principalmente com função estrutural nas construções. O concreto é o “material mais utilizado no mundo depois da água” (OLIVEIRA, 2007, p. 30). Assim, os impactos ambientais do concreto estrutural precisam ser identificados e quantificados, para poder tomar atitudes que restabeleçam o equilíbrio ambiental, afetado pelos impactos deste material.

## **1.2 Justificativa**

Primeiramente, o estudo da ACV aplicada a um dos materiais mais utilizados no mundo é essencial para propor soluções que minimizem os impactos ambientais proporcionados pelo mesmo. O Aquecimento Global é uma realidade, e são necessários estudos para restabelecer o equilíbrio ambiental.

Este tema é importante de ser pesquisado devido também à demanda por construções sustentáveis. As principais certificações ambientais estão tornando como pré-requisito ou crédito a aplicação da ACV como forma de escolher materiais e processos realmente sustentáveis. Existe a necessidade de empregar materiais, processos e edificações com menores impactos ambientais, para diminuir esses impactos e proporcionar maior sustentabilidade para as construções.

Para o Brasil poder crescer de forma ambientalmente correta no ramo da construção civil, existe a necessidade de realizar estudos para compor um banco de dados eficiente para a aplicação da ACV. O Brasil não possui banco de dados de impactos ambientais, o que limita a aplicação da ACV apenas como forma de mapear os impactos ambientais, não sendo possível quantificar os impactos no Brasil de forma realmente eficaz.

Além disso, com a utilização da ACV é possível propor soluções viáveis para diminuição dos impactos ambientais em cada etapa do ciclo de vida de um material, processo ou edificação. Isso é fundamental para a composição de estratégias para serem implantadas.

Desta forma, estudos sobre ACV e sua aplicação para concreto estrutural torna-se uma pesquisa essencial para diminuição dos impactos ambientais.

### **1.3 Objetivos**

#### *1.2.1 Objetivo principal*

O objetivo principal deste trabalho é realizar o mapeamento de impactos ambientais do concreto estrutural, tendo como base estudos de Análise do Ciclo de Vida, e debater a viabilidade de soluções para diminuição dos impactos ambientais, além de propor estratégias para implantação das soluções.

#### *1.2.2 Objetivos específicos*

- Explicar os fenômenos de Aquecimento Global e Efeito Estufa, mostrando a relação da construção civil com os mesmos;
- Explicar o conceito de sustentabilidade aplicada à construção civil;
- Explicar a definição de Análise do Ciclo de Vida e sua relação com a construção civil;
- Mostrar as limitações da aplicação da ACV na construção civil, principalmente em relação ao contexto brasileiro;
- Verificar as Normas relacionadas com ACV e se estão em vigor;
- Especificar e explicar as fases da metodologia ACV;

- Verificar quais são os principais *softwares* utilizados na ACV e buscar informações a respeito dos principais *softwares*, verificando a possibilidade de aplicação no contexto brasileiro;
- Explicar os principais impactos ambientais analisados na ACV;
- Explicar as principais certificações ambientais e a relação com Análise do Ciclo de Vida;
- Mostrar e explicar os principais pré-requisitos e créditos relacionados com a ACV, das certificações ambientais: Certificação LEED, Referencial GBC Brasil Casas, Certificação AQUA e Selo Casa Azul;
- Explicar o processo de extração e fabricação dos principais constituintes do concreto armado;
- Mostrar estudos sobre impactos ambientais relacionados ao concreto;
- Analisar criticamente a metodologia da ACV, sobre sua importância, aplicação, limitações, mercado de atuação e contexto brasileiro;
- Realizar o mapeamento dos impactos ambientais em diferentes fases do ciclo de vida do concreto estrutural;
- Analisar criticamente as soluções propostas para diminuição dos impactos ambientais oriundos do concreto estrutural;
- Analisar a viabilidade ambiental, econômica, social e técnica, das soluções propostas para diminuição dos impactos ambientais oriundos do concreto estrutural;
- Propor estratégias para viabilidade e implantação das soluções propostas.

## 1.4 Estruturação da monografia

Para este trabalho, optou-se por uma pesquisa teórica, cujos principais capítulos são:

- Capítulo 02 - Revisão Bibliográfica;
- Capítulo 03 - Metodologia;
- Capítulo 04 - Análises Críticas;
- Capítulo 05 - Considerações Finais.

Este trabalho é composto de um capítulo dedicado à *Revisão Bibliográfica*, que aborda inicialmente as definições iniciais de problemáticas ambientais globais (Aquecimento Global e Efeito Estufa) e suas relações com a construção civil. Têm-se os conceitos acerca de sustentabilidade aplicada à construção civil. Neste capítulo, aborda-se com profundidade a metodologia da ACV, mostrando seus conceitos, Normas, fases, entre outros, e sua aplicação na construção civil, principalmente relacionada com as certificações ambientais. Tem-se ainda, neste capítulo, informações a respeito dos principais constituintes do concreto estrutural e estudos de ACV aplicada ao mesmo.

No capítulo dedicado à *Metodologia*, são abordados os métodos utilizados para as análises críticas. São explicados os tópicos que são abordados nas análises críticas, além de mostrar os focos utilizados em cada etapa, mostrando os itens considerados e os itens desconsiderados para o mapeamento dos impactos ambientais provenientes do concreto estrutural.

No capítulo dedicado às *Análises Críticas*, primeiramente tem-se a análise crítica da metodologia ACV. Depois, são realizados os mapeamentos dos impactos ambientais provenientes de cada etapa do ciclo de vida do concreto estrutural. São analisadas soluções e viabilidades das mesmas, e propostas estratégias para implantação das soluções.



E finalizando este trabalho, tem-se o capítulo dedicado às *Considerações Finais*, onde foram feitas considerações a respeito de todo o processo da ACV e sua utilização na construção civil, além de considerações sobre os impactos do concreto estrutural. Também são propostos novos temas para pesquisas futuras.

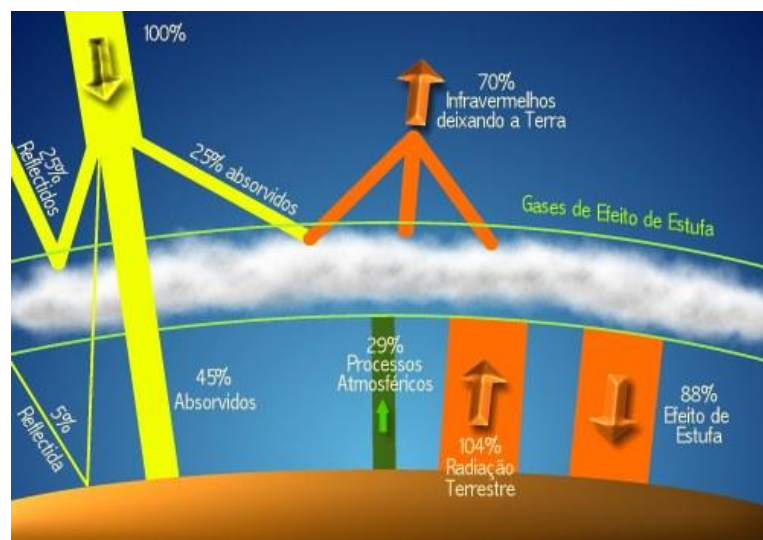
## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Definições iniciais

#### 2.1.1 Aquecimento Global e Efeito Estufa

O aquecimento da Terra está relacionado com a radiação proveniente do Sol. “A atmosfera é altamente transparente à luz solar, porém cerca de 35% da radiação que recebemos vai ser refletida de novo para o espaço, ficando os outros 65% retidos na Terra.” (BORTHOLIN e GUEDES, 2013). A Figura 1 mostra o desenvolvimento da radiação solar na superfície terrestre:

**Figura 1 – Radiação solar e seu desenvolvimento na Terra.**



(Fonte: BORTHOLIN e GUEDES, 2013)

Ainda segundo Bortholin e Guedes (2013), “nos últimos anos, a concentração de dióxido de carbono na atmosfera tem aumentado cerca de 0,4% anualmente; este aumento se deve à utilização de petróleo, gás e carvão e à destruição das florestas tropicais”. O efeito do aumento desses gases acarreta no aumento da temperatura global, ou seja, o Aquecimento Global.

O aquecimento do planeta é talvez o mais importante problema da agenda ambiental atual. O problema é simples de entender: a temperatura do planeta é produto do balanço energético: a energia recebida do sol aquece; aquecida, a terra se resfria emitindo radiação para espaço. O aumento da concentração de alguns gases na atmosfera, principalmente o CO<sub>2</sub>, o metano (CH<sub>4</sub>), o NO<sub>2</sub> e outros, vêm provocando a diminuição progressiva da quantidade de energia emitida para o espaço. Mantida a radiação solar, espera-se que a terra aqueça. (JOHN, 2010, p.100).

O Efeito Estufa é a forma que a Terra tem para manter sua temperatura estável, ou seja, é uma forma de manter a vida terrestre. “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” (CAMPOS, 2012, p.28). O problema está quando os gases poluentes agravam o Efeito Estufa e provocam o Aquecimento Global, ou seja, a elevação da temperatura terrestre.

O Efeito Estufa consiste, basicamente, na ação do dióxido de carbono e outros gases sobre os raios infravermelhos refletidos pela superfície da terra, reenviando-os para ela, mantendo assim uma temperatura estável no planeta. Ao irradiarem a Terra, parte dos raios luminosos oriundos do Sol são absorvidos e transformados em calor, outros são refletidos para o espaço, mas só parte destes chega a deixar a Terra, em consequência da ação refletora que os chamados "Gases de Efeito Estufa" (dióxido de carbono, metano, clorofluorcarbonetos- CFCs- e óxidos de azoto) têm sobre tal radiação reenviando-a para a superfície terrestre na forma de raios infravermelhos. (BORTHOLIN; GUEDES, 2013).

Em relação aos Gases de Efeito Estufa (GEE), os principais conhecidos são o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), o metano (CH<sub>4</sub>), o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e os clorofluorcarbonos (CFCs). Outros exemplos são os óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), o monóxido de carbono (CO), os halocarbonos e outros de origem industrial, como o hidrofluorcarbono (HFC) e o perfluorcarbono (PFC). “Entre todos, o CO<sub>2</sub> 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”. (CAMPOS, 2012, p. 28).

Assim, os fenômenos de Aquecimento Global e Efeito Estufa contribuem para o aumento da temperatura terrestre, causando diversos danos aos seres vivos.

Para modificar esta situação, são necessárias medidas que melhorem a qualidade do ar, e diminuam a temperatura global.

Se não forem tomadas atitudes drásticas a este respeito (aquecimento global) acontecerão várias alterações climáticas nas próximas décadas, gerando custos incalculáveis principalmente para as próximas gerações. Dentro desta realidade a indústria da construção civil é um dos principais atores, por impactar consideravelmente o meio ambiente e ser muito importante para o desenvolvimento econômico e social de qualquer país. (OLIVEIRA, 2007, p.113).

A construção civil é uma das maiores responsáveis pelo Aquecimento Global, e para reverter esta situação, a principal medida para diminuição dos impactos ambientais está na aplicação de conceitos de *sustentabilidade na construção civil*.

### 2.1.2 Sustentabilidade na Construção Civil

Atualmente, existe uma grande propagação da temática *sustentabilidade*. O termo é aplicado em diversos setores, inclusive na construção civil. De uma maneira geral, o termo *sustentabilidade* está associado ao desenvolvimento de forma equilibrada, sendo considerados os pilares da sustentabilidade: economicamente viável; socialmente e politicamente justo; ambientalmente correto; culturalmente aceito. Assim, o termo *sustentabilidade* deve ser atrelado a uma aplicação, para ser efetivamente utilizado.

Segundo a reportagem **O Conceito de Sustentabilidade e Desenvolvimento Sustentável** (2014), outro significado relacionado ao *desenvolvimento sustentável* está em “um modelo econômico, político, social, cultural e ambiental equilibrado, que satisfaça as necessidades das gerações atuais, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazer suas próprias necessidades”.

Na construção civil, observou-se a necessidade de aplicar a sustentabilidade em suas várias etapas. “As questões ambientais serão cada vez

mais um fator dominante nas atividades diárias de engenheiros e arquitetos” (JOHN, 2010, p.97).

No contexto atual de preocupação com a degradação ambiental e o esgotamento das reservas naturais muitas iniciativas foram implementadas no sentido de conscientizar os setores produtivos da economia e os órgãos governamentais dos países da necessidade de mudanças. A indústria da construção civil é o maior consumidor de recursos naturais de qualquer economia e um grande gerador de resíduos. O desenvolvimento de produtos, processos e serviços menos agressivos ao meio ambiente e à saúde humana é um desafio para as nações que buscam o desenvolvimento sustentável e encontram na indústria da construção civil um suporte para as mudanças necessárias. (OLIVEIRA, 2007, p. 07)

“O desenvolvimento sustentável depende dos engenheiros: somente uma nova engenharia será capaz de atender as demandas de uma população crescente e, simultaneamente, reduzir cargas ambientais” (JOHN, 2011, p.1843).

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” (CAMPOS, 2012, p.19).

“Entre 40% e 75% das matérias-primas extraídas da natureza são transformadas em materiais de construção: a construção civil é o setor mais intensivo em materiais de toda a economia” (JOHN, 2010, p.98).

“Estima-se (...) 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.” (CAMPOS, 2012, p.19).

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. (CAMPOS, 2012, p.32).

Em relação à construção civil, a sustentabilidade vem sendo aplicada a partir de procedimentos, tecnologias e implantações de diversas vertentes de

estudo. “Construir sustentavelmente significa reduzir o impacto ambiental, diminuir o retrabalho e desperdício, garantir a qualidade do produto com conforto para o usuário final, favorecer a redução do consumo de energia e água, contratação de mão de obra e uso de materiais produzidos formalmente, reduzir, reciclar e reutilizar os materiais.” (LEITE, 2011, p. 17). “A finalidade de uma construção sustentável não é apenas preservar o meio ambiente, visa também melhorar a condição de vida do morador ou, no mínimo, minimizar os impactos gerados ao meio ambiente em seu processo de obtenção e fabricação, durante a aplicação e em sua vida útil.” (PALACIO, 2013, p.21)

O conceito de construção sustentável foi divulgado em 1994, no Conselho Internacional da Construção (CIB), onde se entende por construção sustentável: “a criação e manutenção responsáveis de um ambiente construído saudável, baseado na utilização eficiente de recursos e no projeto baseado em princípios ecológicos” (TORGAL e JALALI, 2010, p.23).

O CIB ainda define os Princípios da Construção Sustentável: “Redução do consumo de recursos; Reutilização de recursos; Utilização de recursos recicláveis; Proteção da natureza; Eliminação de tóxicos; Aplicação de análises de ciclo de vida em termos econômicos; Ênfase na qualidade” (TORGAL e JALALI, 2010, p.24).

A indústria deve fechar seu ciclo produtivo de tal forma que minimize a saída de resíduos e a entrada de matéria-prima não-renovável. Estes ciclos para a construção tentam aproximar a construção civil do conceito de desenvolvimento sustentável, entendido como um processo que leva a mudanças na exploração de recursos, na direção dos investimentos, na orientação do desenvolvimento tecnológico e nas mudanças institucionais, todas visando à harmonia e ao entrelaçamento nas aspirações e necessidades humanas presentes e futuras. (OLIVEIRA, 2007, p. 29)

A Figura 2 mostra as prioridades a serem consideradas em uma construção sustentável:

Figura 2 – Prioridades para serem consideradas em um projeto de construção sustentável.



(Fonte: TORGAL e JALALI, 2010, p.25)

Existem diversas ferramentas utilizadas para avaliar a sustentabilidade de uma edificação. Uma das ferramentas para auxiliar a sustentabilidade na construção civil encontra-se na Análise do Ciclo de Vida (ACV), aplicada principalmente no quesito de Materiais. “Os materiais de construção eco-eficientes são por isso aqueles que entre várias alternativas possíveis, apresentam menor impacto ambiental” (TORGAL e JALALI, 2010, p.442).

## 2.2 Análise do Ciclo de Vida

### 2.2.1 Aspectos iniciais

Segundo Campos (2012, p.35), a partir da década de 70, muitas empresas precisaram mudar suas atitudes em relação às consequências negativas de suas atividades ao meio ambiente.

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. (CAMPOS, 2012, p.35).

“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”. (CAMPOS, 2012, p.35).

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). (CAMPOS, 2012, p.35).

Tem-se ainda o conceito de Oliveira (2007, p.32), onde enfatiza que a ACV é utilizada para verificar os impactos ambientais, mas também os impactos sob a saúde humana.

A ACV é um procedimento sistemático para mensurar e avaliar os impactos que um produto ou material causa no meio ambiente e sobre a saúde humana, desde a sua produção até a disposição final, de acordo com o enfoque do berço ao túmulo (*cradle-to-grave*). A avaliação inclui todo o ciclo de vida do produto, processo ou atividade, abrangendo a extração e o processamento de matérias-primas; manufatura, transporte e distribuição; uso, reuso, manutenção; reciclagem e destino final. (OLIVEIRA, 2007, p.32)

Hachich e Guimarães (2012, p. 77) mostram a função da ACV, com conceitos de aspectos ambientais e impactos ambientais:

A ACV é uma metodologia abrangente criada para identificar aspectos ambientais (elementos que podem interagir com o meio ambiente) e quantificar seus impactos ambientais (modificações do meio ambiente que decorrem em função dos aspectos ambientais) associados, ao longo de todo seu ciclo de vida, desde a extração de matérias-primas até a disposição final do produto, novamente, no meio natural. Esta metodologia é baseada na série de Normas ISO 14000. (HACHICH e GUIMARÃES, 2012, p.77)

A metodologia da ACV é amplamente utilizada nos países desenvolvidos, onde os mesmos criaram banco de dados próprios e *softwares* para a ACV. Campos (2012, p. 43-48), cita em seu trabalho os países que utilizam a ACV, entre eles, tem-se: Alemanha, Suíça, Dinamarca, Suécia, Holanda, Japão, Austrália, Estados Unidos e Canadá.



Nos países em vias de desenvolvimento, o interesse na ACV ainda é muito pequeno por parte das indústrias e governos.

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. (CAMPOS, 2012, p.49).

Nos países em vias de desenvolvimento existe pouco incentivo para estudos sobre a ACV, mas já existem iniciativas para formação de bancos de dados, além de participação de congressos e conferências na área. Os estudos de ACV predominam na área acadêmica, principalmente em mestrados e doutorados.

No Brasil, o tema começou a ser difundido na Rio 92, e posteriormente, por meio de trabalhos das equipes da ABNT. Teve-se ainda o Congresso Brasileiro sobre Gestão do Ciclo de Vida, realizado em Curitiba, no ano de 2008 e em Florianópolis, em 2010. No Brasil, os estudos da ACV ainda predominam na área acadêmica, porém, algumas empresas já estão necessitando de profissionais que conheçam a área e “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” (CAMPOS, 2012, p.53).

Observa-se que justamente setores como a siderurgia, biocombustíveis, produtos de madeira e eletrônicos são os setores mais ameaçados pelas atuais legislações européias, que avaliam o desempenho socioambiental e toxicológico dos produtos vendidos para a União Européia. 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). (CAMPOS, 2012, p.54).

“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” (CAMPOS, 2012, p.54). Assim, o Brasil pôde “participar ativamente no seu aperfeiçoamento e, ao mesmo tempo, disponibilizá-la para a indústria nacional, buscando a manutenção de sua competitividade em nível mundial.” (CAMPOS, 2012, p.54).

Foi em 2010 que o Brasil teve a criação do “Programa Brasileiro de Avaliação do Ciclo de Vida (PBACV) para disponibilizar e disseminar a metodologia” (CAMPOS, 2012, p.54). “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.” (CAMPOS, 2012, p.54).

### *2.2.2 ACV e sua relação com a construção civil*

A ACV está sendo utilizada pela construção civil, principalmente devido à busca por construções sustentáveis. “A busca por projetos menos impactantes ao meio ambiente deve se tornar uma rotina para os projetistas que pretendem se manter no mercado ou entrar nele. O desenvolvimento de projetos deve se basear também na escolha de produtos cada vez menos agressivos ao meio ambiente” (OLIVEIRA, 2007, p.113).

Oliveira (2007, p. 33) mostra os campos de utilização da ACV na construção civil, entre eles: “avaliação e certificação ambiental de materiais de construção; avaliação e certificação ambiental de edifícios; elaboração de instrumentos de informações ao projetista (catálogos); desenvolvimento de ferramentas computacionais que auxiliam na decisão no momento do projeto”. A Tabela 1 mostra com mais detalhes os ramos e profissionais os quais a ACV pode estar envolvida:

Tabela 1 - Aplicabilidade da ACV no Setor da Construção Civil.

<b>TIPO DE USUÁRIO</b>	<b>ETAPA DO PROCESSO</b>	<b>FINALIDADE DA UTILIZAÇÃO DA ACV</b>
<b>Consultores assessoram as cidades e os planejadores urbanos</b>	As fases preliminares	Estabelecer os objetivos a nível municipal. Definir as zonas onde se utilizam e programam este tipo de estudo. Estabelecer os objetivos para as áreas de desenvolvimento.
<b>Promotores imobiliários e clientes</b>	As fases preliminares	Localizar o canteiro de obra. Dimensionamento do projeto. Estabelecer os objetivos ambientais do empreendimento.
<b>Arquitetos, Engenheiros e consultores.</b>	Início do desenho detalhado, projetado por toda a equipe (engenheiros arquitetos projetistas, urbanistas, etc.). Desenvolvimento de um projeto inovador e sustentável, dentro do possível.	Comparar as diferentes opções de desenho, geometria, orientação, opções técnicas, qualidade, durabilidade.

(Fonte: PALACIO, 2013, p.29)

Segundo Campos (2012, p.19), as demandas por construções sustentáveis vêm tornando a ACV uma ferramenta muito utilizada para verificar desempenho de sistemas produtivos, materiais ou edificação ao longo da vida útil. “A ACV permite a averiguação de oportunidades de melhoria na construção civil, oferecendo, especialmente, informações sobre os impactos ambientais gerados”. (CAMPOS, 2012, p.19).

Muitas vezes o conceito de ACV está ligado à durabilidade e desempenho das edificações:

Quanto mais tempo um edifício demorar em ser demolido, mais tempo se levará para retirada de novas matérias-primas na natureza para a substituição desse edifício, e também se levará mais tempo para que os resíduos decorrentes da demolição sejam transportados, dispostos ou utilizados de alguma forma. Assim, a análise do ciclo de vida de um edifício, compreendendo as etapas de planejamento, implantação, uso, manutenção e demolição, é fundamental para a avaliação do seu impacto ambiental no longo prazo. E, para que essa análise possa ser feita, é essencial o estabelecimento de uma metodologia para previsão da vida útil na fase de

projeto. Podemos afirmar que desempenho e sustentabilidade são conceitos complementares e inseparáveis, sendo a vida útil o elo mais comum entre eles. (BORGES, 2012, p.44).

“A estimativa da vida útil dos produtos é uma condição para a realização da análise do ciclo de vida de uma construção” (JOHN, 2010, p.113). “A vida útil é afetada por decisões simples de projeto, sendo possível aumentá-las significativamente sem que seja necessário incrementar os impactos ambientais de um determinado produto” (JOHN, 2010, p.113).

Sobre a realização da ACV, existem na indústria da construção duas aplicações principais, 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)*”. (CAMPOS, 2012, p.55). Essas duas aplicações possuem focos de estudos distintos:

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. (CAMPOS, 2012, p.55).

Isso mostra que a ACV é uma metodologia que pode ser aplicada para processos e produtos, para avaliar corretamente os mesmos e tomar as melhores escolhas, principalmente escolhas relacionadas aos impactos ambientais.

“É importante ressaltar que o estudo de uma edificação baseada no processo de ACV requer algumas alterações em relação ao ACV de produtos.” (CAMPOS, 2012, p.55). Isso se deve principalmente devido a complexidade de análise de edificações, pois “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”. (CAMPOS, 2012, p.56). Assim, a complexidade da aplicação da ACV está ligada com o objetivo da aplicação da mesma.

Também é importante frisar a importância da ACV para a escolha de produtos e processos realmente sustentáveis, pois para garantir isso, é necessário avaliar todo o ciclo de vida do produto ou processo:

Infelizmente, é comum a seleção de materiais, ou até mesmo de edifícios, através de análises que se baseiam somente na avaliação dos aspectos ambientais de uma única fase do ciclo de vida. (...) Muitas vezes produtos acabam sendo classificados como ambientalmente corretos, só por terem um componente reciclável. (...) Esta abordagem ignora os impactos que podem ser causados em outras etapas do ciclo de vida. (OLIVEIRA, 2007, p.80).

Muitas vezes os produtos são vendidos como sustentáveis, mas apenas uma etapa do seu ciclo de vida é sustentável, ignorando-se os demais impactos ambientais causados pelo produto. “Estratégias de *marketing* são estruturadas para ressaltar os impactos que determinado produto não tem (sem emissões de compostos orgânicos voláteis, por exemplo) sem mencionar quais os impactos que de fato o produto possui” (JOHN, 2011, p.1848).

“Assim, uma tomada de decisão adequada na seleção de fornecedor ou de produto baseado em critérios ambientais requer uma análise multidimensional como a propiciada pela análise do ciclo de vida”. (JOHN, 2011, p.1848).

Assim, a ACV é uma metodologia muito importante para ser aplicada na escolha de produtos e processos ambientalmente corretos.

Têm-se ainda alguns pontos interessantes destacados por John (2010, p.111), que frisa aspectos que devem ser considerados na aplicação da ACV:

É necessário medir os impactos do produto ao longo do ciclo de vida do produto, do berço ao túmulo e não em uma fase (por exemplo, produção); Qualquer produto sempre tem vários impactos ambientais, que devem ser analisados simultaneamente: selecionar um produto com base na ausência de determinado impacto não é solução ambiental adequada na maioria dos casos; É necessário quantificar os impactos de uma unidade funcional de forma a comparar produtos capazes de oferecer uma mesma função durante o mesmo período de tempo. (JOHN, 2010, p.111).

Isso demonstra a importância da utilização da ACV para a escolha de produtos, como forma de comparar produtos utilizados para as mesmas funções por iguais períodos. Além disso, “A ACV serve de base para elaboração das declarações ambientais de produtos, documentos que descrevem quantitativamente os impactos

ambientais dos produtos e que, em futuro próximo, deverão acompanhar a documentação técnica de qualquer material” (JOHN, 2010, p.111).

### *2.2.3 Limitações da aplicação da ACV na construção civil*

Uma das principais limitações da aplicação da ACV está na formação de um banco de dados confiável para sua correta aplicação, pois requerem grandes quantidades de dados sobre os diversos impactos ambientais, em todas as fases dos produtos (TORGAL e JALALI, 2010, p.443).

O Brasil está começando a aplicar a ACV para a construção civil, porém, existe a falta de banco de dados nacional, fato que tem limitado a aplicação da metodologia ACV. “Não há como utilizar dados provenientes de outros países em função das especificidades de cada local, como: matriz energética, insumos, processos, emissões, etc.” (HACHICH e GUIMARÃES, 2012, p.77).

“Neste sentido, o CBCS – Conselho Brasileiro da Construção Sustentável vem trabalhando no desenvolvimento de uma metodologia simplificada de análise do ciclo de vida para poder iniciar a construção da base de dados nacional, e com isto tal metodologia poderá ser mais difundida e utilizada no Brasil”. (HACHICH e GUIMARÃES, 2012, p.77)

A falta de banco de dados ou a inacessibilidade dos dados no Brasil torna a ACV uma ferramenta limitada, pois os dados faltantes em cada uma das fases da ACV dificultam a aplicação da ACV e limitam a reutilização de resíduos gerados. Porém, não inviabiliza sua utilidade como ferramenta de mapeamento de impactos ambientais. (OLIVEIRA, 2007, p.80).

#### 2.2.4 Normas relacionadas

As Normas ISO relativas à ACV foram revisadas em 2014, sendo que algumas delas foram canceladas e outras foram corrigidas. Assim, as Normas em vigor podem ser visualizadas na Tabela 2.

**Tabela 2 - Normas relativas à ACV, em vigor.**

Norma	Status
ABNT ISO/TR 14049:2014 Gestão ambiental - <b>Avaliação do ciclo de vida</b> — Exemplos ilustrativos de como aplicar a ABNT NBR ISO 14044 à definição de objetivo e escopo e à análise de inventário	Em Vigor
ABNT NBR ISO 14040:2009 Errata 1:2014 Gestão ambiental - <b>Avaliação do ciclo de vida</b> - Princípios e estrutura	Em Vigor
ABNT NBR ISO 14044:2009 Errata 1:2014 Gestão ambiental - <b>Avaliação do ciclo de vida</b> - Requisitos e orientações	Em Vigor
ABNT NBR ISO 14040:2009 Versão Corrigida:2014 Gestão ambiental - <b>Avaliação do ciclo de vida</b> - Princípios e estrutura	Em Vigor
ABNT NBR ISO 14044:2009 Versão Corrigida:2014 Gestão ambiental - <b>Avaliação do ciclo de vida</b> - Requisitos e orientações	Em Vigor

(Fonte: ABNT Catálogo, 2014)

Vale salientar que grande parte das bibliografias estudadas ainda não estão atualizadas quanto às correções das Normas, por serem materiais anteriores ao ano de 2014.

A NBR ISO 14040/2009, mostra as funções da ACV, entre elas: Identificar oportunidades de melhorias de aspectos ambientais de produtos em todo o seu ciclo de vida; 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; selecionar indicadores importantes de desempenho ambiental; e promover ações de *marketing*.

Isso demonstra a importância da ACV para melhoria da situação ambiental, pois é uma metodologia que permite identificar os impactos ambientais de produtos e processos.

A NBR ISSO 14040/2001, a ACV considera categorias de impacto que incluem o uso de recursos, a saúde humana e as consequências ecológicas.

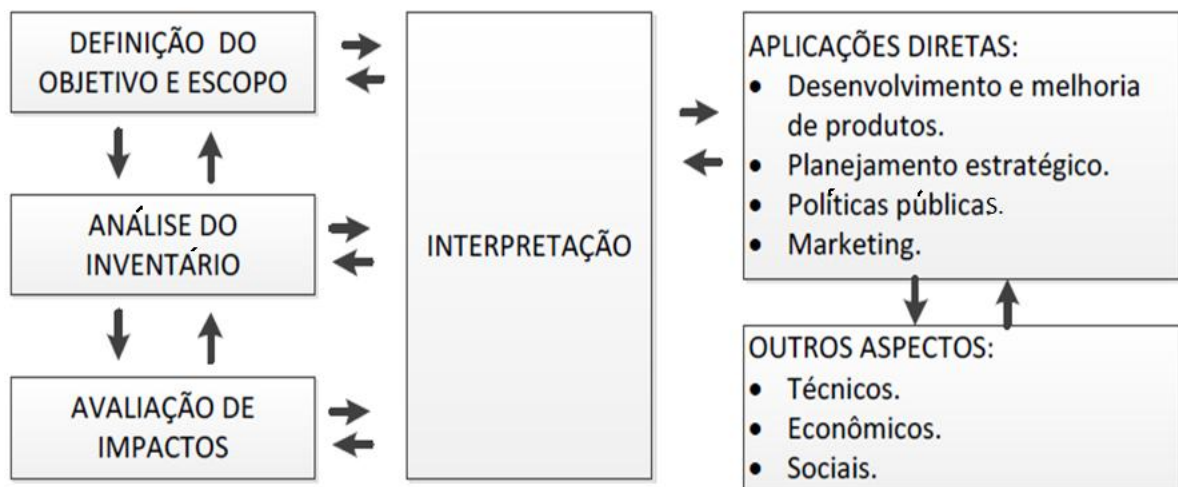
### 2.2.5 Fases da metodologia ACV

A metodologia da ACV é regida por Normas, e cada etapa possui suas funções e necessidades específicas. De maneira geral, tem-se que:

A ACV se inicia com a definição dos objetivos e da abrangência do trabalho: porque o trabalho está sendo realizado e a profundidade e extensão do mesmo. A parte central é o inventário, que identifica e quantifica os fluxos de insumos e emissões de cada etapa do ciclo de vida do produto. Essa etapa gera uma base de dados contendo tudo o que foi consumido pelo produto, bem como as emissões para o ar, terra e água. O inventário, isoladamente, tem pouca utilidade prática para tomada de decisão. A seguir, os resultados do inventário são transformados em impactos ambientais, ou seja, nos efeitos que o ciclo de vida do produto causa no meio ambiente. Finalmente, para cada situação específica, esses dados necessitam ser interpretados, visando a tomada de decisão. (JOHN, 2010, p.114).

Resumidamente, as fases da metodologia ACV podem ser visualizadas com clareza na Figura 3, que ainda mostra as aplicações diretas da utilização da ACV e outros aspectos que devem ser considerados na ACV:

**Figura 3 – Estrutura de uma ACV.**



(Fonte: Adaptado de PALACIO, 2013, p.29)



A NBR ISO 14040/2009, define as quatro fases da metodologia ACV, que são explicadas a seguir.

- **Definição de Objetivo e Escopo**

A definição do objetivo deve salientar a “aplicação pretendida, as razões para conduzir o estudo e o público-alvo” (CAMPOS, 2012, p.39). O escopo deve assegurar, com precisão, que “extensão, a profundidade e o grau de detalhe do estudo sejam compatíveis e suficientes para atender o objetivo estabelecido” (CAMPOS, 2012, p.39). Tem-se ainda que no escopo deve-se ter “delimitação das fronteiras de estudo, tipos de impacto que são analisados e unidade funcional do sistema” (OLIVEIRA, 2007, p.33). O escopo deve descrever claramente:

- 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. (CAMPOS, 2012, p.39).

Os limites da ACV vão do “berço ao túmulo”, ou seja, considerando todas as etapas do produto. Existem também ACV aplicadas somente a uma etapa da vida do produto, por exemplo, do “berço ao portão da fábrica, que considera a extração e beneficiamento dos recursos naturais, fabricação dos produtos intermediários e principais” (CAMPOS, 2012, p.40). Ou “do portão da fábrica ao túmulo, que considera a distribuição, uso e o descarte final do produto”. (CAMPOS, 2012, p.40).

Outra observação importante é que “para realização de uma análise entre diferentes edificações através da ACV, é necessário definir e quantificar as características de desempenho e promover a equivalência entre os sistemas analisados” (OLIVEIRA, 2007, p.34). Ou seja, é necessária a definição da unidade funcional para comparar diferentes produtos. “Comparações entre produtos somente

podem ser feitas se forem capazes de cumprirem a mesma função (mesmo desempenho) por um mesmo período de tempo” (JOHN, 2010, p.115).

É importante delimitar as fronteiras do sistema, ou seja, até onde serão analisados os impactos ambientais. “É um fato que o impacto ambiental total de um produto inclui uma parcela dos impactos não só de seus insumos, mas também da infra-estrutura, como estradas, fábricas, equipamentos, em um ciclo que tende ao infinito. Desta forma é necessário estabelecer as fronteiras de estudo” (JOHN, 2010, p.114). “A prática mais comum utiliza critérios como participação do insumo na massa ou energia total consumida pelo produto ou, ainda, no custo de produção” (JOHN, 2010, p.114). “A definição de fronteiras potencialmente altera os resultados de uma ACV e precisa ser considerada quando da interpretação dos resultados de sua análise” (JOHN, 2010, p.114).

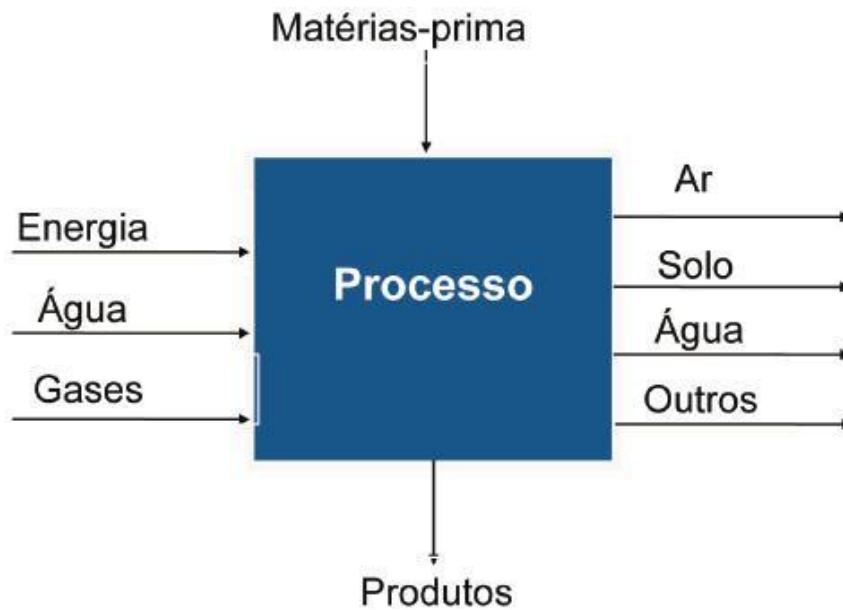
- **Análise de Inventário do Ciclo de Vida (ICV)**

Esta é uma das etapas mais trabalhosas da ACV, correspondendo a coleta e quantificação dos dados, onde os dados de “matéria-prima, energia, transporte, emissões para o ar, efluentes, resíduos sólidos, entre outros” (CAMPOS, 2012, p.40) são coletados para posterior análise.

“Na análise do inventário se estuda os fluxos de energia e materiais para a identificação e quantificação dos *inputs* (consumo de recursos naturais) e *outputs* (emissões para o ar, água e solo) associados aos produtos sob análise durante todo o seu ciclo de vida” (OLIVEIRA, 2007, p.34). “A análise do inventário é compreendida pela coleta de dados e procedimentos de cálculo para quantificar as entradas e saídas de um sistema” (OLIVEIRA, 2007, p.34)

“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.” (CAMPOS, 2012, p.40). A Figura 4 mostra os fluxos normalmente analisados em uma ACV:

Figura 4 – Categorias de fluxos de materiais de um inventário típico.



(Fonte: JOHN, 2010, p.116)

“A quantificação envolve tanto medidas de campo quanto a coleta de dados de fornecedores e até mesmo buscas bibliográficas” (JOHN, 2010, p.115). “A validação e consistência de dados é sempre uma necessidade” (JOHN, 2010, p.116). Entre os objetivos da criação do ICV, tem-se:

- 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;
- f) Promover informações necessárias para conduzir a análise de melhorias. (CAMPOS, 2012, p.41).

Assim, o ICV é ferramenta fundamental para analisar todo o ciclo de vida e impactos ambientais de determinado produto ou processo, mostrando onde estão os setores críticos, para assim, procurar soluções adequadas e diminuir os impactos ambientais.

- **Avaliação de impacto do ciclo de vida**

A partir dos dados do ICV, é necessária a correta avaliação destes dados visando a “avaliação da significância de impactos ambientais potenciais” (CAMPOS, 2012, p.41). “Nessa avaliação pode ocorrer a iteração com o objetivo e escopo, para determinar se os mesmos podem ser alcançados, e até mesmo para modificá-los, se for necessário” (OLIVEIRA, 2007, p. 35).

Nesta etapa, têm-se elementos obrigatórios e elementos opcionais de 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)” (CAMPOS, 2012, p.41).

Para a *seleção das categorias de impacto*, recomenda-se que deve envolver conhecimento científico na área (CAMPOS, 2012, p.41). “Podem ser as categorias tradicionais ou definidas de acordo com as necessidades de cada estudo” (OLIVEIRA, 2007, p.35).

A *classificação* reúne os dados nas categorias selecionadas, como por exemplo, “aquecimento global, destruição da camada de ozônio acidificação, toxicidade humana, exaustão dos recursos naturais” (CAMPOS, 2012, p.41). “Em determinados casos um tipo de carga ambiental pode estar associada a mais de um impacto, ou vários tipos de cargas ambientais podem estar associadas a um mesmo impacto” (OLIVEIRA, 2007, p. 35).

A *caracterização* “envolve a concepção dos resultados do ICV para unidades comuns e a agregação dos resultados convertidos dentro da mesma categoria de impacto.” (CAMPOS, 2012, p.42). “Os resultados do inventário, dentro de cada categoria de impacto, são convertidos em indicadores. Ou seja, usam-se fatores que convertem uma carga ambiental em impacto equivalente” (OLIVEIRA, 2007, p.35).

Entre os elementos opcionais de estudo, tem-se “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.” (CAMPOS, 2012, p.42).

Na parte de normalização, se faz “com que cada categoria tenha a mesma importância na formação do resultado final” (OLIVEIRA, 2007, p.36). As técnicas de agrupamento permitem “estabelecer uma hierarquização entre os diferentes grupos de categorias de impactos” (OLIVEIRA, 2007, p.36). Na pesagem, tem-se a “estipulação de pesos para cada categoria de impactos, provenientes da opinião pessoal do executante da análise; estabelecidos pelo cliente; ou derivados de um exercício de extração do conhecimento de especialistas” (OLIVEIRA, 2007, p.36).

- **Interpretação de resultados**

Com os dados das fases anteriores, é necessário analisar os resultados para tirarem-se conclusões e promover soluções para mudanças dos impactos ambientais.

“Existem muitas formas de se analisar os impactos sejam em nível global (como o aquecimento global e a degradação da camada de ozônio), regional ou local” (JOHN, 2010, p.116).

A primeira etapa é a *identificação das questões significativas*, que mostra e estrutura os dados significativos para o estudo, mostrando a “significância de categorias de dados, categorias de impacto e processos elementares incluídos no processo” (CAMPOS, 2012, p.42). Na etapa de *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.” (CAMPOS, 2012, p.42). E a última etapa, a *conclusão*, gera “um relatório sobre as questões de maior relevância ao processo.” (CAMPOS, 2012, p.42).

“O produto desta fase normalmente toma a forma de conclusões e recomendações, que devem ser consistentes com o objetivo e o escopo proposto

para o estudo, e podem servir como subsídio e auxílio para os tomadores de decisão” (OVILEIRA, 2007, p.36).

#### 2.2.6 Softwares utilizados na ACV

Segundo Campos (2012, p.60), existe uma série de *softwares* utilizados para a ACV, no que diz respeito ao balanço de massas. Ainda segundo o autor, “todos eles têm bancos de dados próprios, que são adequados à realidade geográfica na qual se inserem, o que faz com que eles se tornem ferramentas regionalizadas”. Assim, deve-se ter cuidado com o banco de dados dos *softwares* de ACV, para verificar se podem ser aplicados em outras localidades. E isso mostra também a necessidade de cada país investir no seu banco de dados, para poder aplicar com coerência a ACV.

Na ACV de um produto da construção civil, por exemplo, cada fase terá uma quantidade de fluxos de recursos que são consumidos e resíduos que são dispostos de alguma forma no meio ambiente, reciclado ou utilizado em outra linha de produção. Na ACV é feita a quantificação destes fluxos, gerando grande quantidade de dados que muitas vezes acabam necessitando de ferramentas computacionais com bancos de dados. (OLIVEIRA, 2007, p. 23)

Campos (2012, p.60) realizou um estudo e levantamento detalhado de alguns *softwares*, explicando: dados gerais (nome; desenvolvimento; método); resultados (descrição); base de dados (qualidade dos dados); apreciação global (pontos fortes e pontos fracos); aplicação (usuários; nível de especialização; aplicação na construção civil; avaliação técnica; avaliação econômica; avaliação ambiental). Sintetizando os comentários de Campos (2012, p.60), criou-se a Tabela 3 com os comentários do autor.

Tabela 3 – Softwares utilizados para a ACV.

SOFTWARE	COMENTÁRIOS DE CAMPOS (2012, p.60-61)
<b>EcoScan</b>	“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.”
<b>GaBi 4.0</b>	“O sistema de <i>software</i> 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”.
<b>LCA-it</b>	“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.” O formato <i>spine</i> é um formato de fluxos de dados, também chamado de “espinha”.
<b>SimaPro</b>	“Mais uma das ferramentas de balanço de massas voltadas para o desempenho ambiental, o SimaPro ( <i>System for Integrated Environmental Assessment of Products</i> ) 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.”
<b>Team 4.0</b>	“(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 <i>software</i> permite descrever qualquer sistema industrial e calcular o inventário do ciclo de vida associado e potenciais impactos ambientais de acordo com a ISO 14040.”
<b>Umberto</b>	“É um <i>software</i> 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.”

(Fonte: Adaptado de CAMPOS, 2012, p. 60-61)

Existe ainda o *software* BEES 3.0 (*Building for Environmental and Economic Sustainability*), utilizado no trabalho de Oliveira (2007, p. 42), que “tem como proposta desenvolver e implementar um sistema metodológico para seleção de produtos da construção com o intuito de conseguir um balanço mais apropriado entre o desempenho econômico e ambiental, que possa basear decisões de mercado”. O objetivo final é “contribuir para uma redução do custo efetivo da construção, levando em consideração os seus impactos durante todo o ciclo de vida dos produtos.” (OLIVEIRA, 2007, p. 42). Em relação aos resultados gerados pelo *software* BEES 3.0, tem-se que:

(...) Os resultados são apresentados na forma de gráficos e colunas, onde as diferentes alternativas podem ser comparadas visualmente pelo usuário.

(...) Com estes gráficos por estágio do ciclo de vida é possível identificar em qual momento um determinado material impacta mais o meio ambiente e qual o fluxo de substância contribui mais massivamente neste impacto. Análises deste tipo podem ajudar em ações que venham a interferir no ciclo de vida de materiais como a intenção de diminuir o impacto ambiental da construção civil. (OLIVEIRA, 2007, p. 49-50)

Isso demonstra que os *softwares* para a aplicação da ACV são importantes ferramentas para facilitar os estudos e análises e ainda permitir a escolha correta de produtos, analisando os impactos ambientais e os custos dos materiais.

Outras ferramentas informáticas para realizar a ACV são citadas por Torgal e Jalali (2010, p.25), entre elas, tem-se: ECO-QUANTUM; LEGEP; EQUER; ATHENA; OGIP; ECO-SOFT; ENVEST 2.0; BECOST; BEES; GREENCALC; entre outros.

Vale salientar também que muitos *softwares* trabalham com pesos para cada categoria de impacto ambiental analisada. Outros *softwares* já fornecem também os impactos econômicos.

No Brasil, tem-se a iniciativa de Oliveira, J. (2011), que criou um *software* chamado ECO OBRA, para ser aplicado na construção civil, na fase de canteiro de



obras. Este *software* é composto de 36 perguntas, separadas em categorias variadas de impactos ambientais. Cada pergunta possui 05 respostas. A ferramenta de avaliação ambiental é objetiva e o público-alvo são os responsáveis pelo canteiro de obras (engenheiros, supervisores, diretores). As perguntas podem ser respondidas através de um *checklist* ou *website*, proporcionando avaliação imediata com relatórios que classificam o canteiro de obras em relação à sustentabilidade. Possui relatórios gráficos, relatórios de soluções e estratégias para redução dos impactos ambientais. As perguntas foram separadas em grupos, que tratam de: Relação do edifício com o seu entorno; Escolha de sistemas e processos construtivos; Canteiro de obras com baixo impacto ambiental; Gestão da energia; Gestão da água; Gestão dos resíduos de canteiro de obra. (OLIVEIRA, J, 2011, p.129).

### 2.2.7 Principais impactos ambientais analisados na ACV

Os produtos e processos utilizados na construção civil provocam diversos impactos ambientais ao longo do ciclo de vida. Segundo o CONAMA (Resolução nº 001, de 23 de janeiro de 1986), deve-se entender por impacto ambiental “qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; a qualidade dos recursos ambientais”. Os impactos ambientais podem ser separados por categorias para serem utilizados na ACV:

As categorias de impactos ambientais correntemente utilizados para as ACV, podem abranger as seguintes: Consumo de recursos não renováveis; Consumo de água; Potencial de aquecimento global; Potencial de redução da camada de ozônio; Potencial de eutrofização; Potencial de acidificação; Potencial de formação de *smog*; Toxicidade humana; Toxicidade ecológica; Produção de resíduos; Uso de terra; Poluição do ar; Alteração de habitats. (TORGAL e JALALI, 2010, p.443).

“Contudo não é líquido que a importância de cada categoria seja a mesma, sendo compreensível que cada uma esteja dependente da realidade

ambiental de cada país” (TORGAL e JALALI, 2010, p.443). “Em países em desenvolvimento, os impactos ambientais do setor da construção civil tendem a ser ainda maiores, pela necessidade de suprir as carências de infraestrutura e habitacionais principalmente, o que demanda grande consumo de recursos naturais” (PALACIO, 2013, p. 27).

Os *softwares* analisados no item anterior deste trabalho utilizam alguns impactos ambientais para as análises. Entre os principais impactos, tem-se os impactos utilizados no *software* BEES 3.0:

**Aquecimento Global**: Este impacto diz respeito ao lançamento para a atmosfera de gases poluentes que contribuem para o efeito estufa, aumentando a temperatura global. Dentre os principais gases analisados, citam-se o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), clorofluorcarbono CFC 12 (CCl<sub>2</sub>F<sub>2</sub>), clorofórmio (CHCl<sub>3</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), metil-bromo (CH<sub>3</sub>Br), metil-cloro (CH<sub>3</sub>Cl), halon 1301 (CF<sub>3</sub>Br), tetrafluorcarbono (CF<sub>4</sub>), cloro-metileno (CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>), óxido de nitrogênio (N<sub>2</sub>O), entre outros (OLIVEIRA, 2007, p.42).

Nesta área de Aquecimento Global, é muito comum utilizar como unidade de medida o dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>e), ou seja, são dados pesos aos gases, transformando o resultado final em um impacto ambiental ponderado (JOHN, 2010, p.117). A Tabela 4 apresenta as equivalências entre os gases:

**Tabela 4 – Exemplos de equivalências entre diferentes gases que contribuem para o Aquecimento Global.**

Gás	Vida útil (anos)	g CO <sub>2</sub> equivalente para diferentes horizontes de tempo		
		100 anos	20 anos	500 anos
CO <sub>2</sub>	50 - 200	1	1	1
CH <sub>4</sub>	12 ± 3	21	56	6,5
N <sub>2</sub> O	120	310	280	170
HFC-23	264	11.700	9.100	9.800
HFC-152a	1,5	140	460	42
HFC-236fa	209	6.300	5.100	4.700
CF <sub>4</sub>	50.000	6.500	4.400	10.000
C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	10.000	9.200	6.200	14.000
C <sub>6</sub> F <sub>14</sub>	3.200	7.400	5.000	10.700
SF <sub>6</sub>	3.200	23.900	16.300	34.900

(Fonte: JOHN, 2010, p.118)

**Potencial de Acidificação:** Corresponde ao lançamento, para a atmosfera, de gases que atingem os ecossistemas, através da dissolução dos gases na água da chuva ou ao se depositarem em corpos d'água. Neste item, analisam-se emissões de amônia (NH<sub>3</sub>), ácido clorídrico (HCl), cianeto de hidrogênio (HCN), fluoreto de hidrogênio (HF), sulfeto de hidrogênio (H<sub>2</sub>S), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>) e ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). (OLIVEIRA, 2007, p.42-43).

**Potencial de Eutrofização:** Corresponde ao lançamento de nutrientes minerais, para água e solo, em quantidades que causem o crescimento desequilibrado de algumas espécies (OLIVEIRA, 2007, p.43). Leva em consideração quantificações de amônia (NH<sub>3</sub>), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), compostos de fósforo e nitrogênio (DBO<sub>5</sub> e DQO), íons nitrato e nitrito (NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), entre outros (OLIVEIRA, 2007, p.43). “A eutrofização é a poluição de corpos-de-água por excesso de nutrientes” (JOHN, 2010, p.117).

**Depleção de Combustíveis Fósseis:** São os impactos causados apenas pelo uso de combustíveis fósseis, não levando em consideração a produção dos

combustíveis fósseis. Ou seja, é a quantificação dos impactos a partir do consumo de carvão, gás natural, óleo, entre outros. (OLIVEIRA, 2007, p.43).

**Contaminação do Ar Interno:** Corresponde a contabilização das emissões de componentes orgânicos voláteis (VOCs – *volatile organic compound*) do produto na fase de uso nas edificações (OLIVEIRA, 2007, p.43).

**Alteração do Habitat:** Refere-se à ocupação de solo pela atividade em questão e conseqüentemente a perda da biodiversidade. Para o cálculo, são consideradas aproximações de densidades de espécies que se desenvolveriam no local de instalação da atividade (quantidade de espécies por m<sup>2</sup>) (OLIVEIRA, 2007, p.43).

**Depleção de Recursos Hídricos:** Este impacto diz respeito ao consumo de água potável, com a avaliação feita a partir do consumo de recurso hídrico. (OLIVEIRA, 2007, p.43). No Brasil, este tópico tem ganhado destaque devido ao desequilíbrio ambiental das chuvas, que tem proporcionado sérios problemas de seca em algumas regiões do país e chuvas em excesso em outras regiões.

**Poluição Atmosférica:** Corresponde ao aumento da quantidade de partículas sólidas e líquidas encontradas no ar, devido às atividades humanas, como por exemplo, combustão de veículos automotores, geração de energia, entre outras. São quantificados óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), material particulado (MP) e óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>) (OLIVEIRA, 2007, p.43).

**Saúde Humana:** São verificadas substâncias que causam danos à saúde humana, desde efeitos moderados até efeitos letais. O programa BEES 3.0 considera mais de 200 substâncias que estão divididas em cancerígenas e não-cancerígenas (OLIVEIRA, 2007, p.44).

**Formação de Névoa Fotoquímica:** Sob certas condições climáticas, algumas substâncias emitidas pelas atividades industriais e de transporte, em presença de radiação solar, sofrem reações químicas, produzindo névoa fotoquímica. (OLIVEIRA, 2007, p.44). “O número de substâncias consideradas, e que podem gerar este impacto, é superior a 100” (OLIVEIRA, 2007, p.44).

A Formação de Névoa Fotoquímica também é conhecida como Potencial de Formação de *Smog*. “*Smog* é a junção de duas palavras inglesas: *smoke* e *fog*, respectivamente, fumaça e neblina. Caracteriza-se por mistura de gases, fumaças e vapores de água, sendo formado por óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ), compostos orgânicos voláteis (COV), dióxido de sulfureto, aerossóis e gases” (JOHN, 2010, p.104). “O *smog* fotoquímico (névoa seca) é produto da reação de COV com  $\text{NO}_x$  que ocorre em presença de radiação solar e que leva a formação de partículas em ozônio em nível de solo” (JOHN, 2010, p.117).

**Depleção da Camada de Ozônio:** Algumas substâncias atacam a camada de ozônio, provocando sua redução. Como consequência, há riscos à saúde humana, fauna e flora. Entre as substâncias quantificadas, tem-se tetraclorocarbono ( $\text{CCl}_4$ ), clorofluorcarbono CFC 12 ( $\text{CCl}_2\text{F}_2$ ), halon 1301 ( $\text{CF}_3\text{Br}$ ), HCFC 22 ( $\text{CHF}_2\text{Cl}$ ), metil bromo ( $\text{CH}_3\text{Br}$ ), entre outros (OLIVEIRA, 2007, p.44).

**Toxicidade Ecológica:** Este impacto diz respeito ao lançamento de substâncias para o ambiente, que comprometem os ecossistemas terrestres e aquáticos. Existem mais de 150 substâncias potencialmente tóxicas para o meio ambiente (OLIVEIRA, 2007, p.44).

### **2.3 Certificações ambientais e a relação com Análise do Ciclo de Vida**

“Dentro dos conceitos da construção sustentável, no que tange especificamente a construção de edifícios, o termo *Green Building* ou Edifício Verde é utilizado para denominar edifícios que foram construídos dentro dos padrões sustentáveis.” (LEITE, 2011, p. 18). Dentre os temas abordados para um edifício ser considerado sustentável, destacam-se “local sustentável, eficiência de água, eficiência de energia, conservação dos materiais e dos recursos, e qualidade ambiental interna.” (LEITE, 2011, p. 19).

No mercado das construções sustentáveis, existem diversas certificações, selos e referenciais para serem utilizados em prol da melhoria das construções em quesitos de sustentabilidade.

Os benefícios de empreendimentos certificados ambientalmente são: empreendimentos diferenciados e mais valorizados, mais potencial de atingir novos mercados, redução de custos de produção, maior visibilidade uma vez que a consciência ambiental vem aumentando, aumento da credibilidade, redução de custos devido a acidentes ambientais, redução na utilização de recursos naturais e redução no custo com mão de obra qualificada. (LEITE, 2011, p. 31).

Tendo em vista a aplicabilidade de conceitos sustentáveis nas edificações, foram criadas diversas certificações, referenciais, guias e selos, que abordam maneiras de tornar os empreendimentos sustentáveis. Essas *certificações ambientais* possuem diversos tópicos a serem seguidos, sendo os principais temas abordados pelas mesmas: implantação, canteiro de obras, eficiência energética, materiais e recursos, qualidade e conforto interno, qualidade do ar, racionalização do uso de águas, operação do edifício, entre diversos outros assuntos.

Dentre os assuntos abordados pelas certificações, existe a Análise do Ciclo de Vida (ACV), normalmente abordada dentro da parte de materiais e recursos. Em muitas certificações, a ACV é considerada um crédito, porém, já existem debates para tornar a ACV um pré-requisito, sendo, portanto, obrigatória. Isso mostra a necessidade de ter profissionais da construção civil aptos a atuar nesta área.

Existem diversos tipos de certificações ambientais, em diversos países. As certificações mais conhecidas e aplicadas no Brasil são a LEED, GBC Brasil Casa, AQUA, Selo Casa Azul. Essas certificações são abordadas a seguir, tendo o foco explicar a relação das mesmas com a ACV, tema deste trabalho.

### 2.3.1 Certificação LEED

“O LEED (*Leadership in Energy & Environmental Design*) foi desenvolvido pelo USGBC (*U.S. Green Building Council*), instituição que busca promover edifícios sustentáveis e lucrativos, bem como lugares saudáveis para se viver e trabalhar.” (LEITE, 2011, p. 32).

A certificação LEED (*Leadership in Energy & Environmental Design*, ou seja, Liderança em Energia e Design Ambiental) é uma das certificações ambientais mais conhecidas na atualidade, sendo uma das principais certificações aplicadas no Brasil.

Em relação à ACV, a versão do LEED lançada em 2014 possui maiores informações do que as versões anteriores do LEED. Segundo o **LEED v4 for Building Design and Construction** (2014), no item de *Materials And Resources (MR)*, ou seja, materiais e recursos, tem-se vários créditos que tratam da ACV.

Segundo o **LEED v4 for Building Design and Construction** (2014, p. 89-90), o crédito *Building life-cycle impact reduction*, ou seja, redução de impacto do ciclo de vida da construção, possui a intenção de incentivar a reutilização adaptativa e otimizar o desempenho ambiental de produtos e materiais. Este crédito é aplicado a: Novas Construções (1–5 pontos); Envoltória e Estrutura Principal (1–6 pontos) Escolas (1–5 pontos); Varejo (1–5 pontos); *Data Centers* (1–5 pontos) Armazéns e Centros de Distribuição (1–5 pontos); Hotéis (1–5 pontos) e Hospitais (1–5 pontos).

Para o cumprimento do crédito, existem várias opções. Uma das opções é *Whole-Building Life-Cycle Assessment* (análise do ciclo de vida para o edifício inteiro). Esta opção vale 3 pontos. Traduzindo-se o texto apresentado no **LEED v4 for Building Design and Construction** (2014, p. 89-90), tem-se que, para novas construções (edifícios ou partes de edifícios), deve-se realizar uma avaliação do ciclo de vida do projeto estrutural e de vedações que demonstra um mínimo de redução de 10%, em comparação com um edifício de referência, em pelo menos três das seis medidas de impactos listados, um dos quais deve ser o potencial de aquecimento global. Nenhuma categoria de impacto avaliada como parte da

avaliação do ciclo de vida pode aumentar em mais de 5% em relação ao edifício de referência.

A referência e o edifício em questão devem ser de tamanho, função, orientação, energia e desempenho operacional comparáveis. A vida dos edifícios comparados deve ser a mesma e pelo menos 60 anos, devido à manutenção e substituição. Devem-se usar as mesmas ferramentas, *softwares* e conjuntos de dados, para a análise do ciclo de vida. E devem-se relatar todas as categorias de impacto previstas. Os conjuntos de dados devem ser compatíveis com a norma *International Organization for Standardization* (Organização Internacional para Padronização), ISO 14044. Devem ser selecionadas pelo menos três das seguintes medidas de impacto para a redução:

- Potencial de aquecimento global (efeito estufa), em CO<sub>2</sub>e;
- Destruição da camada de ozônio estratosférico, em kg CFC-11;
- Acidificação de fontes terrestres e aquáticos, em moles de H<sup>+</sup> ou kg de SO<sub>2</sub>;
- Eutrofização, em kg de nitrogênio ou fosfato kg;
- Formação de ozono troposférico, em NO<sub>x</sub> kg ou kg de eteno;
- Esgotamento dos recursos energéticos não renováveis, em MJ.

Outro crédito, segundo o **LEED v4 for Building Design and Construction** (2014, p.92), é o crédito *Building product disclosure and optimization—Environmental Product Declarations*, ou seja, divulgação e otimização dos produtos da construção, com as Declarações Ambientais dos Produtos. Este crédito possui a intenção de incentivar a utilização de produtos e materiais para os quais informações sobre o ciclo de vida estão disponíveis e que têm impactos ambientais, econômicos e sociais, do ciclo de vida, preferíveis. E as equipes de projeto devem priorizar, para a seleção de produtos, fabricantes que já verificados, apresentem melhores impactos ambientais do ciclo de vida. Este crédito é aplicado a: Novas Construções; Envoltória e Estrutura Principal; Escolas; Varejo; *Data*



*Centers*; Armazéns e Centros de Distribuição; Hotéis e Hospitais. Em todas essas edificações, este crédito varia de 01 a 02 pontos.

Para o cumprimento do crédito, existem várias opções. Uma das opções é a *Environmental Product Declaration* (Declaração Ambiental do Produto). Esta opção vale 01 ponto. Deve-se usar pelo menos 20 produtos diferentes instalados permanentemente provenientes de pelo menos cinco fabricantes diferentes. O crédito ainda tem a opção de usar a ACV segundo as Normas ISO 14025, 14040, 14044, e EN 15804 ou ISO 21930.

O mesmo documento indica ainda a existência de outros créditos que tratam da ACV:

- Divulgação e otimização dos produtos da construção, em relação ao fornecimento de matéria-prima;
- Divulgação e otimização dos produtos da construção, em relação os componentes do material;
- Fonte de redução de mercúrio;
- Fonte de redução de chumbo, cádmio e cobre;
- Mobiliário e acessórios médicos.

Todos os créditos listados querem mostrar a importância da ACV para a escolha dos materiais mais sustentáveis e recomendam o uso da mesma segundo as Normas da ISO. São aplicados aos mesmos tipos de construções anteriores e cada tipo de crédito listado possui pontuação entre um e dois pontos.

### 2.3.2 Referencial GBC Brasil Casa

O referencial GBC Brasil Casa (*Green Building Council*) é um modelo de certificação ambiental, baseado na certificação LEED, e em Normas e certificações brasileiras, que avalia diversos aspectos da construção de uma edificação, nos moldes da sustentabilidade. O referencial GBC Brasil Casa baseou-se na ideia de

criar uma certificação apropriada para as casas brasileiras, que possuem padrões diferentes das casas abordadas na certificação LEED.

Em relação à ACV, segundo o **Referencial GBC Brasil Casas** (2014), tem-se que é uma técnica que permite a quantificação das emissões ambientais ou a análise do impacto ambiental de um produto, sistema, ou processo. Essa análise é também chamada de "análise do berço à cova", ou "do berço ao túmulo.

O **Referencial GBC Brasil Casas** (2014) ainda afirma que é muito utilizada para comparar o impacto ambiental de diferentes produtos com similar função e pode ser utilizada na área de gestão ambiental para comparar o impacto ambiental de diferentes tipos de sistemas, por exemplo, tratamento de resíduos, captação de águas pluviais, entre outros. E, sobre as vantagens da ACV, "é permitir uma análise completa de um determinado sistema ou produto."

O documento trata a ACV como um crédito, dentro do item *Inovações e Projetos*. Como objetivo do crédito, tem-se "prover a análise e comparação do ciclo de vida de um material utilizado em obra, incentivando assim, o uso de materiais que causem menor impacto na sua produção e durante seu ciclo de vida". Como requisito para cumprimento do crédito, tem-se "eleger 2 materiais ou produtos utilizados na obra, que sejam equivalentes de comparação mas de fornecedores distintos, para passarem por uma análise de ciclo de vida baseado nos critérios estipulados pela ISO 14.040".

Ainda segundo o referencial, as exigências analisadas são: energia embutida; redução de matérias-primas; reciclabilidade (reciclagem e conteúdo reciclado); uso (energia/ água); durabilidade e manutenibilidade; desmontabilidade; distância, procedência; qualidade do ar interno e riscos sobre a saúde humana; geração e gestão de resíduos; destinação pós-consumo; legalidade e responsabilidade sócio-ambiental.

O **Referencial GBC Brasil Casas** (2014) traz diversas recomendações sobre a utilização da ACV. Segundo o referencial, "é conveniente que estudos da ACV abordem sistemática e adequadamente os aspectos ambientais de sistemas de

produto, desde aquisição de matéria-prima até a disposição final”, sendo este um dos principais objetivos da ACV.

“O grau de detalhe e o período de tempo de um estudo da ACV podem variar em larga escala, dependendo da definição de objetivo do escopo”, pois estes detalhes e o tempo variam de acordo com o tipo de material utilizado para se fazer a ACV. “Convém que o escopo, as suposições, a descrição da qualidade dos dados, as metodologias e a saída de estudos da ACV sejam transparentes. Convém que os estudos da ACV discutam e documentem as fontes de dados e que sejam clara e apropriadamente comunicados.” (REFERENCIAL GBC Brasil Casas, 2014).

“É recomendado que sejam tomadas providências, para respeitar questões de confidencialidade e propriedade, dependendo da aplicação pretendida do estudo da ACV.” (REFERENCIAL GBC Brasil Casas, 2014).

“Convém que a metodologia da ACV permita a inclusão de novas descobertas científicas e melhorias no estado-da-arte da tecnologia.” (REFERENCIAL GBC Brasil Casas, 2014).

“São aplicados requisitos específicos a estudos da ACV, que são usados para fazer uma afirmação comparativa que é disponibilizada ao público.” (REFERENCIAL GBC Brasil Casas, 2014). Ou seja, um dos focos de utilizar a ACV é para comparar duas tecnologias que são usadas para a mesma finalidade, para verificar qual delas é mais sustentável.

“Não existe base científica para reduzir resultados da ACV a um único número ou pontuação globais, uma vez que existem *trade offs* e complexidades para os sistemas analisados em diferentes estágios do seu ciclo de vida.” (REFERENCIAL GBC Brasil Casas, 2014). Assim, os resultados da ACV dependem muito do tipo de material, sua finalidade e as variáveis envolvidas.

“Não existe um único método para conduzir estudos da ACV. Convém que as organizações tenham flexibilidade para implementar praticamente a ACV conforme estabelecido nesta Norma, com base na aplicação específica e nos

requisitos do usuário.” (REFERENCIAL GBC Brasil Casas, 2014). O usuário deve escolher o melhor método que se aplica à sua situação.

### 2.3.3 Certificação AQUA

A certificação Alta Qualidade Ambiental (AQUA) é uma certificação brasileira que tem por base uma certificação francesa, a *Haute Qualité Environmentale* (HQE). A qualidade ambiental é relativa ao edifício e aos seus equipamentos (em produtos e serviços) e os restantes conjuntos de operação, de construção ou adaptação, que lhe “conferem aptidão para satisfazer as necessidades de dar resposta aos impactos ambientais sobre o ambiente exterior e a criação de ambientes interiores confortáveis e sãos”. (LEITE, 2011, p. 36).

No Brasil, a Fundação Vanzolini, instituição privada sem fins lucrativos, foi a responsável pela implantação do processo AQUA. “O processo visa garantir a qualidade ambiental de um empreendimento novo de construção ou reabilitação utilizando-se de auditorias independentes.” (LEITE, 2011, p. 37).

Dentro da certificação AQUA, a ACV está incluída no item *Qualidade dos Componentes*, que possui muitos sub-itens onde é necessário apresentar a Declaração Ambiental do Produto. Segundo o ***AQUA-HQE Referencial de Avaliação da Qualidade Ambiental de Edifícios Residenciais em Construção*** (2014, p. 19):

O conceito de “Ficha de informação de Produto” tem o objetivo de auxiliar os empreendedores na escolha de produtos da construção civil, estabelece uma base comum para gerar informações objetivas, tanto qualitativas como quantitativas. Outra finalidade deste documento é desenvolver uma familiaridade do mercado brasileiro às Declarações Ambientais de Produto (do inglês “Environmental Product Declaration” - EPD), segundo padrões internacionais, assim, as Fichas de Informação de Produto colaborarão para o desenvolvimento de EPDs no Brasil.

As EDPs utilizam como base a ACV. Segundo o ***AQUA-HQE Referencial de Avaliação da Qualidade Ambiental de Edifícios Residenciais em Construção*** (2014, p. 20), a ISO 21930 afirma que “Declaração ambiental de produto (EPD) fornece e quantifica dados ambientais utilizando parâmetros pré-determinados e,

quando pertinente, informações ambientais.” Portanto, as EPDs têm o objetivo de “proporcionar informações relevantes, verificadas e comparáveis sobre os aspectos ambientais, de conforto e de saúde dos produtos e materiais da construção, baseados em uma avaliação de ciclo de vida (ACV).”

Assim, para conseguir cumprir os níveis da certificação AQUA, é necessário apresentar as EDPs de diversos produtos constituintes dos empreendimentos, e estas somente são possíveis com a aplicação da ACV.

#### 2.3.4 Selo Casa Azul

Outra certificação ambiental, o Selo Casa Azul, é um projeto da Caixa Econômica Federal, que tem por objetivo “reconhecer os empreendimentos que adotam soluções mais eficientes aplicadas à construção, ao uso, à ocupação e à manutenção das edificações, objetivando incentivar o uso racional de recursos naturais e a melhoria da qualidade da habitação e de seu entorno.” (SELO CASA AZUL, 2014, p.21).

Em relação aos impactos ambientais dos materiais, segundo o **Selo Casa Azul** (2014, p.129), tem-se que “Muitos acreditam que é a atividade de produção dos materiais de construção que causa impacto ambiental, mas o problema varre todo o ciclo de vida.”.

Não existe material que não tenha impacto ambiental ao longo de todo o seu ciclo de vida. Embora alguns impactos associados a certos materiais sejam mais conhecidos, engenheiros e arquitetos ignoram os impactos ambientais do ciclo de vida da maioria dos materiais. Muitos materiais são vendidos como sendo “ecológicos” e recebem selos somente porque não apresentam determinado impacto ambiental do concorrente – sem se discutir quais os impactos reais que possuem. (SELO Casa Azul, 2014, p.129)

O **Selo Casa Azul** (2014, p.130) enfatiza que os impactos ambientais só poderão ser realmente analisados se os países passarem a utilizar a ACV como forma de análise para a escolha dos materiais. O documento ainda faz uma previsão para o futuro, onde a ACV será ferramenta fundamental para os projetistas escolherem os materiais e processos.

Uma decisão mais objetiva sobre os impactos ambientais dos materiais e componentes construtivos somente será possível quando for implantada no Brasil a metodologia de avaliação do ciclo de vida (ACV), que é baseada na quantificação de todos os fluxos de matéria e energia estabelecidos por cada produto ao longo do seu ciclo de vida, do berço ao túmulo. Estes dados serão inseridos nos modelos de componentes a serem utilizados na ferramenta de projeto do futuro, o BIM – *Building information modelling*, de tal maneira que, ao selecionar um produto, o projetista receberá informação quantitativa do resultado ambiental esperado. (SELO Casa Azul, 2014, p.130)

A ACV dentro do Selo Casa Azul está relacionada com as soluções para impactos ambientais já observados pelos autores do selo. Porém, a aplicação expressa da ACV não entra diretamente nas pontuações deste selo, sendo que são propostas soluções práticas para diminuição dos impactos ambientais durante diferentes situações do ciclo de vida dos materiais. O selo propõe a ACV como a ferramenta que será utilizada no futuro, para a escolha correta dos materiais.

## 2.4 Concreto

O concreto é um produto da construção civil, composto por uma mistura de aglomerante, agregados miúdos, agregados graúdos e água. Além de outros materiais eventuais, adições e os aditivos, que permitem modificar as características ou reduzir o custo do material dando características especiais ao concreto.

“Dentre os materiais empregados na construção civil destaca-se o concreto, material mais utilizado no mundo depois da água” (OLIVEIRA, 2007, p. 30). “O concreto de cimento Portland é o material artificial de maior consumo pelo homem” (JOHN, 2010, p.99).

Existem vários tipos de concreto aplicados a diferentes finalidades. Podem-se citar o concreto simples, armado, magro, rolado, celular, sustentável, bombeável, auto adensável, auto desempenho, projetado, pré-moldado, resfriado, colorido, leve, pesado, submerso, alta resistência inicial, com adição de fibras, microconcreto, entre muitos outros exemplos.

### 2.4.1 Principais constituintes do concreto armado

Um dos concretos mais utilizados em estruturas é o concreto armado. O concreto armado emprega reforços à tração, na forma de armaduras de aço. Desta forma ele pode resistir aos esforços de tração e ser utilizado em elementos estruturais, como vigas, pilares e lajes.

Tem-se a seguir, o detalhamento dos constituintes do concreto armado, tendo como foco mostrar definições e o ciclo de vida dos principais constituintes, salientando os agregados e o cimento.

- **Agregados**

“Os agregados são produzidos a partir de britagem de maciços rochosos (originando a pedra britada, ou brita, e o pó de pedra) ou da exploração de ocorrências de material particulado natural (areia, seixo rolado ou pedregulho)” (OLIVEIRA, 2007, p.59).

A partir da granulometria, os agregados são classificados como graúdos ou miúdos. Existem diversas Normas brasileiras que tratam de agregados e ensaios que devem ser realizados com os mesmos. Entre as Normas existentes, cita-se a NBR 7211/1983, que traz a definição de agregado graúdo e miúdo:

Agregado miúdo: Areia de origem natural ou resultante do britamento de rochas estáveis, ou mistura de ambas, cujos grãos passam pela peneira ABNT 4,8 mm e ficam retidos na peneira ABNT 0,075 mm.

Agregado graúdo: Pedregulho ou brita proveniente de rochas estáveis, ou mistura de ambos, cujos grãos passam por uma peneira de malha quadrada com abertura nominal de 152 mm e ficam retidos na peneira ABNT 4,8 mm. (NBR 7211, 1983)

Em relação aos aspectos gerais para utilização dos agregados no concreto, tem-se:

Os agregados devem ser compostos por grãos de minerais duros, compactos, duráveis e limpos e não devem conter substâncias de natureza e em quantidade que possa afetar a hidratação e o endurecimento do cimento, a proteção da armadura contra corrosão, a durabilidade ou, quando for requerido, o aspecto visual externo no concreto. (NBR 7211, 1983)

“Os agregados podem ser considerados como os insumos básicos empregados na produção do concreto, pois representam, em média, 80% do seu volume” (OLIVEIRA, 2007, p.59).

A brita (agregado graúdo) é proveniente de rochas, sendo as mais comuns “granito e gnaiss (85%), calcário e dolomita (10%) e basalto e diabásio (5%)” (OLIVEIRA, 2007, p.61). A brita é obtida em unidade industrial chamada pedreira, através de explosões controladas das rochas. Após a detonação da rocha matriz, “grandes matacões (pedaços grandes de rocha) são transportados para serem triturados em equipamentos do tipo chamado britador. O material britado, é passado em peneiras onde a brita é classificada de acordo com sua granulometria, sendo então transportada para baias de armazenamento por meio de esteiras” (OLIVEIRA, 2007, p.61). A Figura 5 mostra a brita em diferentes granulometrias:

**Figura 5 – Brita (agregado graúdo) em diferentes granulometrias. Laboratório de Materiais do UniCEUB, Brasília-DF.**



**(Fonte: Autora)**

A areia (agregado miúdo) é uma substância mineral proveniente da decomposição gradual de rochas, por intemperismo causado pela ação da água ou dos ventos. Normalmente se originam de rochas principalmente graníticas, compondo-se de grãos arredondados de quartzo, podendo conter ainda, em



diversas proporções, grãos de outros minerais. A Figura 6 mostra o agregado miúdo (areia):

**Figura 6 - Areia (agregado miúdo). Laboratório de Materiais do UniCEUB, Brasília-DF.**



**(Fonte: Autora)**

A areia pode ser classificada como natural (rios, minas, várzeas) e artificial (resíduo fino de pedreiras ou pó de pedra).

A areia natural é extraída em unidades de mineração chamadas de areais, podendo ser extraída do leito de rios, depósitos lacustres, veios de areia subterrâneos ou de dunas.

A areia, juntamente com a água, é bombeada para silos suspensos, ou então acumulada em montes formados no terreno, para secagem e posteriormente transporte em caminhões basculantes.

- **Cimento Portland**

O cimento portland é um aglomerante hidráulico produzido pela moagem do clínquer, usualmente junto com uma ou mais formas de sulfato de cálcio (normalmente gipsita) e, em alguns casos, com adições. Normalmente, o clínquer é composto de calcário, argila e minério de ferro. O cimento é composto de clínquer e gesso. O clínquer pode ser visualizado na Figura 7.

**Figura 7 – Clínquer. Laboratório de Materiais do UniCEUB, Brasília-DF.**



**(Fonte: Autora)**

Em relação ao clínquer, tem-se que:

O clínquer é o principal componente e está presente em todos os tipos de cimento portland. (...) Tem a peculiaridade de desenvolver uma reação química em presença de água, na qual ele, primeiramente, torna-se pastoso e, em seguida, endurece, adquirindo elevada resistência e durabilidade. Essa característica adquirida pelo clínquer, que faz dele um ligante hidráulico muito resistente, é sua propriedade mais importante. (OLIVEIRA, 2007, p.64).

Um dos principais processos para a fabricação do cimento é o Processo de Fabricação Via Seco, onde não se utiliza água “como veículo de transporte e homogeneização da matéria-prima para o forno. No Brasil 98% das indústrias cimenteiras utilizam o processo via seco e pré-calcinadores” (OLIVEIRA, 2007, p.65).

As principais matérias-prima empregadas para a produção do cimento portland são carbonatos de cálcio, na forma de pedra calcária, e a sílica, normalmente obtida da argila.

“Depois de extraído da natureza, o calcário é passado para o britador primário, isto é feito para diminuir as dimensões das rochas. Após a britagem o

mesmo é conduzido, junto com a argila que foi retirada da natureza com uso de escavadeira, ao silo de homogeneização.” (OLIVEIRA, 2007, p.66).

“O calcário e a argila, já pré-homogeneizados, passam por balanças dosadoras e são conduzidas para o moinho de farinha, normalmente de bolas, para serem diminuídas em proporções micrométricas.” (OLIVEIRA, 2007, p.66).

O moinho muitas vezes “é suprido de ar quente que vem do forno para que seja pré-aquecido, auxiliando no processo de descarbonatação do calcário. A farinha é passada para os silos de homogeneização que, através de ar comprimido, irá misturá-la para torná-la o mais homogênea possível” (OLIVEIRA, 2007, p.66).

No pré-aquecimento da matéria-prima, esta entra no processo com 50°C e sai com 800°C, em um período de tempo de 25 a 30 segundos. “Esta fase é responsável pela perda de água livre da matéria-prima e início da descarbonatação, mais precisamente a decomposição do carbonato de magnésio” (OLIVEIRA, 2007, p.66).

Na pré-calcinação, o material pré-aquecido desliza por gravidade. O material que estava a 800°C termina essa fase com 1200°C, com a descarbonatação completa do material. (OLIVEIRA, 2007, p.67).

A matéria-prima então entra no forno, por gravidade. O forno “é responsável pela formação do clínquer, numa reação que acontece em torno de 1450°C” (OLIVEIRA, 2007, p.67). O forno é alimentado por queima de combustíveis, que podem ser de origem: fóssil (por exemplo, diesel); resíduos orgânicos (por exemplo, casca de arroz); pneus velhos; entre outros. Após o forno, o clínquer passa pelos resfriadores:

No final do forno há resfriadores, que tem a finalidade de resfriar o clínquer o mais rápido possível para impedir a reconversão das fases mineralógicas já formadas. Os gases que saem do resfriador atravessam o forno no sentido contrário ao do material, chegando até o pré-aquecedor. Parte das partículas envolvidas no processo são carregadas pelos gases. Estas podem se precipitar naturalmente, reagindo quimicamente e voltando ao clínquer, ou são forçadas a se precipitar em um precipitador eletrostático. (OLIVEIRA, 2007, p.67).

Com o cliquer pronto, tem-se a fase de adições, chamada de moagem final do cimento. Essas adições são normalmente constituídas de um regulador de pega, a gipsita (normalmente conhecida como gesso) e de adições ativas, tais como escória de alto forno e cinza volante. As adições determinam o tipo de cimento. E após esta etapa, o cimento é armazenado, embalado e comercializado.

Existem diversos tipos de cimento, e estes são conhecidos através das suas adições. Os mais comercializados e empregados na construção civil brasileira são:

- Cimento portland comum (CP-I)
- Cimento portland composto (CP-II)
- Cimento portland de alto forno (CP-III)
- Cimento portland pozolânico (CP-IV)
- Cimento portland de alta resistência inicial (CP-V ARI)

Em relação à composição de cada tipo de cimento, observa-se a Tabela 5, Tabela 6 e Tabela 7.

**Tabela 5 – Composição dos cimentos portland comum e compostos.**

Tipo de cimento portland	Sigla	Composição (% em massa)				Norma Brasileira
		Clínquer + gesso	Escória granulada de alto-forno (sigla E)	Material pozolânico tipo cinza volante (sigla Z)	Material carbonático tipo filler (sigla F)	
Comum	CP I	100	-	-	-	NBR 5732
	CP I-S	99-95	-	1-5	-	
Composto	CP II-E	94-56	6-34	-	0-10	NBR 11578
	CP II-Z	94-76	-	6-14	0-10	
	CP II-F	94-90	-	-	6-10	

(Fonte: OLIVEIRA, 2007, p.69)

**Tabela 6 – Composição dos cimentos portland Alto-Forno e Pozolânico.**

Tipo de cimento portland	Sigla	Composição (% em massa)				Norma Brasileira
		Clínquer + gesso	Escória granulométrica de alto-forno	Material pozolânico	Material carbonático	
Alto-Forno	CP III	65-25	35-70	-	0-5	NBR 5735
Pozolânico	CP IV	85-45	-	15-50	0-5	NBR 5736

(Fonte: OLIVEIRA, 2007, p.70)

**Tabela 7 – Composição do cimento portland de Alta Resistência Inicial.**

Tipo de cimento portland	Sigla	Composição (% em massa)				Norma Brasileira
		Clínquer + gesso	Escória granulométrica de alto-forno	Material pozolânico	Material carbonático	
Alta resistência inicial	CP V	100 - 95	-	-	5	NBR 5733

(Fonte: OLIVEIRA, 2007, p.70)

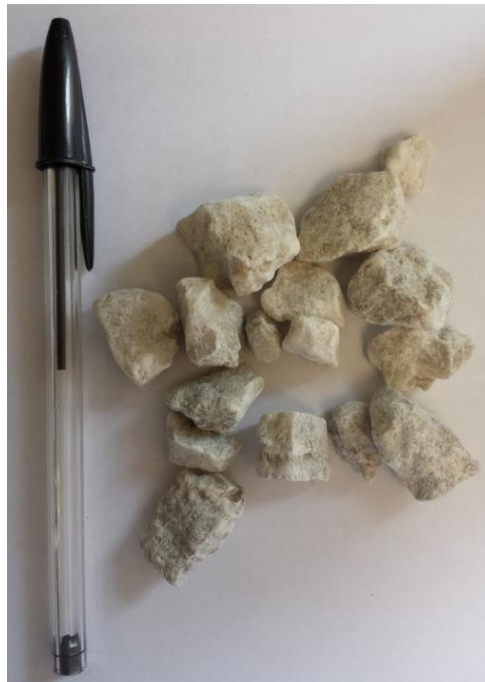
Os cimentos são distinguidos, como pode ser observado, através dos tipos de adições. Essas adições são:

- Gesso (gipsita):

Tem como função retardar o tempo de pega, isto é, regular o período até o início do endurecimento, quando o cimento é misturado com água. A gipsita pode ser visualizada na Figura 8.

Em relação à água adicionada ao gesso, “a quantidade adicionada é pequena, normalmente em torno de 3%, mas sem esta adição o clínquer endurece quase que instantaneamente, impossibilitando seu uso na construção civil” (OLIVEIRA, 2007, p.70).

**Figura 8 – Gipsita. Laboratório de Materiais do UniCEUB, Brasília-DF.**



(Fonte: Autora)

- Escória de alto-forno:

São obtidas durante a produção do ferro-gusa nas indústrias siderúrgicas e se assemelham aos grãos de areia. Possui propriedade de ligante hidráulico muito resistente, maior durabilidade e maior resistência final. A escória de alto-forno granulada pode ser visualizada na Figura 9.

**Figura 9 – Escória de alto-forno granulada. Laboratório de Materiais do UniCEUB, Brasília-DF.**



(Fonte: Autora)

- Materiais pozolânicos:

Podem ser rochas vulcânicas, materiais fossilizados encontrados na natureza, certos tipos de argilas queimadas em elevadas temperaturas e derivados da queima do carvão mineral nas usinas termelétricas (cinza volante), entre outros. Sob forma de partículas muito finas, possui propriedade de ligante hidráulico.

- **Armaduras de aço**

A armadura no concreto tem a função de resistir a esforços de tração e, em alguns casos, a esforços de compressão. É formada por elementos longitudinais e transversais (estribos). Como exemplo de armaduras de aço, tem-se a Figura 10 que mostra o estoque de armaduras no canteiro de obras.

**Figura 10 – Armaduras de aço estocadas no canteiro de obras do empreendimento *Green Towers*, localizado em Brasília-DF.**



**(Fonte: Autora)**

A principal matéria-prima empregada na produção do aço é o ferro-gusa, mas sucata também é utilizado como matéria-prima. Para a produção do ferro-gusa a principal matéria-prima é o minério de ferro, extraído da natureza através da atividade de mineração. Ele pode ser encontrado em grandes profundidades ou exposto, formando montanhas. Após a extração o minério de ferro é triturado e lavado para ser transportado à usina siderúrgica.

No alto-forno, o minério é depositado em camadas sucessivas, intercaladas com carvão coque (combustível) e calcário (fundente). Com ar injetado, o material é derretido a 1200°C, ficando o ferro depositado ao fundo do forno, chamando-se ferro-gusa. (OLIVEIRA, 2007, p.73).



As impurezas (escória de alto-forno), flutuam e podem ser retiradas em estado líquido. O ferro-gusa é então transportado para formas chamadas lingoteiras.

#### 2.4.2 Estudos sobre impactos ambientais relacionados com o concreto

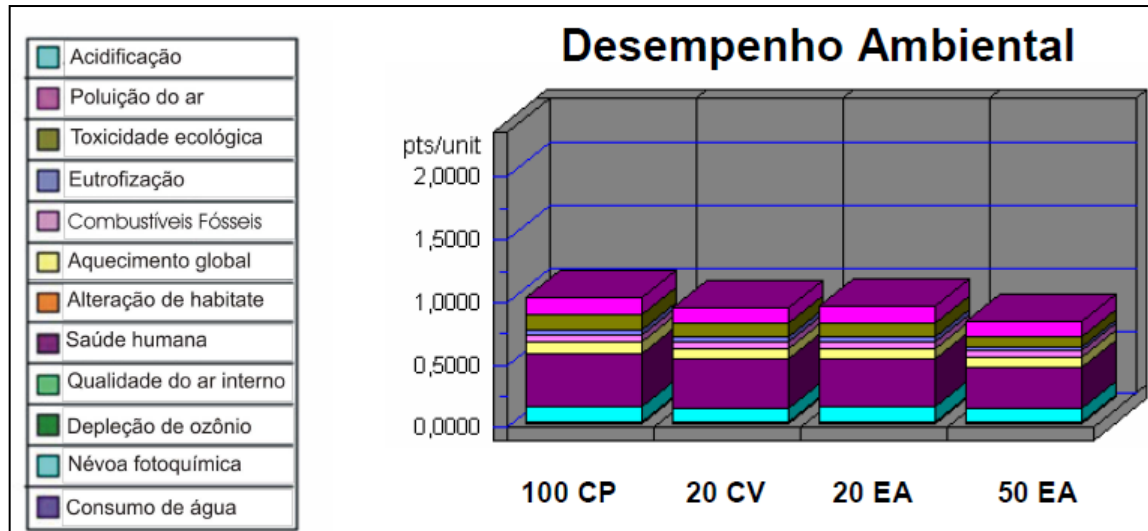
Oliveira (2007, p.51) realizou um estudo comparativo dos impactos ambientais gerados por quatro vigas de concreto armado, utilizando para isso o programa BEES 3.0. Vale salientar que o programa em questão possui origem dos Estados Unidos (EUA), portanto, a base de dados do mesmo é dos EUA.

Na sua pesquisa, Oliveira (2007, p.51) considerou que “todos os impactos possuem importância similar”, adotando, portanto, o método os “pesos iguais”. Utilizou-se nas simulações o concreto padrão do BEES 3.0, onde se assume “que serão empregados 60% a 75% de agregados, cimento portland comum, com ou sem adições, e água” (OLIVEIRA, 2007, p. 51). As vigas simuladas utilizaram (OLIVEIRA, 2007, p.51):

- “100% cimento portland comum (100 CP)”
- “20% cinza volante e 80% cimento portland (20 CV)”
- “20% escória de alto forno e 80% cimento portland (20 EA)”
- “50% escória de alto forno e 50% cimento portland (50 EA)”

A resistência a compressão do concreto utilizada foi de aproximadamente  $f_{ck} = 20 \text{ MPa}$ . E a distância percorrida pelo concreto, entre a manufatura e utilização, foi de 80 km (OLIVEIRA, 2007, p.52). Os impactos ambientais estão expressos no Gráfico 1:

**Gráfico 1 – Desempenho ambiental total de quatro vigas de concreto armado, utilizando o software BEES 3.0.**



(Fonte: OLIVEIRA, 2007, p.52)

“O *software* calcula os fluxos correspondentes a cada impacto ambiental, formando o inventário. Estes valores são convertidos em fluxos equivalentes a cada impacto ambiental” (OLIVEIRA, 2007, p.52). “(...) É possível colocar todos os valores dos impactos em uma mesma escala e gerar o gráfico de desempenho ambiental total” (OLIVEIRA, 2007, p.53). “Quanto maior a quantidade de pontos por unidade funcional, maior é o impacto ambiental” (OLIVEIRA, 2007, p.53).

Analisando os resultados apresentados no Gráfico 1, tem-se que:

Verifica-se que a viga com cimento 100% portland (100 CP) atingiu o pior desempenho ambiental, enquanto a viga com 50% de escória de alto forno teve o melhor desempenho. Nota-se, claramente, que a adição de resíduos foi determinante nos resultados. Quanto maior a quantidade de resíduos adicionada ao cimento, melhor é o desempenho ambiental da viga. Além disso, as vigas denominadas 20 CV e 20EA, que possuem a mesma porcentagem de resíduos adicionados, possuem desempenho ambiental bem semelhante.

O impacto ambiental mais representativo no desempenho ambiental total de vigas de concreto é o impacto da saúde humana (...) pela emissão de substâncias tóxicas ou cancerígenas. (OLIVEIRA, 2007, p.53).

Esses resultados mostram que o principal impacto ambiental, causado pelo concreto, é relativo à saúde humana.

Outro gráfico elaborado utilizando o BEES 3.0, ainda nesta análise de vigas de concreto armado, é o gráfico que mostra os impactos pelos estágios do ciclo de vida. Têm-se os seguintes estágios:

**Aquisição da matéria-prima:** “Inclui os impactos envolvidos na aquisição dos materiais necessários para a produção de concreto, como pedra britada, areia e cimento. Cabe destacar que o transporte entre o local de extração da matéria-prima e a planta de produção de cimento é desconsiderado no BEES”. (OLIVEIRA, 2007, p.53).

**Manufatura:** “Envolve a produção do concreto na usina de concreto (concreteira) e o transporte até a obra com caminhão betoneira, onde o concreto vai sendo misturado durante o transporte” (OLIVEIRA, 2007, p.53).

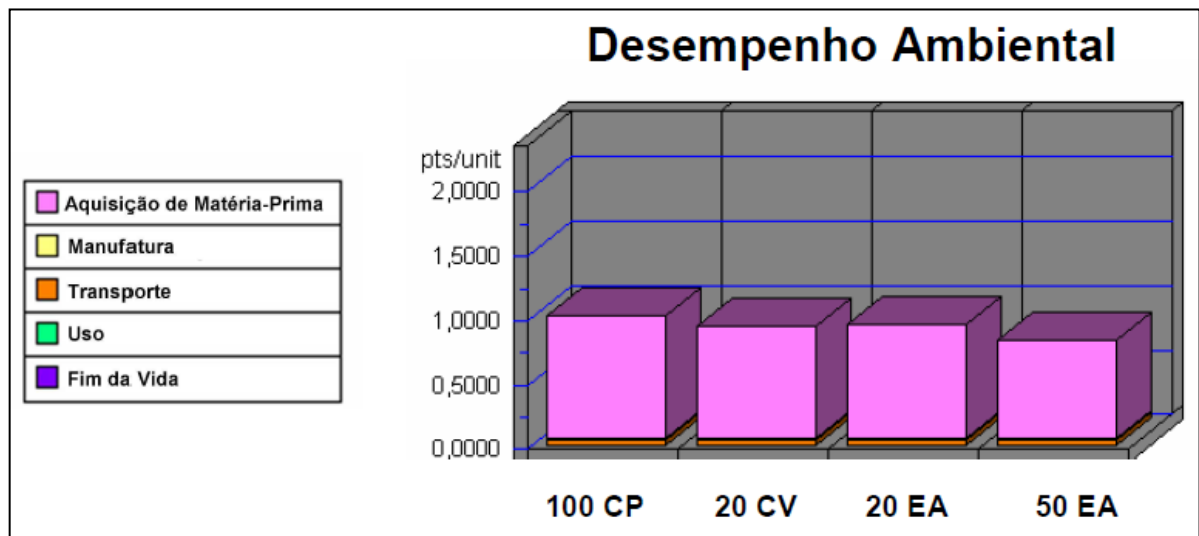
**Transporte:** “O BEES considera os impactos referentes ao transporte de materiais até a usina de concreto” (OLIVEIRA, 2007, p.53).

**Uso:** “Envolve os impactos que podem ocorrer durante a utilização do produto analisado, considerando-se um ciclo de vida de 50 anos” (OLIVEIRA, 2007, p.53).

**Fim da vida:** “Os impactos causados no fim da vida útil de uma viga de concreto armado também são estimados pelo BEES 3.0, no que se refere ao descarte de resíduos no meio ambiente” (OLIVEIRA, 2007, p.54).

O desempenho ambiental por estágios do ciclo de vida de cada viga de concreto armado pode ser visualizado no Gráfico 2:

**Gráfico 2 – Desempenho ambiental total de quatro vigas de concreto armado, por estágios do ciclo de vida, utilizando o software BEES 3.0.**

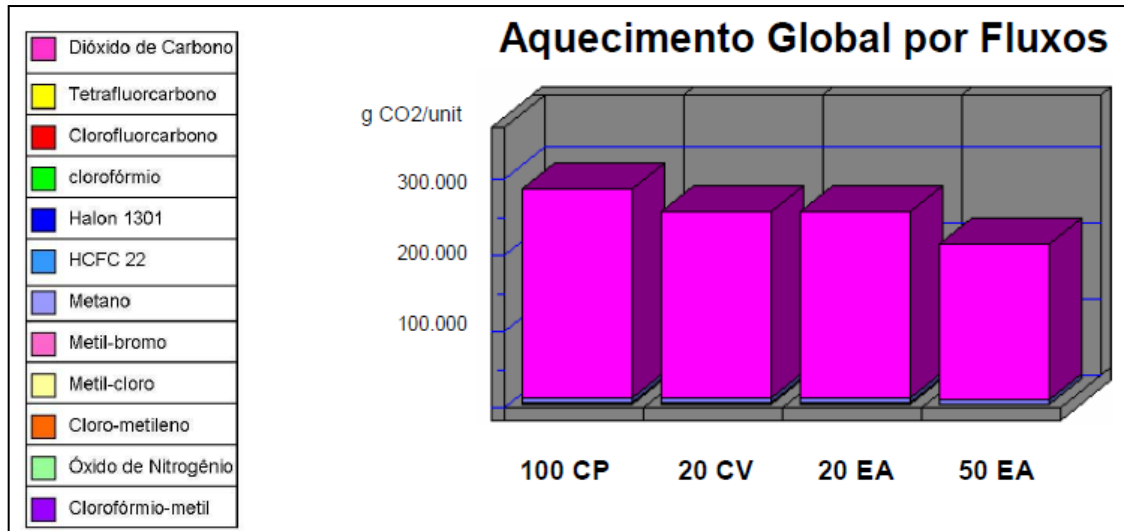


(Fonte: OLIVEIRA, 2007, p.54)

Sobre os resultados apresentados no Gráfico 2, tem-se que “pode-se ver que todas as quatro vigas analisadas causam maior impacto na fase denominada de ‘Aquisição de Matéria-Prima’, porque o BEES envolve dentro desta fase a produção dos cimentos, material utilizado que causa maior impacto ao meio ambiente” (OLIVEIRA, 2007, p.54).

O programa BEES ainda gera gráficos relativos aos impactos por fluxo. No Gráfico 3, tem-se os fluxos do impacto de Aquecimento Global:

**Gráfico 3 – Fluxos de Aquecimento Global de quatro vigas de concreto armado, utilizando o software BEES 3.0.**



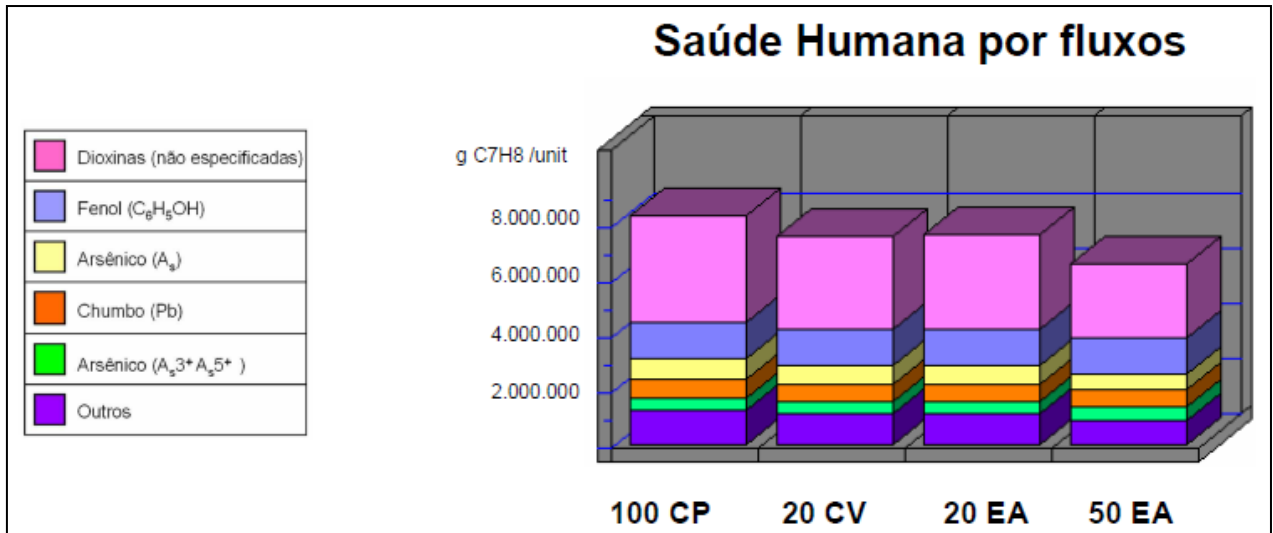
(Fonte: OLIVEIRA, 2007, p.55)

Em relação ao impacto de Aquecimento Global, analisando-se o Gráfico 3, tem-se que:

É possível verificar visualmente que, para quatro vigas analisadas, o fluxo que mais contribui com o aquecimento global é a liberação de dióxido de carbono, bastante presente na produção do clínquer, que é o principal componente do cimento portland. A utilização de adições reduz consideravelmente as quantidades de emissões, chegando a uma redução de cerca de 25% no caso do concreto com 50% de escória. (OLIVEIRA, 2007, p.55)

Outro fluxo de impacto analisado por Oliveira (2007, p.55), é o fluxo da Saúde Humana, pois o impacto ambiental mais representativo no desempenho ambiental total de vigas de concreto é o impacto da saúde humana, segundo o Gráfico 1 apresentado anteriormente. Assim, os fluxos detalhados relativos à Saúde Humana podem ser visualizados no Gráfico 4:

**Gráfico 4 - Fluxos de Saúde Humana de quatro vigas de concreto armado, utilizando o software BEES 3.0.**



(Fonte: OLIVEIRA, 2007, p.55)

Sobre o Gráfico 4, pode-se observar que “a produção do clínquer influencia diretamente neste efeito, pois o aumento do teor de adições reduz a toxicidade” (OLIVEIRA, 2007, p.56). Em relação às unidades utilizadas para as medições:

Para os fluxos cancerígenos a unidade equivalente utilizada no cálculo é o benzeno em gramas por unidade funcional, enquanto para os não-cancerígenos é utilizado o equivalente em gramas de tolueno por unidade funcional. Para formação do cálculo final é feita uma equivalência entre os efeitos do benzeno e o tolueno, da seguinte forma: 1 kg benzeno = 21.100 kg tolueno. (OLIVEIRA, 2007, p.56).

O autor destes estudos, Oliveira (2007, p.57), apresentou ainda outros estudos e gráficos, como a poluição do ar, entre outros. Após seus estudos utilizando o *software* BEES 3.0, o autor chega à conclusão:

Os impactos principais são bem detalhados e permitem que se avalie de forma holística os efeitos deletérios da produção de concreto. Seria interessante utilizá-lo pra avaliações no Brasil. O problema é que a matriz de impactos adotada é bastante complexa e foi derivada de dados bastante específicos, válidos para a realidade americana. Não existem dados disponíveis com a mesma amplitude sobre a realidade brasileira. Por isto, acredita-se que é importante averiguar se o uso do BEES para os materiais nacionais se compatibiliza com métodos de análise mais tradicionais de impactos ambientais (...). (OLIVEIRA, 2007, p.57).

Em seu trabalho, o autor se propõe a realizar os estudos de compatibilidade do BEES com a realidade brasileira. Nestes estudos, o autor separa os impactos ambientais em globais, regionais e locais (OLIVEIRA, 2007, p.79). Nos estudos, a falta de banco de dados brasileiros prejudicou os resultados, pois “dada a escassez de dados, foi necessário utilizar índices aproximados, que possuem imprecisões intrínsecas” (OLIVEIRA, 2007, p.80). Muitos dados contêm imprecisões; outros tiveram que ser descartados para simplificações de cálculos; outros não foram possíveis de serem identificados e quantificados; outros foram majorados. (OLIVEIRA, 2007, p.80-85). “Infelizmente, a escassez de dados confiáveis impede a realização de análises mais sofisticadas” (OLIVEIRA, 2007, p.90). Como foi dito anteriormente, a falta de banco de dados brasileiro traz limitações a ACV, pois esta fica impedida de ser aplicada minuciosamente. Porém, a ACV continua sendo uma ferramenta que pode ser utilizada para o mapeamento de impactos ambientais.

Assim, em suas pesquisas, Oliveira (2007, p.102) destaca que “a produção de cimento e aço gera mais impactos que o transporte, para distâncias pequenas. Quando as distâncias se incrementam, o impacto relativo ao transporte começa a ser mais considerável”. “A produção de cimento é a principal atividade geradora de impactos dentro do ciclo de produção do concreto. A maioria dos impactos está diretamente associada ao conteúdo do cimento.” (OLIVEIRA, 2007, p.102). “(...) Desta forma, as políticas de redução de cimento ou uso de cimentos com altos teores de adição, defendidas por vários pesquisadores, são plenamente justificadas” (OLIVEIRA, 2007, p.102).

O fluxo mais representativo no fenômeno do aquecimento global é o CO<sub>2</sub> (...) encontrado em maior quantidade durante a produção do cimento. Isto mostra que o clínquer, principal material que forma o cimento, contribui significativamente ao aquecimento global e é muito representativo dentro de uma ACV de estruturas de concreto (OLIVEIRA, 2007, p.103).

Os estudos da aplicação da ACV com dados brasileiros e a aplicação da ACV utilizando o programa BEES 3.0 mostraram que os resultados foram muito diferentes entre eles, principalmente devido às considerações na utilização de dados. Existe a necessidade de formação de banco de dados brasileiros:

A maior dificuldade encontrada na aplicação da análise do ciclo de vida no Brasil, de forma que gere resultados confiáveis, é a falta de dados sobre os fluxos existentes durante o ciclo de vida dos produtos. Este problema pode ser resolvido com a exigência, no momento do licenciamento ambiental de indústrias, de informações sobre a geração de resíduos e consumo de materiais na manufatura dos produtos, associado ao desenvolvimento de pesquisas que tenham o objetivo de mensurar os fluxos durante a extração e transporte de materiais. (OLIVEIRA, 2007, p.114).

Entre as conclusões de Oliveira (2007, p.114), pode-se citar novamente a indicação de utilização de menos cimento ou de cimentos com substituição parcial do clínquer, para diminuir os impactos ambientais do mesmo. O autor recomenda também a diminuição de distâncias de transporte. Sobre o programa BEES 3.0, o autor afirma que é um programa muito bem fundamentado, mas o banco de dados é muito diferente da realidade brasileira e pode-se utilizá-lo como forma comparativa, até que se desenvolva a base de dados nacionais. O autor ainda afirma que são necessárias mais pesquisas para a avaliação de impactos ambientais na construção civil.



### 3 METODOLOGIA

#### **3.1 Método utilizado para a análise crítica da metodologia ACV aplicada à construção civil**

Após os estudos realizados no capítulo 2 desta pesquisa, foi possível fazer a análise crítica da metodologia ACV. Ou seja, a partir da leitura e estudos das bibliografias, foi possível analisar criticamente toda a metodologia ACV. Isto inclui sua relação com a construção civil, importância, aplicações, limitações, mercado de atuação, contexto brasileiro.

Para cada tópico estudado, foram colocadas explicações, críticas, observações e exemplos. Com isso, pode-se analisar cada etapa da metodologia ACV e verificar suas importâncias e limitações.

#### **3.2 Método utilizado para a análise crítica da situação ambiental do concreto**

Para realizar a análise crítica da situação ambiental do concreto, primeiramente foram definidas as etapas do ciclo de vida do concreto para as análises:

- Extração de agregados – Esta etapa corresponde à análise dos impactos ambientais causados pela extração de agregado graúdo e miúdo.
- Fabricação do cimento – Esta etapa corresponde à análise dos impactos ambientais causados principalmente pela fabricação do clínquer. Conforme consta no capítulo 2 deste trabalho, esta etapa é considerada a mais impactante de todo o ciclo de vida do concreto, e por isso, possui estudos mais aprofundados.
- Transporte de materiais - Esta etapa corresponde à análise dos impactos ambientais causados pelo transporte das matérias-primas

do concreto, considerando caminhões que utilizam combustíveis fósseis.

- Projetos estruturais e arquitetônicos - Esta etapa corresponde à análise dos impactos ambientais causados pelo planejamento do uso do concreto, que através de decisões arquitetônicas e estruturais pode ter um consumo excessivo.
- Canteiro de obras - Esta etapa corresponde à análise dos impactos ambientais causados pelo uso do concreto dentro do canteiro de obras, considerando os impactos do concreto moldado *in loco* e do concreto usinado.
- Uso nas construções - Esta etapa corresponde à análise dos impactos ambientais causados pelo uso das construções já finalizadas, tratando de temas como manutenções, reparos e reforços estruturais.
- Destinação final - Esta etapa corresponde à análise dos impactos ambientais causados pelo descarte do concreto, considerando o mesmo como um Resíduo de Construção e Demolição (RCD). Ou seja, o concreto desperdiçado em obra, o concreto como resíduo de uma demolição ou reforma, entre outros.

O foco destas análises está nos principais constituintes do concreto: agregados e cimento, pois segundo as informações constantes no capítulo 2 desta pesquisa, os principais impactos do ciclo de vida do concreto se relacionam com estes materiais. Foram desconsiderados os impactos relativos ao uso de água, por não serem encontradas bibliografias sobre os impactos do uso da água do concreto. Também se desconsideraram os impactos provenientes das armaduras de aço e os impactos provenientes de possíveis aditivos utilizados no concreto estrutural.

Vale salientar que essas análises desconsideraram os impactos provenientes de materiais e equipamentos utilizados para a extração, fabricação, destinação final. Por exemplo, não foram considerados impactos relativos à

confeção de um forno que será utilizado na fabricação do clínquer. Ou seja, as análises não possuem o foco de verificar os impactos ambientais referentes aos equipamentos utilizados no ciclo de vida do concreto.

Outro fator que foi desconsiderado foi o impacto das fôrmas. Estas podem ser confeccionadas de vários materiais, como madeira, aço, papelão, etc. Apesar de terem-se dados sobre fôrmas de madeira, estes não são considerados nesta pesquisa, pois o foco desta pesquisa são os impactos dos constituintes principais do concreto (agregados e cimento).

Dentro das análises dos impactos ambientais, foram separados tópicos para as análises, sendo eles:

### **Contextualização dos impactos ambientais**

Esta contextualização corresponde ao mapeamento de impactos ambientais relativos ao concreto. Ou seja, a partir de dados de diversas fontes bibliográficas, foram identificados os principais impactos ambientais de cada etapa do ciclo de vida, referentes ao concreto.

Utilizando o programa *Excel*, foram criadas tabelas para resumir os impactos ambientais descritos na bibliografia consultada, e poder visualizar com clareza quais são os impactos ambientais.

### **Soluções e viabilidade**

Alguns autores da bibliografia utilizada propõem soluções para diminuição dos impactos ambientais causados pelo concreto. Neste trabalho, as soluções são citadas e explicadas, e depois são debatidas as viabilidades das soluções, referentes à:

- Viabilidade ambiental – O foco desta análise é verificar se os impactos ambientais são diminuídos com a solução proposta.
- Viabilidade econômica – O foco desta análise é verificar se os custos da solução são menores, equivalentes ou superiores aos adotados convencionalmente.

- Viabilidade social – O foco desta análise é verificar se existe alguma melhoria na vida das pessoas, seja em quesitos de saúde, emprego ou educação.
- Viabilidade técnica – O foco desta análise é verificar se é possível implantar a solução, pensando em aspectos técnicos, principalmente relacionados com engenharia.

Para cada tipo de viabilidade, foram debatidos vários posicionamentos, para verificar se é viável, viável parcialmente ou não é viável. Com esses posicionamentos, foram construídas tabelas no Excel para resumir as soluções e posicionamentos, verificando com maior facilidade suas viabilidades.

Além das soluções bibliográficas, foram propostas e debatidas novas soluções para diminuir os impactos ambientais.

### **Estratégias para implantação das soluções**

Após a análise da viabilidade das soluções, foram propostas estratégias para implantar as soluções.

Para as soluções que foram consideradas parcialmente viáveis, foram propostas as alternativas para se tornarem viáveis. E para as soluções viáveis, foram propostos os principais procedimentos para serem implantadas.

## 4 ANÁLISES CRÍTICAS

### 4.1 Análise crítica da metodologia ACV aplicada à construção civil

#### 4.1.1 Importância, aplicações e limitações

Com novas tecnologias e investimentos na área, a construção civil torna-se atualmente um dos principais consumidores de matéria-prima e de geração de resíduos. A sustentabilidade aplicada à construção civil vem se tornando cada vez mais uma realidade, sendo que em poucos anos, será encarada como uma necessidade para sobrevivência do setor de construção civil.

Os recursos utilizados na construção civil são, em sua maioria, não-renováveis. As áreas exploradas estão sendo cada vez mais degradadas. A utilização de materiais gera grandes emissões de poluentes para a atmosfera, para a água, e para o solo. O consumo de energia elétrica é alto. O desperdício de materiais é claramente observado. Portanto, é necessário tomar atitudes viáveis para diminuir os impactos ambientais.

Porém, surgem perguntas que são necessárias: Quais são os impactos ambientais de cada material, em cada fase de vida? Como é possível quantificar os impactos ambientais? Como comparar materiais, processos, produtos, edificações, que são constituídos de forma diferente, mas possuem a mesma função? Qual produto, processo ou edificação, é mais sustentável?

Para essas questões, surge como a alternativa a aplicação da metodologia da Análise do Ciclo de Vida (ACV). A ACV é uma metodologia de análise de produtos, processos ou edificações, que visa mensurar os impactos ambientais em todos os estágios do ciclo de vida. Tendo em vista o desequilíbrio ambiental sofrido na atualidade, como por exemplo, o Aquecimento Global, a ACV torna-se uma metodologia que deve ser estudada para ser aplicada, visualizando os impactos ambientais e propondo soluções plausíveis para diminuição dos mesmos.

É através da ACV que será possível responder com clareza quais são os produtos, processos, edificações mais sustentáveis. É através da ACV que serão definidos todos os impactos ambientais que os produtos, processos, edificações geram. É através da ACV que será possível visualizar qual etapa do ciclo de vida de um produto é mais agressiva ao meio ambiente. É através da ACV que será possível definir quais são realmente os produtos ecologicamente corretos. É através da ACV que será possível definir com clareza, quais são as soluções viáveis para diminuir os impactos ambientais da construção civil.

Para a sua aplicação, é necessário seguir os procedimentos descritos na série de Normas ISO, para padronizar a metodologia utilizada. Com os procedimentos padronizados para realizar uma ACV, é possível comparar diferentes produtos que são utilizados para uma mesma função. Os parâmetros e programas utilizados para se comparar dois produtos, processos ou edificações, devem ser adotados para os dois casos, para evitar-se erros no processo.

Assim, é necessário definir claramente o objetivo da ACV, explicando também sua abrangência de estudo, pois são diversos os impactos dos produtos, processos e edificações, devendo-se, portanto, restringir as fronteiras de estudo para a ACV ser efetiva. Por exemplo: uma ACV pode analisar somente os impactos do produto e seus componentes, mas desconsiderar os impactos da construção de estradas que serão utilizadas para o transporte do produto. Ou seja, o horizonte de pesquisa tem que ser bem definido, para relacionar os impactos que devem ser analisados depois. Por isso a importância da etapa de definição de objetivos e escopo da pesquisa.

Após a definição do objetivo e escopo da ACV, devem-se realizar as quantificações dos impactos do ciclo de vida, confeccionando um inventário do ciclo de vida (ICV). Esta parte da ACV é relativa à formação de base de dados para serem utilizadas nas outras etapas. Dentre as principais limitações desta etapa encontra-se a correta coleta de dados, o que depende de uma série de fatores que normalmente estão associados aos dados de cada país. Por exemplo, dados de consumo de energia são utilizados para a criação do ICV, e este consumo é

diferente entre os países, pois as matrizes energéticas são diferentes entre os países. O Brasil investe em hidrelétricas, já a Alemanha investe em placas fotovoltaicas para gerar energia elétrica a partir da energia solar. Estes sistemas são muito diferentes, o que acarreta em dados de eficiência energética diferentes. Por isso, para terem-se dados quantificados com a realidade, não se pode usar o banco de dados de outros países e aplicá-los sem alterações. Porém, vale enfatizar que, apesar de não utilizar-se os bancos de dados de outros países para quantificar os impactos ambientais, pode-se utilizá-los para mapear os impactos ambientais, ou seja, visualizar quais são os impactos ambientais, sem quantificá-los.

Por exemplo, a fabricação de determinado produto segue os mesmos procedimentos no país X e no país Y. Porém, o consumo de água é diferente entre esses países, pois no país X a água é um recurso escasso, e preza-se pela economia de água na produção, enquanto no país Y a água é um recurso abundante, tendo-se grande desperdício na produção. O país X realizou a ACV para seu produto, pois possui banco de dados. O país Y não possui banco de dados, mas pode mapear os impactos ambientais da ACV realizada pelo país X, porém, não pode quantificar corretamente os valores, pois seu consumo de água é maior, tendo-se, portanto, apenas o mapeamento dos impactos, mostrando quais são os impactos ambientais de determinados produtos.

Assim, o ICV gera uma grande quantidade de dados para serem analisados, sendo que ferramentas computacionais podem auxiliar no processo de cálculos, formação do banco de dados e organização da apresentação dos dados para posterior análise. Ou seja, os programas computacionais auxiliam para que os impactos ambientais possam ser organizados por categorias, ou por fases do ciclo de vida, ou na comparação de produtos, entre outros. Esta organização corresponde à etapa de avaliação do inventário, com a seleção de categorias, classificação e caracterização dos impactos ambientais. Esta etapa é muito importante para mostrar os dados de maneira que possam ser debatidos na fase de interpretação.

Na etapa de interpretação, os dados são debatidos e são enfatizados os maiores impactos ambientais causados em cada etapa do ciclo de vida, para serem

propostas soluções para diminuição destes impactos ambientais. O correto seria se soluções propostas fossem debatidas no quesito de sustentabilidade, pois não adianta uma solução que é ambientalmente correta, sendo que não é economicamente viável, não é socialmente justa e nem tecnicamente executável. Por isso, as soluções propostas devem ser debatidas e elaboradas estratégias para sua implantação.

Após o exposto, pode-se afirmar que a metodologia ACV é uma forte ferramenta para a construção civil, que busca parâmetros sustentáveis para o seu desenvolvimento.

#### *4.1.2 Mercado de atuação e contexto brasileiro*

Atualmente, a ACV é empregada em países desenvolvidos, pois os mesmos investiram estudos para a composição de banco de dados confiáveis para a utilização da mesma, além de facilitar a sua aplicação através da criação de *softwares* com extensos bancos de dados sobre diferentes materiais. Com esses investimentos, foi possível a criação de selos de eficiência ambiental dos produtos, processos e edificações, além de declarações ambientais de produtos. Com essas ferramentas, os trabalhadores da construção civil podem visualizar com clareza quais são os materiais mais sustentáveis, além da possibilidade de propor soluções para os impactos ambientais gerados pelos mesmos.

No Brasil, ainda não se tem investimento efetivo para a criação de banco de dados voltado para a construção civil, o que prejudica a aplicação da metodologia ACV no contexto brasileiro. As pesquisas de ACV na área de construção civil possuem poucos pesquisadores, e em sua maioria, em nível de mestrado e doutorado. Para o Brasil poder confeccionar seu banco de dados, é necessário o investimento em educação, sobretudo no incentivo à pesquisa em nível de graduação, para poder ensinar a ACV e ir formando o banco de dados brasileiro, além de desenvolvimento de *softwares* brasileiros para a aplicação da ACV.



O mercado para construções sustentáveis está em crescimento no Brasil, com o aumento de edificações que buscam alcançar as certificações ambientais LEED, GBC Brasil Casas, AQUA, Selo Casa Azul, entre outros. Porém, o mercado precisa de pessoas especializadas em construções sustentáveis para a aplicação destas certificações, sendo necessário incluir a *sustentabilidade na construção civil* ao longo dos cursos de graduação em construção civil.

As certificações ambientais já estão tornando obrigatória a realização da ACV em seus critérios de certificação, principalmente com o objetivo de escolher materiais com menores impactos ambientais possíveis, além de tentar diminuir os impactos ambientais dos mesmos. Porém, o Brasil não está preparado para isso, pois não existe banco de dados próprio, o que impossibilita a aplicação minuciosa da ACV no país, pois não é possível fazer corretas quantificações por falta de dados. Assim, os empreendimentos que buscarem uma certificação ambiental, ficarão prejudicados, pois não possuem formas efetivas de comprovar a escolha dos materiais, processos e edificações mais sustentáveis.

Assim, existe uma carência de profissionais especializados em ACV no mercado brasileiro. É necessário, portanto, investir inicialmente nas pesquisas de graduação, mestrado, doutorado, pós-doutorado, para a criação do banco de dados brasileiro e programas computacionais apropriados. Após isso, é necessário investir na capacitação de profissionais da construção civil para utilizarem os bancos de dados e programas computacionais futuramente disponíveis, para realizar a interpretação dos dados, aplicando nas edificações os produtos e processos considerados mais sustentáveis, sempre propondo a viabilidade das soluções nos quesitos ambiental, econômico, social e técnico, para ser considerado sustentável.

#### **4.2 Análise crítica da situação ambiental do concreto**

Como foi dito anteriormente, “dentre os materiais empregados na construção civil destaca-se o concreto, material mais utilizado no mundo depois da água” (OLIVEIRA, 2007, p. 30). “Com relação aos impactos ambientais, tem-se que

os serviços de estruturas, alvenaria e revestimentos são os que mais impactam em termos de consumo de materiais e geração de resíduos” (PALACIO, 2013, p.21). Portanto, o concreto, como sendo um dos materiais mais utilizados para estruturas, possui grande impacto no meio ambiente.

A temática dos agregados, ligantes e betões representa no contexto da indústria da construção tradicional a parte mais substancial relativa ao consumo de materiais e conseqüentemente dos elevados impactos ambientais que lhe estão associados, quer por via da extração de recursos não renováveis, do consumo de energia e ainda de emissões de gases responsáveis pelo efeito estufa (GEE). (TORGAL e JALALI, 2010, p.122).

“Produtos cimentícios e agregados são a parte principal dos resíduos de construção gerados nas cidades brasileiras, representando algo entre 70 a 80% da massa total, incluindo concretos de diferentes resistências” (JOHN, 2011, p.1857).

A ACV aplicada ao concreto inclui todas as fases do ciclo de vida do mesmo, verificando os impactos ambientais causados em cada fase.

(...) O estudo do ciclo de vida do concreto de cimento portland envolve a análise dos ciclos de vida de todos os materiais que o constituem. É necessário considerar os impactos intervenientes desde a extração das matérias-primas, até o descarte ou reciclagem do concreto endurecido, transporte, incluindo a energia e recursos consumidos – assim como os poluentes liberados, na obtenção e transformação de cada insumo, no transporte dos mesmos até o local de produção do concreto, na fabricação do concreto, no transporte do concreto até o local de utilização, no lançamento e cura, na utilização do elemento de concreto e na demolição da estrutura e descarte ou reciclagem do concreto. (OLIVEIRA, 2007, p.59)

São diversos os impactos ambientais causados pelo concreto, e com a aplicação da ACV, é possível identificar quais são, além de verificar em qual fase do ciclo de vida são mais representativos, para promover soluções para isto.

Por falta de banco de dados brasileiro, não é possível realizar uma ACV que quantifique os impactos ambientais. Porém, é possível mapear os impactos ambientais a partir dos principais estudos sobre ACV aplicada ao concreto.

Assim, foram estudados os principais impactos ambientais do concreto e as soluções propostas na bibliografia. Foi possível debater soluções, propor novas soluções, verificar a viabilidade das mesmas, e por fim, propor estratégias para serem implantadas.

#### 4.2.1 Etapa do ciclo de vida: Extração de agregados

##### **Contextualização dos impactos ambientais**

“Os agregados constituem o recurso mineral mais consumido do Planeta Terra” (TORGAL e JALALI, 2010, p.122). “A nível mundial o consumo de agregados representa aproximadamente 20.000 milhões de toneladas/ano, sendo esperado que a procura deste recurso cresça a uma taxa anual de 4,7%” (TORGAL e JALALI, 2010, p.122). “Os agregados constituem em cerca de 85% da massa dos produtos cimentícios” (JOHN, 2011, p.1853).

“A extração de areia e pedra britada se assemelha a uma atividade mineradora. Como acontece, normalmente, com toda atividade de mineração, trata-se de um empreendimento que impacta fortemente o meio ambiente” (OLIVEIRA, 2007, p.60).

Os impactos ambientais causados pela extração mineral de agregados são: alterações da paisagem, supressão da vegetação (principalmente da mata ciliar), alteração na calha dos cursos de água, instabilidade de margens e taludes, turbidez da água e lançamento de efluentes (OLIVEIRA, 2007, p.61).

Isso mostra que o solo e a água são os principais componentes comprometidos com a extração de agregados. Porém, tem-se ainda “a destruição da biodiversidade existente nos locais de extração dos agregados” (TORGAL e JALALI, 2010, p.122). “De uma forma geral, os principais impactos associados ao uso de agregados naturais são decorrentes da atividade extrativa, com a destruição do bioma local e das emissões na etapa de transporte” (JOHN, 2011, p.1854).

Outro impacto envolvido é o consumo de energia elétrica. “A energia elétrica envolvida na britagem varia de acordo com detalhes do processo, da rocha e dimensões do produto. Para a produção de brita em grandes pedreiras, foi estimado um valor entre 1,2 e 1,4 kWh/t” (JOHN, 2011, p.1853).

Tendo-se o exposto, foi formulada uma tabela para listagem dos principais impactos ambientais descritos na bibliografia consultada. Os impactos podem ser visualizados na Tabela 8:

**Tabela 8 – Principais impactos ambientais relacionados com a extração de agregados.**

<b>Etapa do ciclo de vida</b>	<b>Principais impactos ambientais</b>
Extração de agregados	Consumo de matéria-prima não-renovável
	Alterações da paisagem
	Supressão da vegetação
	Alteração na calha dos cursos de água e turbidez da água
	Instabilidade de margens e taludes
	Lançamento de efluentes
	Destruição da biodiversidade
	Consumo de energia elétrica

(Fonte: Autora)

### **Soluções e viabilidade**

Para diminuir todos os impactos ambientais relacionados com a extração de agregados naturais, “o interessante seria reduzir a extração de agregados naturais. No entanto, a restrição de falta de areia e brita no mercado traria um forte impacto econômico e social, já que a construção civil necessita muito desses insumos”. (OLIVEIRA, 2007, p.60).

Como foi dito anteriormente, os agregados constituem um dos materiais mais utilizados na construção civil. Na área ambiental, sua redução seria um caminho viável, para diminuir os impactos ambientais causados pelos mesmos. Porém, esta não é uma alternativa viável economicamente e socialmente, visto o aumento da construção civil pelo mundo necessita desses materiais para seu desenvolvimento. Além disso, existe a necessidade técnica de utilizar outro material como agregado. A redução do consumo de agregados naturais convencionais somente será uma alternativa viável se substituir parte dos agregados naturais convencionais por outros materiais que possuam função e custos equivalentes aos convencionais, porém, com menores impactos ambientais.

Pode-se substituir o agregado natural pelo agregado artificial, ou seja, a areia artificial, também chamada de industrial. Este tipo de areia aproveita parte do material de descarte das minerações. Os fabricantes de equipamentos de britagem tem investido em tecnologias para obter materiais regulares, com boa distribuição

granulométrica e baixo teor de material fino (pulverulento). “Ou seja, procura-se ficar mais próximo possível da areia natural, o que permitiria sua substituição total. Hoje, ainda é mais comum a substituição parcial, embora em determinados processos, pelo alto custo da areia natural, a utilização seja de 100%.” (AOKI, 2014).

Outro exemplo para diminuir os impactos ambientais da utilização de agregados, é substituir parte dos agregados pela escória de alto-forno, que também pode ser utilizada como adição no cimento.

A escória de alto-forno tem se mostrado um agregado interessante para o concreto, até por possuir uma estabilidade maior em sua composição, porém sua aplicação deve ser mesclada com agregado natural para garantir aumento de resistência e melhora no módulo de elasticidade e trabalhabilidade. (FERREIRA, 2012, p.74)

Existem pesquisas inovadoras que utilizam materiais não-convencionais em substituição aos agregados, como por exemplo, lascas de pneu, lascas de garrafa PET, sacos de cimento, Resíduos de Construção e Demolição (RCD), entre outros materiais não-convencionais. Porém, grande parte destas pesquisas ainda não utilizam essas misturas para função estrutural. Existe a necessidade de aprofundamento de estudos para aplicar as misturas inovadoras com segurança em estruturas.

Para reduzir efetivamente os impactos gerados na extração dos agregados, tem-se ainda a solução da redução da informalidade na extração de agregados: “A informalidade nos processos de extração de agregados (...) agrava o impacto ambiental, ao provocar a destruição descontrolada de áreas protegidas e o desperdício de matérias primas” (JOHN, 2011, p.1857). “A exigência de licenciamento ambiental de fornecedores e o controle direto da origem das cargas é uma necessidade para a produção sustentável do concreto” (JOHN, 2011, p.1857). Assim, para o problema de extração ilegal de agregados, tem-se “o licenciamento ambiental das áreas de extração de agregado, com a exigência de emissão de EIA-RIMA (Estudo de Impacto Ambiental – Relatório de Impactos Ambientais) seguindo a legislação ambiental nacional e estadual” (OLIVEIRA, 2007, p.60).

Na área ambiental, esta solução seria favorável, pois existiria um controle maior dos locais apropriados para a extração dos agregados, podendo controlar os

impactos ambientais ocasionados principalmente no solo, na água e na biodiversidade. Na área econômica, esta medida poderia encarecer os produtos, pois seria necessário seguir corretamente todas as Normas ambientais para poder realizar a extração dos agregados. Porém, seria uma medida favorável para os fornecedores, pois eles poderão documentar que seus materiais foram retirados de áreas apropriadas, documentação que normalmente é exigida para construções sustentáveis com certificações ambientais. Na área social, esta solução também é favorável, pois traria para os operários a consciência ambiental da importância de seu trabalho para diminuir os impactos ambientais. Na área técnica, essa solução é benéfica, pois com Normas e Leis mais rígidas sobre a extração de agregados, a qualidade dos mesmos seria mais garantida.

Assim, para facilitar a visualização das soluções e a análise da viabilidade das mesmas, foi elaborada a Tabela 9:

**Tabela 9 – Soluções e suas viabilidades, para os impactos ambientais causados pela extração de agregados.**

Etapa do ciclo de vida	Soluções	Viabilidade			
		Ambiental	Econômica	Social	Técnica
Extração de agregados	Reduzir a extração de agregados naturais	Sim	Não	Não	Não
	Substituir parte dos agregados convencionais por outros materiais que possuam função e custos equivalentes aos convencionais	Sim	Sim	Sim	Parcial
	Redução da informalidade na extração de agregados	Sim	Parcial	Sim	Sim

(Fonte: Autora)

### **Estratégias para implantação das soluções**

Para implantação da solução de substituir parte dos agregados por outros materiais, existe a necessidade de investigar as novas tecnologias. Para isso, é necessário investir em pesquisas, para estudar a viabilidade das tecnologias para serem implantadas com segurança. As universidades devem fazer parcerias com empresas, para estudar os novos produtos e lançá-los no mercado. É de extrema importância investir em Programas de Iniciação Científica, pós-graduações,

mestrados, doutorados, etc. Os investimentos terão retorno em longo prazo, pois as pesquisas podem demorar para serem finalizadas. Porém, é uma necessidade, pois os agregados convencionais são materiais não-renováveis, e é necessário estudar novas tecnologias para substituir os convencionais, proporcionando técnica igual ou superior, custos iguais ou inferiores, e menores impactos ambientais.

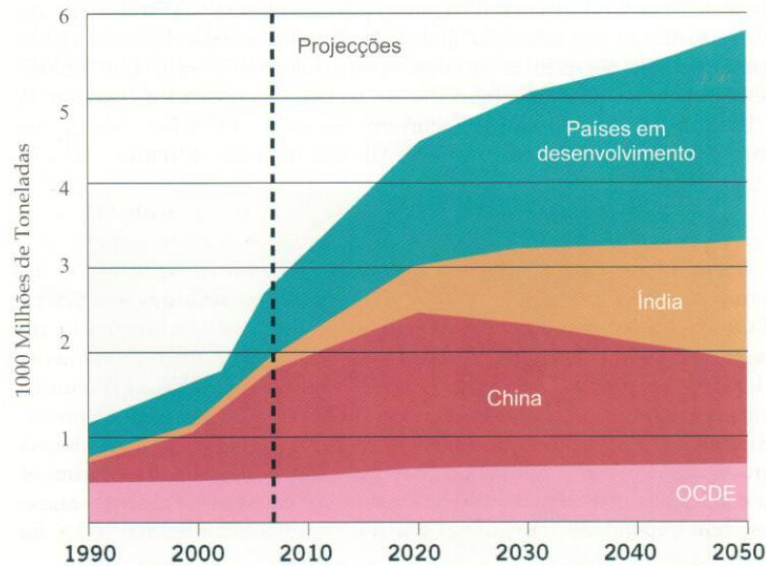
Para implantação da solução de redução na informalidade na extração dos agregados, é fundamental implantar sistemas fiscalizadores e penalidades realmente eficazes, de modo a ter controle das áreas onde ocorre a extração de agregados. As áreas destinadas para a extração de agregados devem ser apropriadas de modo a garantir os menores impactos ambientais possíveis. Os biomas das áreas destinadas à exploração devem ser avaliados, visualizando e documentando se não existem espécies em extinção na área de exploração, além de realizar planejamento para compensação ambiental dessas áreas. Por exemplo, prevendo replantio de árvores em outras localidades, ou fazendo a recuperação de áreas já degradadas, restabelecendo o equilíbrio ambiental das mesmas.

#### *4.2.2 Etapa do ciclo de vida: Fabricação do cimento*

##### **Contextualização dos impactos ambientais**

Os principais impactos ambientais do concreto são relativos à fabricação do cimento. O consumo de Cimento Portland é muito elevado, tendo projeções para grande aumento, sobretudo nos países em desenvolvimento (Gráfico 5). “No ano de 2008, foram produzidos no mundo 2,8 Gt de cimento, o que equivale a um consumo *per capita* de 422 kg – massa maior que o consumo de alimentos” (JOHN, 2011, p.1845). “São também gerados aproximadamente 2,2 Gt de CO<sub>2</sub> somente pela decomposição do calcário no forno, além de outros poluentes” (JOHN, 2011, p.1845).

**Gráfico 5 – Previsão do consumo de Cimento Portland.**



(Fonte: TORGAL e JALALI, 2010, p.124)

“O mercado do cimento no Brasil é composto por 15 grupos cimenteiros, nacionais e estrangeiros, com 93 plantas espalhadas por todas as regiões brasileiras, sendo que 5 delas ainda em construção. A capacidade instalada anunciada do país é de 78 milhões de toneladas/ano.” (CIMENTO no Brasil, 2014). A Figura 11 mostra a localização das principais cimenteiras no Brasil:

**Figura 11 – Principais cimenteiras no Brasil.**



(Fonte: Adaptado de CIMENTO no Brasil, 2014)



“A produção de cimento consome matérias primas naturais não renováveis, matérias primas residuais e energia térmica e elétrica. O processo de produção até a porta da fábrica é responsável por emissões variadas tanto para o ar quanto para a água” (JOHN, 2011, p.1848). A Tabela 10 mostra um estudo dos EUA que quantificou as emissões aéreas e para a água, considerando o ciclo de produção do cimento apenas até a porta da fábrica:

**Tabela 10 – Emissões calculadas para o cimento até a porta da fábrica, valores do ano de 2004, base de dados dos EUA, expressos em kg/t de cimento.**

Categoria	Nome	kg/t
Emissões aéreas	Dióxido de Carbono (combustível fóssil)	$5,53.10^2$
	Dióxido de carbono (matéria prima)	$3,74.10^2$
	Compostos Nitrogenados	$2,50.10^0$
	Partículas outras	$2,35.10^0$
	Dióxido de enxofre	$1,66.10^0$
	Monóxido de carbono	$1,10.10^0$
	Partículas, > 2,5 $\mu\text{m}$ , and < 10 $\mu\text{m}$	$2,96.10^{-1}$
	Ácido clorídrico	$6,49.10^{-2}$
	Compostos orgânicos voláteis	$5,02.10^{-2}$
	Metano	$3,95.10^{-2}$
	Amonia	$4,76.10^{-3}$
	Partículas < 2,5 $\mu\text{m}$	$9,11.10^{-5}$
	Mercúrio	$6,24.10^{-6}$
	Dioxinas e furanos	$9,97.10^{-6}$
	Emissões para a Água	Cloro
Sulfatos		$6,16.10^{-1}$
Sólidos em suspensão		$2,34.10^{-1}$
Matéria orgânica dissolvida		$1,38.10^{-2}$
Óleos		$7,52.10^{-3}$
Nitratos		$5,90.10^{-3}$
Íon de amônio		$9,48.10^{-4}$
Alumínio		$8,60.10^{-4}$
Sulfitos		$6,61.10^{-5}$
Zinco		$3,31.10^{-5}$
Fenóis		$2,20.10^{-5}$
Fósforo		$5,51.10^{-6}$

(Fonte: JOHN, 2011, p.1849)

No trabalho de Campos (2012, p. 91), que realizou a ACV para vedações estruturais em painéis pré-moldados e alvenaria em blocos de concreto, tem-se a seguinte conclusão após os estudos:

Pode-se constatar que o processo de fabricação do cimento foi o responsável pela maior parcela das emissões totais de CO<sub>2</sub>, 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. (CAMPOS, 2012, p. 91).

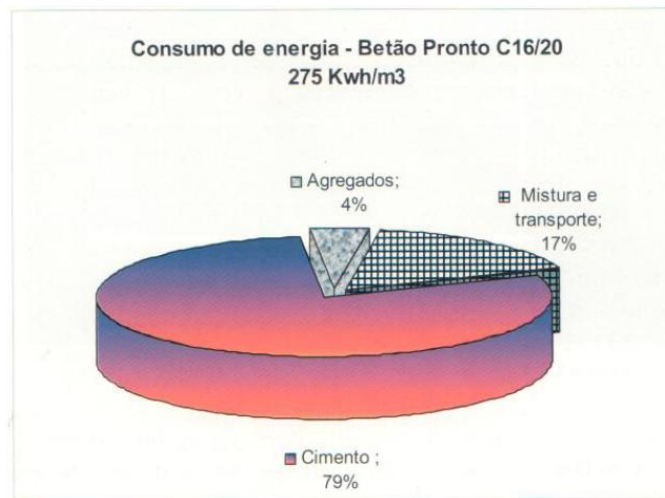
“A questão das emissões associadas à produção do clínquer é um dos principais componentes da ‘pegada ecológica’ da construção. Estima-se que cerca de 6% do CO<sub>2</sub> gerado no Brasil seja oriundo da descarbonatação do calcário que ocorre durante a produção de cimento” (OLIVEIRA, 2007, p. 30).

“O calcário é constituído de 44% CO<sub>2</sub> que é liberado a temperaturas acima de 800 °C” (OLIVEIRA, 2007, p. 30). Com a descarbonização do calcário, tem-se que:

Para cada tonelada de clínquer vão assim liberar-se para a atmosfera 579 kg de CO<sub>2</sub> de origem química e isto independentemente da eficiência do processo utilizado. A este valor é ainda necessário somar aproximadamente 390 kg de CO<sub>2</sub> devidos à utilização de combustíveis fósseis consumidos durante a produção do clínquer. (TORGAL e JALALI, 2010, p.123).

Além de ser um dos principais materiais do concreto que causam impactos ambientais à atmosfera, o cimento também possui impactos ambientais relativos à energia utilizada para sua fabricação (Gráfico 6):

**Gráfico 6 – Consumo de energia por materiais constituintes do concreto.**



(Fonte: TORGAL e JALALI, 2010, p.123)

“As estimativas do consumo de energia para a produção do clínquer reportados variam entre 3,5 GJ/t em 2003 e 4,4 GJ/t para 2005” (JOHN, 2011, p.1851).

Tendo-se o exposto, foi formulada uma tabela para listagem dos principais impactos ambientais descritos na bibliografia consultada. Os impactos podem ser visualizados na Tabela 11:

**Tabela 11 - Principais impactos ambientais relacionados com a fabricação de cimento.**

<b>Etapa do ciclo de vida</b>	<b>Principais impactos ambientais</b>
Fabricação de cimento	Consumo de matéria-prima não-renovável
	Emissões elevadas de dióxido de carbono
	Emissões aéreas
	Emissões para a água
	Consumo de energia térmica
	Consumo de energia elétrica

(Fonte: Autora)

### **Soluções e viabilidade**

“(…) É consenso internacional que, se não houver mudança tecnológica na produção e uso de cimento, é de esperar-se um crescimento nas emissões de CO<sub>2</sub>” (JOHN, 2011, p.1853).

“A substituição do clínquer por outras matérias-primas, como adições minerais ativas, especialmente residuais, permite a mitigação das emissões de CO<sub>2</sub> associadas a decomposição do calcário e, no caso das matérias primas residuais, das oriundas da energia térmica para a produção do clínquer” (JOHN, 2010, p.103).

Sobre as adições ao clínquer, tem-se que:

Sob o ponto de vista ambiental, é interessante ressaltar que a escória de alto-forno e os materiais pozolânicos, utilizados como adições ao clínquer, são resíduos que deixam de ser descartados no meio ambiente, para substituir o clínquer, que gera impactos ambientais consideráveis. Com isso, trazem benefícios ambientais e evitam impactos ambientais relacionados a essas adições. Deve-se, todavia, analisar com cuidado os impactos gerados pelo transporte destes materiais até a cimenteiras. (OLIVEIRA, 2007, p.71).

“A tendência mundial é de diminuição da intensidade de carbono no cimento. As estratégias incluem a substituição do clínquer por resíduos, aumento da eficiência energética e substituição dos combustíveis fósseis por renováveis” (JOHN, 2011, p.1852).

Para diminuir a quantidade de clínquer presente no cimento, “utilizar um ou mais materiais cimentícios para substituir parcialmente o clínquer, como cinza volante e escórias.” (OLIVEIRA, 2007, p. 30). Cinza volante é um tipo de material pozolânico derivado da queima do carvão em usinas termelétricas e escórias são resíduos de siderúrgicas, com mais detalhes no capítulo 2 desta pesquisa.

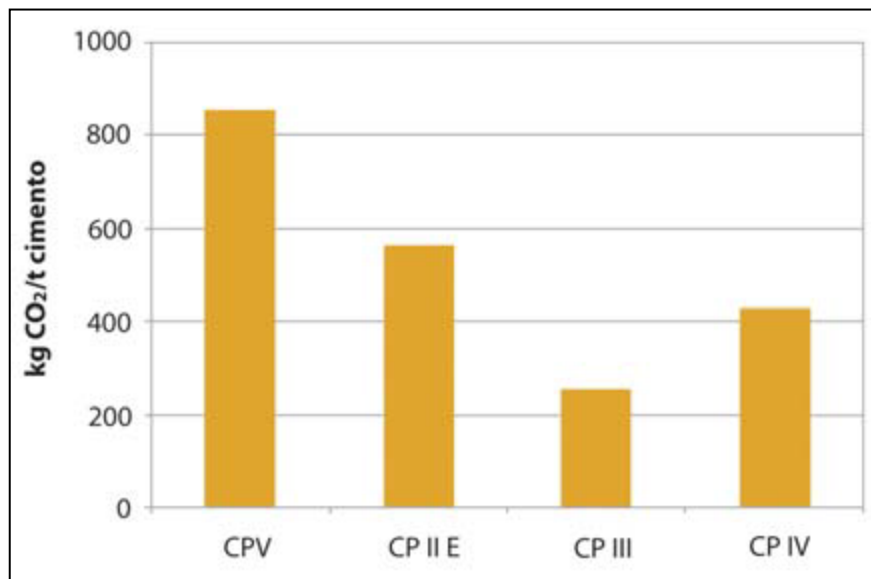
“A substituição do clínquer, particularmente por resíduos e fíler, permite uma redução de todos os impactos ambientais. Mantidas as demais condições, cimentos CPIII e CPIV têm impacto ambiental menor que cimentos CPII, CPV e CPI” (JOHN, 2011, p.1859). Fíler é um material mineral de granulometria muito fina, utilizado para diferentes finalidades em Engenharia Civil.

“Diferentemente de outras estratégias de redução das emissões de gases, responsáveis pela mudança climática, esta estratégia não implica aumento do custo de produção, sendo viável nas condições do mercado brasileiro.” (SELO Casa Azul, 2014). O uso de cimento CP III e CP IV já faz parte das certificações ambientais como Selo Casa Azul, AQUA, etc. Por exemplo, segundo o **AQUA-HQE Referencial de Avaliação da Qualidade Ambiental de Edifícios Residenciais em**

**Construção** (2014, p. 13): “Na aquisição de cimentos e na execução de concreto moldado *in loco* e conforme a disponibilidade no mercado local da obra e com a análise de viabilidade técnica e econômica, utilizar cimento CP III ou cimento CP IV”.

O Gráfico 7 apresenta as emissões correspondentes a cada tipo de cimento utilizados no Brasil. Pode-se verificar que o CPV e o CPII E são os cimentos com maiores emissões de CO<sub>2</sub>, e os cimentos CPIII e CPIV possuem menores emissões.

**Gráfico 7 - Comparação entre as emissões de CO<sub>2</sub> de diferentes tipos de cimentos brasileiros.**



(Fonte: SELO Casa Azul, 2014)

Porém, vale salientar que “Cimentos CP III e CP IV podem ser utilizados sem quaisquer restrições em estruturas de concreto. No entanto, estes cimentos têm um processo de cura mais lento, o que pode interferir no cronograma da obra, particularmente no período de inverno.” (SELO Casa Azul, 2014).

Está claro que a fabricação do clínquer gera inúmeros impactos ambientais. A solução de implantar adições ao cimento para substituir a parcela de clínquer é bem vinda, porém, os resíduos adicionados em substituição ao clínquer possuem oferta limitada em algumas localidades:

As frações ligantes ou possuem significativo impacto ambiental (clínquer, pozolanas artificiais) ou têm oferta globalmente limitada (escória de alto forno, cinzas volantes, pozolanas de cinzas vegetais...). Portanto, em longo prazo, é necessário que sejam adotadas estratégias para melhor utilizar esses recursos limitados. (JOHN, 2011, p.1859).

Capello (2014) possui dados brasileiros sobre a produção, consumo e oferta de cimentos por regiões do Brasil. A partir das suas informações, foi confeccionada a Tabela 12:

**Tabela 12 – Produção, consumo e oferta de cimento por regiões brasileiras.**

<b>REGIÃO BRASILEIRA</b>	<b>PRODUÇÃO</b> (em milhões de toneladas)	<b>CONSUMO</b> (em milhões de toneladas)	<b>OFERTA DE CIMENTO COM ADIÇÕES</b>
NORTE	2,1 (4%)	3,31 (6%)	CP II-F e CP IV
NORDESTE	9,96 (19%)	10,1 (19%)	CP II-F, CP II-Z e CP IV
CENTRO-OESTE	5,66 (11%)	5,08 (10%)	CP II-F e CP IV
SUDESTE	26,15 (51%)	26,76 (48%)	CP III, CP II-E e CP II-F
SUL	7,87 (15%)	8,68 (17%)	CP IV e CP II-F

(Fonte: Adaptado de CAMPELLO, 2014)

Assim, a solução de substituição de parte do clínquer por outros materiais é viável ambientalmente, pois diminuiria os impactos ambientais associados à fabricação do clínquer, e daria destinação para resíduos, como por exemplo, escória de alto-forno. Na área econômica, a solução é viável para onde existe a oferta de CPIII e CPIV, pois estes tipos de cimento não são encontrados em todas as localidades, apesar de possuírem preço menor ou equivalente aos outros tipos de cimento mais usuais. Porém, a utilização destes cimentos exige um tempo de cura maior, o que pode afetar o cronograma de obras que não possuem esta informação, mas também diminuem patologias futuras, como fissuras devido ao calor de hidratação da cura do cimento, portanto, é parcialmente viável na área técnica. Na área social, a solução é viável, pois irá valorizar os fornecedores de cimentos que possuem menores impactos ambientais, além de proporcionar melhor qualidade de vida para as pessoas com a diminuição dos impactos ambientais do

cimento que afetam a saúde humana. Por exemplo, serão diminuídas as emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, diminuindo os efeitos do Aquecimento Global.

Outra solução para diminuição dos impactos ambientais provocados pela fabricação do cimento está em “diminuir a quantidade de cimento utilizado nas misturas – Otimizar a classificação de agregados, utilizar cinza volante, plastificantes químicos e quando possível aumentar o tempo de endurecimento do concreto” (OLIVEIRA, 2007, p. 30)

Para reduzir o consumo específico de cimento no concreto, tem-se a solução do controle de umidade e dosagem dos componentes do concreto:

A forma mais eficiente de reduzir o consumo específico de cimento no concreto é a implantação de controle de umidade e de dosagem em massa dos agregados e da água, forma usual de operação das centrais de concreto. Esta medida resulta em uma diminuição da variabilidade das propriedades do concreto, que pode ser medido pelo desvio padrão da resistência ( $dp$ ). Matematicamente, a resistência média do concreto (por meio da qual o concreto é dosado) deve ser maior que a resistência de projeto, de forma a garantir 95% de confiança de que o concreto da estrutura não apresentará resistência inferior à de projeto, situação que agrava muito o risco de falha. (SELO Casa Azul, 2014).

Assim, a resistência média de dosagem,  $f_{cj}$ , é obtida pela seguinte fórmula (SELO Casa Azul, 2014):

**Equação 1 - Resistência média de dosagem:**

$$f_{cj} = f_{ck} + 1,65.Sd$$

Onde:

$f_{cj}$  - Resistência média de dosagem

$f_{ck}$  - Resistência característica do concreto à compressão

$Sd$  - Desvio padrão

“O desvio padrão varia de 3 MPa, para condições de dosagem com controle de umidade e pesagem de todos os materiais, até 7 MPa para situações onde a dosagem é feita em volume.” (SELO Casa Azul, 2014). “Mantidos os materiais, este aumento da resistência de dosagem implica um maior consumo de

cimento para garantir a resistência de projeto ( $f_{ck}$ ) definida.” (SELO Casa Azul, 2014).

Assim, o controle tecnológico da umidade e dosagem de concreto pode interferir muito na quantidade de cimento utilizada nas misturas. Deve-se garantir a resistência à compressão do concreto através da correta dosagem dos seus componentes, sem precisar aumentar a quantidade de cimento. Portanto, na área técnica, esta solução é viável. Na área ambiental, esta medida é viável, pois com a diminuição do uso indevido de cimento, terá a diminuição dos impactos ambientais causados pelo mesmo. Na área econômica, esta solução é viável, pois com a diminuição do cimento, tem-se menos gastos com o mesmo. Na área social, tem-se novamente a qualidade de vida, com a diminuição dos impactos ambientais do cimento que afetam a saúde humana.

Em relação ao consumo eficiente de cimento, tem-se: “O indicador mais eficaz para medir a eficiência do consumo de ligantes é o índice de intensidade de ligantes ( $I_l$ ), definido como a quantidade de ligante por metro cúbico de concreto ( $C$ ) necessária para fornecer  $1\text{ MPa}$  de resistência à compressão aos 28 dias ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{MPa}^{-1}$ )” (JOHN, 2011, p.1860):

**Equação 2 - Índice de Intensidade de Ligantes:**

$$I_l = \frac{C}{R_c}$$

Onde:

$I_l$  – Índice de Intensidade de Ligantes

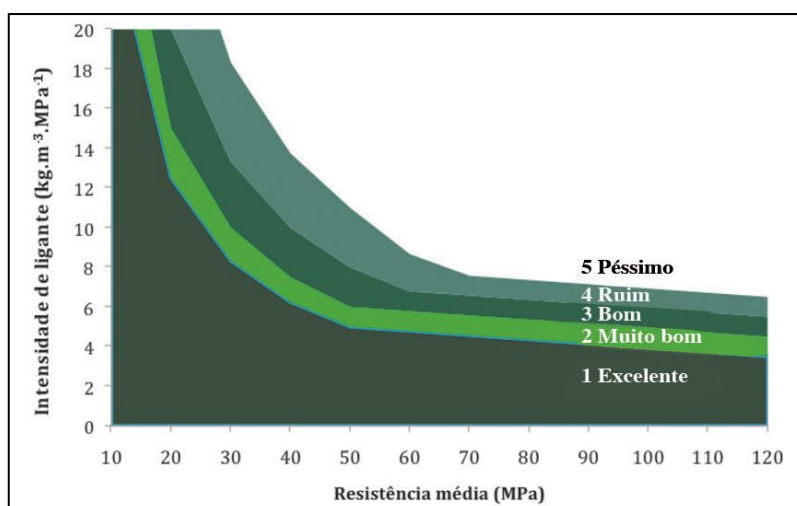
$C$  – Quantidade de ligante por metro cúbico de concreto

$R_c$  - Resistência à compressão axial média, normalmente utiliza-se o valor do  $f_{ck}$ .

Baixos valores de  $I_l$  representam um uso eficiente do cimento. (JOHN, 2011, p.1861). Assim, os resultados do Índice de Intensidade de Ligantes podem ser analisados segundo o Gráfico 8, para verificar a eficiência do uso do cimento.



**Gráfico 8 - Sugestão de classificação de concretos plásticos de acordo com a intensidade de ligantes. Elaborado a partir de dados de resultados laboratoriais de 29 países e centrais de concreto brasileiras.**



**(Fonte: JOHN, 2011, p.1864)**

O Índice de Intensidade de Ligantes é uma ferramenta útil para verificar a eficiência do consumo de cimento, sendo embasado tecnicamente através de diversos estudos, como mostra o Gráfico 8. Portanto, é viável tecnicamente. Na área ambiental, traz a reflexão sobre a eficiência do consumo, podendo-se tomar medidas para reduzir o consumo de cimento, reduzindo os impactos ambientais. Assim, é viável ambientalmente. Na área econômica, pode-se reduzir custos procurando-se uma intensidade de cimento favorável, portanto, é viável economicamente. Socialmente, com a eficiência no consumo de cimento, tem-se a diminuição dos impactos ambientais que afetam a saúde humana, proporcionando melhor qualidade de vida. Desta forma, é viável socialmente.

Apesar das soluções descritas anteriormente serem viáveis, ainda existe a necessidade de reduzir os impactos ambientais do cimento que será utilizado, o que não foi solucionado nas bibliografias consultadas.

Pode-se considerar que um dos impactos mais efetivos da produção do cimento está relacionado com a emissão de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, o que acarreta o Aquecimento Global. Assim, existe a necessidade de propor uma solução para

captar o CO<sub>2</sub> da atmosfera, pois mesmo com a redução do consumo de cimento, ainda serão liberadas milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> na atmosfera anualmente.

Pensando neste cenário, tem-se a proposta de criar Normas e Leis de Compensação Ambiental. A ideia é propor para as fábricas de cimento um valor agregado ao cimento, para ser utilizado para plantar árvores relativas à produção do cimento.

Para ter-se um exemplo ilustrativo de como seriam desenvolvidos os estudos para as Normas e Leis de Compensação Ambiental, tem-se que: Como foi dito anteriormente, “para cada tonelada de clínquer vão assim liberar-se para a atmosfera 579 kg de CO<sub>2</sub> de origem química” (TORGAL e JALALI, 2010, p.123). Existem diversas pesquisas que avaliam a quantidade de CO<sub>2</sub> que uma árvore absorve da atmosfera, fator que depende da espécie, tamanho, idade, região, clima, entre outros. Por exemplo, segundo Tonon (2014), “uma árvore, sozinha, é capaz de absorver 180 quilos de CO<sub>2</sub>”.

Assim, para cada tonelada de clínquer produzida, são necessárias cerca de quatro árvores para compensar os danos causados pela emissão de CO<sub>2</sub> da fabricação do cimento e restabelecer o equilíbrio ambiental, diminuindo os efeitos do Aquecimento Global. Para o plantio dessas árvores, as fábricas de cimento devem incorporar o valor do plantio no produto, para poder realizar o plantio de árvores para captar as emissões de CO<sub>2</sub>. O valor de uma muda de árvore varia muito de acordo com a espécie e região. Por exemplo, segundo o Instituto Brasileiro de Florestas (2014), uma muda de árvore do cerrado (Figura 12) pode ser comprada por R\$ 0,70. Utilizando-se este valor apenas como exemplo, a cada tonelada de clínquer produzida, serão gastos R\$ 2,80. Ou seja, um saco de cimento de 1 kg, que não é composto 100% de clínquer, teria o aumento no preço menor do que R\$ 0,0028, ou seja, menos do que um centavo por saco de cimento. Um preço muito acessível se pensar todos os benefícios ambientais. Outros custos podem ser agregados também ao valor do cimento, como despesas com plantio, mão-de-obra, substratos, transporte, entre outros, necessitando de maiores aprofundamentos de estudos, pois

são dados que variam muito de acordo com o tipo de planta, região, entre outros fatores.

**Figura 12 – Mudas de árvores do cerrado.**



**(Fonte: INSTITUTO Brasileiro de Florestas, 2014)**

Para edificações sustentáveis que utilizam a tecnologia do telhado verde, o valor referente às plantações de árvores pode ser abatido proporcionalmente da compra de cimento. Segundo Tonon (2014), “cada hectare de floresta em desenvolvimento é capaz de absorver nada menos do que 150 a 200 toneladas de carbono”. Um hectare equivale a 10.000 m<sup>2</sup>. Portanto, edificações que plantarem árvores através do sistema de telhado verde, poderão reduzir os custos adicionais de plantação de árvores que o cimento teria. Um exemplo de telhado verde que utiliza árvores, é a reforma da sede do *Facebook*, onde o projeto prevê a plantação de carvalhos na cobertura, utilizando um telhado verde do tipo intensivo (vegetação de grande porte). A Figura 13 mostra o detalhe do projeto.

**Figura 13 - Vista do projeto da reforma da sede do *Facebook*.**



**(Fonte: ECO Desenvolvimento, 2013)**

Tecnicamente, a solução de Compensação Ambiental é viável, pois não traz nenhuma alteração no cimento ou nas propriedades do concreto. Ambientalmente, esta solução é extremamente viável, pois reduziria as emissões de CO<sub>2</sub> da produção de cimento à zero. Este fato seria de suma importância para diminuir os efeitos do Aquecimento Global. Além disso, o plantio de árvores acarreta a melhora da qualidade do ar, com a produção de oxigênio; melhora a temperatura da região; melhora da acústica; entre muitos outros benefícios causados pela vegetação. Economicamente, o aumento do valor do cimento para plantio de árvores pode ser considerado mínimo e viável. Socialmente, esta solução é viável, com o aumento da qualidade de vida; melhoria da qualidade do ar; diminuição da temperatura terrestre; se forem plantadas árvores frutíferas, tem-se o aumento da produção de alimentos; aumento das áreas verdes para a população usufruir; aumento da biodiversidade; entre diversos outros fatores. Portanto, esta solução é amplamente viável.

Assim, para facilitar a visualização das soluções e a análise da viabilidade das mesmas, foi elaborada a Tabela 13:

**Tabela 13 - Soluções e suas viabilidades, para os impactos ambientais causados pela fabricação de cimento.**

Etapa do ciclo de vida	Soluções	Viabilidade			
		Ambiental	Econômica	Social	Técnica
Fabricação de cimento	Substituição do clínquer por outras matérias-primas e utilização de cimentos CP III e CP IV	Sim	Parcial	Sim	Parcial
	Controle de umidade e dosagem dos componentes do concreto, para reduzir o consumo específico de cimento no concreto	Sim	Sim	Sim	Sim
	Medir a eficiência do consumo de ligantes através do índice de intensidade de ligantes	Sim	Sim	Sim	Sim
	Criar normas e leis de Compensação Ambiental	Sim	Sim	Sim	Sim

(Fonte: Autora)

### **Estratégias para implantação das soluções**

Para a solução de substituição do clínquer por outras matérias-primas e a utilização de cimentos CP III e CP IV, deve-se primeiramente assegurar que os custos serão viáveis, ou seja, se existe oferta desses materiais na região da obra. Assim, o cronograma da obra deve ser pensado de forma a assegurar a cura correta do concreto, pois estes cimentos possuem o tempo de cura maior. Observando-se esses fatores, deve-se especificar claramente a utilização dos cimentos em questão na produção do concreto.

Para a solução de controle de umidade e dosagem dos componentes do concreto e a solução de medir a eficiência do consumo de ligantes através do índice de intensidade de ligantes, deve-se aplicar as formulações descritas neste trabalho antes da utilização do concreto, para verificar a dosagem do mesmo e verificar a eficiência do uso do cimento. Assim, deve-se especificar a dosagem correta dos componentes, visando a eficiência do uso do cimento.

Para a solução de criar Normas e Leis de Compensação Ambiental, é necessária a intervenção do Poder Legislativo para a criação das Leis e por parte de associações, como a ABNT, para a criação de Normas. Tais Normas e Leis devem prever também a fiscalização e as penalidades cabíveis. A Compensação Ambiental

só será possível também através de intenso trabalho para promover a educação ambiental da população.

Nas Normas e Leis de Compensação Ambiental, devem-se realizar estudos mais aprofundados sobre a quantidade absorvida de CO<sub>2</sub> por cada espécie de planta, para poder criar as correspondências sobre a quantidade de árvores que devem ser plantadas para compensar as emissões da fabricação de cimento.

#### 4.2.3 Etapa do ciclo de vida: Transporte de materiais

##### **Contextualização dos impactos ambientais**

“Durante o ciclo de vida de uma edificação, atividades de transporte estão presentes em quase todas as etapas” (PALACIO, 2013, p. 39). A Tabela 14 mostra o transporte e sua relação com as outras etapas do ciclo de vida de materiais.

**Tabela 14 - Atividades de transporte presentes nas diferentes etapas do ciclo de vida de uma edificação.**

ETAPA	TRANSPORTE
Extração de Matéria-Prima	De matéria-prima de jazidas às fábricas.
Manufatura de Materiais e Componentes	De materiais e componentes ao local da obra.
Construção	De trabalhadores e de materiais dentro do canteiro.
Uso e Reposição	De usuários, de materiais para reposição e de resíduos para a disposição final, reciclagem ou reutilização.
Disposição Final	De resíduos para disposição final, reciclagem ou reutilização.

(Fonte: PALACIO, 2013, p.39)

“(…) O transporte de agregados emite entre 0,2 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>.km (0,13 kgCO<sub>2</sub>/t.km) e 0,1 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>.km (0,07 kgCO<sub>2</sub>/t.km) quando se utiliza caminhão pequeno (4m<sup>3</sup>) ou grande (14m<sup>3</sup>) respectivamente” (JOHN, 2011, p.1854).

Na fabricação do cimento, um dos impactos ambientais que se deve levar em consideração é proveniente do transporte de calcário e argila (materiais

constituintes do cimento), quando as jazidas não estão junto às cimenteiras (OLIVEIRA, 2007, p.64).

Em relação à situação do transporte do cimento no Brasil, tem-se que:

O modal de transporte mais utilizado é o rodoviário, que em 2013, mais uma vez, foi responsável por movimentar 96% de todo o cimento produzido no país, fazendo trafegar cerca de 16 mil caminhões por dia, somente para retirar o cimento das plantas instaladas em todo o território brasileiro. O raio de distribuição do produto atinge em média 300 a 500 quilômetros no sudeste e sul do país, podendo ultrapassar os 1000 quilômetros, quando o cimento é distribuído para as regiões norte e nordeste. Na região norte, principalmente, faz-se necessário a utilização, também, do modal hidroviário. O sistema ferroviário, que melhorou pouco após a privatização, ainda é pouco utilizado para transportar o cimento consumido no país, representando cerca de 3% do tipo de transporte utilizado, ficando apenas 1% para o modal hidroviário. Devido às dimensões continentais do país 2/3 de todo o cimento produzido é distribuído através da cadeia da revenda, o que, de alguma forma, força para que a embalagem mais utilizada seja o saco de 50 kg, que participa em 68% de todo o cimento despachado no país. (CIMENTO no Brasil, 2014).

Tendo-se o exposto, foi formulada uma tabela para listagem dos principais impactos ambientais descritos na bibliografia consultada. Os impactos podem ser visualizados na Tabela 15:

**Tabela 15 - Principais impactos ambientais relacionados com o transporte de materiais.**

<b>Etapa do ciclo de vida</b>	<b>Principais impactos ambientais</b>
Transporte de materiais	Consumo de matéria-prima não-renovável (combustíveis)
	Emissões de dióxido de carbono
	Emissões aéreas

(Fonte: Autora)

### **Soluções e viabilidade**

O transporte brasileiro é essencialmente rodoviário. Isto permite o alcance “porta a porta”, porém, existem limitações quanto à quantidade de carga. Para diminuir os impactos ambientais do transporte de materiais através de caminhões, uma solução seria a mudança de parte do transporte rodoviário para o transporte ferroviário, que pode transportar maiores quantidades de carga.

Do ponto de vista ambiental, seria uma solução aceitável, pois diminuiria os impactos ambientais do transporte das matérias primas. Economicamente, o

Brasil precisaria investir muito no transporte ferroviário para este ser utilizado, o que traria altos custos iniciais, mas poderia ao longo do tempo diminuir os gastos com o transporte de cargas, pois seriam transportadas maiores quantidades. Tecnicamente, seria melhor ter mais matéria-prima em menos tempo de transporte, agilizando as obras. Do ponto de vista social, traria melhores condições de vida, pois o transporte de carga pelo meio rodoviário contribui para o congestionamento nos centros das cidades, entre outros fatores. Além disso, o modal ferroviário poderá ser utilizado não só para materiais de construção civil, mas para outros tipos de carga, como alimentos e pessoas.

Outra solução a ser pensada seria investir em inovações tecnológicas, como por exemplo, veículos movidos a hidrogênio. Por exemplo, tem-se o conceito de ônibus movido a hidrogênio, que pode ser estudado para ser implantado em caminhões:

O ônibus movido à célula a combustível a hidrogênio tem motor elétrico. O processo de propulsão do veículo é o seguinte: o hidrogênio reservado nos tanques do ônibus é introduzido na célula a combustível, onde passa por um processo eletroquímico que produz energia elétrica pela agregação do hidrogênio com o oxigênio do ar, gerando água como subproduto. A energia elétrica, após condicionada, movimentará o motor elétrico de tração (similar ao de um trólebus). O motor elétrico instalado no eixo traseiro gera energia mecânica, movimentando o veículo. (PROJETO ônibus brasileiro a hidrogênio, 2013)

O Brasil possui um grande potencial para a produção de hidrogênio, pois possui muitas fontes para retirada do hidrogênio. Os resíduos gerados pelos veículos movidos a hidrogênio são a água e o oxigênio. Os veículos convencionais geram diversos poluentes, com ênfase no CO<sub>2</sub>. A Figura 14 mostra o processo de funcionamento de um veículo movido a hidrogênio:



Figura 14 – Processo de produção e abastecimento de hidrogênio.



(Fonte: PROJETO ônibus brasileiro a hidrogênio, 2013)

Ambientalmente, esta solução seria viável por diminuir os impactos causados pelo transporte, pois os resíduos principais deste tipo de veículo são a água e o oxigênio, resíduos benéficos na área ambiental. Economicamente, este modelo de veículo ainda possui altos custos e ainda não possui investimento significativo para a sua operação, sendo necessário grande investimento inicial. Após os investimentos iniciais, torna-se viável economicamente. Socialmente, seria muito favorável, pois são veículos que não poluem e são mais silenciosos, proporcionando melhoria na qualidade de vida da população. Tecnicamente, são necessárias mais pesquisas para viabilizar veículos de carga movidos a hidrogênio, pois os modelos atuais visam carros e ônibus, ainda não é uma tecnologia para transporte de cargas. Após as pesquisas, torna-se viável tecnicamente.

Outra solução que está presente nas certificações ambientais como LEED, AQUA, etc, é diminuir as distâncias de transporte. Ou seja, fixar distâncias máximas para obtenção das matérias-primas, diminuindo a queima de combustíveis fósseis. Por exemplo, segundo o **AQUA-HQE Referencial de Avaliação da**

**Qualidade Ambiental de Edifícios Residenciais em Construção** (2014, p. 13): “Distâncias de transporte para menor emissão de GEE: uso de materiais fabricados a menos de 300 km percorridos do local da obra, no mínimo para 30% da quantidade total de materiais em massa”.

Ambientalmente, esta solução é viável, pois diminui os impactos ambientais do transporte de materiais. Economicamente, é viável por reduzir os custos com o transporte, além de favorecer a economia local. Socialmente, com o favorecimento da economia local, tem-se maior empregabilidade no local da obra. Porém, tecnicamente, não são todas as obras que possuem locais de extração de agregados e fabricação de cimento próximos, e impor esta condição para o consumo dos mesmos, poderia afetar os projetos feitos com concreto, sendo necessário optar por outro tipo de sistema estrutural.

Assim, para facilitar a visualização das soluções e a análise da viabilidade das mesmas, foi elaborada a Tabela 16:

**Tabela 16 - Soluções e suas viabilidades, para os impactos ambientais causados pelo transporte de materiais.**

Etapa do ciclo de vida	Soluções	Viabilidade			
		Ambiental	Econômica	Social	Técnica
Transporte de materiais	Mudança de parte do transporte rodoviário para o transporte ferroviário	Sim	Parcial	Sim	Sim
	Investir em inovações tecnológicas, como por exemplo, veículos movidos a hidrogênio	Sim	Parcial	Sim	Parcial
	Diminuir as distâncias de transporte	Sim	Sim	Sim	Parcial

(Fonte: Autora)

### **Estratégias para implantação das soluções**

Para a solução de mudança de parte do transporte rodoviário para o transporte ferroviário, é necessário intenso investimento por parte do governo, para optar por este tipo de transporte. Com a integração do transporte ferroviário e

rodoviário, será possível transportar maiores quantidades de carga, o que pode agilizar as obras, pois todas dependem de matéria-prima para serem realizadas.

Para a solução de investir em inovações tecnológicas, como por exemplo, veículos movidos a hidrogênio, é necessário primeiramente desenvolver pesquisas para tornar os veículos movidos a hidrogênio capazes de transportar cargas, além de pesquisas referentes ao abastecimento dos veículos, pois são necessários postos de abastecimento com hidrogênio disponível. Depois de estudar e viabilizar este tipo de veículo, é necessário investir na infraestrutura de postos para o abastecimento dos mesmos, na fabricação de tais veículos, entre outros. Assim, para implantar esta solução, é necessário posicionamento do governo.

Para a solução de diminuir as distâncias de transporte, é necessário verificar se o local da obra é próximo aos locais que disponibilizam as matérias-primas necessárias para a construção. Se for próximo, devem-se especificar os fornecedores locais para a entrega dos materiais necessários. Se não for próximo, devem-se especificar os fornecedores mais próximos possíveis.

#### *4.2.4 Etapa do ciclo de vida: Projetos estruturais e arquitetônicos*

##### **Contextualização dos impactos ambientais**

“A especificação de materiais na fase de projeto é importante haja visto que é nesta hora que podem ser inseridos critérios de sustentabilidade para a edificação” (PALACIO, 2013, p.21). Projetos estruturais e arquitetônicos prevêm a utilização de grandes quantidades de concreto e muitas vezes este consumo pode ser excessivo para elementos cujo projeto poderia ter sido pensado de outra maneira, utilizando outras tecnologias para reduzir o volume de concreto utilizado.

“O projeto arquitetônico também influencia na quantidade de concreto. Mantidas as demais variáveis, vãos excessivamente grandes podem levar a um aumento significativo do volume de concreto” (JOHN, 2011, p.1859).

Os projetos devem prezar pela grande vida útil das estruturas de concreto. “No entanto, a maximização da vida útil da estrutura não impede que muitas vezes estruturas de concreto mal projetadas acabem sendo demolidas por não mais cumprirem sua função social” (JOHN, 2011, p.1863). “Assim, a flexibilidade do projeto, que deve permitir acomodar diferentes funções no mesmo espaço é variável também importante” (JOHN, 2011, p.1863).

Tendo-se o exposto, foi formulada uma tabela para listagem dos principais impactos ambientais descritos na bibliografia consultada. Os impactos podem ser visualizados na Tabela 17:

**Tabela 17- Principais impactos ambientais relacionados com projetos estruturais e arquitetônicos.**

<b>Etapa do ciclo de vida</b>	<b>Principais impactos ambientais</b>
Projetos estruturais e arquitetônicos	Consumo excessivo de concreto
	Erros de projeto levam a perdas de material
	Falta de versatilidade de projetos leva a demolição das estruturas

(Fonte: Autora)

### **Soluções e viabilidade**

“O aumento da resistência mecânica do concreto é uma forma eficaz de reduzir o consumo de materiais de peças submetidas à compressão, tendo sido registrados ganhos de até 52%” (JOHN, 2011, p.1859). “Já para peças submetidas à flexão os benefícios são mais limitados, exceto quando a armadura é protendida” (JOHN, 2011, p.1859).

A melhor forma de medir a intensidade de materiais em uma estrutura de edifício é expressá-la em consumo por unidade de área útil ou comercializável do edifício. No caso de pilares, outro ganho é o aumento de área útil no edifício e eventualmente aumento do vão entre pilares, tendo sido registrado aumento de áreas de até 5%. (JOHN, 2011, p.1859).

Ambientalmente, a solução de aumento da resistência mecânica do concreto é viável, pois reduziria o consumo de materiais, diminuindo os impactos ambientais dos mesmos. Economicamente, com a redução de consumo de materiais, tem-se economia dos custos com os mesmos. Socialmente, tem-se a

melhoria da qualidade de vida com a diminuição dos impactos ambientais que afetam a saúde humana. Tecnicamente, esta solução é efetiva para peças submetidas à compressão, tendo benefícios limitados no caso de flexão.

“Redução no consumo de concreto – Desenvolver projetos inovadores que utilizem menos concreto, adiar ou cancelar projetos de pouca prioridade e construir estruturas que necessitem de menor manutenção” (OLIVEIRA, 2007, p. 30). No caso de projetos arquitetônicos com vãos excessivamente grandes, “estruturas de flexão protendidas podem garantir economia de recursos naturais não renováveis” (JOHN, 2011, p.1859).

Pode-se utilizar ainda outros tipos de estruturas, como por exemplo, lajes nervuradas, lajes *Bubble Deck* (Figura 15), entre outros sistemas estruturais, que diminuem o volume de concreto utilizado.

**Figura 15 – Lajes *bubble deck* montadas para a utilização, no Centro Administrativo de Brasília-DF.**



**(Fonte: Autora)**

Ambientalmente, com a redução do volume de concreto através de outros modelos estruturais, tem-se a redução dos impactos ambientais causados pelo mesmo. Economicamente, alguns sistemas estruturais podem ser mais caros que o

convencional de concreto armado, por exigirem outras tecnologias, como cabos de protensão; cabaças para fazer as nervuras; tecnologia *bubble deck*, entre outros. Isso pode diminuir os custos com o concreto, mas tem-se que levar em consideração os custos com essas tecnologias, além de mão-de-obra mais especializada para esses projetos, e verificar se as tecnologias inovadoras não atrasariam a entrega da obra por fatores de mão-de-obra ou fatores técnicos. Socialmente, com a redução do volume de concreto, tem-se melhor qualidade de vida, com a diminuição dos impactos ambientais do mesmo. E tecnicamente, tem-se que averiguar se as outras tecnologias proporcionam as mesmas finalidades das convencionais, e verificar os cuidados de projeto e execução das mesmas, necessitando de maiores estudos.

Assim, para facilitar a visualização das soluções e a análise da viabilidade das mesmas, foi elaborada a Tabela 18:

**Tabela 18- Soluções e suas viabilidades, para os impactos ambientais causados pelos projetos estruturais e arquitetônicos.**

Etapa do ciclo de vida	Soluções	Viabilidade			
		Ambiental	Econômica	Social	Técnica
Projetos estruturais e arquitetônicos	Aumento da resistência mecânica do concreto	Sim	Sim	Sim	Parcial
	Redução do volume de concreto através de outros modelos estruturais	Sim	Parcial	Sim	Parcial

(Fonte: Autora)

### **Estratégias para implantação das soluções**

Para implantação da solução de aumento da resistência mecânica do concreto, é necessário que seja especificado tal aumento nas peças submetidas à compressão. Isso deve ser levado em consideração no projeto estrutural, para economia de material.

Para redução do volume de concreto através de outros sistemas estruturais, deve-se investir primeiramente na pesquisa desses modelos estruturais e sua comparação com os modelos convencionais, para poder provar os benefícios e mostrar os malefícios de cada técnica, para verificar se tecnicamente e economicamente é viável. Outro detalhe é verificar a disponibilidade de materiais

específicos da tecnologia e verificar se existe mão-de-obra qualificada pra lidar com os novos sistemas.

#### 4.2.5 Etapa do ciclo de vida: Canteiro de obras

##### **Contextualização dos impactos ambientais**

Existem muitas perdas de concreto devido principalmente a erros de execução e a pedidos em excesso de concreto (JOHN, 2011, p.1858). “Concretos moldados em obra têm perdas maiores que os dosados em central ou usinados” (JOHN, 2011, p.1858).

“Medições realizadas no Brasil mostram que areia, brita e cimento são os materiais com maiores perdas em canteiro” (JOHN, 2011, p.1858). “Estoques inadequados, particularmente dos agregados, são a causa de muito desperdício. Umidade e rasgamento de sacos de cimento – seja no estoque ou no transporte, além de superdosagem, são outras causas de perdas” (JOHN, 2011, p.1858).

Tendo-se o exposto, foi formulada uma tabela para listagem dos principais impactos ambientais descritos na bibliografia consultada. Os impactos podem ser visualizados na Tabela 19:

**Tabela 19- Principais impactos ambientais relacionados com canteiro de obras.**

<b>Etapa do ciclo de vida</b>	<b>Principais impactos ambientais</b>
Canteiro de obras	Consumo excessivo de concreto
	Perdas de materiais

(Fonte: Autora)

##### **Soluções e viabilidade**

“Utilização de concretos usinados, melhoria do estoque de materiais básicos (cimento, areia e brita), controle dimensional de formas, melhoria do planejamento e controle de horário de entrega de concreto usinado, são estratégias adequadas na redução do desperdício” (JOHN, 2011, p.1858).

“A seleção e otimização de formas ou utilização de formas industrializadas permite reduzir perdas incorporadas no concreto devido a espessuras além do necessário” (JOHN, 2011, p.1862). “Adicionalmente, formas bem projetadas são mais duráveis o que diminui a geração de resíduos, particularmente se forem da madeira” (JOHN, 2011, p.1862).

As soluções de utilização de concretos usinados e melhoria do planejamento e controle de horário de entrega, na área ambiental, são viáveis, pois traria redução das perdas de materiais no canteiro, diminuindo os impactos ambientais do concreto. Na área econômica, são viáveis, pois se reduzindo as perdas, reduzem os custos. Além disso, com um correto planejamento e entrega do concreto, tem-se um maior controle do andamento da obra, melhorando-se os prazos de entrega das mesmas. Na área social, tem-se melhoria nas condições de trabalho no canteiro, pois o concreto chegaria pronto à obra, não sendo necessário realizar a mistura *in loco*, o que melhoraria condições de segurança e higiene dos trabalhadores, por menor tempo de exposição às matérias-primas do concreto, que podem causar doenças como silicose (sílica presente na areia), problemas de ergonomia (carregamento de sacos de cimento), entre outros. Na área técnica, esta solução é viável, pois se teria maior controle da qualidade do concreto, maior controle da dosagem, maior controle da chegada do material à obra, menos perda de material por pedidos em excesso, entre outros.

Quanto ao concreto feito *in loco*, a solução de melhoria do estoque de materiais básicos (cimento, areia e brita), é viável ambientalmente, pois com a redução das perdas dos materiais, tem-se a redução dos impactos ambientais causados pelos mesmos. Economicamente, tem-se a redução dos custos com os materiais, o que é viável. Socialmente, o correto estoque de materiais auxilia também no uso dos materiais, proporcionando melhores condições de trabalho. E tecnicamente, o correto estoque dos materiais é benéfico, pois melhoraria a produção e melhoria a utilização dos mesmos, além de serem medidas fáceis de serem implantadas na obra.



O controle dimensional de formas é uma solução viável ambientalmente, pois permite reduzir perdas incorporadas no concreto devido a espessuras além do necessário, além do que um projeto de formas permite reutilizá-las mais vezes, evitando-se o desperdício de fôrmas. Economicamente, com a redução de concreto e redução de fôrmas, tem-se redução de custos. Socialmente, tem-se maior produtividade no trabalho, proporcionando melhores condições de trabalho para os operários. E tecnicamente, as estruturas teriam as dimensões mais apropriadas com as dimensões de projeto, além de proporcionar maior produtividade na obra com a reutilização de formas.

Assim, para facilitar a visualização das soluções e a análise da viabilidade das mesmas, foi elaborada a Tabela 20:

**Tabela 20- Soluções e suas viabilidades, para os impactos ambientais causados no canteiro de obras.**

Etapa do ciclo de vida	Soluções	Viabilidade			
		Ambiental	Econômica	Social	Técnica
Canteiro de obras	Utilização de concretos usinados e melhoria do planejamento e controle de horário de entrega	Sim	Sim	Sim	Sim
	Melhoria do estoque de materiais básicos (cimento, areia e brita)	Sim	Sim	Sim	Sim
	Controle dimensional de fôrmas	Sim	Sim	Sim	Sim

(Fonte: Autora)

### **Estratégias para implantação das soluções**

Para as soluções de utilização de concretos usinados e melhoria do planejamento e controle de horário de entrega, é necessário fazer um correto planejamento da obra. Assim, será possível comprar concreto usinado, que deverá ter as corretas especificações no que diz respeito ao cimento utilizado e dosagem de materiais. Além disso, é necessário buscar um relacionamento com as concreteiras, para poder ter um controle maior do horário de entrega do concreto.

Para a solução de melhoria do estoque de materiais básicos (cimento, areia e brita), é necessário fazer um planejamento da construção do canteiro de obras, planejando o local de estocagem dos materiais próximo ao local de sua

utilização, além de ter acesso aos caminhões etc. Assim, é necessária uma correta estocagem de material, respeitando as Normas vigentes da ABNT, e procurando colocar os materiais de modo a não serem afetados pela água pluvial, o que afetaria a dosagem dos mesmos.

Para a solução de controle dimensional de fôrmas, é necessária a criação de um projeto de fôrmas, onde prevê o tipo de fôrma a ser utilizado, além de prever as dimensões corretas que devem ser seguidas em sua execução. Devem-se ter responsáveis técnicos para conferir as fôrmas, além de ter cuidados na utilização das mesmas para sua possível reutilização.

#### *4.2.6 Etapa do ciclo de vida: Uso nas construções*

##### **Contextualização dos impactos ambientais**

O principal impacto ambiental relacionado com o uso do concreto nas construções é a falta de manutenção que proporciona a demolição da estrutura e consumo de mais material.

Em relação à durabilidade do concreto, “a corrosão de armaduras é um dos principais problemas de degradação do concreto estrutural no país e em todo o mundo” (JOHN, 2011, p.1863). “Existem modelos consolidados que permitem estimar a carbonatação e a penetração de cloretos atingem a armadura tornando possível o início da corrosão”. (JOHN, 2011, p.1863).

Existem outros problemas patológicos que atacam o concreto em sua vida útil, como fissurações, ataques químicos, entre muitos outros. Porém, o efeito patológico principal considerado por John (2011, p.1863) é a corrosão das armaduras. Esta é causada principalmente por redução do pH por efeito da carbonatação da camada de cobrimento da armadura; presença de íons cloreto ou de poluição atmosférica acima de um valor crítico; lixiviação do concreto na presença de fluxos de água que percolem através de sua massa; emprego de espessuras inadequadas de cobrimento.

Tendo-se o exposto, foi formulada uma tabela para listagem dos principais impactos ambientais descritos na bibliografia consultada. Os impactos podem ser visualizados na Tabela 21:

**Tabela 21- Principais impactos ambientais relacionados com uso nas construções.**

<b>Etapa do ciclo de vida</b>	<b>Principais impactos ambientais</b>
Uso nas construções	Degradação do concreto
	Necessidade de utilização de mais concreto para recuperação de estruturas ou novas construções

(Fonte: Autora)

### **Soluções e viabilidade**

Para evitar os impactos ambientais do consumo de mais concreto para recuperação de estruturas degradadas ou novas construções, é necessário realizar manutenções periódicas preventivas e solucionar possíveis manifestações patológicas, sobretudo a corrosão das armaduras, principal causa de degradação do concreto.

Ambientalmente, esta solução é viável, pois com manutenções periódicas tem-se a possibilidade de reduzir a quantidade de concreto utilizada para recuperações da estrutura, reduzindo assim, os impactos ambientais. Economicamente, realizar manutenções periódicas preventivas possui custos menores do que uma completa recuperação, reforço ou demolição de uma estrutura patológica. Socialmente, o Brasil não possui a cultura de realizar manutenções nas construções, sendo necessário mudar a cultura da população para esta solução ser efetiva. Tecnicamente, esta solução é viável, pois além de diminuir os impactos ambientais, diminui os riscos de colapsos de estruturas que perderam sua capacidade de suportar carregamentos.

Assim, para facilitar a visualização das soluções e a análise da viabilidade das mesmas, foi elaborada a Tabela 22:

**Tabela 22- Soluções e suas viabilidades, para os impactos ambientais causados pelo uso nas construções.**

Etapa do ciclo de vida	Soluções	Viabilidade			
		Ambiental	Econômica	Social	Técnica
Uso nas construções	Manutenções periódicas preventivas	Sim	Sim	Parcial	Sim

(Fonte: Autora)

### **Estratégias para implantação das soluções**

Para a solução de realizar as manutenções periódicas preventivas, é necessária uma mudança cultural para mostrar a importância deste item, não só na parte de concreto, mas em toda a edificação. Assim, para efetivar esta solução, é necessário um planejamento para realizar as manutenções periódicas, e ter uma equipe técnica adequada para realizar as inspeções na edificação, sempre com o auxílio de engenheiros civis especializados. No caso das manutenções no concreto, devem ser inspecionadas não só as estruturas, mas possíveis sistemas que podem trazer patologias futuras, como por exemplo, impermeabilização. Assim, deve-se ter em vista nessas manutenções, as possíveis causas que podem afetar a estrutura de concreto. Por exemplo, deve-se prevenir as causas da corrosão em armaduras, as causas de fissurações, as causas de eflorescência, entre outras patologias que afetam as estruturas de concreto.

#### *4.2.7 Etapa do ciclo de vida: Destinação final*

### **Contextualização dos impactos ambientais**

Segundo o CONAMA (Resolução 307 de 05 de julho de 2002), tem-se a conceituação dos Resíduos de Construção e Demolição (RCD):

Resíduos da construção civil: são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha.

Portanto, após o seu uso, demolição ou seu desperdício, o concreto é considerado um RCD, e ainda segundo esta resolução do CONAMA, o concreto é um tipo de resíduo da Classe A.

O principal impacto ambiental da destinação final do concreto como resíduo é a deposição ilegal deste tipo de resíduo, o que causa diversos problemas ambientais e de saúde: “comprometimento de vias e logradouros públicos, geração descontrolada de resíduos, assoreamento de córregos (...), esgotamento dos recursos naturais, entre outros.” (FREITAS, 2009, p.36).

Tendo-se o exposto, foi formulada uma tabela para listagem dos principais impactos ambientais descritos na bibliografia consultada. Os impactos podem ser visualizados na Tabela 23:

**Tabela 23- Principais impactos ambientais relacionados com a destinação final.**

<b>Etapa do ciclo de vida</b>	<b>Principais impactos ambientais</b>
Destinação final	Deposição ilegal
	Comprometimento de vias e logradouros públicos
	Geração descontrolada de resíduos
	Assoreamento de córregos
	Esgotamento dos recursos naturais

(Fonte: Autora)

### **Soluções e viabilidade**

Segundo o CONAMA (Resolução 307 de 05 de julho de 2002), tem-se que os RCD da Classe A “deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados, ou encaminhados a áreas de aterro de resíduos da construção civil, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura”.

A reciclagem de RCD é feita por meio de britadores, sendo que existem empresas especializadas no ramo. A Figura 16 mostra o maquinário utilizado na reciclagem de RCD Classe A. E a Figura 17 mostra o RCD após britagem, para ser utilizado como agregado.

**Figura 16 – Maquinário utilizado para britagem de RCD Classe A, na empresa Areal Bela Vista, Brasília-DF.**



**(Fonte: Autora)**

**Figura 17 – RCD Classe A, em forma de agregado. Laboratório de Materiais, UniCEUB, Brasília-DF.**



**(Fonte: Autora)**

Ambientalmente, a solução de reutilização ou reciclagem de RCD Classe A na forma de agregados é viável, pois daria destinação útil ao RCD, diminuindo os impactos de deposição ilegal de RCD, além de evitar o consumo de mais matéria-

prima. Economicamente, reaproveitar um material que seria descartado é uma opção viável, pois eliminaria custos com novos materiais. Porém, deve-se verificar se a compra de material reciclado é mais barata do que material convencional, o que depende muito do local da compra. Socialmente, a reciclagem proporcionaria empregos para muitas pessoas, com a separação, transporte e transformação dos resíduos. Tecnicamente, os usos do RCD reciclado ainda são poucos, pois existe a necessidade de pesquisas para averiguar a qualidade do RCD, que depende da correta separação de resíduos. O RCD de um concreto estrutural ainda não é utilizado posteriormente para a mesma função (estrutural), mas pode ser utilizado em pavimentos (Figura 18), mobiliários (Figura 19), gabião para contenção de solos (Figura 20), entre outros.

**Figura 18 – Blocos para pavimento, confeccionados com agregado reciclado.**



**(Fonte: LIMA e LIMA, R., 2014)**

**Figura 19 – Mobiliário confeccionado com agregado reciclado.**



**(Fonte: LIMA e LIMA, R., 2014)**

**Figura 20 - Gabião feito com garrafas PET preenchidas com agregado de RCD.**



**(Fonte: BARUSCO, 2013, p.44)**

A solução de encaminhar para áreas de aterro de resíduos da construção civil, ambientalmente, não é uma solução viável. Pois o destino final do concreto seria a degradação, causando impactos ambientais e necessitando de mais matéria-prima para novas construções. Além disso, mesmo que disposto de forma a reciclagem futura, os resíduos estariam sendo degradados ao longo do tempo e



misturados com outros resíduos, o que impossibilitaria a reciclagem futura. Economicamente, a construção de aterros é considerada mais cara que a reciclagem dos resíduos, segundo Pinto (2014). Socialmente, as áreas que poderiam ser destinadas a parques ecológicos ou outras funções, seriam destinadas para deposição de resíduos, o que não é viável socialmente. Além disso, muitos empregos que poderiam ser gerados com a reciclagem de resíduos não seriam gerados, não trazendo benefícios para a população. E tecnicamente, encaminhar os resíduos para aterros não traria benefícios ou retorno de materiais para serem utilizados na obra.

Para uma análise mais geral da possível utilização do RCD dentro da obra e fora da obra, tem-se a implantação de gerenciamento de resíduos. Segundo o CONAMA (Resolução 307 de 05 de julho de 2002), tem-se “É instrumento para a implementação da gestão dos resíduos da construção civil o Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil, a ser elaborado pelos Municípios e pelo Distrito Federal”. Tem-se ainda que “90% dos resíduos gerados pelas obras são passíveis de reciclagem” (LIMA e LIMA, R., 2014). Para a construção deste plano, são considerados fatores como: planejamento; caracterização; triagem ou segregação; acondicionamento; transporte interno; reutilização e reciclagem na obra; remoção dos resíduos e transporte externo; destinação dos resíduos; entre outros. (LIMA e LIMA, R., 2014).

Ambientalmente, a solução de criar um planejamento de gestão de resíduos é viável, pois toda a gestão de resíduos seria pensada e colocada em execução com maior facilidade, o que traria inúmeros benefícios ambientais. Economicamente, com um planejamento eficaz, se teria a redução da compra de materiais com o aproveitamento de resíduos dentro da obra. Socialmente, se teria a geração de emprego em toda a área da reciclagem dos resíduos. Porém, por ser necessário um planejamento eficiente, seria necessária uma mudança cultural para dar maior tempo para planejamento, além de ter a educação apropriada dos trabalhadores para seguirem o planejamento. Tecnicamente, a implantação do plano necessita de pessoas especializadas no tema para compor o plano, além de

diversos estudos. E os resíduos normalmente não são utilizados para a mesma função, como foi dito anteriormente.

Assim, para facilitar a visualização das soluções e a análise da viabilidade das mesmas, foi elaborada a Tabela 24:

**Tabela 24- Soluções e suas viabilidades, para os impactos ambientais causados pela destinação final.**

Etapa do ciclo de vida	Soluções	Viabilidade			
		Ambiental	Econômica	Social	Técnica
Destinação final	Reutilização ou reciclagem de RCD Classe A na forma de agregados	Sim	Parcial	Sim	Parcial
	Encaminhar para áreas de aterro de resíduos da construção civil	Não	Não	Não	Não
	Implementação da gestão dos resíduos da construção civil com o Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil	Sim	Sim	Parcial	Parcial

(Fonte: Autora)

### **Estratégias para implantação das soluções**

Para a solução de reutilização ou reciclagem de RCD Classe A na forma de agregados, é necessário primeiramente verificar se, na localidade, os custos para reciclagem são menores do que a compra de novos materiais. Também é necessário verificar se é possível a sua posterior utilização, ou seja, se não causará nenhum dano no desempenho da função a que for sujeito. Assim, devem-se separar em obra os RCD Classe A, para poder encaminhar para empresas especializadas em reciclagem deste tipo de resíduo, e se possível, retornar o material reciclado à obra para ser utilizado em outras finalidades previamente estudadas.

Para a solução de implementação da gestão dos resíduos da construção civil com o Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil, é necessário que o planejamento proposto para os municípios e Distrito Federal seja apropriado para a obra. Necessita-se de uma mudança cultural para realizar planejamentos e segui-los, além de treinamento dos trabalhadores para poder ser efetivado o planejamento. Além disso, deve-se estudar com cautela as funções que

podem ser exercidas por agregados reciclados da Classe A, para não utilizar em funções que ainda não possuem estudos científicos que comprovem sua eficiência.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os objetivos deste trabalho foram atingidos, pois foi possível realizar o mapeamento de impactos ambientais do concreto estrutural, tendo como base estudos de Análise do Ciclo de Vida, e foi possível debater a viabilidade de soluções para diminuição dos impactos ambientais, além de propor estratégias para implantação das soluções. Os objetivos específicos desta pesquisa também foram atingidos, sendo possível explicar os conceitos e metodologias relacionados com impactos ambientais, certificações ambientais, ACV e constituintes do concreto estrutural.

Entre as dificuldades desta pesquisa destaca-se a falta de banco de dados no Brasil, o que prejudica a aplicação de uma ACV de forma a quantificar os impactos ambientais. Desta forma, os estudos de ACV propiciaram apenas o mapeamento de impactos ambientais em cada fase do ciclo de vida, não sendo possível realizar quantificações dos impactos ambientais devido à falta de banco de dados.

Outra dificuldade desta pesquisa encontra-se no tempo que foi disponível para ser realizada. Este trabalho foi desenvolvido efetivamente em três meses, e para realizar uma ACV sem banco de dados e sem *softwares* brasileiros, demoraria anos para coletar todos os dados necessários de forma confiável. Assim, pretende-se continuar esta pesquisa em mestrado, doutorado e pós-doutorado.

Sobre a ACV, considera-se uma metodologia viável de ser aplicada por pessoas conhecedoras do assunto, mas para seu uso efetivo no Brasil, é necessária sua divulgação e trabalho árduo de pesquisadores, pois existe a necessidade do banco de dados para quantificar os impactos ambientais no Brasil. Enquanto isso não é feito, deve-se divulgar a ACV como forma de mapear os impactos ambientais. Pode-se usar o banco de dados e *softwares* de outros países a fim de ter conhecimento de quais são os impactos ambientais e em quais fases estes impactos se destacam, para propor soluções viáveis ao contexto brasileiro.

As soluções propostas devem ser aplicadas em conjunto visando a efetiva diminuição dos impactos ambientais de determinado produto. O correto é aplicar pelo menos uma solução em cada etapa do ciclo de vida, e, se isso não for possível, aplicar as soluções da etapa do ciclo de vida que possui maiores impactos ambientais.

No futuro, a ACV será grande aliada das construções sustentáveis, pois, a partir da aplicação da ACV, será possível comparar materiais, processos e edificações, e optar-se com segurança pelos mais sustentáveis. Atualmente, muitos produtos destacam apenas uma fase do ciclo de vida considerável sustentável, e não se divulga realmente os impactos ambientais dos produtos. As pessoas leigas não têm muito conhecimento sobre os reais impactos ambientais dos produtos, processos e edificações. Por exemplo, se uma construtora divulga que seus empreendimentos feitos totalmente de concreto são sustentáveis por utilizar fôrmas metálicas, as pessoas sem conhecimento irão acreditar, mas não saberão que os principais e maiores impactos ambientais do concreto encontram-se na fabricação do cimento. Cabe aos profissionais da construção civil esclarecer para as pessoas o que é realmente sustentável. Não basta aplicar apenas uma solução para ser considerado sustentável, tem-se que ter todo um estudo para comprovar a viabilidade ambiental, econômica, social e técnica.

O mercado necessita de pessoas com conhecimento em ACV para aplicá-la. As certificações ambientais mais utilizadas no Brasil já estão tornando a ACV como parte de seus pré-requisitos e créditos. Para o Brasil continuar no mercado de construções sustentáveis, terá que se adequar às novas exigências. Por isso, é de suma importância investir em educação. Somente com investimentos em educação que o Brasil estará preparado para crescer e se desenvolver, não só na área de construção civil, mas em todas as áreas. É necessário investir em pesquisas, para poder mudar a realidade brasileira.

Em nível global, necessita-se restaurar o equilíbrio ambiental, diminuindo a emissão de gases nocivos à atmosfera e reduzindo a temperatura terrestre. Vários desastres ambientais ocorreram devido ao Aquecimento Global, e esta situação só

irá mudar quando o ser humano tiver consciência que ele faz parte do meio ambiente, e não continuar com a visão errônea que as pessoas e o meio ambiente são coisas distintas.

Todos os países devem ter consciência que é necessário diminuir as causas do Aquecimento Global. Devem ter consciência que não se deve reger as políticas ambientais em função da quantidade de gases que cada país emite, mas sim elaborar políticas em que todos os países contribuam ao máximo para restaurar o equilíbrio terrestre.

Uma das maiores causas do desequilíbrio ambiental são as atividades da construção civil. Existe, portanto, a necessidade de conscientizar os profissionais da área a fazer o possível em suas atribuições para implantar soluções que proporcionam o equilíbrio ambiental, e uma dessas soluções é a aplicação da ACV na construção civil.

### **5.1 Sugestões de temas para pesquisas futuras**

Em relação às pesquisas futuras a serem desenvolvidas por minha autoria ou por outras pessoas, têm-se algumas sugestões para temas que necessitam ser pesquisados:

- Elaboração de banco de dados brasileiro para a aplicação da ACV ao concreto estrutural;
- Elaboração de banco de dados brasileiro para a aplicação da ACV ao aço estrutural;
- Estudo comparativo de impactos ambientais do concreto estrutural e do aço estrutural, utilizando a ACV;
- Estudo de um projeto de lei de Compensação Ambiental para a utilização de materiais cimentícios;

- Criação de *software* brasileiro para aplicação quantitativa de impactos ambientais utilizando a ACV para materiais da construção civil;
- Criação de *software* brasileiro para aplicação de mapeamento de impactos ambientais utilizando a ACV para materiais da construção civil, baseado em banco de dados de outros países;
- Aprimoramento do *software* brasileiro ECO OBRA, para aplicação de mapeamento de impactos ambientais, em outras fases da construção civil além do canteiro de obras;
- Estudos comparativos da aplicação da ACV em edifícios sustentáveis e edifícios convencionais;
- Estudos de casos de obras com certificações ambientais que utilizaram a ACV na escolha de materiais e processos.

## REFERÊNCIAS

ABNT Catálogo. Disponível em: <<http://www.abntcatalogo.com.br/normagrid.aspx>>. Acesso em: 26 set. 2014.

AOKI, Jorge. **Areia natural ou artificial**. Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/areia-natural-ou-artificial/>>. Acesso em: 28 nov. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Agregado para concreto. NBR 7211/1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida — Exemplos ilustrativos de como aplicar a ABNT NBR ISO 14044 à definição de objetivo e escopo e à análise de inventário. NBR ISO 14049/2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. NBR ISO 14040/2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações. NBR ISO 14044/2009.

AQUA-HQE Referencial de Avaliação da Qualidade Ambiental de Edifícios Residenciais em Construção. Disponível em: <[http://vanzolini.org.br/conteudo-aqua.asp?cod\\_site=104&id\\_menu=760](http://vanzolini.org.br/conteudo-aqua.asp?cod_site=104&id_menu=760)>. Acesso em: 28 mar. 2014.

BARUSCO, Guido Venceslau B. Almeida Júnior. **Verificação da capacidade de carga em muro-pet tendo em vista a aplicação em obras de engenharia**. Programa de Iniciação Científica, Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas, Centro Universitário de Brasília UniCEUB, Brasília, DF, 2013. Orientado por: BUENO, Maruska T. N. S.

BORGES, Carlos. Certificações, Normas e legislação. In: SOUZA, Josiani (Coord.). **Sustentabilidade nas obras e nos projetos**: Questões práticas para profissionais e empresas. São Paulo: Pini, 2012, p.42-44.

BORTHOLIN, Érica; GUEDES, Bárbara Daniela. **Efeito Estufa**. Disponível em: <[http://educar.sc.usp.br/licenciatura/2003/ee/Efeito\\_Estufa.html](http://educar.sc.usp.br/licenciatura/2003/ee/Efeito_Estufa.html)>. Acesso em: 09 mai. 2013.



CAMPELLO, Giuliana. **Cinza ou verde?**. Disponível em: <<http://planetasustentavel.abril.com.br/noticia/desenvolvimento/cimento-brasileiro-mais-sustentavel-mundo-menos-gases-estufa-622768.shtml>>. Acesso em: 28 nov. 2014.

CAMPOS, Felipe Henrique Azevedo. **Análise do Ciclo de Vida na construção civil: um estudo comparativo entre vedações estruturais em painéis pré-moldados e alvenaria em blocos de concreto**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais UFMG, Belo Horizonte, MG, 2012. Orientado por: MAGALHÃES, Aldo Giuntini de; Co-orientado por: MARQUES, Guilherme Fernandes. Disponível em: <[http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/ISMS-8XVK6S/dm\\_\\_\\_felipe\\_2012\\_rev02.pdf?sequence=1](http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/ISMS-8XVK6S/dm___felipe_2012_rev02.pdf?sequence=1)>. Acesso em: 26 set. 2014.

CIMENTO no Brasil. Disponível em: <<http://cimento.org/cimento-no-brasil/>>. Acesso em: 28 nov. 2014.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 001, de 23 de janeiro de 1986**. Estabelece as definições, as responsabilidades, os critérios básicos e as diretrizes gerais para uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente. Brasília, 1986. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>>. Acesso em: 10 nov. 2014.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 307, de 05 de julho de 2002**. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Brasília, 2002. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30702.html>>. Acesso em: 10 nov. 2014.

ECO Desenvolvimento. **Facebook vai construir parque verde no telhado da nova sede**. Disponível em: <<http://www.ecodesenvolvimento.org/posts/2013/abril/facebook-vai-construir-parque-verde-no-telhado-da?tag=arquitetura-e-construcao>>. Acesso em: 09 mai. 2013.

FERREIRA, Luiz Henrique. Materiais e Componentes. In: SOUZA, Josiani (Coord.). **Sustentabilidade nas obras e nos projetos**: Questões práticas para profissionais e empresas. São Paulo: Pini, 2012, p.73-74.

FREITAS, Isabela Mauricio. **Os resíduos de construção civil no município de Araraquara/SP**. Dissertação de Mestrado, Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente, Centro Universitário de Araraquara UNIARA, Araraquara, SP, 2009. Disponível em: <[http://www.uniara.com.br/mestrado/desenvolvimento\\_regional\\_meio\\_ambiente/arquivos/dissertacao/isabela\\_mauricio\\_freitas.pdf](http://www.uniara.com.br/mestrado/desenvolvimento_regional_meio_ambiente/arquivos/dissertacao/isabela_mauricio_freitas.pdf)>. Acesso em: 26 set. 2014.

HACHICH, Vera Fernandes; GUIMARÃES, Maria Cristiana. Materiais e Componentes. In: SOUZA, Josiani (Coord.). **Sustentabilidade nas obras e nos projetos**: Questões práticas para profissionais e empresas. São Paulo: Pini, 2012, p.77.

INSTITUTO Brasileiro de Florestas. Disponível em: <<http://ibflorestas.org.br/loja/mix-de-mudas-florestais-nativas-de-15-a-30-cm.html>>. Acesso em: 08 nov. 2014.

JOHN, M. Vanderley. Materiais de Construção e o Meio Ambiente. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Org./Editor). **Materiais de Construção Civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. 2 ed. v. 01. São Paulo: IBRACON, 2010, p. 97-121.

JOHN, M. Vanderley. Concreto Sustentável. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Editor). **Concreto: Ciência e Tecnologia**. 1 ed. v. 02. São Paulo: IBRACON, 2011, p. 1843-1869.

LEED v4 for Building Design and Construction. Disponível em: <<http://www.greenguard.org/uploads/images/LEEDv4forBuildingDesignandConstructionBallotVersion.pdf>>. Acesso em: 25 set. 2014.

LEITE, Vinicius Fares. **Certificação ambiental na construção civil – sistemas LEED e AQUA**. Monografia, Curso de Graduação de Engenharia Civil, Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais UFMG, Belo Horizonte, MG, 2011. Orientado por: FIGUEIREDO, Dalmo Lúcio Mendes. Disponível em: <<http://www.cecc.eng.ufmg.br/trabalhos/pg2/76.pdf>>. Acesso em: 25 set. 2014.

LIMA, Rosimeire Suzuki; LIMA, Ruy Reynaldo Rosa. **Guia para Elaboração de Projeto de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil**. Disponível em: <[http://creaweb.crea-pr.org.br/WebCrea/biblioteca\\_virtual/downloads/cartilhaResiduos\\_baixa.pdf](http://creaweb.crea-pr.org.br/WebCrea/biblioteca_virtual/downloads/cartilhaResiduos_baixa.pdf)>. Acesso em: 10 nov. 2014.

O CONCEITO de Sustentabilidade e Desenvolvimento Sustentável. Disponível em: <<http://www.catalisa.org.br/recursos/textoteca/30>>. Acesso em: 25 set. 2014.

OLIVEIRA, André Silva. **Análise ambiental da viabilidade de seleção de produtos da construção civil através da ACV e do software BEES 3.0**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2007. Orientado por: FILHO, Luis Carlos Pinto da Silva. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/13451/000640916.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 05 mai. 2014.

OLIVEIRA, Jorge Antonio da Cunha. **Proposta de avaliação e classificação da sustentabilidade ambiental de canteiros de obras – Metodologia ECO OBRA aplicada no Distrito Federal –DF.** Dissertação de Doutorado, Estruturas e Construção Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília UnB, Brasília, DF, 2011. Orientado por: SPOTO, Rosa Maria. Co-orientado por: BLUMENSCHNEIN, Raquel Naves. Disponível em: <[http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/9884/1/2011\\_JorgeAntonioCunhaOliveira.pdf](http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/9884/1/2011_JorgeAntonioCunhaOliveira.pdf)>. Acesso em: 28 nov. 2014.

PALACIO, Cristian David Uribe. **Energia incorporada de vedações para habitação de interesse social considerando-se o desempenho térmico. Estudo de caso com utilização do light steel frame no entorno do DF.** Dissertação de Mestrado, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2013. Orientado por: SPOTO, Rosa Maria.

PINTO, Tarcísio de Paula. **Soluções para a gestão de RCD nos municípios e a participação das construtoras.** Disponível em: <[http://www.sindusconsp.com.br/downloads/eventos/2011/enic/11-08/Tarcisio\\_Paula\\_Pinto.pdf](http://www.sindusconsp.com.br/downloads/eventos/2011/enic/11-08/Tarcisio_Paula_Pinto.pdf)>. Acesso em: 10 nov. 2014.

PROJETO ônibus brasileiro a hidrogênio – Tecnologias renováveis para o transporte urbano no Brasil. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/programas/onibus\\_hidrogenio/menu/projeto/sobre\\_projeto.html](http://www.mme.gov.br/programas/onibus_hidrogenio/menu/projeto/sobre_projeto.html)>. Acesso em: 05 jun. 2013.

REFERENCIAL GBC Brasil Casa. Disponível em: <<http://www.gbcbrasil.org.br/?p=referencialCasasApresentacao>>. Acesso em: 17 fev. 2014.

SELO Casa Azul. Disponível em: <[http://www14.caixa.gov.br/portal/rse/home/produtos\\_servicos/selo\\_casa\\_azul](http://www14.caixa.gov.br/portal/rse/home/produtos_servicos/selo_casa_azul)>. Acesso em: 13 mar. 2014.

TONON, Rafael. **O que é sequestro de carbono?** Disponível em: <<http://super.abril.com.br/ecologia/sequestro-carbono-447349.shtml>>. Acesso em: 08 nov. 2014.

TORGAL, F. Pacheco; JALALI, Said. **A Sustentabilidade dos Materiais de Construção.** 2 ed. Portugal: TecMinho, 2010.

## ANEXO

SIGLA OU ABREVIATURA	TERMO ORIGINAL	TERMO EM PORTUGUÊS
BIM	<i>Building information modelling</i>	Modelagem de informações na Construção
BMCC	<i>Building Material and Component Combinations</i>	Material de construção e combinações de componentes
EPD	<i>Environmental Product Declaration</i>	Declarações Ambientais de Produto
GBC	<i>Green Building Council</i>	Conselho de Construção Verde
HQE	<i>Haute Qualité Environnementale</i>	Alta Qualidade Ambiental
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>	Organização Internacional para Padronização
LEED	<i>Leadership in Energy &amp; Environmental Design</i>	Liderança em Energia e Design Ambiental
MR	<i>Materials and Resources</i>	Materiais e Recursos
VOCs	<i>Volatile organic compound</i>	Componentes orgânicos voláteis
WPC	<i>Whole Process of the Construction</i>	Todo o processo de construção