

# ANÁLISE DO CICLO DE VIDA APLICADA AO SETOR DE CONSTRUÇÃO CIVIL: REVISÃO DA ABORDAGEM E ESTADO ATUAL

**SILVA, Vanessa G. (1); SILVA, Maristela G. (2)**

(1) Arquiteta, M.Eng., Professora do DCC/FEC/UNICAMP, Doutoranda do PCC/EPUSP. Cidade Universitária “Zeferino Vaz” - Distrito Barão Geraldo - CP 6021, Campinas – SP, 13.083-970. E-mail: [vangomes@pcc.usp.br](mailto:vangomes@pcc.usp.br).

(2) Eng. Civil, Dr.Eng., Professora do Departamento de Estruturas e Edificações e Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFES; pesquisadora do NDCC/UFES. E-mail [margomes@npd.ufes.br](mailto:margomes@npd.ufes.br).

## RESUMO

A indústria da construção civil responde por parcela significativa dos impactos gerados pelas atividades humanas sobre o ambiente. À alteração do cenário global desencadeada pela crise do petróleo, seguiram-se a constatação gradativa da contribuição dada pelos materiais e atividades de construção para a degradação do planeta e as primeiras discussões para dimensionar e reduzir tais impactos.

A análise do ciclo de vida (LCA) é um procedimento sistemático para mensurar e avaliar os impactos que um material ou produto gera sobre a saúde humana, o meio ambiente e as reservas de recursos naturais ao longo de todo o seu ciclo de vida, que inclui as etapas de produção, uso/operação, demolição e disposição final. O balanço entre entradas e saídas do processo gera um perfil ambiental que esclarece as interações com o ambiente e permite identificar objetivamente as oportunidades de melhoria de desempenho ambiental.

Este trabalho apresenta os objetivos e etapas da LCA e uma discussão de suas principais limitações. O estado atual do emprego dessa metodologia na construção civil é delineado pela abordagem sucinta das principais aplicações encontradas para o setor, como o desenvolvimento de ferramentas computacionais para a avaliação de impacto ambiental de materiais e de esquemas de certificação de edifícios.

## ABSTRACT

*Construction Industry is responsible for a significant part of the impacts generated by human activities on the environment. The global scenery transformation raised by the energetic crisis during the 70's was followed by a crescent awareness of the contribution to the planet degradation represented by construction materials and activities and by the initial discussion to measure and reduce such impacts.*

*Life Cycle Analysis (LCA) is a systematic procedure to measure and evaluate the impacts generated by a material or product on human health, the environment and natural resources over its entire life cycle, which includes production, use/operation, demolition and final disposal. The balance between the process inputs and outputs outlines an ecoprofile that clarifies its interactions with the environment and allows the objective identification of opportunities for improvements of environmental performance.*

*This paper focuses on the scope, steps and main limitations of LCA. The present applications found for such methodology in the construction sector is briefly discussed, like decision support softwares and certification schemes for buildings and products.*

## **1. INTRODUÇÃO**

O desenvolvimento de produtos, processos e serviços menos agressivos ao meio ambiente apresenta-se como um desafio importante em todas as atividades potencialmente capazes de modificar o meio, entre elas as diferentes frentes de atuação em engenharia. A discussão sobre o tema, cujo início remonta à década de 70, vem-se consolidando e originou uma nova forma de tratar o problema conhecida como *projeto orientado para o meio ambiente* (*Design for Environment - DfE*), que prevê a consideração de aspectos ambientais durante o projeto e desenvolvimento de produtos para auxiliar na minimização dos efeitos ambientais negativos resultantes de sua fabricação, uso e disposição.

O projeto orientado para o meio ambiente pode ser implementado na postura empresarial basicamente através de três ferramentas (SHEN, 1995): Projeto do ciclo de vida (*LCDesign*); Análise do ciclo de vida (*LCAnalysis*); e Análise de custos do ciclo de vida (*LCCosting analysis*).

No chamado Projeto do Ciclo de Vida (*LCD*), a coleta de matérias primas, o processo de fabricação e o transporte e distribuição do produto são considerados de forma proativa, em que procura-se antecipar – ainda na etapa de projeto - a ocorrência dos impactos ambientais que poderão ser gerados nos diferentes estágios do ciclo de vida de um produto.

Quando o processo produtivo já encontra-se implementado, porém, os ajustes visando a redução dos impactos ambientais a ele associados passam necessariamente pela reavaliação do processo. Nesse contexto, a Análise do Ciclo de Vida (*LCA*) aparece como um instrumento importante que gera informações sobre o uso de recursos e emissões de um determinado processo, produto ou serviço para permitir mensurar e avaliar os seus impactos potenciais sobre o meio ambiente e, finalmente, identificar meios para reduzir esses impactos.

Os dados gerados por uma LCA podem, ainda, ser utilizados para alimentar a Análise dos Custos ao longo do Ciclo de Vida do produto ou processo (*LCC*), que tem entre seus objetivos principais balizar a seleção do método de prevenção de poluição com base no custo global de implantação e operação.

Este trabalho aborda os princípios, objetivos, etapas e limitações da LCA e a extensão da utilização deste procedimento, originalmente desenvolvido como estratégia para aumentar a eficiência técnico-econômica de determinados processos industriais, para outras atividades, entre elas a construção civil.

## 2. ANÁLISE DO CICLO DE VIDA

Análise do Ciclo de Vida é o procedimento de analisar formalmente um *sistema* – que pode ser um material, um componente ou um conjunto de componentes – com enfoque do berço ao túmulo (*cradle-to-grave*) (SHEN, 1995; JAQUES, 1998).

A SETAC<sup>1</sup> (1991) define LCA como sendo um “*processo para avaliar as implicações ambientais de um produto processo ou atividade, através da identificação e quantificação dos usos de energia e matéria e das emissões ambientais; avaliar o impacto ambiental desses usos de energia e matéria e das emissões; e identificar e avaliar oportunidades de realizar melhorias ambientais. 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 disposição final*

”.

Essa abordagem lança uma visão holística sobre o processo global de produção e utilização e parte do princípio de que todas as suas fases (projeto; produção de materiais; construção; uso/operação; demolição) geram impactos sobre o meio ambiente e, portanto, devem ser consideradas (LIPPIATT, 1998).

Fica claro, portanto, que, de acordo com sua profundidade e abrangência, a quantificação de todos os impactos envolvidos em um sistema pode facilmente tornar-se complexa, cara e muito extensa, o que – como será discutido mais adiante - vem se mostrando como a principal limitação do emprego dessa metodologia em sua forma mais pura (BAUMANN;RYDBERG, 1994; BEETSTRA, 1996; JAQUES, 1998).

Entre as principais aplicações de uma análise do ciclo de vida, podemos citar (GUINÉE *et al.*, 1993; HOBBS, 1996):

- avaliação da adequação ambiental de uma determinada tecnologia, processo ou produto;
- identificação de possibilidades de melhoria de um processo e/ou produto individualmente, especialmente no que se refere ao uso eficiente de recursos e redução de emissões;
- comparação de alternativas tecnológicas, de processo ou produto diferentes, porém destinadas a uma mesma função;
- geração de informações para os consumidores e o meio técnico que poderão (1) servir de base para rotulagem ambiental; (2) facilitar a introdução de um determinado produto no mercado ou, no extremo oposto, sustentar o seu banimento.

### 2.1 Etapas

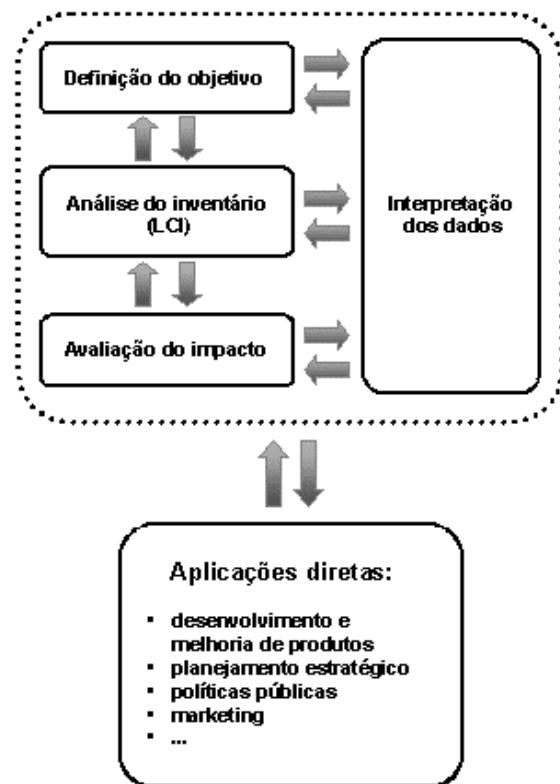
De acordo com a ISO 14040 (1996), a metodologia típica de análise de ciclo de vida, compreende quatro etapas (Figura 1).

Na definição do escopo (1), define-se o objetivo do estudo, sua abrangência e profundidade. Na análise do inventário (2), estuda-se 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) ambientais associados a um produto durante todo o seu ciclo de vida.

---

<sup>1</sup> SETAC - Society for Environmental Toxicology and Chemistry.

Na avaliação dos impactos (3), esses fluxos de recursos e emissões são caracterizados segundo uma série definida de indicadores de impacto ambiental. Por exemplo, a etapa de avaliação de impactos deve relacionar a *emissão de CO<sub>2</sub>*, um fluxo, ao *aquecimento global*, um impacto. Finalmente, a interpretação dos dados (4) confronta os impactos resultantes com as metas definidas inicialmente (etapa 1).



**Figura 1 – Etapas da Análise do Ciclo de Vida (ISO 14040, 1996).**

### 2.1.1 Definição do escopo: objetivos, unidade funcional e limites do sistema

A definição do escopo da LCA envolve o estabelecimento de limites tecnológico, geográfico e de horizonte de tempo necessários para garantir que a análise do sistema de produto em estudo atingirá o objetivo proposto para a avaliação (GUINÉE, 1993; SETAC, 1993; SHEN, 1995).

O tipo de aplicação pretendida influencia a natureza e a seqüência de decisões a serem tomadas ao longo do processo. Esta se destina à melhoria de um produto ou processo, ao projeto de um novo produto, à capacitação para um selo ambiental, à publicação de informação sobre um produto ou para a exclusão ou inclusão de um certo item no mercado?

Em cada uma dessas aplicações, algum tipo de comparação está sendo feito (GUINÉE, 1993), isto é: antes e após uma alteração de processamento (*redesign*); comparação entre diferentes alternativas para o projeto de um novo produto ou alternativas diferentes destinadas a uma mesma aplicação. A definição da unidade de comparação torna-se, então, um outro ponto-chave dessa etapa.

A base para comparação entre diferentes alternativas é a chamada *unidade funcional*, definida de forma que os produtos analisados sejam substitutos perfeitos uns dos outros para uma função específica (LIPPIATT, 1998). Assim, compara-se 1 m<sup>2</sup> de parede acabada de gesso acartonado com 1 m<sup>2</sup> de parede acabada de alvenaria, por exemplo, e não 01 bloco com 01 painel de gesso.

O processo de produção de um item genérico envolve várias *unidades de processo* que, por sua vez, podem compreender diversos fluxos de inventário. Como todas as fases são expressas por variáveis de entrada e saída do processo, o número de fluxos a serem incluídos no inventário pode multiplicar-se rapidamente e determina a exclusão de fases que não gerem impactos significativos no processo. Analogamente, a coleta de dados durante a construção do inventário deve-se restringir aos fluxos que serão efetivamente utilizados na avaliação dos impactos.

### **2.1.2 Análise do Inventário**

Análise de inventário é um processo técnico que quantifica o uso de recursos (energia e matérias-primas) e as emissões (atmosféricas, efluentes líquidos e resíduos sólidos) geradas ao longo do ciclo de vida inteiro de um produto, embalagem, processo, material ou atividade (USEPA, 1993<sub>b</sub>; *apud* SHEN, 1995).

Nesta etapa, a partir do objetivo e dos limites de sistema definidos para a análise, procede-se uma coleta intensiva de dados a serem introduzidos em uma ferramenta computacional que gera planilhas de cálculo que apresentam os fluxos na forma de uso total de energia e recursos e liberação de emissões pelo sistema. A metodologia para análise de inventário está relativamente consolidada, sendo que as principais barreiras que ela encontra referem-se à falta e qualidade dos dados e ao procedimento de alocação de uso de recursos e emissões no caso de co-produtos e material reciclado (SETAC, 1991; GUINÉE, 1993).

### **2.1.3 Análise global do impacto**

A análise global do impacto tem por objetivo avaliar os efeitos ambientais (riscos e impactos) associados aos fluxos detectados para o sistema na análise de inventário. Os impactos potenciais sobre ecossistemas, saúde humana e recursos naturais são classificados, caracterizados e valorados sistematicamente (SHEN, 1995).

O resultado do processo é o perfil ambiental do sistema de produto segundo sua contribuição para esgotamento de recursos, aquecimento global, acidificação e nutrificação e outras categorias de impacto. Trata-se de um processo que pode ser quantitativo e/ou qualitativo, já que a etapa de análise de impactos sobre efeitos ambientais de difícil quantificação, como alteração de *habitats* naturais e poluição sonora (USEPA, 1993<sub>a</sub>; *apud* SHEN, 1995).

Surgem, então, questões importantes quanto ao modelo ideal para a conversão dos efeitos ambientais em impactos e, principalmente, quanto à forma de valoração e comparação das diferentes categorias de impactos entre si<sup>2</sup>, estágio de caráter notavelmente subjetivo, que depende de valores sociais, culturais, éticos e políticos específicos (USEPA, 1993<sub>b</sub>; *apud* SHEN, 1995; SETAC, 1993; LIPPIATT, 1998). Por

---

<sup>2</sup> Como decidir o que é pior entre destruição de *habitats* naturais, chuva ácida e efeito estufa, por exemplo?

essa razão, a etapa de análise de impactos é, provavelmente, a mais complexa – e ainda não resolvida – etapa da LCA (BAUMANN, 1994; BEETSTRA, 1996).

#### **2.1.4 Análise das melhorias**

A análise de melhorias procura avaliar sistematicamente a necessidade e oportunidades de para reduzir o dano ambiental associado à forma de apropriação e uso de energia e recursos naturais e emissões ao longo de todo o ciclo de vida do produto, processo ou atividade (SHEN, 1995).

A análise global da dimensão ambiental do sistema procura responder às questões formuladas no escopo da Análise de Ciclo de Vida, sendo que a informação analítica de uma fase complementa as fases seguintes. A construção do inventário de fluxos permite averiguar a(s) fase(s) que gera(m) maior impacto, identificar as oportunidades para reduzir emissões de resíduos, consumo energético e uso de materiais e propor alternativas para diminuição dos impactos negativos identificados.

A análise de impactos, por sua vez, tipicamente identifica as atividades como maior ou menor efeito ambiental, enquanto a análise de melhorias pode assegurar que as estratégias de redução potencial e os programas de melhoria não produzam novos impactos sobre o meio e a saúde humana que não tenham sido corretamente considerados (VIGON *et al.*, 1993, *apud* SHEN, 1995).

#### **2.2 Principais limitações da metodologia**

A metodologia para análise do inventário é considerada como bem definida e entendida pelo meio técnico. No entanto, por limitar-se a aspectos que possam ser quantificados, a contabilidade analítica de um produto ou processo feita durante uma LCA acaba representando, em certos casos, apenas uma descrição parcial dos impactos ambientais do sistema.

A experiência internacional tem demonstrado que a quantificação de fluxos ao longo do ciclo de vida de produtos ainda não se tornou a ferramenta de auxílio de tomada de decisões que se desejava. Isto pode ser atribuído a alguns aspectos-chave que, em maior ou menor grau, permanecem insolutos, entre eles:

- *a qualidade e disponibilidade de fontes de dados* - o que torna-se especialmente delicado se a análise do processo exigir a ampliação dos limites do sistema;
- *limitações de custo*;
- *falta de uma unidade para comparação dos impactos* - a comparação de diferentes categorias ambientais é bastante difícil e estabelecer uma hierarquia entre os efeitos é um procedimento essencialmente subjetivo, variando com uma agenda ambiental específica e definida caso a caso;
- *procedimentos de alocação de impactos no caso de co-produtos e produtos com teor reciclável*;
- *inclusão de impactos resultantes do gerenciamento de resíduos*;
- *incapacidade para quantificar determinados impactos*, como no caso da valoração de questões como a vida humana *versus* certos danos ambientais, por exemplo.

### 3. APLICAÇÕES DA LCA NO SETOR DE CONSTRUÇÃO CIVIL<sup>3</sup>

A partir das iniciativas do CIB e Universidades da Holanda, BRE (UK), ATEQUE e ADEME (França), University of British Columbia/CANMET (Canadá); IEA Annex 21 (Suíça) e REGENER (Europa), entre outros centros e estudos colaborativos, basicamente, pode-se destacar as seguintes aplicações – diretas ou indiretas – dos conceitos de análise do ciclo de vida pela indústria e profissionais de construção civil:

- avaliação de materiais de construção, para fins de melhorias de processo e produto ou informação a projetistas (inserção de dados ambientais sistematizados nos catálogos);
- certificação ambiental de produtos (*eco-labelling*), uma iniciativa incipiente, lenta mas que tem recebido investimento crescente;
- programas de suporte de decisão (DSS), que adotam os conceitos de LCA para medir ou comparar o desempenho ambiental de materiais e componentes de construção civil, como os *softwares* BEES (EUA) e Eco-Quantum (Holanda).
- esquemas de certificação ambiental de edifícios como BREEAM e BEQUEST (UK), REGENER (Europa); EcoProfile (Noruega), CBE (suécia), BEPAC (Canadá), LEED e Austin Green Builder Program (EUA);
- ferramentas computacionais de auxílio ao projeto como o TEAM<sup>TM</sup> for Buildings (França), GBC'98 (Canadá), ATHENA<sup>TM</sup> (Canadá) e GBTool (EUA);
- instrumentos de informação aos projetistas como *The Green Building Digest* (UK); Environmental Choice (EUA); Environmental Preference Method (Holanda), Catálogo produzido pelo Politécnico de Milano (Itália).

### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As decisões sobre seleção de materiais, sistemas, tecnologias e posturas estratégicas empresariais devem ser suportadas por evidência científica suficiente para mostrar que uma determinada solução é, sob a perspectiva ambiental, a mais indicada para um contexto específico. É neste ponto que a LCA pretende chegar após considerar as opções disponíveis e racionalizar os dados coletados, o que consequentemente a torna uma ferramenta valiosa para orientar a tomada de decisões.

Apesar de ser, consensualmente, a forma mais adequada para reunir sistematicamente tais informações, no estado atual de conhecimento da metodologia, o analista depara-se freqüentemente com qualidade e quantidade insuficiente de dados que o impede de chegar a uma resposta clara e irrefutável. Como resultado, temos supersimplificações ou mesmo manipulações da análise que a destituem do rigor científico pretendido para reduzi-la meramente a um meio que justifique o fim.

Focalizando especificamente a construção civil, de modo geral, os estudos do início da década de 90 dedicaram-se à uniformização e refinamento da metodologia para adaptá-la às particularidades dos materiais e sistemas de construção. Uma outra frente importante de pesquisa desenvolve-se em paralelo, destinada à produção de bases de dados confiáveis e mais extensas para alimentar as análises. As pesquisas da segunda metade

---

<sup>3</sup> Para informações detalhadas, consultar CIB/CSTB, 1997.

desta década vêm-se concentrando no desenvolvimento de métodos práticos de avaliação e, principalmente, de ferramentas de trabalho que possibilitem a real inserção dos parâmetros ambientais como complemento aos parâmetros decisórios tradicionalmente utilizados pelos profissionais do setor.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAUMANN, H.; RYDBERG, T. *Life Cycle Assessment – A comparison of three methods for impact analysis and evaluation*. **Journal of Cleaner Production**, n.1, v.2, 1994, p. 13-20.
- BEETSTRA, F. *Building related environmental diagnoses*. HERON, n.3, v.41, 1996, p. 35-39.
- CIB/CSTB. 2<sup>nd</sup> International Conference: Building and the Environment. **Proceedings, vol. 1**. Paris, CIB/CSTB, 1997.
- GUINÉE, J.B; HAES, H.A.U.; HUPPES, G. *Quantitative life cycle assessment of products: goal definition and inventory*. **Journal of Cleaner Production**, v.1, n.1, p. 3-13. 1993.
- HOBBS, S. *et al.* *Sustainable use of construction materials*. In: *Sustainable use of construction materials*. **Proceedings**. BRE, 1996.
- INTERNATIONAL STANDARDS ORGANIZATION. *Environmental Management – Life Cycle Assessment: principles and framework*. **Draft International Standard 14040**. 1996.
- JAQUES, R. *Cradle to the grave – LCA tools for sustainable development*. In: 32<sup>nd</sup> Annual Conference of the Australia and New Zealand Architectural Science Association. **Proceedings**. Wellington: BRANZ. 1998. 6 pp.
- LIPPIATT, B. *BEES 1.0 - Building for Environmental and Economic Sustainability - Technical Manual and User Guide*. Gaithersburgh: NIST 1998. 84 pp.
- SHEN, T. *Industrial Pollution Prevention*. 1995. p. 143 – 161.
- SOCIETY FOR TOXICOLOGY AND CHEMISTRY – SETAC. *A technical framework for Life-Cycle Assessments*. Washington, D.C.: SETAC, 1991.
- SOCIETY FOR TOXICOLOGY AND CHEMISTRY – SETAC. *Guidelines for Life-Cycle Assessment: a code of practice*. Workshop held in Sesimbra, Portugal, March 31 – April 3, 1993.