



**A ANÁLISE DE CICLO DE VIDA APLICADA A
PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DE
ECOMATERIAIS NO BRASIL**

Heloísa Vasconcellos de Medina

**Rio de Janeiro
Dezembro de 2005**

CT2006-006-00 – Capítulo IV.5 pp.310-330 do livro A Avaliação do Ciclo de Vida: A ISO 14040 na América Latina. Organizadores Armando Caldeira Pires, Maria Carlota de Souza Paula e Roberto C. Villas Bôas.

5. A ANÁLISE DE CICLO DE VIDA APLICADA A PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DE ECOMATERIAIS NO BRASIL

Heloisa V. de Medina hmedina@cetem.gov.br

CETEM/MCT, Centro de Tecnologia Mineral, Ministério da Ciência e da Tecnologia

Endereço : Av. Ipê 900, Cidade Universitária, <http://www.cetem.gov.br>
CEP 21941-590 – Rio de Janeiro- RJ.

Resumo: *Este artigo trata da análise de ciclo de vida aplicada aos materiais, mais precisamente de como novos materiais, ecologicamente mais corretos, estão sendo criados, desenvolvidos ou adaptados para diversos usos; seja em produtos industriais, na construção civil, na produção de equipamentos ou de novas formas de energia. É toda uma cadeia produtiva da pesquisa, à montante, à reciclagem, à jusante, que está sendo repensada para minorar os impactos ambientais globais da produção e uso desses materiais. Nesse contexto a Análise do Ciclo de Vida - ACV - vem não somente se tornando um poderoso instrumento para gestão ambiental da produção industrial e dos materiais como também vem servindo de base aos projetos de desenvolvimento de novos produtos ou novos modelos de produtos, à seleção de materiais nesses projetos e ainda tem orientado a pesquisa tecnológica no desenvolvimento dos novos materiais chamados ecomateriais. O artigo apresenta e discute esses desenvolvimentos em nível mundial e no Brasil.*

Palavras-chave: ACV de materiais, Materiais e Meio Ambiente, Pesquisa Tecnológica, Ecomateriais.

1. INTRODUÇÃO

Ao contrário do que se pensa comumente os impactos ambientais dos produtos industriais não começam onde são mais visíveis, ou seja, na fase do consumo quando eles poluem o ar, contaminam as águas e os terrenos onde são descartados ao fim de sua vida útil. A origem desses problemas está na verdade na fase do projeto, ou seja, na concepção dos produtos, no desenvolvimento e na produção dos materiais. O projeto de um produto vai definir, desde o design, a escolha dos materiais, dos processos e das técnicas de fabricação, de componentes e peças, e da montagem

final do produto. Tem-se assim, à montante, a extração de minerais, seu beneficiamento e sua transformação em materiais que vão entrar como matéria-prima na produção de bens de consumo, máquinas e equipamentos os quais, ao longo como ao fim de suas vidas, terão que ser, parcialmente ou totalmente, descartados e/ou reciclados. O reaproveitamento dos materiais pela reciclagem ou recuperação energética prolonga o ciclo de vida dos materiais componentes dos produtos, representando assim uma forma de poupar recursos naturais não renováveis, cuja exaustão em alguns casos já se anuncia próxima.

Na verdade como produtos intermediários os materiais não têm grande visibilidade, assim como os impactos ambientais e as mudanças tecnológicas que eles suscitam e difundem. Entretanto, os inúmeros produtos da vida moderna, dos quais tanto dependemos, como: automóveis, computadores, telefones, embalagens, papéis, combustíveis, fertilizantes, tratores, geradores, turbinas, baterias, robôs etc, são compostos de materiais de origem mineral, tais como: ferro, manganês, cobre, zinco, chumbo, carvão, sílica, talco, caolim, entre outros. Essas aplicações são não só diversas como crescentes, devido tanto ao desenvolvimento de novos materiais, assim como ao melhoramento dos já existentes. Recuperá-los e reinserí-los no sistema produtivo como matérias-primas secundárias significa, por um lado, intervir no ciclo de vida dos materiais, dando-lhes nova vida, valorizando a energia e o trabalho neles contidos; mas, por outro lado, exige um monitoramento constante das tendências da evolução dos materiais e seus processos de produção e tratamento, para fazer com que as técnicas de reciclagem acompanhem o desenvolvimento dos materiais que vêm adquirindo uma complexidade tecnológica crescente. Complementarmente, é preciso ainda atuar no nível do mercado organizando o setor de reciclagem, bem como promovendo e ampliando os mercados para os materiais e produtos reciclados.

Repensar o ciclo de vida dos materiais e reconcebê-lo em bases mais sustentáveis não é, contudo, tarefa simples e nem evidente. Requer conhecimentos e informações múltiplos, nem sempre disponíveis e que devem ser buscados caso a caso para cada projeto ou reprojeto de produto no qual se deseja intervir. Ou seja, trata-se de buscar ampliar a oferta de materiais de menor impacto ambiental criando novas opções para designers e engenheiros de projeto conceberem produtos não apenas recicláveis, mas também sustentáveis num sentido amplo.

Isso significa que uma gestão sustentável da produção de materiais requer um sistema completo de informações em todos os níveis da cadeia de produção e consumo, a saber: técnicas de extração e beneficiamento de minérios, processos de transformação metalúrgica e química para

produção de materiais, fabricação de peças e componentes, montagem de produtos, reciclagem ou descarte final, incluindo em todas as fases o consumo de energia e de materiais, os custos de transporte e armazenamento etc.

Atualmente, diante do novo paradigma ambiental, que se estabeleceu no fim do século passado, as empresas estão sendo instadas a reduzirem os impactos sobre o meio ambiente em toda sua cadeia produtiva. Isso vem sendo buscado através de novas formas de projetar - como DFA (*Design for Assembly and Dissassembly*), DFR (*Design for Recycling*) e DFE (*Design for Environment*) - novos métodos de auxílio à decisão na seleção de materiais e processos tecnológicos, como a ACV, hoje já estão em uso nas indústrias automobilística, de eletrodomésticos e de computadores. A estratégia adotada nos centros de desenvolvimento de projetos dessas empresas é de conceber não só o produto, mas o chamado sistema-produto, considerando todo o ciclo de vida desde os *inputs* (matérias-primas e energia) até os *outputs* (resíduos industriais, componentes e o próprio produto em fim de vida).

De fato não é apenas o produto final que conta, mas todo um sistema projeto / produção, que consome energia e materiais em larga escala com impactos diretos e indiretos sobre a economia dos países e a vida das pessoas. A análise do Ciclo de Vida do Produto (ACV) é exatamente a forma mais efetiva de se avaliar todos os possíveis impactos ambientais causados por um produto, e por sua cadeia produtiva, entendendo como "Vida" de um produto todo o período compreendido entre a extração de matérias-primas e seu destino final pós-consumo. Inicialmente utilizada numa visão *ex-post*, para mensurar o impacto causado pelos produtos industriais e as formas de energia, nesse início século a ACV começou a ser aplicada de forma *ex-ante*, ou seja, ainda na fase de projeto dos produtos industriais. A idéia é de desenvolver produtos ecológicamente mais competitivos.

É a chamada eco-concepção ou eco-design de produtos industriais, tendo em vista atender não só a demanda de um mercado consumidor mais consciente e responsável em termos ambientais, mas também, e principalmente, para atender a uma legislação ambiental cada vez mais restrita e globalizada. Nesse sentido pode-se dizer que a atuação normativa e reguladora da União Européia, está tendo um papel difusor dessa tendência comparável à Califórnia quanto à consciência ambiental nos anos 60/70, como nos casos das Diretivas Européias da Comissão Européia sobre Meio Ambiente em relação às Embalagens (14/12/1994), sobre Veículos em fim de Vida e Reciclagem (2000/53/CE de 21/10/2000), ou ainda sobre Descarte de equipamentos e eletro-eletrônicos –DEEE- (2002/96/CE e 2004/249/CE), só para citar alguns exemplos onde a ACV e

o eco-design têm sido instrumentos das políticas e de estratégias ambientais públicas e privadas. Desse modo a Comissão Europeia tem estimulado e mesmo induzido o uso desses instrumentos pela indústria europeia, como fica evidente no Livro Verde da Política Integrada dos Produtos (Commission Européenne 2001, appud Abrassart e Aggeri 2002).

2. O CICLO DE VIDA DOS MATERIAIS

A análise do ciclo de vida e os materiais

A ACV já faz parte não somente da estratégia ambiental das empresas e do desenvolvimento de projetos industriais, mas também da evolução das técnicas de diagnóstico dos impactos ambientais da produção industrial. Nesse sentido o chamado Livro Verde da Comissão Europeia tem como objetivo favorecer o estabelecimento de um mercado de produtos verdes em nível europeu. Na análise que Abrassart et Aggeri (2002) fazem dessa publicação, ressaltam que a adoção de práticas de eco-concepção pelas empresas (europeias) aparece como uma das condições de sucesso dessa política de gestão ambiental do produto. Esses autores dizem ainda que o Livro propõe dar um novo referencial para a gestão da concepção de produtos industriais dentro de um espírito denominado de *POEMS (Product Oriented Environmental Management System)*, assegurando assim uma aplicação mais efetiva dos sistemas de qualidade ambiental baseados nos sistemas de garantia ISO 14001 e EMAS – *Environmental management assesement system*.

No caso do Brasil a legislação ambiental é uma das mais completas do mundo, mas sua regulamentação e eficácia deixam ainda a desejar. O Brasil é o único país do mundo que colocou a questão ambiental em sua Carta Magna (a Constituição de 1988), mas em relação ao automóvel, por exemplo, só regulamentou até hoje as emissões de CO₂ e a reciclagem de pneus e baterias. Mesmo assim, essa legislação junto com a mundialização dos modelos de produtos de indústrias globalizadas, como automobilística e a eletro-eletrônica tem feito com que carros, eletrodomésticos e computadores sejam, cada vez mais, concebidos de forma a economizar materiais e energia não renováveis e mesmo substituindo esses materiais por outros de menor impacto ambiental, como biomateriais e/ou materiais biodegradáveis. Pode-se citar, como exemplos de desenvolvimento de novos materiais com esse perfil, os compósitos de fibra vegetal substituindo a fibra de vidro para uso automotivo, os plásticos biodegradáveis para embalagens, a fibra de coco para assentos de caminhões substituindo espuma, o biodiesel de óleo comestível reciclado como combustível automotivo. Complementarmente, o Brasil tem presença mundial marcante no campo da reciclagem, onde é o atual líder mundial em

reciclagem de latas de alumínio com uma taxa de 90% em 2003, superior ao Japão e Estados Unidos.

No setor automotivo os resultados de uma sondagem realizada nos EUA sobre as tendências em materiais e reciclagem para o período entre 2004 e 2008 (OSAT, 1999), apontam que a reciclabilidade dos termoplásticos continuará a ser um desafio para essa indústria, ao contrário dos metais, onde se espera desenvolvimento significativo de processos, que sofrerão restrições e terão especificações técnicas cada vez mais estritas para os fornecedores. Por outro lado, os resultados também apontam que permanecerá, por mais uma década, a tendência já observada nos últimos anos de busca de materiais ao mesmo tempo mais leves e recicláveis. A sondagem registra ainda que a reciclagem e sua regulamentação, desdobramento da legislação ambiental, é uma questão estratégica para as empresas do setor.

Atualmente no Brasil os estudos e pesquisas sobre técnicas de reciclagem e novas formas de energia, visando à adequação de modelos e métodos de gestão e o desenvolvimento de novos processos, mostram que existe uma preocupação, seja por parte do governo ou das indústrias em se adequar ao novo paradigma ambiental, ajustando a regulamentação e os processos produtivos nacionais aos padrões internacionais.

Repensando o ciclo de vida dos materiais

Uma vez que os materiais são a base constitutiva de todos os produtos industriais, sua seleção ainda nas fases inicial do projeto irá condicionar o nível de impactos ambientais que os produtos terão ao longo de sua vida. Os materiais emprestam suas funções e características aos produtos que podem assim ser classificados segundo seus materiais constitutivos em: recicláveis, biodegradáveis e verdes (os que utilizam matéria prima vegetal). Essas e outras denominações formam a grande categoria dos produtos ditos ecológicos, ou seja, aqueles que utilizam eco-materiais em sua composição ou processo de fabricação, e que, como veremos mais adiante, são materiais especialmente desenvolvidos para substituir os atuais com vantagens ecológicas diversas e marcantes.

No caso de países grandes produtores e exportadores de matérias-primas¹ como o Brasil, é, portanto, necessário adaptar-se a abordagem apresentada por Abrassart et Aggeri (2002) para se propor uma Gestão Ambiental dos Materiais ou *Materials Oriented Environmental Management*

¹ A produção de matérias-primas de origem mineral no Brasil representa cerca de 10% do valor do PIB, liderados por minério de ferro, bauxita, alumínio e petróleo.

(MOEMS parafraseando o POEMS). Porém, como produtos intermediários, os materiais têm uma aparente invisibilidade que vêm atualmente se desfazendo diante da abordagem ambiental dada ao projeto de novos produtos. Essa evidência recém conquistada vem sendo instrumentalizada pela ACV que tem reforçado a participação (negativa e positiva) dos materiais na produção industrial e auxiliado na gestão do fluxo desses materiais. Nesse sentido esse método de análise vem viabilizando uma gestão mais sustentável de toda a cadeia produtiva, permitindo prolongar o ciclo de vida dos materiais e reduzir os impactos ambientais.

Uma gestão sustentável dos materiais, no sentido do MOEMS, envolveria assim uma intervenção no ciclo de vida dos materiais tal como ele se apresenta hoje, para buscar a cada etapa eliminar perdas, rejeitos, emissões ,etc., no sentido de uma produção, uso e reciclagem sem retornos ao meio ambiente. O ideal seria fechar o ciclo de produção e uso dos materiais numa reciclagem que recuperasse o total dos mesmos contidos nos produtos em fim de vida e com uma qualidade que permitisse sua reinserção total no sistema produtivo. Já existem propostas nesse sentido, como a de Bellmann e Kahre (1999), que a partir de um estudo sobre reciclagem de veículos em fim de vida propõe maximizar o aproveitamento econômico dos materiais através da transição de um fluxo de materiais linear aberto, tal como o que se verifica ainda hoje para um fluxo circular fechado, conforme mostram os esquemas nas Figuras 1 e 2 a seguir :

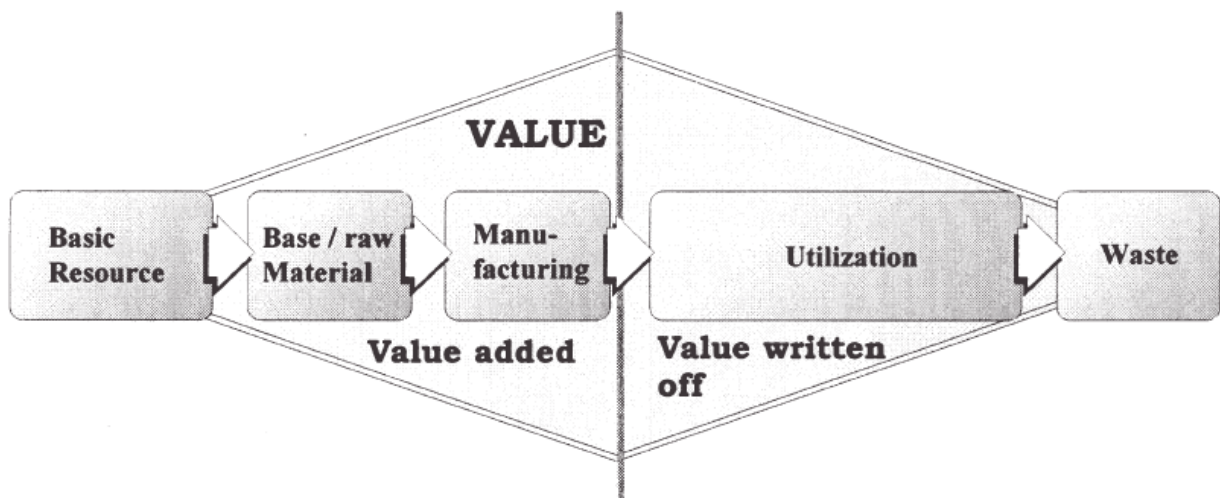


Figura 1: Fluxo Linear Aberto

Fonte: Bellmann e Kahre, 1999

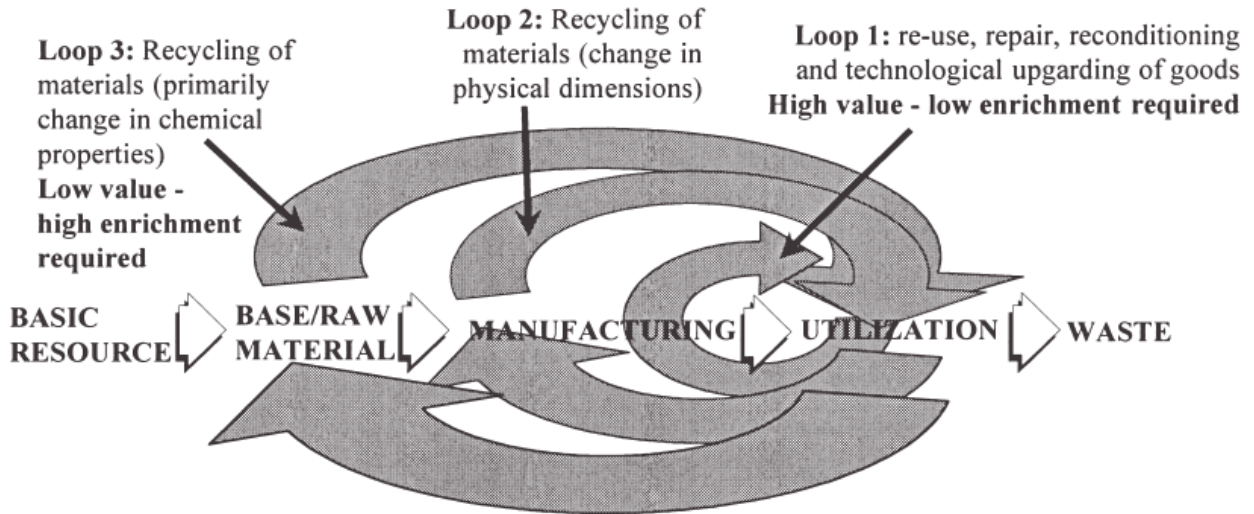


Figura 2: Fluxo fechado

Fonte: Bellmann e Khare, 1999

Generalizando os esquemas de Bellmann e Kahre (1999) para o fluxo total de materiais na economia, pode-se antever o fechamento do ciclo dos materiais pela introdução da reciclagem como fonte de matéria prima secundária, como mostra a Figura 3 a seguir.

Nesse novo esquema fechado pela Gestão Ambiental dos Materiais, ou dito em inglês MOEMS - *Materials Oriented Environmental Management* -, a extração de matérias-primas primárias só ocorreria em função de um aumento do nível geral de produção global, ou seja, pelo crescimento do mercado mundial. Assim a manter-se o nível atual com crescimento vegetativo apenas de reposição de produtos fora de uso, ou em fim de vida, toda a produção seria feita a partir de matéria-prima secundária, ou seja materiais reciclados de produtos e materiais descartados.

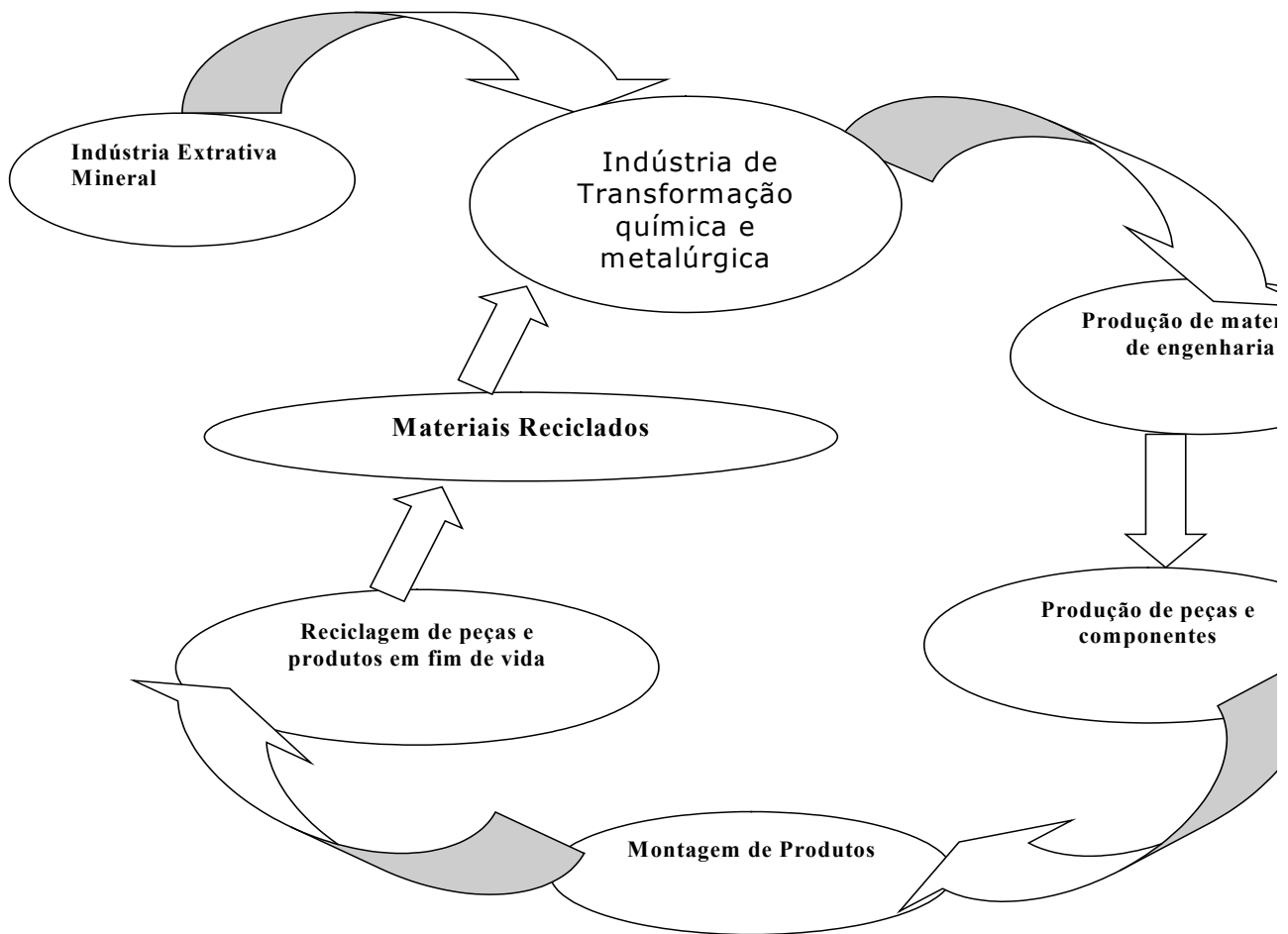


Figura 3: Fechando o Ciclo dos materiais pela Reciclagem

Fonte: Elaboração da autora

3. PROJETANDO A SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL

Eco-concepção: ACV na base de projetos de produtos

A atividade de projeto integrada à questão ambiental, desde a seleção dos materiais até a escolha das técnicas de montagem, desmontagem e reciclagem, é crítica para a sustentabilidade do produto. Trata-se portanto, de projetar não só o produto mas o chamado hoje de sistema-produto, considerando todo o ciclo de vida desde os inputs (matérias primas e energia) até os outputs (resíduos industriais, componentes e produtos em fim de vida). Essa abordagem amplia os limites do projeto e reforça seu caráter multidisciplinar. Essa abordagem amplia os limites do projeto e reforça seu caráter multidisciplinar.

Segundo Abrassart e Aggeri (2002), nos anos 90 a necessidade de se fazer um diagnóstico ambiental do produto durante o projeto aproximou engenheiros e designers levando-os a adotar como método de trabalho a

análise do ciclo de vida do produto em seu sentido mais amplo, ou seja, desde a extração de matérias primas primárias, até o tratamento ou reciclagem de produtos em fim de vida, passando por todas as etapas de produção, transporte e consumo.

A questão é complexa, pois o projeto de um produto industrial envolve horizontes de tempo de curto, médio e longo prazo (de dias para embalagens até 20 anos para os automóveis ou 50 ou mais para aviões, navios e algumas máquinas e equipamentos). Por outro lado, os materiais, as técnicas e os processos de produção e de reciclagem evoluem constantemente, o que exige um monitoramento permanente das tendências tecnológicas. O cenário é, portanto, de incertezas e as soluções de projeto têm que ser flexíveis e adaptáveis a essa evolução. De acordo com Manzini e Vezzoli (2002, pp.105-113) "a orientação e/ou re-orientação ambiental de um produto pode ir desde o melhoramento dos processos de tratamento, recuperação e valorização dos componentes e materiais, até a re-concepção mais profunda, com mudanças do tipo radical, nos produtos, nos sistemas de produção, tratamento de materiais e reciclagem. Nesse último caso, tem-se o chamado LCD (Life Cycle Design), método de projetar que inclui a variável ambiental no projeto do produto em todas as suas fases até sua reciclagem e/ou descarte final." A diferença básica entre *eco-design* e *life cycle design* é o peso e/ou a posição da componente ambiental nos objetivos do projeto. No primeiro caso o ciclo de vida dos produtos é levado em consideração quando do desenvolvimento do projeto de um produto e no segundo é o ciclo de vida do produto que é o objeto central do projeto.

Nesse sentido a eco-concepção, ou *eco-design*, define-se como uma abordagem global, multicritérios e multietapas, dos impactos ambientais de um produto. Multicritérios por se basear na ACV que pressupõe um inventário amplo das condições de utilização de matérias-primas, energia, água, ar, solo e dos rejeitos e perdas produzidos em cada etapa. Multietapas por considerar todas as etapas da vida de um produto da extração de matérias primas ao tratamento dos componentes e do próprio produto em fim de vida. Segundo Graedel (1998) todo produto tem 5 grandes estágios que englobam todo o seu ciclo de vida da pré-manufatura (produção de matérias primas) à re-manufatura (reciclagem):

- 1) extração mineral e produção de materiais;
- 2) tratamento de materiais e fabricação de peças;
- 3) embalagem, distribuição e vendas;
- 4) uso ou consumo;
- 5) descarte ou reciclagem.

Nesse contexto, a visão da engenharia vem se estendendo cada vez mais à montante para incorporar ao projeto de produto o ciclo de vida dos materiais e das formas de energias neles contidas. Assim a ACV, que começou nos Estados Unidos no início dos anos 70 como um método de auxílio à decisão (governamental ou empresarial) sobre investimentos em atividades econômicas com menor impacto ambiental, passou a ser considerada uma técnica de engenharia de projeto, na medida que permite aos engenheiros de projeto a escolherem materiais, processos e formas de energia limitando os impactos ambientais dos produtos em toda a sua cadeia produtiva, de consumo e mesmo ao fim de sua vida.

Do eco-design ao *life cycle design* no caso do automóvel

No caso do automóvel, originalmente um produto metal-mecânico e hoje um multi-produto dos desenvolvimentos da eletrônica, da química e dos materiais, o projeto de um novo modelo requer uma equipe multi-especializada onde profissionais de diversas áreas somam seus conhecimentos aos dos designers e dos engenheiros de projeto para criar não só um novo produto, mas antever os cenários onde ele será produzido, utilizado e até reciclado, num horizonte de cerca de 20 anos.

O conceito de eco-design é portanto transversal a diferentes campos da engenharia, da arquitetura e do desenho industrial, além de ser fulcral para a ecologia industrial, área do conhecimento que surgiu exatamente dessa interdisciplinaridade necessária ao trato da questão ambiental. Internalizar a sustentabilidade ambiental na atividade industrial da forma mais ampla possível e é a questão central que as novas formas de projetar, como o eco-design com auxílio da ACV como instrumento de decisão, tentam responder.

Retornando à análise de Manzini e Vezzoli (2000) pode-se dizer que a diferença básica entre eco-design e *life cycle design* é o peso e/ou a posição da componente ambiental nos objetivos do projeto. No primeiro caso o ciclo de vida dos produtos é levado em consideração quando do desenvolvimento do projeto de um produto e no segundo é o ciclo de vida do produto que é o objeto central do projeto. Nas palavras desses autores (p.17) "ecodesign é um modelo "projetual" ou de projeto (design) de um produto orientado por critérios ecológicos, enquanto que o *life cycle design* é o projeto de um sistema-produto englobando as fases de pré-produção (produção de matérias primas) produção, distribuição, uso e descarte."

No caso da indústria automobilística o eco-design é um projeto de um novo modelo ou de um concept-car que apresenta uma vantagem ambiental sobre as versões existentes - maior reciclabilidade, menor consumo, menor emissão de CO₂, etc. - , enquanto que o life-cycle-design é o desenvolvimento de um projeto no âmbito de toda a cadeia produtiva do automóvel, da extração de matérias primas à reciclagem, e que, ao mesmo tempo, globalmente, prolonga a vida do automóvel e de seus componentes, reduz o uso de materiais e energia e maximiza a recuperação destes recursos ao fim da vida útil do carro.

Assim, a indústria automobilística vem enfrentando o desafio ambiental incorporando inovações tecnológicas cada vez mais amplas que vêm alterando o conceito do automóvel de sua produção, em projetos cada vez mais voltados para o meio-ambiente. Essas mudanças estão presentes nos novos materiais - mais leves, mais recicláveis, menos poluentes, biodegradáveis, sem substâncias tóxicas ao meio ambiente ou à saúde humana, e ainda nos combustíveis como: biodiesel, hidrogênio, células combustíveis, e novas geração de baterias. Atualmente, nos modelos lançados a cada ano, as montadoras já vêm incorporando resultados de pesquisas aplicadas em concept cars que, por sua vez, apresentam inovações ambientais em ritmo crescente no sentido de zerar as emissões e os resíduos. Portanto, as inovações geradas em segmentos de ponta, como os concept cars e a formula 1, têm sido incorporadas aos carros em produção cada vez mais rapidamente. O Novo Clio da Renault por exemplo, modelo 1998 na França e 1999 no Brasil, incorporou várias inovações do concept-car NEXT, é 95% reciclável e tem uma versão ecológica urbana com sistema de propulsão elétrico.

4. A ACV APLICADA AO DESENVOLVIMENTO DE ECOMATERIAIS

O conceito de ecomateriais e o papel da ACV

Segundo Halada e Yamamoto (2001) o conceito de Ecomateriais foi proposto no Japão logo antes da II Conferência Mundial do Meio Ambiente no Rio de Janeiro em 1992 - World Summit Rio 92 -. Ele nasceu de uma série de discussões entre cientistas e engenheiros especialistas em materiais, dentro de uma visão "holística" sobre os mesmos, buscando enfatizar os aspectos positivos destes em relação ao meio ambiente, bem como os últimos desenvolvimentos a seu favor. A proposta é de que esses materiais ditos avançados, novos ou melhorados sejam reconhecidos por sua contribuição à manutenção ou recuperação do equilíbrio ecológico do planeta. Os mesmos autores assinalam que essa contribuição se dá em 4 principais vertentes:

- Os materiais para a proteção do meio ambiente ex : catalisadores e filtros de ar, de óleo e de combustíveis e filtros industriais para captar partículas tóxicas emitidas por atividades industriais diversas;
- Os materiais para geração de energia em sistemas alternativos tipo: células fotovoltaicas para energia solar, pilhas à combustível, sistemas de armazenamento de energia, etc.;
- Os materiais concebidos para terem menor impacto ambiental e cujo projeto foi orientado pela ACV dos materiais atualmente em uso no mercado. Os exemplos são os plásticos biodegradáveis, todos os materiais recicláveis e os materiais de menor consumo energético (que gastam menos energia para serem produzidos);
- Substituição de substâncias tóxicas ou prejudiciais à saúde humana em processos de produção e ou tratamento de materiais por processos mais limpos utilizando substâncias naturais não tóxicas.

Segundo os mesmos autores a ACV teve um papel fundamental na formulação desse conceito, pois possibilitou orientar a pesquisa e seleção de materiais no sentido de substituir materiais e/ou elementos de maior impacto ambiental na concepção de novos produtos. Os autores definem essa concepção orientada pela ACV como sendo uma forma multicritério de se projetar os materiais e que isso representa uma evolução importante a partir das formas anteriores que se pautavam por um só critério geral e subjetivo, que era o nível de consciência ambiental. Essa evolução permitiu ainda, o estabelecimento de parâmetros técnicos nas diversas fases do projeto de produto, desde a concepção inicial dos materiais até sua reciclagem final. Em alguns casos a criação ou adaptação dos materiais ocorre simultaneamente ao desenvolvimento do projeto como o pára-lama de plástico do Clio II - segunda geração (ver Medina artigo publicado na Revista Plástico Industrial em agosto de 2002)

A ACV auxilia a identificação de oportunidades de melhorias do sistema produto-material-processos de fabricação, que possam levar à otimização do desempenho ambiental do produto. Nesse sentido pode e tem levado, ultimamente, ao desenvolvimento de novos materiais quando a solução desejada não se encontra disponível no mercado. Essa abordagem proporciona uma visão global e plural da questão ambiental realizando checkpoints em todos os estágios da vida do produto a saber:

1. Produção: extração de minerais, produção de materiais e produtos
2. Consumo: Venda e uso e manutenção dos produtos;
3. Fim de Vida: reciclagem ou descarte de produtos ou componentes usados.

Para todas essas fases a ACV possibilita que se conheça não apenas os impactos ambientais que podem acontecer, mas sob quais cenários socio-econômicos e tecnológicos eles vão ocorrer e ainda em que medida eles podem ser evitados ou minorados. É nesse sentido que a ACV vem sendo usada para o desenvolvimento de novos materiais. Uma vez feito o inventário de todos os materiais existentes possíveis de serem utilizados em uma dada função em um produto, pode-se conceber um material alternativo que desempenhe a mesma função, mas tenha um balanço ambiental mais favorável, que seja mais leve ou mais econômico energeticamente, ou reciclável, ou ainda biodegradável, entre outras vantagens possíveis.

Esses desenvolvimentos têm sido buscados principalmente pelos plásticos nas funções de embalagem e estruturais, que hoje já podem ser encontrados sob diversas formulações como materiais recicláveis, biodegradáveis ou ainda hidrossolúveis, como é o caso de uma embalagem especialmente concebida para pesticidas para plantas e que se dissolve dentro do regador sem ser necessário o contato humano (Bertholini 1995).

Tendências e os exemplos de Eco-materiais no Mundo e no Brasil

A grande unanimidade como tendência mundial da P&D em ecomateriais nesse início de século são sem dúvida os materiais ligados à produção de novas formas de energia diante dos fortes sinais de esgotamento do modelo energético atual. São os biocombustíveis, as membranas permeáveis ao oxigênio, o hidrogênio e suas formas de estocagem, células combustível, nova geração de baterias à base de lítio, entre outras. Em um segundo grupo, não longe de uma universalização à médio prazo, vêm:

- Os materiais que retêm as diversas formas de poluição: os filtros, os catalisadores, etc.;
- Os materiais que substituem substâncias tóxicas vis-à-vis à progressiva interdição parcial ou total destas em nível mundial, como é o caso do amianto, dos metais pesados em geral e do chumbo e do mercúrio em particular;
- Os materiais recicláveis, biodegradáveis, reutilizáveis, enfim as diversas alternativas que reduzem os resíduos finais a serem descartados e prolongam a vida dos materiais economizando matérias primas primárias.

No caso da reciclagem todos os setores fortes consumidores de materiais tem se voltado para essa opção. No setor automotivo, por exemplo, todos os conceitos e métodos de projetar como DFR e ACV já estão hoje

presentes na estratégia ambiental das montadoras e de seus principais fornecedores. Eles têm desenvolvido diretrizes gerais e mesmo preconizações técnicas para a concepção de novos veículos tendo em vista sua reciclagem final. Essas diretrizes, segundo Coulter et al. 1996, citados em Medina e Gomes (2002), nos casos da Chrysler e da GM, possuem muitos pontos em comum, diferenciando-se apenas em alguns detalhes. Os autores destacam que ambas as empresas recomendavam, já no início dos anos 90, que seus projetos focalizassem:

- 1) Na seleção de materiais a redução da diversidade de materiais e evitar plásticos não compatíveis;
- 2) Na seleção de técnicas de junção (soldagem, colagem, encaixes etc) a redução da diversidade de técnicas, e a utilização de encaixes quando possível, e evitar adesivos que degradam o material;
- 3) No projeto de sistemas e componentes, prever a desmontagem para reciclagem preferencialmente mecânica em vez de manual, que é mais demorada e cara, inviabilizando economicamente a reciclagem.

Como puderam constatar Medina e Gomes no estudo que realizaram em 2001/2002 (Medina e Gomes 2002 e Medina 2003) junto às montadoras francesas, na França como no Brasil, a situação é semelhante e atenção especial vem sendo dada à utilização dos plásticos. A Renault e a PSA em parceria estabeleceram em 2000 um programa conjunto para orientar a concepção e o projeto de automóveis cada vez mais recicláveis dentro do espírito da chamada eco-concepção. Um dos objetivos específicos do programa era chegar a estabelecer normas técnicas comuns para seleção e uso de materiais automotivos em conjunto com seus fornecedores, o que não foi totalmente alcançado dada a grande variedade de materiais e processos de montagem. Esse programa foi iniciado pela montagem de um Banco de Dados sobre os plásticos em uso e em perspectiva de lançamento comercial, em parceria a Federação Francês de Plasturgia. Graças a esse trabalho de cooperação, a França dispõe hoje de um sistema integrado de informações técnicas sobre materiais visando sua reciclagem, constituído por três bases de dados integradas originárias da Renault, da PSA e da Federação Francesa de Plasturgia.

Essas informações podem ser usadas para o desenvolvimento dos plásticos automotivos no intuito de torná-los ecomateriais. A Renault já fez avanços anteriores nesse sentido no caso do pára-lama de plástico do Clio II, lançado em 1998 na França e 1999 no Brasil. Esse material, o Noryl GTX, foi especialmente concebido pela GE Plastics, sob especificações da Renault, para ser 100% reciclável, mesmo após uso na peça injetada e pintada. Evidentemente várias evoluções paralelas foram desenvolvidas no projeto em relação às técnicas de montagem e de pintura para garantir essa

performance do material e da peça. (ver detalhes em Medina 2001, Série CETEM Estudos e Documentos Nº 48, disponível em versão eletrônica em www.cetem.gov.br em publicações)

No Brasil um exemplo de ecomateriais concebidos com o auxílio da ACV para uso na indústria automobilística foi o desenvolvimento de compósitos de fibras vegetais em substituição à fibra de vidro. A DaimlerChrysler do Brasil tem um grupo de pesquisa chamado "Grupo Verde", que estuda as alternativas no desenvolvimento e uso de materiais naturais para fabricação de peças para aplicação em veículos comerciais. Os exemplos de compósitos naturais pesquisados e relatados por Heitzmann et al.(2001) com o objetivo de aplicar nos veículos comerciais são:

- Aglomerado de Fibra de Coco & Látex substituindo o PU petroquímico;
- Manta de fibra natural com a resina PU vegetal (mamona) revestido com vinil substituindo o PU sintético e a fibra de vidro;
- Manta de fibra natural com resina de poliéster insaturada substituindo a fibra de vidro;
- Manta de fibra natural com termoplástico PP substituindo a fibra de vidro.

Na mesma linha está o trabalho de Georgen et al. (2002), que vem utilizando a ACV de forma ex-ante para fazer um estudo comparativo entre as performances ambientais de diferentes materiais que podem ser alternativamente utilizados na produção de autopeças, como as mantas com fibra de vidro e as com fibra de sisal ou o polioli petroquímico e o polioli de mamona. O estudo fez um corte nos fases do ciclo de vida do produto para se concentrar na produção do material e concluiu que a fibra de sisal, por exemplo, é ambientalmente melhor que a fibra de vidro. O estudo teve ainda a importância de mostrar que é na etapa de seleção de materiais e processos do projeto onde se encontram as maiores oportunidades de se conceber um produto que seja ecologicamente correto. Destacam ainda os autores que, as informações levantadas para se fazer a ACV foram de fundamental importância para a comparação entre materiais e mesmo para identificar possibilidades de melhorias nos processos de produção.

Finalmente, apenas para destacar mais um exemplo internacional e que encontra em desenvolvimento similar no Brasil, pode-se citar o caso do Eco-cimento mencionado por Hadala e Yamamoto (2001) como produção de uma matéria-prima a partir de rejeitos de outras produções, como cinzas de incineração de lixo urbano ou reciclagem de agregados para construção civil. No Brasil, o CETEM vem trabalhando em pesquisas e desenvolvimentos nessa linha para aproveitamento de rejeitos da

produção de rochas ornamentais no noroeste do Estado do Rio de Janeiro (Santo Antônio de Pádua), e chegou a produzir a chamada areia clonada e cimento para construção civil (ver detalhes em RETECROCHAS no site www.cetem.gov.br).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora os critérios ambientais ainda não sejam preponderantes na orientação da produção e do uso dos materiais, sejam eles novos ou tradicionais, os problemas ambientais envolvidos estão definitivamente mais evidentes e, em alguns casos, vêm se tornando críticos. Por outro lado, paralelamente a essa consciência ambiental que os colocou como culpados dos grandes males do planeta, os materiais passaram a serem vistos também, como portadores de esperanças de processos e produtos melhores, não poluentes e recicláveis.

O rápido desenvolvimento dos materiais nos últimos 20 anos foi em grande parte uma resposta ao desafio de se fazer uma produção industrial ambientalmente sustentável e competitiva em âmbito mundial. A quantidade e a variedade de materiais possíveis para a concepção de produtos de menor impacto ambiental, para o desenvolvimento de novas formas de energia ou para prevenção e recuperação dos efeitos das diversas formas de poluição, cresceram exponencialmente no final do século XX. A expressão cunhada na França por Cohendet nos anos 80 "hyperchoix de matériaux" nunca foi tão exata para definir uma tendência que só tende a se aprofundar. E por consequência da mesma, caminha-se igualmente para um perfil de produtos multimateriais onde, todavia, os diversos tipos de materiais têm que ser sustentáveis em termos ambientais. Do mais simples ao mais sofisticado, a escolha de materiais a cada projeto de novo produto, ou reprojeto de um produto que se queira fazer, vem se tornando cada vez mais complexa e múltipla. Assim, as equipes de projeto de produtos - inicialmente função de designers e engenheiros - vêm se tornando cada vez mais multi-especializadas e agregando diversos perfis profissionais.

É, portanto nesse cenário que a ACV vem sendo incorporada aos métodos e técnicas de projeto das empresas e às pesquisas e desenvolvimentos tecnológicos, notadamente no campo dos materiais, mas também em inovações e melhorias de processos na busca da sustentabilidade ambiental. Nesse sentido, ela vem possibilitando um maior conhecimento sobre os materiais e seus processos de fabricação, indispensável para uma escolha consciente e responsável assim como para a reciclagem desses produtos ao fim de sua vida.

Na verdade, as principais restrições que se fazia no início das experiências com o método de ACV, de ser um trabalho muito extenso e demorado, exigir um volume enorme de informações - na maior parte das vezes difíceis de serem corretamente obtidas e analisadas -, eram na verdade sua maior força ou seja a sua capacidade de tratar uma questão que é múltipla e complexa não só nos problemas gerados como também nas soluções possíveis de serem encontradas. Os impactos ambientais da atividade humana são hoje reconhecidamente globais e exigem serem tratados como tal sob pena de estarmos apenas transferindo, ou adiando, esses problemas para um outro tempo ou lugar.

6. AGRADECIMENTOS

A autora agradece à CAPES pela bolsa de pós doutorado no exterior de fevereiro de 2004/2005, e ao CREIDD -Centre d'Etudes Interdisciplinaires sur le Développement Durable- da UTT - Université de Technologie de Troyes- na França que me recebeu e ao meu Centro de Pesquisas o CETEM que me cedeu para esse estágio durante o qual esse artigo foi feito.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BELLMANN K., KHARE A. "Economic issues in recycling end-of-life vehicles", in Technovation, December 1999.
- BERTOLINI G., **La double vie de l'Emballage**, Ed. Economica, 103 p. Paris, 1995.
- BRASSART C., AGGERI F., "La naissance de l'eco-conception ; du cycle de vie du produit au management environnemental 'produit'", Revue Responsabilité et Environnement, série trimestrielle des Annales des Mines, fondées en 1794, Paris, éditions Edska, n. 25, p. 41-63, jan. 2002.
- DOSSIER MATÉRIAUX "Environnement", in Industrie et Technologies, p. 68-69, n 859, Paris, juin 2004.
- FIELD III F. R., CLARK J.P., and ASHBY M.F., "Market Drives for Materials and Process Development in the 21st Century ", MRS Bulletin, p. 716-725, September 2001.
- GRAEDEL T. E., Streamlined Life-Cycle Assessment, EUA, New Jersey, Prentice Hall, 1998, cap.2, 306 p.
- GEORGEN L. R., DOKI, C., CASA F., NEIS A.M., FERRARESI G., "Análise do Ciclo de Vida – Ferramenta para Avaliação de Performance Ambiental de Produtos, Processos e materiais Referentes à Indústria Automobilística", Anais do Congresso SEA 2001, São Paulo, Brasil.

- HADALA K., and YAMAMOTO R., "The Current Status of Research and Development on Ecomaterials around the World", MRS Bulletin, p. 871-879, November 2001.
- HEITZMANN L.F., e al., "Aplicação de materiais de fontes renováveis na indústria automobilística" trabalho do Grupo Verde / DaimlerChrysler do Brasil apresentado no Simpósio SIMEA 2001.
- MANZINI E. VEZZOLI C., **O Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis: requisitos ambientais de produtos sustentáveis**, edição brasileira copywrite by Maggolioli Editore , EDUSP, São Paulo, 1998, 366 p.
- MEDINA, H. V. de., **Inovação em Materiais na Indústria Automobilística**. Rio de Janeiro, Série Estudos e Documentos N° 48, CETEM- Centro de tecnologia Mineral-, 2001, 68 p.
- MEDINA H. V. de "O Desenvolvimento de Novos Polímeros: uma ferramenta para os avanços na indústria automobilística" artigo publicado na Revista Plástico Industrial, Aranda editora, Ano IV, N° 48 – Agosto 2002, pp 108-120.
- MEDINA H. V. de, e GOMES D.E.B., "A indústria automobilística projetando para a reciclagem", in Anais do 5º Congresso Brasileiro de P&D em Design, realizado entre 10 e 13 de outubro de 2002, na UNB, Brasília, Brasil.
- Medina H. V. de "Eco-design na Indústria Automobilística: O conceito de carro urbano" , in Anais do II Congresso Internacional de P&D em Design, realizado no Rio de Janeiro, de 15 a 18 de outubro de 2003,
- OSATA 1999, <http://www.osat.umich.edu>,
- SCHWARTZ L. H., "Sustainability: Materials Role" in Metallurgical and Materials Transactions B, vol. 30B, April, 1999.pp 157-169.
- SZEKELY J., TRAPAGA G., "Industrial Ecology – The need to rethink the materials cycle: Some problems, solutions, and opportunities in the materials field", Journal of Materials Research of Materials Research Society, Vol. 10, n 9, Sep. 1995.
- VIGNERON J. et PATINGRE J-F., **Éco-conception: Concepts, Méthodes, Outils, Gides et Perspectives**, Paris, Ed. Economica, 2001, 205 p.