

CAPÍTULO 6

ECOLOGIA INDUSTRIAL E PROJETO PARA O MEIO AMBIENTE (DfE)

Sean Patrick Bradley
Asher Kiperstok

Universidade Federal da Bahia • UFBA • MEAU
Universidade Federal da Bahia • UFBA • TECLIM

“As empresas precisam formular estratégias próprias de projeto/manufatura que sejam específicas o suficiente para atender às suas necessidades como criadores de produtos únicos, mas que se relacionem e atendam a demandas mais altas, tais como as políticas e os desafios das estratégias ambientais globais.”

T. C. McAloone & Dr. S. Evans, 1996

Antes de iniciarmos o conteúdo deste capítulo, vamos revisar um pouco o conhecimento até agora trabalhado de processo de aprendizagem. Isto certamente vai ajudá-lo a compreender melhor o contexto em que Projeto para o Meio Ambiente (DfE) poderá ser inserido.

No primeiro momento de interação com você discutimos, em termos de ordem de grandeza, a redução do impacto ambiental necessária por unidade de produto, para se contrapor aos impactos decorrentes do crescimento da atividade econômica. Na ocasião falamos sobre o Fator 10, um conceito que autores institucionais e individuais têm usado para expressar o nível de redução do impacto ambiental por unidade de produto, que deve ser atingido nos

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Introduzir a Ecologia Industrial e os conceitos e medidas a ela relacionados.
- Apresentar metodologias de Projeto para o Meio Ambiente.
- Discutir a forma de organizar variáveis de decisão ambiental em contextos mais amplos do que um processo produtivo restrito.
- Apresentar fatores ambientais relevantes como escolha de materiais, melhorias no processo, transporte, armazenamento, embalagens.
- Contextualizar o Projeto para o Meio Ambiente em relação à ACV.
- Trazer informações gerais sobre o processo de projetar produtos e processos.

próximos 50 anos. Longe de ser um número preciso, ou de se pretender qualquer exatidão no sentido dos prazos para isto ser atingido, o Fator 10 alerta para a necessidade de se pensar além das medidas convencionais, hoje predominantes, de gerar resíduos para depois destruí-los. *“Pensar fora da caixa”*

Num segundo momento, com o objetivo de compreender melhor o motivo das preocupações ambientais, compartilhadas por vários segmentos da sociedade como um todo, relacionamos os principais problemas associados a produtos e processos projetados sob a ótica de um paradigma de que resíduo é inerente ao processo produtivo.

Como não podia deixar de ser, apresentamos medidas e enfoques que podem ser aplicados visando minimizar os resíduos gerados principalmente em processos produtivos já existentes. Passamos aí a tentar fazer você perceber a necessidade de adequar produtos e processos de maneira a atender às demandas ambientais de mercado.

Consideramos importante também apresentar a metodologia desenvolvida pela UNIDO/UNEP para implementar um programa de Prevenção da Poluição/Produção mais Limpa, de forma prática, em processos produtivos.

Outra ferramenta que achamos interessante discutir um pouco mais com você foi a ACV (Análise de Ciclo de Vida), que pode ser utilizada para avaliar o impacto de produtos e serviços em todas as suas fases, desde a extração da matéria-prima até disposição final do produto pós-uso. É bom lembrar que através da ACV podemos identificar os aspectos críticos a serem trabalhados e definir diretrizes a serem adotadas no processo de concepção de um novo produto ou processo considerado mais ecologicamente correto.

Vale salientar que até este momento do aprendizado estávamos concentrados nos limites físicos da fábrica. No entanto, neste capítulo vamos procurar abrir um pouco mais a discussão. Vamos pensar, aqui, na necessidade de uma maior articulação entre os setores produtivos e a sociedade. Vamos, ainda, entender que o impacto ambiental da produção deve ser discutido bem antes de se construir a fábrica. Deve começar até mesmo na própria fase de concepção dos produtos a serem manufaturados. Estaremos conversando a partir de agora sobre Ecologia Industrial e Projeto para o Meio Ambiente.

Atingir o Fator 10 vai exigir isto, e muito mais! Por exemplo, mudanças nos padrões de consumo, principalmente nas sociedades opulentas. Contudo, esta discussão, mesmo sendo apaixonante, foge ao escopo deste módulo.

O desenvolvimento de conceitos abrangentes para orientar a relação entre os modos de produzir e consumir, como não podia deixar de ser, tem gerado diferentes pontos de vista. Alguns deles colocam de forma conflitante as propostas da Prevenção da Poluição/Produção mais Limpa com as da Ecologia Industrial (EI). Outros autores interpretam estas diferenças como enfoques complementares e não antagônicos. O trabalho de Marinho e Kiperstok (2000), *Ecologia Industrial e Prevenção da Poluição: uma contribuição ao debate regional*, aborda estas diferenças e as aplica ao caso do Pólo Petroquímico de Camaçari - www.teclim.ufba.br. O periódico *Journal of Cleaner Production* dedicou uma edição inteira à discussão das divergências e convergências entre esses conceitos.

De fato, os autores mais relacionados com a P2 têm focado mais o processo interno à fábrica. Já os autores relacionados à EI têm-se preocupado mais com as relações interfábricas e sua inserção nos ciclos naturais. Instrumentos como a Análise de Ciclo de Vida e metodologias de Projeto para o Meio Ambiente tentam operacionalizar esses esforços. Eles tentam responder a perguntas do tipo: Quais são os fatores que você deve levar em conta quando está projetando produtos ou processos industriais? Quais são realmente suas prerrogativas, e o que se encontra previamente definido pelas restrições do mercado, e pela legislação e regulamentação?

O Projeto para o Meio Ambiente (Design for Environment – DfE) representa uma linha de pensamento que a cada dia que passa se consolida como uma alternativa para casar interesses corporativos com preservação ambiental.

Tomar decisões nunca foi fácil, mas hoje as complexidades envolvidas são significantes, e erros de projeto podem condenar o produto a impactar o ambiente por anos, comprometendo o nome da empresa. Portanto, não é suficiente identificar fatores ambientais importantes no projeto de produtos, mas sim estruturá-los de forma que projetistas possam incluí-los apropriadamente.

A meta do DfE, assim como da Ecologia Industrial, precisa ser esclarecida, e o processo de projetar, avaliado diante desta meta. Nossas decisões de projeto precisam caminhar nesta direção, de forma a contribuir efetivamente para a sustentabilidade dos sistemas de produção.

6.1 ECOLOGIA INDUSTRIAL – EI

A discussão sobre a sustentabilidade do planeta, à luz do crescimento do poder de impacto do binômio produção-consumo, obrigou a aproximação de cientistas e pensadores das ciências naturais, sociais e de tecnologia do processo produtivo. Um importante encontro desse tipo ocorreu em julho de 1992, em Snowmass, Colorado, EUA, reunindo 50 participantes de diferentes países para discutir o tema Ecologia Industrial e Câmbio Global. Os resultados desse encontro foram publicados por Socolow et al. (1994).

Os conceitos de “*Metabolismo Industrial*” e “*Ecologia Industrial*” têm-se manifestado ao longo das últimas três décadas, ainda que de forma dispersa.

A idéia de descrever os fluxos de material e energia, dos processos industriais, como um sistema metabólico foi introduzida por Robert U. Ayres, que cunhou o termo “Metabolismo Industrial” (Ehrenfeld, 1997). O conceito se fundamenta, basicamente, na aplicação do princípio de equilíbrio de massas à circulação de materiais e energia ao longo dos processos produtivos.

O conceito de Ecologia Industrial, entretanto, deveria ir além. Erkman (1997) entende que, a partir do conhecimento de como os sistemas industriais funcionam e são regulados, de suas interações com a biosfera e do conhecimento disponível sobre meio ambiente, estes sistemas seriam reestruturados para compatibilização com os ecossistemas naturais (Marinho e Kiperstok, 2000).

Na sua origem, a palavra “industrial” no termo “Metabolismo Industrial” tinha um significado mais amplo do que o utilizado em “Ecologia Industrial”. No primeiro, abrangia toda a civilização; no segundo, abordava processos produtivos específicos. No primeiro, se discutia o assunto transporte, por exemplo; enquanto que o segundo se discutia o automóvel, os pneus, etc. Com o passar do tempo, o termo “Ecologia Industrial” passou a ter uma abrangência ampliada, sendo mais divulgado (Socolow et al., 1994).

Ambos os termos surgem da comparação entre os processos naturais com os processos produtivos. Esta comparação apontou para uma diferença fundamental: enquanto os processos produtivos se dão em ciclos abertos, os naturais são fechados. Ciclos abertos implicam em geração de produtos e resíduos. Nos ciclos fechados não cabe o conceito de resíduo.

Questão para reflexão:

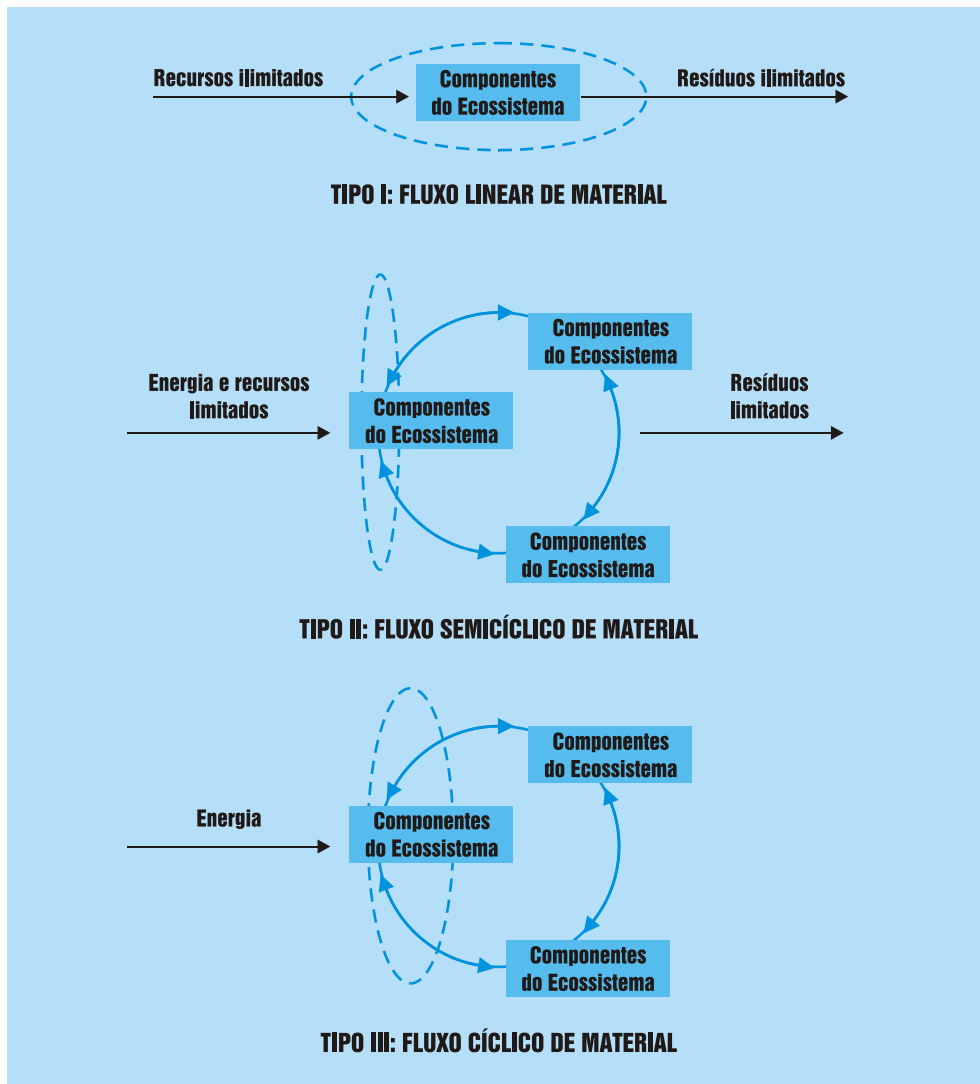
- O que poderia ser considerado resíduo numa floresta natural, por exemplo?

Retire qualquer componente da floresta. As folhas caídas no chão? Os troncos podres? E condenaremos a floresta ao desaparecimento. Ou teremos que importar insumos externos para sua manutenção. Porque esses elementos, que alguns ainda enxergam como restos, são um elo fundamental na estrutura e funcionamento de todo o ecossistema da floresta, e sem esse elo/"resíduo" a floresta morreria.

Graedel e Allenby (1995) definem a Ecologia Industrial como "o meio através do qual a humanidade pode, deliberada e racionalmente, aproximar e manter uma capacidade de carga apropriada, com uma contínua evolução econômica, cultural e tecnológica. Assim, Ecologia Industrial precisa apoiar a estrutura e função dos ecossistemas, porque os seres humanos são apenas uma componente nas interações ecológicas e não podem ser separados deste todo". Simplesmente, nossa saúde é dependente da saúde dos outros componentes do ecossistema. O todo é integrado.

O termo "Ecologia Industrial", ao se fundamentar numa analogia com a ciência da ecologia, prioriza as funções e relações das partes diversas que conformam um ecossistema. "A EI procura otimizar os ciclos de materiais, da matéria virgem aos produtos finais, de forma a eliminar a disposição de resíduos." (Graedel, T. apud Socolow, 1994)

Para ilustrar a evolução de sistemas abertos para sistemas fechados sob o enfoque dos materiais, Graedel utiliza as Figuras 6.1 e 6.2:



Fonte: Graedel, T. apud Socolow et al., 1994.

FIGURA 6.1 – SISTEMAS ABERTOS E FECHADOS

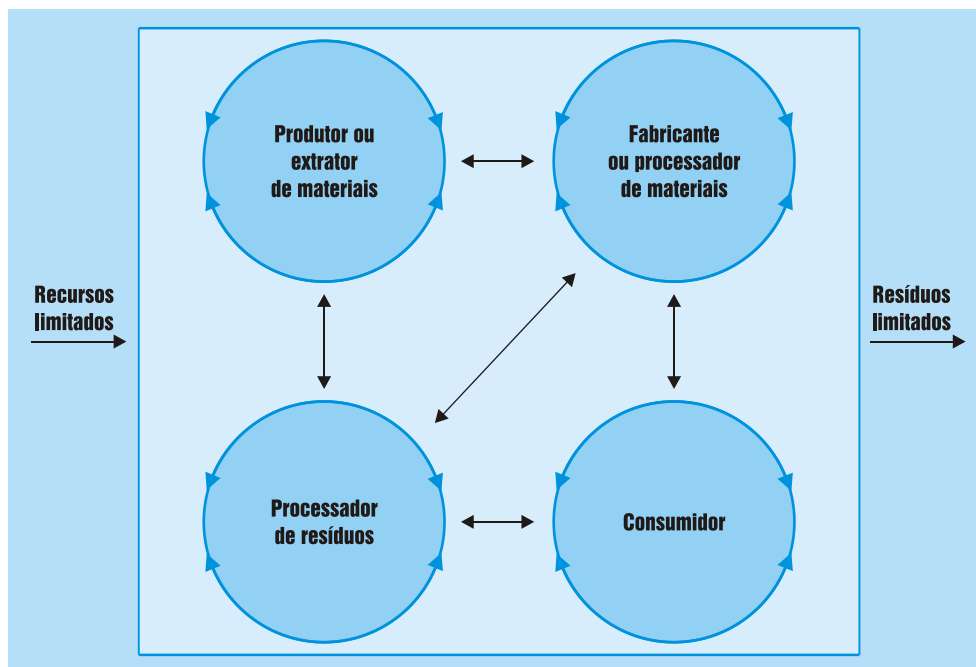


FIGURA 6.2 – TIPOS DE FLUXOS DE MATERIAIS (GRAEDEL, T. APUD SOCOLOW ET AL., 1994)

O sistema Tipo I caracteriza uma situação de abundância de recursos naturais, em que não existem pressões no sentido de se preocupar com qualquer eficiência no seu uso. Usam-se insumos ilimitados e geram-se resíduos ilimitados. Na medida em que o processo de transformação é insignificante, em relação ao ecossistema onde se localiza, os impactos gerados são imperceptíveis.

Com o crescimento da produção e do consumo começa a ser sentida uma pressão sobre os ecossistemas, sejam locais, regionais ou planetários. Os limites do meio ambiente passam a ter presença real. Surgem restrições ao uso ilimitado dos recursos naturais e, conseqüentemente, a produtividade no seu uso aumenta. Isso leva à redução da relação resíduo produzido por unidade de produto gerado. Esta situação encontra-se representada no sistema Tipo II, da Figura 6.1.

O crescimento do consumo nos coloca a necessidade de pensar caminhos para poder atingir o sistema Tipo III. O surgimento do conceito de Fator 10 aponta para os esforços que estão sendo realizados nesse sentido.

Resumindo, a abordagem da Ecologia Industrial pretende:

- perceber sistemas e atividades em conjunto com o meio ambiente, em vez de considerá-los de forma isolada;
- fornecer uma perspectiva global e sistêmica;
- identificar e seguir fluxos e transformações de materiais e energia através dos sistemas;
- estabelecer uma abordagem transdisciplinar;
- mudar de processos abertos para processos cíclicos e fechados;
- reduzir impactos ambientais;
- integrar os sistemas industriais entre si e com a comunidade;
- estimular os sistemas naturais, que são mais sustentáveis e eficientes;
- promover o uso sustentável de recursos naturais.

Com isso a Ecologia Industrial busca ciclos e processos ótimos para todos os recursos materiais e energéticos, enquanto enquadrados nos limites ambientais e financeiros atuais. Soluções ótimas são buscadas e determinadas através do estabelecimento de um equilíbrio entre os fatores e os limites em conflito. Dessa forma a Ecologia Industrial ajuda na obtenção de soluções racionais, amplas e sustentáveis.

Por fim, pode-se dizer que a Ecologia Industrial busca uma economia sustentável ligada ao desenvolvimento cultural, levando em conta um moderado crescimento populacional. No entanto, as ações da Ecologia Industrial são, em grande parte, avanços tecnológicos e soluções técnicas em vez de soluções sociais.

Para complementar o aqui exposto, sugere-se a leitura dos trabalhos:

AUSUBEL, J. H. Liberação do meio ambiente. **Tecbahia**, Bahia, v. 12, n. 2, p. 29-41, 1997.

FROSCH, R.A. No caminho para o fim dos resíduos, as reflexões sobre uma nova ecologia das empresas. **Tecbahia**, Bahia, v. 12, n. 2, p. 42-53, 1997.

LOVINS, A.B.; LOVINS, L.H.; HAWKEN, P. A road map for natural capitalism. **Harvard Business Review**, p. 145-158, may/jun.1999.

Questão para reflexão:

- Compare os textos citados e aponte suas convergências e divergências.

Com esta visão, passemos agora a discutir como introduzir esses conceitos no projeto e fabricação de novos produtos e processos.

PROJETAR

Numa escala conceitual mais detalhada, o Projeto para o Meio Ambiente (Design for Environment – DfE) é normalmente inserido no contexto da Análise de Ciclo de Vida (ACV). Considerado assim, o DfE compõe a parte da ACV em que objetivamos a melhoria do produto. Outras perspectivas consideram o Projeto para o Meio Ambiente um tipo de projeto com abordagem holística que leva em conta todo o ciclo de vida. Nesse caso, é freqüentemente equacionado com *ecodesign*, mas tem-se uma série de outros nomes, mais ou menos equivalentes, como: “Life Cycle Design”, “EcoRedesign” e “Green Design”.

De qualquer modo, pode-se identificar três elementos-chave na questão:

- processo de projeto envolve a tomada de decisões a respeito da forma, função e uma série de outras qualidades do produto;
- uma nova abordagem que vai além do simples objeto, em que se incluam todas as etapas da vida, é hoje considerada fundamental;
- considerações ambientais têm que ser levantadas cedo no processo de produção.

Apesar de abordar conceitos novos, já existem críticas direcionadas ao DfE, por focalizar demasiadamente melhoramentos incrementais no produto em vez de concentrar-se em novas maneiras de satisfazer as necessidades dos clientes e assim conseguir resultados ambientais além dos previstos para atingir o Fator 10.

Por enquanto, podemos enquadrar o Projeto para o Meio Ambiente no âmbito de uma série de conceitos ambientais emergentes. A raiz do DfE é o processo de projetar. Projeto é fundamentalmente um processo de inovação. Porém, os métodos de projeto, tanto associados ao desenho industrial como em outras áreas, não têm sido inseridos em

seus respectivos contextos sociais e ambientais. Tradicionalmente, os fatores de função, aparência e custos têm dominado quase por completo os processos de projeto.

A importância do projeto não é sempre reconhecida. Muitas vezes os administradores de fábricas são culpados por problemas de poluição, quando na verdade são problemas resultantes de decisões feitas por projetistas de produtos e processos em conjunto com o próprio mercado. Então, existe uma grande responsabilidade por parte do projetista em aplicar todos os métodos possíveis de reduzir os impactos ambientais que possam advir dos processos e produtos por ele projetados. A extensa vida útil de muitos produtos e processos, que freqüentemente vai de alguns anos a várias décadas, torna as decisões do Projeto para o Meio Ambiente essenciais, já que os impactos de tais decisões persistem ao longo desse mesmo período.

Alguns autores citam que 70% dos custos de manufatura e os atributos dos produtos são decididos relativamente cedo no processo de projeto (Andreasen, M.; Khiler, S. & Lund, T. *Design for Assembly*, London: IFS Publications, 1983). Graedel e Allenby (1995) também destacam o fato que estratégias de Projeto para o Meio Ambiente são mais efetivas durante as fases iniciais do projeto. Nas fases iniciais, normalmente é mais fácil alterar o projeto para adequar-se aos fatores ambientais do que nas fases subseqüentes. Por exemplo, é mais simples e menos caro reduzir emissões de gases ácidos removendo compostos de enxofre da matéria-prima do que capturá-los e tratá-los nos estágios finais do processo.

Sem dúvida, os projetistas são a força principal atrás da forma do produto pronto e do seu posterior uso. As decisões tomadas nesse estágio de desenvolvimento afetarão a quantidade e a qualidade dos materiais utilizados, os gastos energéticos, os resíduos gerados, além dos fatores tradicionais de função, custo, etc.

MUDANDO O PROCESSO DE PROJETAR

O processo de projeto é responsável por muitas mudanças que atingem a sociedade. Projeto no sentido do *design*, em inglês, é algo que define soluções para problemas novos, ou, então, cria um produto ou um processo que satisfaça a demanda da sociedade. Por exemplo, se uma área fechada demonstra claridade inadequada, então é projetado um sistema de iluminação artificial, ou meios para proporcionar o uso da iluminação natural para suprir as necessidades de luz.

Qualquer processo de projetar precisa contemplar os seguintes passos:

- reconhecimento de necessidades, a identificação do serviço a ser prestado e as limitações e restrições para tanto;
- seleção e definição do produto ou processo a ser desenvolvido, para atender ao serviço a ser prestado;
- desenvolvimento de um projeto conceitual;
- avaliação de vários modelos desenvolvidos, considerando as interações entre fabricantes, fornecedores e usuários, além do *marketing* e aceitabilidade do produto ou processo;
- desenvolvimento de um projeto detalhado, considerando todos os fatores pertinentes;
- comunicação do projeto.

Entretanto, o projeto, hoje, precisa analisar e sintetizar muito mais do que jamais visto antes. Para poder projetar algo, custos e função não são suficientes, e precisamos saber o máximo possível sobre o comportamento previsto do produto e dos usuários durante todo seu ciclo de vida. Em face desta realidade, é fundamental utilizar os processos de análise para simplificar o mundo real através de modelos e de síntese para poder juntar elementos num todo (Dieter, G. E. *Engineering Design*, First Edition, 1986). Análise e síntese permitem tomar decisões num contexto em que há relações complexas e decisões interligadas, de tal forma, que muitas entram em conflito e somente se resolvem através de trocas de vantagens e desvantagens (*trade-offs*).

Portanto, é preciso agrupar o número crescente de variáveis de projeto que deveriam ser consideradas. As variáveis genéricas básicas são:

- função;
- aparência/estilo;
- custo.

Por função podemos identificar a satisfação da necessidade básica do usuário ou da sociedade. Função pode ser associada também o conforto e conveniência. A questão de aparência e estilo não é somente o caso de se criar formas que satisfaçam esteticamente

o cliente, mas podem ser elementos orientados para destacar o produto no mercado. A luta por ser único é forte no mercado mundial. O que vale dizer que custo baixo é essencial para competir no mercado. Mais adiante veremos, repetidamente, que custo baixo é também uma importante variável de projeto ambiental.

Outras variáveis, geralmente consideradas no projeto de produtos, são:

- qualidade e durabilidade;
- fatores de segurança;
- facilidade da manufatura;
- processos de montagem e desmontagem;
- disponibilidade de materiais, equipamentos e componentes;
- facilidade de manutenção;
- confiabilidade;
- vida útil;
- conformidade com os regimentos legais;
- responsabilidade legal;
- impactos ambientais.

Tradicionalmente, a variável impacto ambiental inclui apenas os resíduos gerados no processo produtivo e, mais recentemente, no descarte do produto após uso. A lista citada destaca a abrangência de considerações importantes para o projeto de produtos e processos, porém é necessário agrupá-los e organizá-los. Estas considerações foram organizadas através da classificação em grupos de uso sistemático como variáveis. Autores como Graedel e Allenby (1995) utilizam uma forma simplificada chamada de Projeto para X (ou Design for X-DfX), onde X pode ser substituído por uma série de “variáveis”.

Assim, além das variáveis clássicas mencionadas, juntou-se a busca de qualidade de serviço e de produção, que incluem:

- **DfA:** (Assembly) – Facilidade de **montagem**, uso de peças padronizadas, etc.
- **DfM:** (Manufacturability) – Como o projeto pode facilitar a própria **manufatura** do produto.
- **DfT:** (Testability) – Projeto que leva em conta a fase de **testes** e a integração de componentes complexos.
- **DfS:** (Serviceability) – Projeto que facilita a instalação. Além de **manutenção**, reparo e modificação futura.
- **DfR:** (Reliability) – A consideração da **confiabilidade** do produto perante os problemas de cargas eletrostáticas, corrosão, resistência a ambientes variáveis, etc.
- **DfSL:** (Safety and Liability Prevention) – Projeto dentro dos padrões de segurança para prevenir acidentes e questões de responsabilidade legal. (Graedel e Allenby, 1995)

Mais recentemente a questão ambiental passou a ter uma inserção mais sistêmica no projeto, e novas variáveis são consideradas e agrupadas em:

- **DfE:** (Environment) – Projeto para o Meio Ambiente;
- **DfR:** (Recycling) – Projeto para reciclagem;
- eficiência energética;
- seleção e uso de materiais;
- transportes utilizados;
- armazenamento e embalagens.

Com base, em parte, nas críticas de uma abordagem bastante incremental, essas mesmas variáveis, e outras, podem ser consideradas dentro de um macrocontexto de projeto. Assim, cria-se uma hierarquia de estratégias de projeto que especifica quando aplicar conceitos e modificar o resultado final. Portanto, diferentes rotas “*design wheels*” foram desenvolvidas com a finalidade de ajudar o processo de síntese.

PROJETO PARA O MEIO AMBIENTE

Projeto para o Meio Ambiente pode ser considerado, então, a aplicação de diferentes fatores de projeto, de forma hierarquizada, visando reduzir impactos ambientais e custos, fomentando a eficiência. A estrutura apresentada do DfE, ou *ecodesign*, segue mais ou menos o esquema apresentado e utilizado por Five Winds International and Associates (<http://www.fivewinds.com>) e Ralf Nielsen, de Nielsen Design Consulting (ver Figura 6.3).

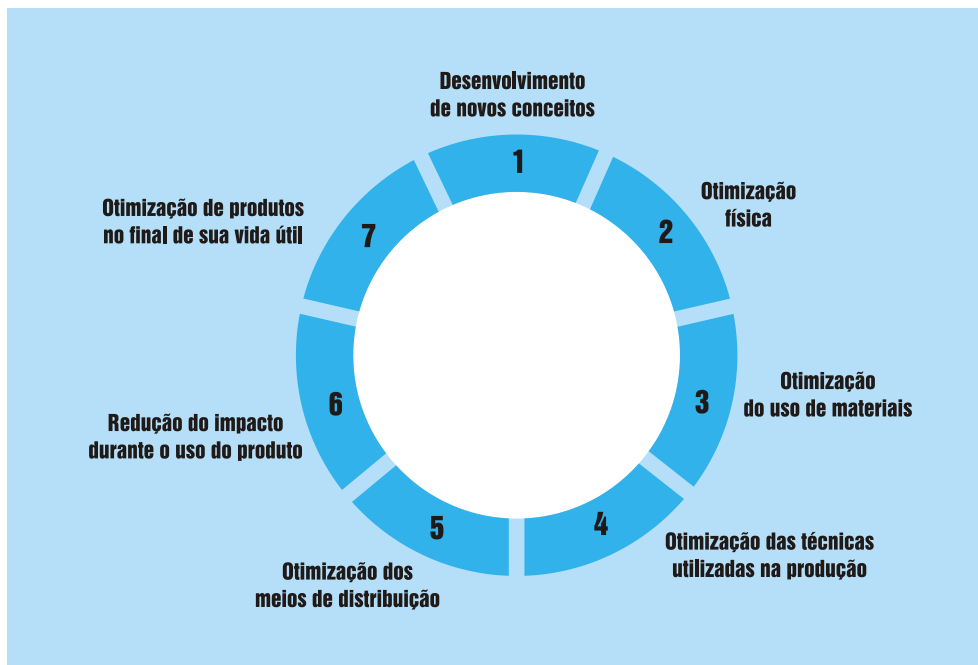


FIGURA 6.3 – ROTAS DE PROJETO – DESIGN WHEELS

Com base na estruturação da Figura 6.3, fica claro que o Projeto para o Meio Ambiente inicia-se com o *Desenvolvimento de Novos Conceitos* (1), para resolver o problema em questão. Nesse estágio, qualidades essenciais são a criatividade e a capacidade de ver antigos problemas de um outro modo.

Considera-se, nesta etapa:

- desmaterialização;
- mudança para serviços;
- partilhamento de equipamentos.

A segunda consideração do projeto é a *Otimização Física* (2), que tem como primeira prioridade o aumento da vida útil do produto, incluindo também os seguintes fatores:

- a integração das funções;
- a otimização das funções do produto;
- o aumento de confiabilidade e durabilidade;
- a facilidade de manutenção e reparo;
- a estrutura modular do produto;
- as fortes relações com quem utiliza o produto.

Em seguida vêm as tentativas de *Otimização do Uso de Materiais* (3):

- redução de materiais;
- materiais mais limpos;
- materiais renováveis e abundantes;
- materiais energeticamente eficientes;
- materiais reciclados;
- materiais recicláveis.

Ao mesmo tempo, é importante considerar a *Otimização das Técnicas Utilizadas na Produção* (4). O projeto do produto pode afetar o tipo de processo utilizado e assim gerar impactos ambientais. No geral, a produção deve minimizar o uso de materiais, evitar os compostos perigosos, fornecer alta eficiência com poucas perdas e gerar poucos resíduos. Os processos produtivos devem ser cada vez mais eficientes, minimizando paradas e evitando taxas e multas associadas à conformidade regulatória. Para tanto, deve-se considerar:

- técnicas alternativas de produção;
- menos etapas na linha de produção;
- menos consumo de energia (ver Capítulo 7);
- fontes energéticas mais limpas;
- menos resíduos;
- menos insumos.

Uma importante consideração, que não é independente das outras aqui apresentadas, é a *Otimização dos Meios de Distribuição* (5), que precisam ser sistematizados e otimizados. Entre os fatores a serem considerados incluem-se:

- embalagem;
- modo de transporte;
- modo de armazenamento e manuseio;
- logística.

Reforçando o fato de que o DfE é uma abordagem associada a todo o ciclo de vida de um produto, precisamos incluir fatores de projeto que antecipem o que acontece fora do espaço físico da fábrica. Portanto, devemos considerar algumas das seguintes alternativas para se obter *Redução do Impacto Durante o Uso do Produto* (6):

- redução no consumo de energia;
- fontes de energia mais limpas;
- redução de insumos;
- insumos mais limpos.

Depois de considerar estes outros aspectos envolvidos no processo de projetar nossos produtos, devemos considerar alternativas de *Otimização de Produtos no Final de sua Vida Útil* (7). Como sempre, soluções para o fim do ciclo não são todas iguais, e assim são consideradas de forma hierárquica:

- reuso do produto;
- projeto para desmontagem;
- remanufatura de produtos;
- reciclagem;
- descarte final.

Então, considerações conceituais de projeto, hierarquizadas sob a ótica ambiental, podem levar a novas formas de resolver problemas. Portanto, precisamos revê-los mais detalhadamente para entender como trabalhar com variáveis ambientais no projeto.

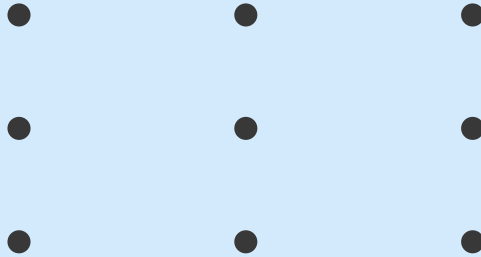
6.2 DESENVOLVIMENTO DE NOVOS CONCEITOS

Uma parte fundamental de qualquer projeto está associada ao processo de “pensar lateralmente”, ou pensar “fora da caixa”. Isso quer dizer: abordar um problema antigo de forma totalmente inovadora e, às vezes, requerendo mudanças até no contexto do problema, tanto quanto no problema em si. Tipicamente, no desenvolvimento do produto, este tipo de solução envolverá muitos atores na hierarquia da empresa, e fora dela.

São essas novas soluções que às vezes trazem “revoluções” na forma de atender a uma necessidade da sociedade. Um exemplo frequentemente citado é o uso de *e-mail* em vez da carta de papel. No caso, a necessidade de comunicação é resolvida sem os gastos materiais. Para a área industrial, a principal mudança de conceito necessário é o desvio de atenção do produto como objeto para o produto como um sistema, com um ciclo de vida que deve satisfazer os requisitos de todos os “clientes” atuais e subseqüentes.

Ao aluno:

Você conhece a famosa pegadinha abaixo?



Tente unir todos os pontos com 4 linhas retas sem levantar a caneta do papel.
E aí, quantas soluções você encontrou?

DESMATERIALIZAÇÃO

O conceito de desmaterialização leva a projetos que reduzem o tamanho do produto ao mínimo necessário, sem que sua aplicação seja comprometida. Outra possibilidade é identificar ou criar substitutos para produtos que resolvam uma necessidade sem o uso de materiais. Igualmente importante é a substituição de sistemas baseados no uso intensivo de energia, ou infra-estrutura.

É essencial, então, que os projetistas levantem em detalhe as necessidades dos possíveis usuários para realmente definir o produto ou serviço a ser oferecido. A partir disso, procura-se novas soluções. Atualmente, as tecnologias de informação e comunicação permitem novas perspectivas em problemas tradicionais.

A MUDANÇA PARA SERVIÇOS

Isto representa uma mudança radical na forma de uma empresa negociar os recursos oferecidos ao mercado. Num contexto novo, quando uma empresa fornece um serviço que um determinado produto presta, em vez do produto em si, ela assume a responsabilidade pela manutenção, reparo, reciclagem e qualquer disposição que seja necessária. Assim,

a empresa vende somente o serviço e não o objeto que fornece. O nível de controle envolvido nesse tipo de relacionamento permite que a empresa desenvolva sistemas muito mais eficientes.

Os tipos de benefícios promovidos são:

- informações atualizadas sobre as necessidades dos usuários;
- possibilidade de responder rapidamente às mudanças no mercado;
- mais controle sobre todo o ciclo de vida do produto;
- possibilidade de ter retornos não somente no uso do produto, mas também nas fases seguintes.

PARTILHAMENTO DE EQUIPAMENTOS

O uso de um produto por um conjunto de pessoas ou empresas tende a ser mais eficiente. Como foi visto anteriormente, os usuários pagarão por uma unidade de serviço utilizado, em vez de pagar para ser o dono do mesmo.

Isso permite ao projetista criar sistemas que:

- reduzam materiais e gastos energéticos;
- baixem custos de transporte;
- facilitem a reutilização e reciclagem do produto.

6.3 OTIMIZAÇÃO FÍSICA

Além dos aspectos relacionados à função, à estética, ao custo e a outros, tradicionalmente considerados pelos projetistas, no DfE devem ser incluídas considerações associadas à ampliação das funções do produto e de sua vida útil. Para esta finalidade, o projetista deve projetar as características físicas, as feições e os componentes, com o objetivo de agregar valor ao produto para o usuário.

Isso envolve não somente o estabelecimento de funções eficientemente adaptadas às necessidades do usuário, mas também um aumento na sua vida útil técnica, isto é, o tempo em que o produto funciona bem, e na sua vida estética, ou seja, o tempo em que o usuário considera o produto atrativo. É preciso, contudo, encontrar um equilíbrio entre essas considerações.

INTEGRAÇÃO DE FUNÇÕES

Combinando serviços e funções num único produto, podemos reduzir espaço e aumentar o uso de materiais.

Precisamos considerar, nesse caso, que pode haver um aumento também na complexidade do produto não somente para o usuário, mas também para o projetista.

No entanto, a integração de funções traz possíveis benefícios, como:

- uso mais eficiente de espaço;
- redução de materiais (desmaterialização) e redução em gastos energéticos;
- mais unidades de “serviço” por unidade de transporte.

OTIMIZAÇÃO DAS FUNÇÕES

Pode ser importante reunir funções num único produto, mas é igualmente importante identificar funções supérfluas e eliminá-las. É preciso descobrir quais são as funções primárias e as secundárias, e saber se são de natureza utilitárias ou estéticas.

AUMENTO DA CONFIABILIDADE E DURABILIDADE

São considerações até de certa forma tradicionais, mas que têm sua importância redobrada quando consideradas sob o enfoque ambiental. O objetivo é, por um lado, considerar todos os meios para aumentar a vida útil de produtos e, conseqüentemente, reduzir o uso de recursos naturais. Por outro lado, procura-se minimizar a ocorrência de acidentes ambientais provocados pela prematura falência de equipamentos, tais como tubulações transportando produtos químicos e veículos terrestres e marítimos despejando seus conteúdos no meio ambiente. Um dos maiores programas ambientais da história recente da indústria do petróleo no Brasil foca este assunto.

A questão da confiabilidade começa com a análise dos componentes funcionais para combater o desgaste que os produtos sofrem. A durabilidade refere-se à capacidade de um produto resistir aos danos causados pelo uso.

FACILIDADE DE MANUTENÇÃO E REPARO

Trata-se, também, de técnicas utilizadas para aumentar a vida útil de um produto e assegurar que a limpeza, a manutenção e o reparo sejam feitos no tempo certo e de modo apropriado.

A manutenção depende, freqüentemente, apenas de instruções claras e simples. Quando o produto é por natureza complexo, precisa de assistência especializada, que deve considerar:

- como o produto chega ao local do reparo;
- o perfil do profissional que fará o serviço de manutenção ou reparo;
- a facilidade de desmonte do produto;
- o desenvolvimento de uma estrutura modular.

Algumas estratégias para facilitar o reparo e a manutenção são:

- indicar de forma clara e simples, com etiqueta ou selo, como o produto deve ser aberto para limpeza ou reparo;
- indicar quais as peças que devem ser limpas ou submetidas à manutenção, usando para isso, por exemplo, diferentes cores;
- indicar as peças que devem ser freqüentemente inspecionadas;
- o projeto do produto deve deixar visível os efeitos de desgaste para que os reparos sejam feitos na hora certa;
- agrupar peças que têm desgaste relativamente rápido e deixá-las acessíveis para facilitar o reparo ou a troca;
- fazer com que os componentes mais frágeis possam ser desmontados com facilidade para conserto ou troca.

Programas como o Total Production Management (TPM) têm entre os seus pilares de implementação a Manutenção Autônoma. Este pilar foca a responsabilidade da manutenção corriqueira nas próprias equipes de operação, desenvolvendo uma relação salutar entre equipes de operação e os seus equipamentos.

ESTRUTURA MODULAR DO PRODUTO

Uma estrutura modular facilita a reformulação técnica e estética de um produto, evitando sua falência prematura. Permite sua atualização através da incorporação de novos componentes durante o seu uso, reduzindo a frequência de descarte e a necessidade de sua substituição.

Portanto, projetistas devem fazer produtos que permitam:

- atualizações;
- renovação de elementos técnica ou esteticamente obsoletos;
- fácil manutenção.

FORTES RELAÇÕES COM QUEM UTILIZA O PRODUTO

Os usuários precisam considerar o projeto atrativo, não só inicialmente, mas no seu uso e manutenção. Deve-se evitar que a vida útil psicológica do produto seja curta, para evitar seu desuso com mudanças de modos temporários. Portanto, o produto deve envelhecer de forma digna, aumentando-se o tempo em que os usuários o percebem como um produto de valor.

Pode-se fortalecer a relação entre produto e usuário das seguintes maneiras:

- criando um produto que faça mais do que o esperado pelo usuário;
- projetando uma superfície que envelheça bem;
- assegurando que a manutenção e o reparo serão processos fáceis e até agradáveis;
- assegurando que a manutenção possa ser feita com segurança e com um mínimo de ferramentas hiperespecializadas;
- agregando valor em termos de projeto e funcionalidade para que o usuário tenha receio em trocar o produto.

6.4 OTIMIZAÇÃO DO USO DOS MATERIAIS

CONSIDERAÇÕES SOBRE O USO DE MATERIAIS

Os materiais devem ser utilizados de forma eficaz, dadas as suas limitações. Os tipos de limitações freqüentes são:

- quantidades finitas – alguns metais existentes na Terra têm quantidades limitadas;
- combustíveis fósseis – são essencialmente não-renováveis, porque demandam um longo tempo de formação;
- taxas de renovação e uso – a madeira, por exemplo, pode ser um recurso renovável se administrada de forma correta.

A extração de materiais deve ser feita cuidadosamente porque os processos de extração freqüentemente causam grandes impactos ambientais. No geral, os materiais selecionados devem possuir as seguintes características:

- ser abundantes;
- não-tóxicos;
- não estar sob nenhuma restrição de uso.

REDUZIR USO DE MATERIAIS

Primeiramente, precisa-se projetar produtos e processos com uso mínimo de materiais. A melhoria de projetos de reforços e estruturas internas de produtos pode ser feita para resultar num produto mais eficiente.

Vista a questão estrutural, tentamos otimizar o volume e o peso dos materiais para utilizar menos energia durante a produção, transporte e armazenamento. Além de reduzir impactos, reduz-se consumo e aumenta-se a produtividade.

Redução de peso: esta é uma forma direta e simples de limitar o impacto ambiental – quando menos recursos são extraídos, menos resíduos são produzidos e menos impactos associados ao peso durante o transporte são causados.

Redução de volume (transporte): quando um produto e sua embalagem são reduzidos em tamanho e volume, mais produtos podem ser transportados mais eficientemente num determinado modo de transporte. Deve-se considerar, nos projetos, produtos e embalagens dobráveis que possam ser empilhados e desmontados para serem reusadas.

MATERIAIS MAIS LIMPOS

Materiais tóxicos como metais pesados e solventes orgânicos e radioativos devem ser evitados, porque eles introduzem sérios riscos em todas as fases de um processo ou produto: produção, transporte, armazenamento, uso e disposição.

Materiais tóxicos: além de substâncias proibidas localmente e em acordos internacionais como os Poluentes Orgânicos Prioritários (POP), halons, CFC e HCFC, devem ser incluídos em listas de substâncias a serem evitadas dentro da fábrica e pelos fornecedores o mercúrio, o chumbo, os VOCs e o PVC (cloreto de polivinil).

Convém conhecer os avanços conseguidos por programas governamentais desenvolvidos com este propósito. Sejam voluntários, como o programa 33/50 da USEPA - (<http://www.epa.gov>), ou compulsórios, como o Toxics Release Inventory (TRI), da mesma agência. Destaque-se, ainda, o Programa de Redução do Uso de Substâncias Tóxicas (TURI), do estado de Massachusetts, nos EUA (<http://www.turi.org>).

MATERIAIS RENOVÁVEIS E ABUNDANTES

Materiais renováveis são substâncias originadas de uma planta, animal ou ecossistema que têm a capacidade de se regenerar.

Portanto, os materiais renováveis:

- não serão exauridos se forem gerenciados corretamente;
- podem reduzir emissões de CO₂ se comparados com combustíveis fósseis;
- geram resíduos biodegradáveis;
- geram emprego local através de plantações locais.

No entanto, é necessário se comparar o ciclo de vida inteiro, porque em certos casos fatores como consumo energético podem contra-indicar seu uso. Materiais plásticos podem ser menos impactantes do que papel em certas funções.

Questão para reflexão:

- O que você acha do uso de sacos plásticos x sacos de papel, nas compras em supermercados?

Autores como Graedel e Allenby (1995) sugerem, no caso de recursos não renováveis, a consideração da sua disponibilidade em escala mundial e os impactos referentes aos processos de extração. Na Tabela 6.1 eles apresentam uma visão geral da disponibilidade de alguns elementos no planeta.

TABELA 6.1 – LIMITAÇÕES GLOBAIS DE RECURSOS MATERIAIS		
Abundância de elementos na crosta terrestre superior		
Abundante	>0.1 %	Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, Si, Ti
Comum	>100 ppm	Ba, Mn, P, Rb, Sr, Zr
Relativamente comum	10-99 ppm	Cr, Cu, Ga, Li, Ni, Pb, Sc, V, Y, Zn
Não comum	1-9 ppm	B, Be, Co, Cr, Th, U
Raro	<1 ppm	Ag, Au, Hg, Pt, Sb
Traços de metais recuperados como subprodutos		
Reservatório	Traços metálicos	
Al	Ga	
Cu	As, Se, Te	
Pb	As, Bi	
Pt	Ir, Os, Pa, Rh, Ru	
Zn	Cd, Ge, In, Th	
Zr	Hf	
Classes de suprimento de elementos		
Suprimento infinito	Br, Ca, Cl, Kr, Mg, N, Na, Ne, O, Rn, Si, Xe	
Suprimento amplo	Al, (Ga), C, Fe, H, K, S, Ti	
Suprimento adequado	I, Li, P, Rb, Sr	
Suprimento potencialmente limitado	Co**, Cr*, Mo (Rh), Ni**, Pb (As, Bi), Pt (Ir, Os, Pa, Rh, Rn)*, Zr (Hf)	
Suprimento altamente limitado	Ag, Au, Cu (As, Se, Te), He, Hg, Sn, Zn (Cd, Ge, In, Th)	

Fonte: Graedel e Allenby, 1995.

* Sujeito a controle cartorial por se encontrar quase que exclusivamente na África do Sul e no Zimbábue.

**A manutenção do suprimento exige exploração do fundo marinho.

MATERIAIS ENERGETICAMENTE EFICIENTES

Materiais provenientes de processos eficientes de extração, processamento e refinamento devem ser preferidos. Normalmente, a redução do número de passos ou etapas no processo produtivo limita os gastos energéticos.

Às vezes é necessário maior gasto de energia no processo de fabricação para criar produtos tecnicamente mais apropriados e que, portanto, possam reduzir outros gastos na fase de uso. Precisa-se comparar a demanda de energia com as qualidades finais de durabilidade, firmeza, resistência a calor ou desgaste. Tendo-se estas qualidades em mente, procura-se escolher os materiais com a menor energia embutida possível.

MATERIAIS RECICLADOS

Sempre que possível, devemos usar material reciclado em lugar de extrair material virgem, deixando-o em forma reciclável após o seu uso. Materiais reciclados são utilizados quando estão disponíveis e na forma apropriada, porque são menos impactantes e menos caros do que materiais novos. O potencial de reciclagem dos materiais varia. Por exemplo:

- metais são freqüentemente recicláveis;
- madeira e produtos de papel são, às vezes, recicláveis, mas a qualidade decai a cada nova reciclagem (porque o comprimento da fibra diminui);
- alguns plásticos são recicláveis, outros não;
- materiais heterogêneos geralmente não são recicláveis.

Também deve-se considerar os benefícios de uso de materiais reciclados disponíveis, notando alguns pontos relevantes:

- a implementação de um programa de coleta nas empresas gera materiais de custo reduzido;
- o uso de materiais reciclados geralmente reduzirá a energia gasta no produto em seu ciclo de vida;
- normalmente, a fase de extração é responsável por grande parte dos gastos energéticos;

- podemos aproveitar as qualidades inerentes dos materiais reciclados, como a variação de cor e a textura.

As principais fontes de materiais reciclados são:

- materiais industriais fora de especificação, provenientes do próprio processo industrial e não utilizados;
- materiais pós-consumidos, recuperados depois do uso, num contexto industrial ou residencial.

MATERIAIS POTENCIALMENTE RECICLÁVEIS

Na falta de fontes de materiais disponíveis para reciclagem é interessante especificar aqueles que podem ser facilmente reciclados, a partir da existência de uma infra-estrutura de reciclagem funcionando ou prestes a funcionar.

Para tanto, é necessário:

- identificar quais são os materiais que são recicláveis;
- descobrir o estágio atual do sistema de coleta e reciclagem;
- garantir que o material, quando reciclado, terá uma qualidade apropriada.

O projeto do produto pode auxiliar no processo de reciclagem, portanto:

- selecione somente um tipo de material para o produto;
- deve-se trabalhar com materiais compatíveis, se não for possível trabalhar com um determinado material;
- evite contaminar metais com outros metais;
- evite materiais compostos que são difíceis de separar, como laminados;
- escolha materiais recicláveis que existam no mercado;
- evite elementos que atrapalham o processo de reciclagem, como adesivos, colas e componentes de difícil separação.

6.5 OTIMIZAÇÃO DAS TÉCNICAS UTILIZADAS NA PRODUÇÃO

O Capítulo 3 deste módulo aborda bem as alternativas de técnicas para redução de poluição que podem ser utilizadas em processos produtivos.

6.6 OTIMIZAÇÃO DE SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO

Projetos podem assegurar que os produtos sejam transportados da forma mais eficiente possível quando consideram o ciclo de movimento do produtor ao distribuidor, ao varejista e ao usuário final. Essas redes de movimento envolvem:

- embalagem;
- transporte;
- armazenamento;
- logísticas.

No geral, devemos utilizar a menor quantidade de embalagem possível, escolhendo também a mais limpa e reutilizável. O sistema de transporte também deve ser programado de forma eficiente, para evitar gastos energéticos.

EMBALAGEM

As embalagens são usadas, principalmente, para proteger os produtos e para torná-los atraentes. Entretanto, as embalagens podem contribuir significativamente para o impacto ambiental. Elas compõem, por exemplo, 30% dos resíduos sólidos em algumas localidades (Graedel e Allenby, 1995).

Devido à sua função de proteger o produto, a seleção ou projeto da embalagem deve ser dependente das condições de transporte a que o produto será submetido. Frequentemente a questão de proteção do produto é superestimada e as embalagens são feitas com excesso de material, que pode ser reduzido sem comprometer esta função.

Algumas soluções podem ser tratadas somente pelos fornecedores de embalagens; outras requerem uma cooperação entre fornecedores e distribuidores.

Alguns objetivos do Projeto para o Meio Ambiente para embalagens (em ordem decrescente de redução de impacto ambiental) são:

- nenhuma ou uma quantidade mínima de embalagem. Esta opção envolve a redução ou eliminação do excesso de proteção, decoração, etc.;
- embalagens retornáveis e/ou reutilizáveis com um sistema de devolução entre as partes envolvidas;
- embalagens recicláveis e/ou produzidas com material reciclado;
- redução de volume;
- se a embalagem tem função principalmente estética, tente usar um estilo simples;
- para facilitar o processo de reciclagem os materiais não devem conter substâncias tóxicas, pigmentos e materiais inseparáveis.

TRANSPORTE

Transporte por terra, água e ar pode causar, cada um deles, significantes impactos ambientais. Estes podem ser classificados em duas categorias:

- Operações normais. Por exemplo, o gasto de energia no uso de veículos e equipamentos e suas emissões correspondentes.
- Operações irregulares. Por exemplo, lançamento acidental de substâncias tóxicas ou perigosas durante eventos, como descarrilhamento de trem e derramamentos de óleo de navios.

As preocupações ambientais, quanto à questão do transporte, estão relacionadas:

- à distância percorrida;
- ao tempo de duração da viagem.

Nos processos em que são utilizadas substâncias tóxicas ou perigosas os riscos de lançamentos acidentais podem ser bastante reduzidos se estas substâncias forem produzidas o mais próximo possível do local onde serão utilizadas, em vez de num local distante, que exija transporte.

Geralmente pode-se atingir maiores reduções de impactos através de um programa de redução de gastos energéticos no transporte. Na escolha do meio de transporte, considera-se preço, volume, confiabilidade, tempo de entrega e distância.

Definidas estas variáveis, compara-se as várias modalidades de transporte e se avalia os seus respectivos impactos ambientais. Processo semelhante deve ser exigido dos fornecedores para todos os estágios do processo produtivo.

ARMAZENAMENTO

A depender da indústria e dos produtos armazenados, as operações de armazenamento podem se constituir em um dos focos de impacto ambiental mais relevantes. É o caso, por exemplo, do armazenamento de compostos voláteis na indústria de petróleo e petroquímica. Nesta indústria, mesmo nas operações de rotina, as principais emissões de VOCs estão relacionadas a carga, descarga e armazenamento. Esse aspecto assume uma dimensão muito maior quando se trata de substâncias de alta toxicidade e periculosidade. Nesses casos, devem ser realizados esforços especiais na logística de fornecimento e movimentação, de forma a se reduzir ao máximo a necessidade de armazenamento.

As formas de armazenagem também podem levar a outras preocupações ambientais. Por exemplo, alguns produtos devem ser mantidos em condições especiais – ambiente quente ou frio, pressurizado ou a vácuo –, e recursos de energia são usados para manter tais condições. Portanto, deve-se adequar às condições de armazenamento para reduzir gastos desnecessários. Por exemplo, sistemas de armazenamento de calor podem ser usados acoplados a coletores de energia solar, para que o recurso solar continue provendo calor, mesmo sem a presença do sol.

LOGÍSTICA EFICIENTE

O estudo cuidadoso de rotas de entrega para otimizar o tempo gasto e as distâncias percorridas pode reduzir significativamente os impactos do sistema de distribuição. Poderíamos considerar:

- motivação do pessoal que lida com os fornecedores para que estes incentivem os fornecedores a reduzir distâncias;
- introdução de formas eficientes de distribuição, como entrega simultânea de maiores quantidades de produtos;

- utilização de embalagens padronizadas;
- utilização de programas computadorizados de otimização de rotas;
- uso de fornecimento *just-in-time* (produção sem estoque) com recipientes reutilizáveis e retornáveis;
- redução da distância entre os depósitos e a linha de produção; e, melhor ainda, entre os fornecedores e a fábrica.

6.7 REDUÇÃO DO IMPACTO DURANTE O USO

Muitos produtos consomem quantidades consideráveis de energia, água e outros insumos durante sua vida útil. Além disso, recursos utilizados para manutenção e reparo podem magnificar os impactos ambientais. Portanto, deve-se dar a devida atenção aos impactos ambientais associados com o uso dos produtos.

REDUÇÃO NO CONSUMO DE ENERGIA E FONTES DE ENERGIA MAIS LIMPAS

A importância do consumo de energia na composição do impacto ambiental de produtos e processos impõe mais detalhes para sua abordagem. Isso será feito no Capítulo 7 deste módulo.

REDUZIR INSUMOS E UTILIZAR INSUMOS MAIS LIMPOS

No projeto de produtos deve-se procurar alternativas que conduzam a um menor consumo de insumos durante a sua vida útil, tais como: água, óleo, filtros, detergentes, etc. Isso foi analisado na unidade de Minimização de Resíduos, mas convém aqui lembrar que projetos inadequados são muitas vezes responsáveis por dificuldades encontradas para reduzir o uso de insumos durante a operação.

Na indústria de processo, por exemplo, as plantas são projetadas para transportar dois ou três tipos de água (clarificada, desmineralizada, potável) e um único, ou no máximo dois, tipos de efluentes. Isso dificulta a implantação de sistemas de reuso e reciclagem da água, encarecendo os esforços para minimizar o uso deste importante insumo.

Projetistas e fornecedores devem coletar informações para reduzir o impacto de insumos e produtos auxiliares.

Freqüentemente, existe diferença entre o uso indicado pelo fabricante e o uso dado pelo operador. Alguns cuidados podem facilitar um uso mais eficiente do produto:

- projetar de forma que o uso seja fácil, incluindo instruções claras;
- projetar de forma a dificultar o desperdício de insumos ou energia por parte dos usuários;
- inserir mecanismos de medição e calibragem que permitam monitorar e racionalizar o consumo dos diversos insumos utilizados no processo produtivo.

6.8 SISTEMAS PARA O FINAL DO CICLO DE VIDA

Esgotadas as possibilidades até aqui consideradas no projeto, é muito provável que o nível de desenvolvimento atual da tecnologia e dos padrões de consumo nos obrigue a pensar em um destino “final” para algumas partes ou componentes do produto.

Mesmo assim, convém considerar esta etapa não apenas no sentido de minimizar o impacto sobre um determinado corpo receptor, mas visando ao maior aproveitamento possível, seja ele imediato ou no futuro. A lógica de aumentar a eficiência do uso dos recursos naturais se mantém, mesmo que envolvendo interações de prazos maiores.

A reinserção de efluentes líquidos no ciclo natural das águas deve ser procurada considerando os aspectos tanto econômicos como de segurança. Se o projeto do processo ou produto leva em consideração a inserção final de algumas de suas partes nos ciclos naturais, haverá condições de se fazer isso com maior segurança.

A exclusão de compostos biorresistentes e tóxicos permite o aproveitamento de outros compostos orgânicos como insumos na lavoura ou no reflorestamento. As pressões de grupos ambientalistas no sentido da exclusão de plásticos contendo cloro, como o PVC, apontam para a possibilidade de um aproveitamento térmico sem o risco da emissão de dioxinas e furanos.

Os avanços esperados com o crescimento da prestação de serviços, em vez da venda de produtos, têm sentido na medida em que isto obriga as empresas a pensar sua produção na forma de ciclos fechados.

Assim, o projetista deve considerar vários possíveis cenários no final da vida do produto. Entre eles:

- é possível reutilizar o produto/os componentes/as peças?
- pode-se remanufaturar as peças/componentes e depois reutilizá-los?
- é possível reusar as peças para reciclagem de material?
- as peças podem ser incineradas seguramente?
- algumas peças devem ir para aterros sanitários ou industriais?

Aos alunos:

O próprio conceito de aterro final merece uma revisão. Os aterros não devem ser considerados como um espaço de confinamento final, mas como um local de armazenamento provisório, enquanto as tecnologias ou a demanda pelos materiais estocados não permitam ou justifiquem economicamente seu aproveitamento. Isso obriga a se pensar em mecanismos para se passar informações para o futuro, no sentido de tornar viável, em prazos mais curtos, o reaproveitamento dos compostos depositados.

REUSO

O melhor projeto permite que o produto seja reutilizado quase por completo, para a mesma aplicação ou para uma outra diferente. Quanto mais o produto mantiver sua forma original melhor, do ponto de vista ambiental. Esse conceito, obviamente, depende da existência de programas de devolução e reciclagem.

O reuso depende da:

- vida útil técnica, estética e psicológica;
- existência de mercado secundário para produtos usados;
- infra-estrutura de manutenção e reparo.

O projeto de produtos deve, ainda:

- prolongar a vida útil;
- ser o mais útil/agradável para usuários sucessivos;
- usar tecnologia confiável e componentes de qualidade para manter o valor do produto;
- prever limpeza, manutenção e atualização.

PROJETO PARA DESMONTAGEM

Para otimizar o final do ciclo de vida de um produto é importante considerar a previsão do desmonte, levando em consideração fatores como a vida útil das peças/componentes, sua padronização, requisitos de manutenção e instruções para manutenção e remontagem. No geral, os projetistas devem tentar:

- usar juntas destacáveis em vez de soldadas ou coladas;
- usar juntas padronizadas para que o produto possa ser desmontado com poucas ou uma única ferramenta comum;
- posicionar as juntas para que não seja necessário virar ou movimentar o produto para desmonte;
- indicar no produto como abri-lo sem danos;
- posicionar as peças com desgaste parecido o mais próximo possível, para poder trocá-las simultaneamente;
- indicar no produto quais as peças que precisam de manutenção ou limpeza específica.

REMANUFATURA DE PRODUTOS

Muitos produtos ainda acabam no aterro sanitário, apesar de conterem componentes úteis. Frequentemente, esses componentes podem ser reutilizados, seja para os fins originais ou para outros. Portanto, o processo de remanufatura é importante para recuperar materiais e energia nas peças e estabelecer uma fonte confiável de peças ou componentes para novos produtos ou para reparo.

O que é importante nesse processo é:

- considerar o projeto de desmontagem;
- projetar de forma modular;
- projetar peças/componentes de fácil limpeza e reparo;
- indicar a composição das peças e seus devidos cuidados;
- considerar o processo de remanufatura no projeto original;
- considerar os requerimentos de transporte e embalagem para peças/componentes remanufaturados.

RECICLAGEM

A reciclagem, neste contexto, é uma das últimas considerações de DfE. No geral, a reciclagem é empreendida apenas se for menos danosa ao ambiente e mais econômica, quando comparada ao uso de outras fontes de materiais. Por isso, tanto na reciclagem quanto no reuso de materiais é importante considerar todos os impactos, particularmente de fatores que possam exceder o impacto causado pela utilização de materiais novos, como acontece com gastos no transporte para reciclagem.

No entanto, os processos de reciclagem são um componente muito importante do Projeto para o Meio Ambiente. Substâncias e equipamentos reciclados podem ser usados:

- em reciclagem primária – com a mesma finalidade com que foi usado originalmente (por exemplo, garrafas de vidro recicladas);
- em reciclagem secundária – aplicação menos nobre, como, por exemplo: pneus velhos podem ser desfeitos e reutilizados na fabricação de outros produtos de borracha;
- em reciclagem terciária – decomposição em material básico.

A reciclagem normalmente é mais efetiva quando implementada o mais cedo possível nos elos da cadeia industrial (*i.e.*, considerado na ordem decrescente de vantagens, é melhor reciclar ou reutilizar primeiramente o produto inteiro, depois cada uma de suas partes e, finalmente, seu material).

Vamos destacar algumas categorias importantes de materiais recicláveis:

- metais – São normalmente recicláveis, embora esta reciclagem seja dificultada se os metais forem impuros ou misturados com outros materiais;
- produtos florestais – São normalmente recicláveis, mas a qualidade do material reciclado é inferior a cada reciclagem (por exemplo, papelão reciclado produz papéis de baixa qualidade);
- plásticos – Alguns tipos, como os termoplásticos, são mais facilmente recicláveis, enquanto outros são mais difíceis ou perdem muito valor a cada reciclo;
- substâncias químicas – Às vezes são recicláveis, tendo que passar, porém, por processo de tratamento ou purificação.

Portanto, no projeto deve-se tentar facilitar o processo de reciclagem das seguintes maneiras:

- especificando materiais com mercado de recuperação existente ou emergente;
- integrando várias funções em um componente;
- reduzindo o número de materiais que compõem um produto, ou pelo menos considerando a compatibilidade dos materiais. Por exemplo: vidro/cerâmicas, plásticos, metais variados;
- considerando que materiais não similares não devem ser unidos de uma forma que dificulte sua separação. Por exemplo: parafusos são retirados mais facilmente do que soldas ou rebites;
- evitando o uso de elementos que interferem com o processo como adesivos;
- identificando materiais sintéticos com codificação padronizada;
- evitando o uso de materiais tóxicos e perigosos, porque a presença de tais materiais, até mesmo em quantidades reduzidas, dificulta a desmontagem, o reuso, a incineração e a recuperação de energia;
- considerando que se materiais tóxicos têm que ser parte do produto, estes devem ser concentrados numa área do produto para que possam ser retirados com facilidade.

6.9 O FUTURO: PROJETO SUSTENTÁVEL

Vimos até agora que os parâmetros básicos e mais citados de Projeto para o Meio Ambiente se baseiam nos resíduos – sejam eles sólidos, líquidos ou gasosos – gerados nos processos produtivos ou no pós-consumo, tendo como desafio que estes sejam:

- eliminados;
- reduzidos em quantidade;
- reciclados;
- modificados através da substituição de alguns materiais e outras ações de modo a causar menos impacto ao meio ambiente.

Entretanto, a adoção de uma abordagem simples, do tipo DfE-Projeto para o Meio Ambiente, pode não ser o suficiente para se ter um “Projeto Sustentável”, ou seja, aquele que considere aspectos sociais, econômicos e ambientais. Podemos dizer também que as decisões sobre projetos de produtos têm que ser não só integradas, mas também abranger os vários estágios da vida do produto e do processo de projetar.

Voltando agora um pouco ao Fator 10 para redução de consumo, o que corresponde a diminuir em cerca de 90-95% o impacto ambiental decorrente das atividades humanas, podemos afirmar que não é provável se atingir esta meta através unicamente de melhorias incrementais no produto, sem contar, ainda, com a hipótese de que este fator de redução pode não ser suficiente para reverter o processo de degradação ambiental atual.

Dessa forma, apontamos outro caminho a ser adotado, que corresponde à classificação do “*processo de melhoria de Brezet*”, o qual descreve a “*melhoria incremental*” como sendo o primeiro estágio de uma escala de melhorias com tempos de atuação diferentes.

Depois da “*melhoria incremental*”, e numa escala de tempo mais prolongada, há o que Brezet chama de “*reprojeto do produto*”. Este seria um estágio que realmente incorpora um grande número de considerações ambientais de vez, num produto amplamente modificado.

220 ■ Prevenção da Poluição

Segue então o terceiro estágio, onde volta a se considerar a essência da função em questão, desencadeando-se o processo propriamente dito de “inovação na função”. O último estágio pode implicar na “inovação do sistema” e nos levar ao Fator 10, se neste processo for abordado não só a função do produto, mas também o contexto dela, incluindo a infra-estrutura e sistemas de organização.

FECHAMENTO

Ao relembrar o modelo apresentado “*design wheels*” – Rotas Tecnológicas discutido neste capítulo, verificamos que este apresenta uma estrutura de projeto que leva a atingir diferentes estágios de melhoria. Quando tomamos o exemplo do processo de desmaterialização, podemos verificar que este se baseia na análise da função do produto. No entanto, podemos concluir que é preciso considerar a questão do estabelecimento de um processo de inovação sistêmica, ou seja, a inovação que considere fatores de sustentabilidade, em vez de se limitar a implementar melhorias incrementais focadas exclusivamente no produto.

Dito isso, deixamos a discussão com as perguntas:

- A melhoria incremental e o Fator 10 são suficientes?
- Se forem, como vamos além do Fator 10?

