

Ecologia industrial e o reúso da água

Biagio Fernando Giannetti ¹, Devanil Borges Júnior ² e Cecília M. Villas Boas de Almeida ³



A partir da esquerda: Biagio, Devanil e Cecília

As atividades humanas são as maiores responsáveis pela dispersão de substâncias tóxicas no meio ambiente, tornando-se urgente e necessário promover mudanças na forma de tratar os problemas ambientais. Remediar e controlar os poluentes tornou-se insuficiente, sendo necessário direcionar os esforços no sentido

de reduzir e, principalmente, prevenir o descarte de substâncias nocivas no ambiente. Nas últimas décadas, conceitos foram desenvolvidos como resposta a pressões exercidas tanto pelo próprio meio ambiente como pela sociedade. Produção Mais Limpa (P+L) e Ecoeficiência (EE) são conceitos fortemente ligados, no sentido de gerar benefícios tanto para a empresa, como para o ambiente. Na EE há uma ligação direta entre o desempenho ambiental e o desempenho financeiro, sendo o principal objetivo utilizar as reservas naturais de forma eficiente. Já a P+L tende a centralizar o foco na maior eficiência no uso de materiais, energia, processos e serviços. Dessa forma, o consumo de reservas naturais é minimizado, assim como a poluição e a quantidade de resíduos, trazendo, como consequência, benefícios econômicos e ambientais.

Esse enfoque preventivo mostrou que se pode obter benefício econômico e, ao mesmo tempo, minimizar a poluição. As práticas de P+L e EE já estão disseminadas em várias empresas e têm como principal característica a avaliação detalhada de todas as etapas de um processo, a fim de otimizá-lo. As ações para categorizar todas as operações de uma indústria e acompanhar todos os passos de fabricação de um produto acabam, inevitavelmente, levando

a um conhecimento profundo de cada sistema, permitindo, principalmente, a análise das interações do produtor com outras partes interessadas, sejam elas fornecedores, consumidores de subprodutos ou consumidores finais, ou seja, o Metabolismo Industrial. Nesse contexto, a analogia entre sistemas industriais e ecossistemas vem ganhando força e levando a considerações sobre as interações do sistema com o meio ambiente, por meio da Ecologia Industrial (EI) (Fig. 1).

A analogia com os ecossistemas permite um passo além: fechar os ciclos de materiais e energia com a formação de uma ecorrede (Fig. 2) que “imita” os ciclos biológicos fechados. A EI propõe, portanto, fechar os ciclos, considerando que o sistema industrial não apenas interage com o ambiente, mas que é parte dele e dele depende.

A EI é uma nova abordagem que, com menos de três décadas, já se encontra amplamente reconhecida pela forma sistêmica com que analisa a antroposfera, seus produtos, resíduos e a interação destes com o meio ambiente. Nesse sentido, o sistema industrial e o de serviços serão planejados e deverão operar como um sistema biológico dependente do sistema natural. O desenvolvimento da EI pretende oferecer um quadro conceitual para interpretar e adaptar a compreensão do sistema natural e aplicar essa compreensão aos sistemas antropogênicos. Busca assim alcançar um padrão de desenvolvimento que seja não só mais eficiente, mas também intrinsecamente ajustado às tolerâncias e características do sistema natural. Essa abordagem envolve (ALLENBY, 1999):

- A criação de ecossistemas industriais, com ênfase na ciclagem do material no sistema, na otimização do consumo de energia, na minimização do resíduo gerado e na reavaliação dos resíduos como matérias-primas,

¹ Professor titular do ICET e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista – UNIP. Coordenador do LaFTA (Laboratório de Físico-Química Teórica e Aplicada). E-mail: biafgian@unip.br. ² Pesquisador do LaFTA (Laboratório de Físico-Química Teórica e Aplicada). E-mail: junior.devanil@click21.com.br. ³ Professora titular do ICET e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista – UNIP. Pesquisadora do LaFTA. E-mail: cmvbag@unip.br.

que seriam utilizadas, se possível, dentro do próprio sistema.

- Controle dos materiais retirados da natureza e dos resíduos descartados no ambiente, preservando as reservas naturais e eliminando o despejo de substâncias tóxicas.
- Desmaterialização dos produtos e diminuição do consumo de energia.
- Simplificação dos processos industriais, se possível, imitando os processos naturais, altamente eficientes.
- Promoção do desenvolvimento de novas fontes de energia, amigáveis ao meio ambiente e provenientes de reservas renováveis.
- Promoção da integração entre empresas, regiões e países para desenvolver programas de caráter ambiental.

Na EI, o objeto de estudo é a inter-relação entre empresas, entre seus produtos e processos em escala local, regional e global (Fig. 2). Porém, mais importante, é o estudo das interações entre os sistemas industrial e ecológico e, conseqüentemente, os efeitos ambientais que estas empresas causam tanto nos componentes bióticos, como nos abióticos da ecossfera. Analisando as empresas individuais como subsistemas de uma ecorrede, observa-se que os limites de cada empresa aumentam, passam pelo ambiente e pelos serviços necessários para seu funcionamento. O objetivo da EI neste contexto é estabelecer o total uso/reúso de reservas para que o sistema não descarte nenhum resíduo, ou seja, emissão-zero.

Utilizando a análise sistêmica proposta pela EI, pode-se utilizar algumas ferramentas poderosas como o primeiro princípio da termodinâmica, que possibilita o balanço de materiais e energia dos sistemas. Outra implicação é que os materiais extraídos do ambiente natural para a produção de bens e serviços devem, certamente, retornar ao ambiente de forma degradada. Muitas das ferramentas desenvolvidas para avaliação de manufaturas e produtos podem ser adaptadas para qualquer tipo de sistema de produção ou serviços. Entre essas ferramentas, podemos citar a avaliação de ciclo de vida e o projeto para o meio ambiente (GRAEDEL e ALLENBY, 1995). Ferramentas desenvolvidas inicialmente para avaliar os sistemas naturais, como a análise emergética, também, podem ser adaptadas com grande sucesso (ODUM, 1996). Esta metodologia oferece grandes vantagens: (i) permite contabilizar recursos naturais (renováveis e não-renováveis) e

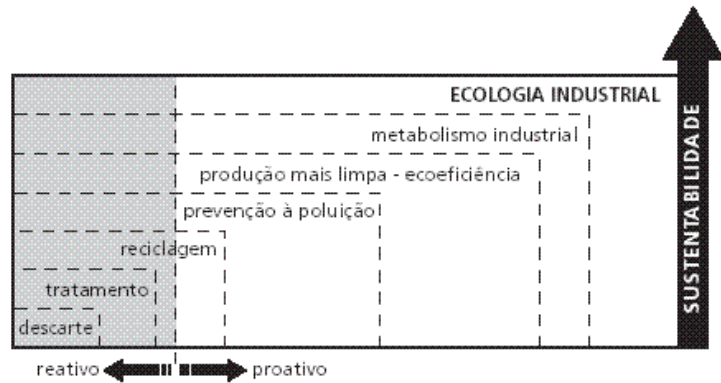


Figura 1
Estratégias para reduzir os impactos ambientais.

aqueles provenientes da economia com a mesma unidade (seJ, joules de energia solar) e (ii) a obtenção de indicadores quantitativos, que permitem a comparação entre os mais variados sistemas.

Avaliação do reúso de água sob a ótica da EI

Para ilustrar a relação entre a EI e a utilização da água, pode-se citar o exemplo da lavagem de veículos de transporte coletivo. Este serviço, apesar de simples, consome grandes quantidades de água, um recurso natural.

Nos processos convencionais de lavagem de ônibus, a água utilizada provém da rede pública ou de poços artesanais e é descartada após utilização em corpos d' água (Fig. 3a). Uma das empresas, porém, utiliza um sistema de captação de águas pluviais. A água captada é armazenada em um reservatório, sendo utilizada juntamente com a água retirada do poço artesiano na lavagem dos ônibus. Toda a água, depois de utilizada, é enviada para uma estação de tratamento de efluentes (ETE), para então ser novamente reutilizada na lavagem dos ôni-

Figura 2
Representação de uma ecorrede, mostrando a otimização dos fluxos de materiais/energia devido à formação da rede. Os fluxos de produto não estão representados, somente aqueles que caracterizam uma ecorrede.

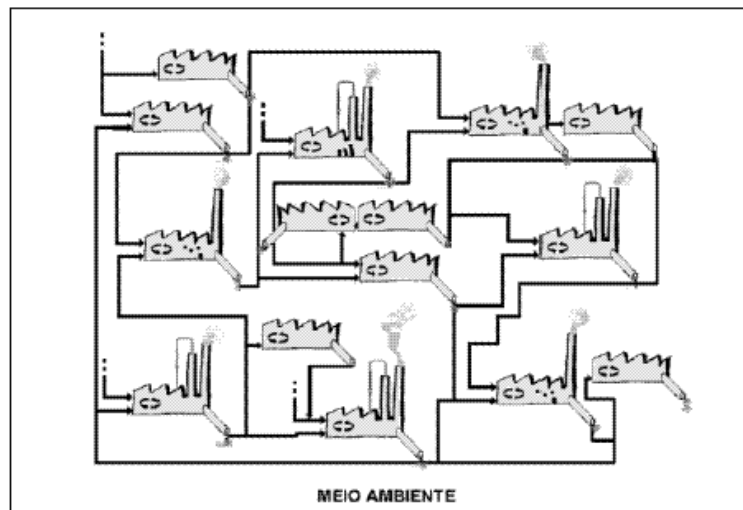
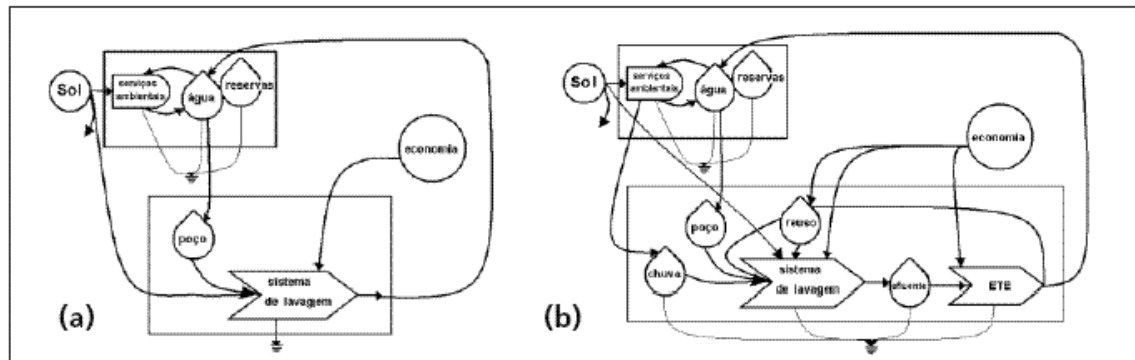


Figura 3
Diagramas de energia do processo de lavagem de veículos urbanos: (a) sistema convencional e (b) sistema com captação de água de chuva e reúso de água.



bus, fazendo com que o sistema se aproxime de um ciclo fechado (Fig. 3b).

A empresa que utiliza este processo de lavagem alternativo economiza no consumo de água e no pagamento da taxa de esgoto, tornando-se, assim, mais competitiva no mercado, apesar do investimento em obras civis, compra de equipamentos, monitoração da qualidade da água e manutenção do sistema.

A análise emergética permite verificar se a empresa faz captação de águas pluviais e o reúso da água, além de contribuir para a diminuição do desperdício da água doce, também contribui efetivamente para a sustentabilidade do meio ambiente.

O principal objetivo da EI é transformar o caráter linear do sistema industrial em um sistema cíclico, no qual matérias-primas, energia e resíduos sejam sempre reutilizados. A criação de ecossistemas industriais, com ênfase na ciclagem do material no sistema, pode ser associada às práticas de P+L e é essencial no caminho da EI. Entretanto, mais importante é a possibilidade de se avaliar quantitativamente os resultados obtidos.

Os índices emergéticos calculados para os processos de lavagem (a) e (b) são mostrados na tabela 1 e permitem avaliar quantitativa-

mente a relação entre os recursos empregados, direta ou indiretamente, para a implantação do processo e sua operação. Os índices calculados mostram que o processo (b) que capta água de chuva e reusa a água de lavagem apresenta rendimento emergético três vezes maior que do processo convencional, indicando que a exploração de recursos em relação ao investimento econômico é eficiente. A mesma observação pode ser feita com relação aos valores de investimento emergético. O índice de carga ambiental mostra que o impacto do processo (b) no ambiente é menor que o do processo (a), mostrando quantitativamente que o processo (b) é 500 vezes mais nocivo ao ambiente.

O índice de sustentabilidade (SI) faz uma relação entre a carga ambiental relativa ao processo e o rendimento emergético do processo. Quanto maior o rendimento e menor a carga ambiental, maior será sua sustentabilidade. Em geral, processos com SI maior que cinco são considerados sustentáveis em longo prazo e não-sustentáveis os processos com SI menor que um, (BROWN e ULGIATI, 1998). Na tabela 1, pode-se observar a situação dos dois processos estudados.

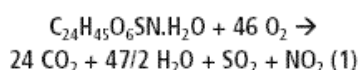
Se há intenção de se alcançar a sustentabilidade, devem ser incluídas as interações com o ambiente por períodos maiores de tempo e também

Índices emergéticos		Processo (a)	Processo (b)	Processo (a1)
Rendimento emergético	$EYR = \frac{Y}{F} = \frac{R+N+F}{F}$	1,16	3,30	1,02
Investimento emergético	$EIR = \frac{F}{N+R}$	6,16	0,43	0,52
Carga ambiental	$ELR = \frac{N+F}{R}$	228,23	0,46	232,88
Sustentabilidade	$SI = \frac{EYR}{ELR} = \frac{\frac{Y}{F}}{\frac{N+F}{R}}$	0,01	7,18	0,00

Tabela 1 - Índices emergéticos do processo de lavagem de veículos urbanos: (a) sistema convencional e (b) sistema com captação de água de chuva e reúso de água. R, recursos renováveis; N, recursos não-renováveis; F, recursos da economia.

considerar um espaço mais abrangente, para além das vizinhanças da empresa. Ou seja, deve-se levar em conta não só o processo em si, mas também sua interação com o ambiente. Na figura 3, pode-se observar um fluxo, que deixa os processos e retorna ao ambiente. No caso do processo convencional (a), o fluxo é o efluente do processo de lavagem, composto por água, poeira, xampu e óleos. No caso da empresa (b), considera-se o fluxo tratado livre de xampu e óleos.

Considerando apenas o xampu utilizado, pode-se calcular a demanda teórica de oxigênio (DT_oO), ou seja, a quantidade de oxigênio do ambiente necessária para oxidar o xampu presente no efluente, o dodecil benzeno sulfonato de trietanolamina. A equação da reação de oxidação neste caso é:



Conhecendo-se a massa molar dos reagentes, pode-se calcular que são necessários 46 mols (1472 g) de oxigênio para oxidar 1 mol de xampu (493 g). A DT_oO será portanto:

$$DT_{oO} = (1472/496) \cdot 1000 = 2.3 \text{ g. L}^{-1}$$

Como o volume anual de xampu é de 7,76 10³ L ano⁻¹, para a lavagem dos ônibus da empresa (a), serão necessários 1,80 10⁴ g de oxigênio do ambiente para oxidar o efluente. A variação dos índices emergéticos pode ser observada na tabela 1 (processo a1). Nota-se que, com a inclusão dos serviços do ambiente, o rendimento emergético e o SI caem, enquanto os índices de carga ambiental e investimento emergético aumentam.

A empresa (b) apresenta-se sustentável em longo prazo, com alto rendimento na exploração de recursos naturais e com baixa carga ambiental, pois segue preceitos da EI:

- A imitação de um ecossistema, enfatizando a ciclagem, a minimização do resíduo gerado e a reutilização dos resíduos como matéria-prima utilizada no próprio sistema (água).
- Controle dos materiais retirados da natureza e dos resíduos descartados no ambiente, preservando as reservas naturais e eliminando o despejo de substâncias que necessitam dos serviços do ambiente para sua absorção.

Comentários finais

A EI considera os sistemas industriais e de serviços como subsistemas da biosfera, isto é, uma organização particular de fluxos de matéria, energia e informação. Sua evolução deve ser compati-

vel com o funcionamento de outros ecossistemas. Parte-se do princípio de que é possível organizar todo o fluxo de matéria e de energia que circula no sistema, de maneira a torná-lo um circuito quase inteiramente fechado. Nesse contexto, uma abordagem sistêmica é necessária, a fim de visualizar as conexões entre o sistema antropológico, o biológico e o ambiente.

Práticas de P+L e prevenção à poluição devem melhorar o desempenho do processo. Entretanto, avaliações sistêmicas permitem conhecer profundamente todas as etapas de um processo e suas interações com o meio ambiente. A partir do detalhamento do processo, surge a oportunidade de utilizar as abordagens mais sofisticadas que estão sendo desenvolvidas nas últimas décadas, como a EI.

Sendo a EI uma abordagem relativamente nova, torna-se necessário o desenvolvimento de rigorosa fundamentação científica, que sustente as decisões dos projetos e a aplicação de tecnologias voltadas para o meio ambiente. Os avanços nessa área vão depender do desenvolvimento teórico, de modelos quantitativos, pesquisa empírica e experimentos de campo. O foco da ação pode ser dividido por várias esferas, como a ambiental, a econômica e a sócio-cultural para que se possa desenvolver uma cultura de cooperação. A complexidade dos problemas ambientais, aliada à necessidade de comunicação entre os vários setores envolvidos, requer a participação de especialistas em diversos campos (legislação, economia, saúde pública, ecologia e engenharia), que possam contribuir para o desenvolvimento da EI. Além dos projetos com aplicação de tecnologias apropriadas, serão necessárias mudanças nas leis e nas políticas públicas, no comportamento individual dos membros da sociedade para que se possa lidar com os problemas ambientais de forma adequada. Dessa forma, a abordagem sistêmica e a multidisciplinaridade poderão contribuir para o desenvolvimento do sistema produtivo em direção ao desenvolvimento sustentável.

Referências Bibliográficas

- ALLENBY, B. R. - Industrial Ecology: Policy Framework and Implementation, Prentice Hall, New Jersey, 1999.
- ULGIATT S., BROWN M. T. - Monitoring patterns of sustainability in natural and man-made ecosystems. *Ecol. Modell.* 1998 (108): 23-36.
- GRAEDEL, T.E., ALLENBY, B. R. - Industrial Ecology, Prentice Hall, New Jersey, 1995.
- ODUM, H. T. - Environmental Accounting – Emergy and Environmental Decision Making. Ed. John Wiley & Sons Ltd. 1996; 370