UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
PRÓ-REITORIA DE EXTENSÃO E CULTURA
DIVISÃO DE EXTENSÃO

Campus Universitário - Viçosa, MG - 36570-000 - Telefax (31) 3899-2752 – E-mail:acaoambiental@ufv.br – www.acaoambiental.ufv.br

Viçosa, 06 de março de 2006.

Prezado Senhor,

Encaminhamos a Vossa Senhoria três exemplares da revista Ação Ambiental, edição nº 34 –Tecnologias ambientais aplicadas à cadeia produtiva.

Agradecemos a sua colaboração pelos artigos publicados, pela atenção e apoio, imprescindíveis para o sucesso da revista.

Atenciosamente,

João Marcos Araújo
Chefe da Divisão de Extensão

Biagio F. Giannetti
Coordenador do Lafta-Unip

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
PRÓ-REITORIA DE EXTENSÃO E CULTURA
DIVISÃO DE EXTENSÃO

Campus Universitário - Viçosa, MG - 36570-000 - Telefax (31) 3899-2752 – E-mail:acaoambiental@ufv.br – www.acaoambiental.ufv.br

DECLARAÇAO

Declaramos que o artigo "Ecologia Industrial:aprendendo com os camelos", de autoria de *Biagio F. Giannetti, Silvia H. Bonilla e Cecília M. V. B. Almeida*, foi publicado na revista Ação Ambiental - Ano VIII - Número 34 – ***Tecnologias ambientais aplicadas à cadeia produtiva***, da Pró-Reitoria de Extensão e Cultura, editada pela Divisão de Extensão desta Universidade.

Viçosa, 6 de março de 2006.

João Marcos Araújo
Chefe da Divisão de Extensão

Ecologia Industrial: aprendendo com os camelos

Biagio F. Giannetti

Bacharel, com atribuições Tecnológicas, e Licenciatura em Química. Mestrado e Doutorado em Ciências, com área de concentração em Físico-Química.
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) da UNIP.
E-mail: biafgian@unip.br

Silvia H. Bonilla

Bacharel em Química. *Doutora em Ciências, com área de concentração em Físico-Química.*
Professora titular do ICET e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da UNIP.
Pesquisadora do LaFTA - UNIP.
E-mail: bonilla@unip.br

Cecília M.V.B. Almeida

Engenheira Química. *Mestrado e Doutorado em Ciências, com área de concentração em Físico-Química.*
Professora titular do ICET e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da UNIP.
Pesquisadora do LaFTA - UNIP.
E-mail: cmvbag@unip.br

O homem deste milênio tem uma clara percepção do poder da sociedade moderna em alterar o ambiente econômico, social e da natureza. Em parte, as rápidas mudanças do último século ocorreram de forma consciente; outras, porém, surpreenderam agradável ou desagradavelmente. Uma das surpresas desagradáveis foi o poder destrutivo e insustentável dos sistemas de produção e consumo. São inúmeras as evidências deste padrão destrutivo e, lamentavelmente, muitas delas são irreversíveis, como as mudanças climáticas e a perda da biodiversidade. Por esse motivo, torna-se cada vez mais eminente a necessidade de compreender a relação existente entre os sistemas humanos e os sistemas naturais.

A Ecologia Industrial é um novo conceito que surge para lidar com os problemas ambientais emergentes desse contexto. Com base em uma analogia que associa sistemas industriais com ecossistemas, a Ecologia Industrial considera que todos os resíduos/materiais devem ser continuamente reciclados dentro do sistema, e somente a energia solar ilimitada seria utilizada de forma dissipativa. A contribuição original desse novo conceito é a percepção de que os sistemas produtivos e naturais fazem parte do mesmo sistema, a biosfera. Essa constatação, aparentemente simples, serviu para formalizar importantes princípios, que têm por mérito visualizar os sistemas industriais como ecossistemas industriais sustentados por ecossistemas naturais. Além disso, a Ecologia Industrial traz um avanço considerável na forma de pensar. Em vez de agir localmente e a curto prazo, como nas atuais ferramentas de gestão ambiental, a estratégia consiste em agir de forma sistêmica com resultados sustentáveis (local e globalmente, a curto e a longo prazo).

Após essas considerações iniciais, cabe comentar brevemente a organização deste texto. Inicialmente são abordados o sistema industrial atual e as principais estratégias empregadas pelas empresas para lidar com os problemas do meio ambiente. Em seguida, faz-se uma analogia entre as práticas utilizadas pelas empresas e o metabolismo do camelo. São apresentadas as redes de interação que existem na natureza e que incluem os sistemas produtivos. Finalmente são apresentados o conceito de Ecologia Industrial e dois exemplos que ilustram a possibilidade de sua aplicação no Brasil. A título de discussão final, é feita uma síntese das informações apresentadas.

O sistema industrial atual

O sistema industrial vem respondendo ao problema da poluição com soluções que vão desde o simples controle dos efluentes, passando por Programas de Prevenção à Poluição (PP), até conceitos de Produção Mais Limpa (P+L) e Ecoeficiência (EE). A Figura 1 mostra, de forma simplificada, as várias transformações pelas quais o modo de tratar materiais, energia e resíduos vem passando nas últimas décadas.

O enfoque preventivo (PP, P+L e EE) mostrou que se pode obter benefício econômico e, ao mesmo tempo, minimizar a poluição. As práticas de Produção Mais Limpa, Ecoeficiência e Prevenção à Poluição já se acham disseminadas por várias empresas e têm como principal característica a avaliação detalhada de todas as etapas de um processo, a fim de otimizá-lo.

Como conseqüência da idéia de otimizar processos, categorizar todas as operações de uma indústria e acompanhar todos os passos de fabricação de um produto, inevitavelmente, alcança-se um conhecimento profundo de cada sistema, o que permite, principalmente, o planejamento de ações de longo prazo. Por outro lado, esse conhecimento detalhado do sistema leva à análise das interações do produtor com outras empresas, sejam elas fornecedores, consumidores de subprodutos ou consumidores finais.

O camelo: uma analogia entre a produção e o meio ambiente

Alguns aspectos da relação entre o camelo e o meio ambiente são destacados para refletir sobre a relação dos sistemas produtivos modernos e a biosfera.

Na maioria dos mamíferos, o amoníaco é excretado na forma de uréia

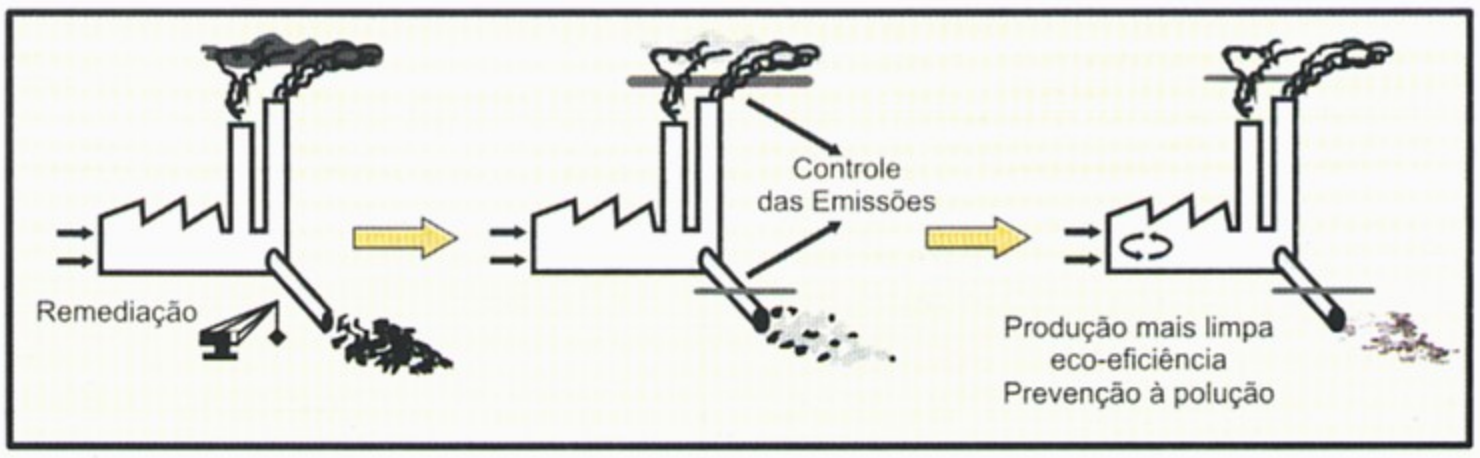

***Figura 1**- Algumas respostas do sistema industrial aos problemas ambientais.*

junto com a água da urina. No camelo, as bactérias simbióticas, que vivem em seu sistema digestivo, reciclam o amoníaco, formando preciosas proteínas. Por este motivo, pode-se afirmar que a "tecnologia" da reciclagem da água está resumida no camelo.

Enquanto os mamíferos que não expulsam amoníaco na urina podem morrer de uremia, o camelo recicla até um 95 % de seu nitrogênio, utilizando o nitrogênio desse composto "residual" para substituir moléculas de DNA, RNA e protéicas. Pelo fato de o camelo reciclar seu nitrogênio, ele precisa somente de uma ração de proteínas alimentares, que é a vigésima parte do que precisaria se não ocorresse a reciclagem. As bactérias do sistema digestivo reciclam a uréia e o camelo não necessita expulsar amoníaco e água, um recurso valioso no deserto.

Assim, o camelo sobrevive no duro ambiente do deserto graças à sua fisiologia recicladora. Após identificar a capacidade recicladora do metabolismo do camelo é possível associá-la aos os conceitos da Prevenção à Poluição, Produção Mais Limpa e de Ecoeficiência.

Quando se compara o camelo às práticas mencionadas (PP, P+L e EE) percebe-se que aspectos semelhantes se destacam: a) a redução ou total eliminação de materiais tóxicos, b) a implementação de ciclos fechados e c) o aumento da eficiência, reduzindo riscos e evitando a reciclagem externa. Enfim, o camelo é um exemplo da aplicação da máxima de produzir mais com menos.

Porém, com uma reflexão mais atenta percebe-se que o camelo "indivíduo" não existe, pois é uma congregação, uma comunidade de organismos interdependentes. Mais ainda, todos os organismos da Terra, dos mosquitos aos elefantes, apresentam essa natureza múltipla. Os únicos organismos que poderiam considerar-se singulares, como as mônadas (organismos ou unidades orgânicas diminutas e muito simples), são as bactérias. Contudo, inclusive essa apreciação é equivocada, pois as bactérias agem em conjunto na natureza, direcionando detritos, emitindo gases e alterando a composição química da atmosfera e dos oceanos em escala global.

Da mesma forma, a empresa "indivíduo" também não existe. Pode-se dizer que existe somente no mundo imaginário do intelecto. Qualquer modelo que queira encaminhar soluções para a questão da convivência dos sistemas de produção atuais e do meio ambiente deverá fazê-lo de forma mais real. Nesse contexto introduz-se a Ecologia Industrial, que se baseia na analogia entre sistemas industriais e ecossistemas, levando a considerações sobre as interações do sistema com o meio ambiente.

A proposta da Ecologia Industrial

A comparação entre sistemas naturais (Figura 2) e sistemas industriais (Figura 3) mostra semelhanças e contrastes. Há ciclos "fechados" de material e energia em sistemas naturais, mas em sistemas industriais os fluxos de energia e material são praticamente lineares, desde a extração de matérias-primas até a disposição final do produto. Outra característica dos sistemas naturais é que ocorre reciclagem de praticamente todos os materiais que circulam em um ciclo. Já nos sistemas industriais a reciclagem é muito pequena. Nesses sistemas, os materiais retirados do meio ambiente atravessam o sistema e são dissipados no ambiente de forma altamente degradada e de pouco ou nenhum uso para o próprio sistema.

A analogia com os ecossistemas permite um passo além: fechar os ciclos de materiais e energia com a formação de uma ecorrede (Figura 4) que "imita" os ciclos biológicos fechados. A Ecologia Industrial propõe, portanto, fechar os ciclos, considerando que o sistema industrial não apenas interage com o ambiente, mas é parte dele e dele depende.

Na Ecologia Industrial o objeto de estudo é a inter-relação entre empresas, entre seus produtos e processos em escala local, regional e global. Porém, mais importante é o estudo das interações entre os sistemas industrial e ecológico e, conseqüentemente, os efeitos ambientais que essas empresas causam tanto nos componentes bióticos como nos abióticos da ecosfera.

Parte-se da premissa de que é possível reorganizar os fluxos de matéria e de energia que circulam pelo sistema industrial, de maneira a torná-lo um circuito quase inteiramente fechado e compatível com a vida do Planeta. Com isso será possível tornar ambientalmente sustentáveis os sistemas criados pelo homem.

Oportunidades de aplicação de Ecologia Industrial no Brasil

• *Projeto de integração da indústria alcooleira*

No Brasil, a produção de álcool combustível também pode ser direcionada para a minimização no uso de reservas, ainda que renováveis, e a minimização do impacto no meio ambiente. Um projeto inovador, denominado Muais (Miniusinas de Álcool Integradas), propõe a integração total da produção do álcool com outras empresas. As Muais são estabelecimentos de por-

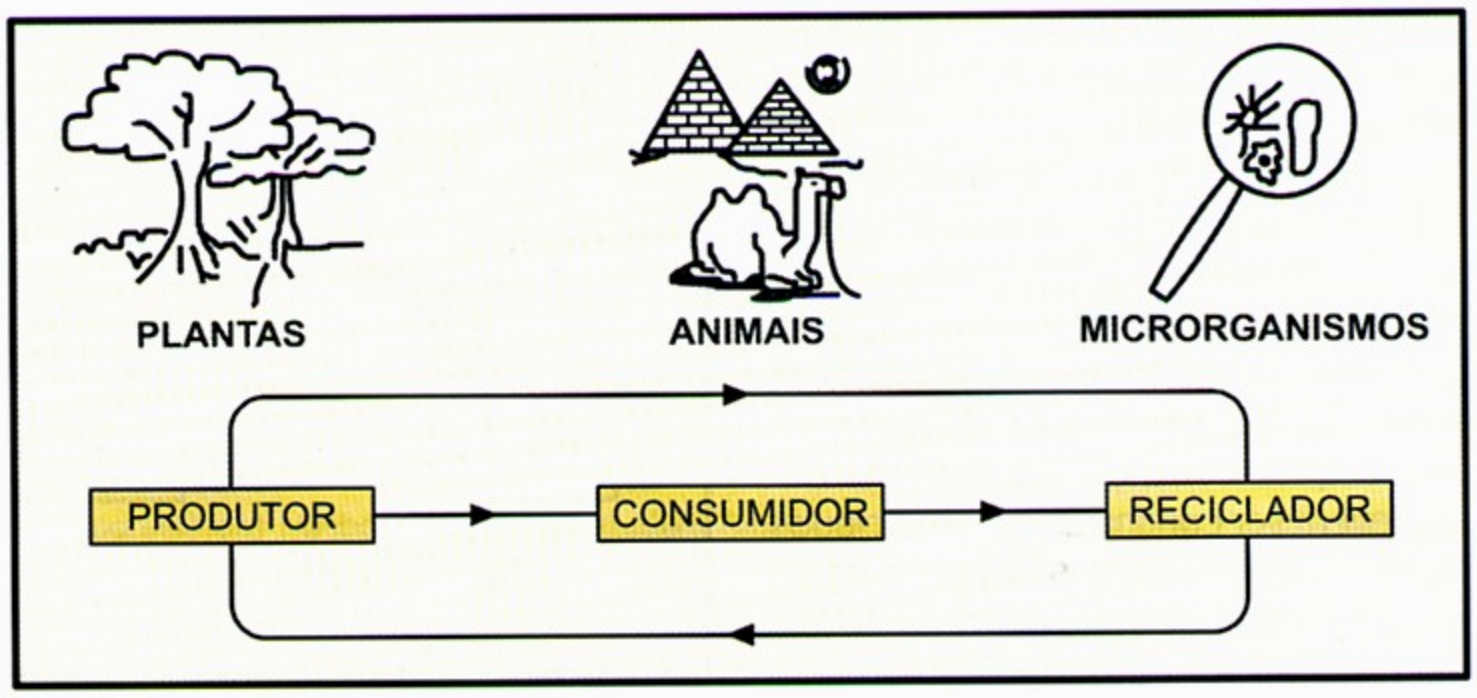

Figura 2- Componentes dos sistemas naturais - o ciclo biológico.

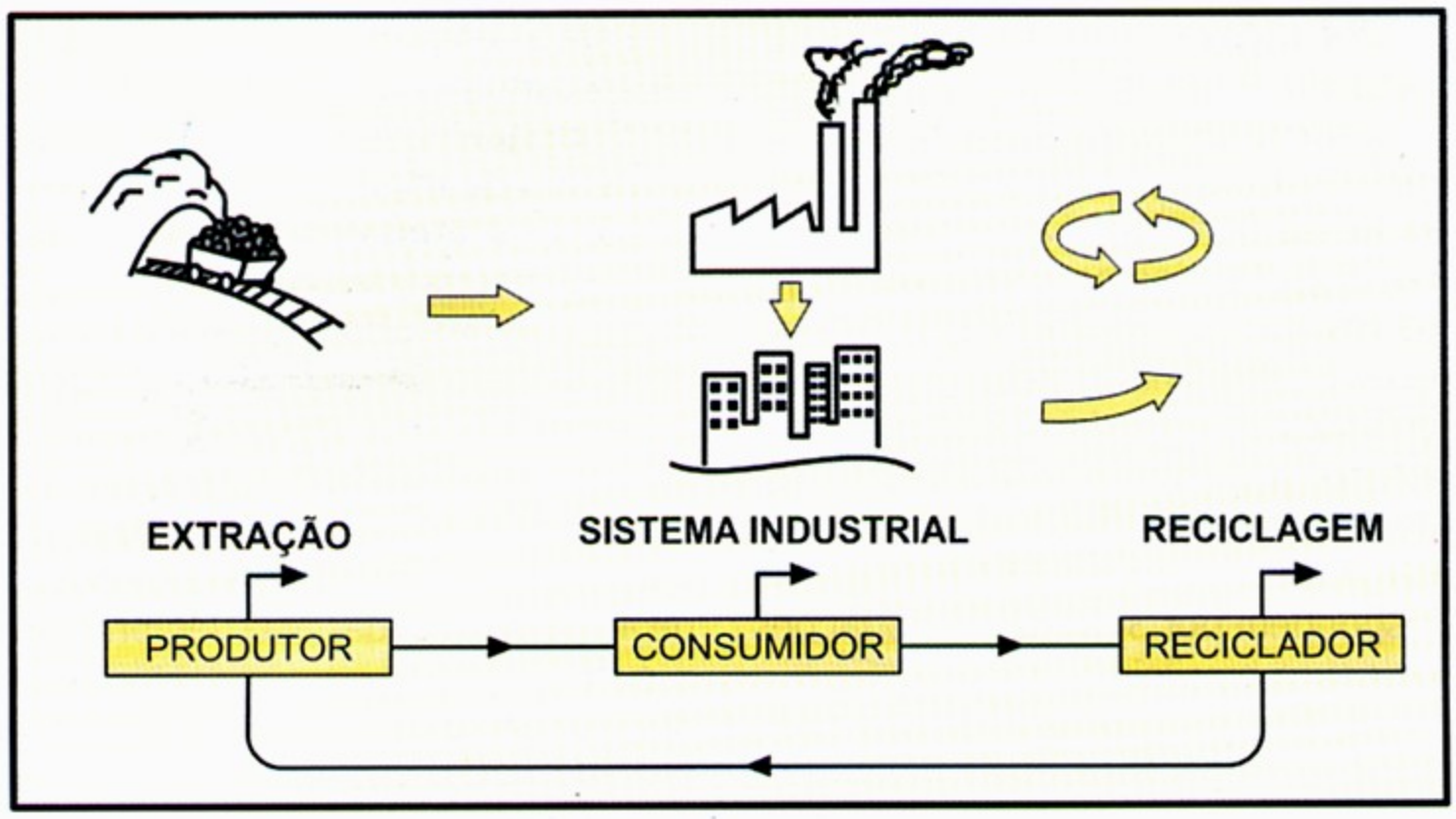

Figura 3- O ciclo das atividades industriais.

te médio que têm como objetivo principal a produção do álcool combustível. Entretanto são projetadas para produzir, além do álcool, hortifrutícolas, levedura seca usada em rações, energia e criação de gado (Figura 5)

Nas Muais, a tradicional lavoura de cana é associada à de sorgo sacarino, o que permite elevar para 12 meses o tempo de trabalho anual da miniusina, que, se dependesse somente da cana-de-açúcar, funcionaria oito meses por ano. Cada miniusina foi projetada para produzir 40 mil litros de álcool por dia, 3.630 toneladas por ano de produtos agrícolas relacionados ao sorgo e 1.130 toneladas anuais de levedura desidratada. O vinhoto, biodigerido, transforma-se em biofertilizante e biogás. Com os ponteiros da cana e do sorgo, podem-se alimentar 2.800 cabeças de gado. O bagaço da palha seca e o biogás são queimados para produção de energia elétrica. Além dessas vantagens, a instalação de miniusinas permite economizar com a importação de petróleo, gerar empregos e impostos, além de trazer benefício ambiental pela substituição de um combustível fóssil por outro gerado de matéria-prima renovável, retirando da atmosfera milhões de toneladas de gás carbônico (CO_2) durante o crescimento da cana e do sorgo.

A levedura seca pode ser usada na ração de animais, porém tem pouco valor nutricional. O melhor aproveitamento desse resíduo começou a ser implementado em 1998, pela Cooperativa dos Produtores de Cana, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo (Copersucar) e pelo Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL). Os resultados do projeto mostraram que a levedura não apenas pode ser utilizada de forma mais eficaz na ração animal, como também pode se tornar uma boa alternativa para alimentação humana. Da levedura seca foi possível separar quatro substâncias: autolisado, extrato, parede celular e concentrado protéico. Todos esses subprodutos possuem proteínas que podem ser adicionadas a produtos alimentícios. A parede celular, em pó, pode ser usada como espessante para sopas ou misturada a farinhas de trigo ou milho. O extrato protéico pode ser adicionado a vários alimentos durante a fabricação, ou na forma de tempero, acrescentando valor nutritivo a eles.

Observa-se, no exemplo retirado da indústria alcooleira, que a utilização e a troca de resíduos permitem não só diminuir o impacto ambiental, mas também agregar valor a eles, tornando-os subprodutos vendáveis.

Para maiores informações sobre esse projeto, pode-se consultar a Revista Pesquisa, v.76, p. 78-82, 2002.

• *Proposta de integração entre mineradoras e curtumes*

Outro exemplo de indústria que gera muita quantidade de resíduos é a mineração. A extração de um metal a partir de um minério produz uma quantidade de resíduos pelo menos dez vezes maior que a quantidade de produto, mesmo após anos de pesquisa e inovação tecnológica.

A mineração do carvão tem uma situação similar. Os resíduos de carvão são acumulados nas vizinhanças das minas, formando verdadeiras montanhas artificiais. Esse grande volume de

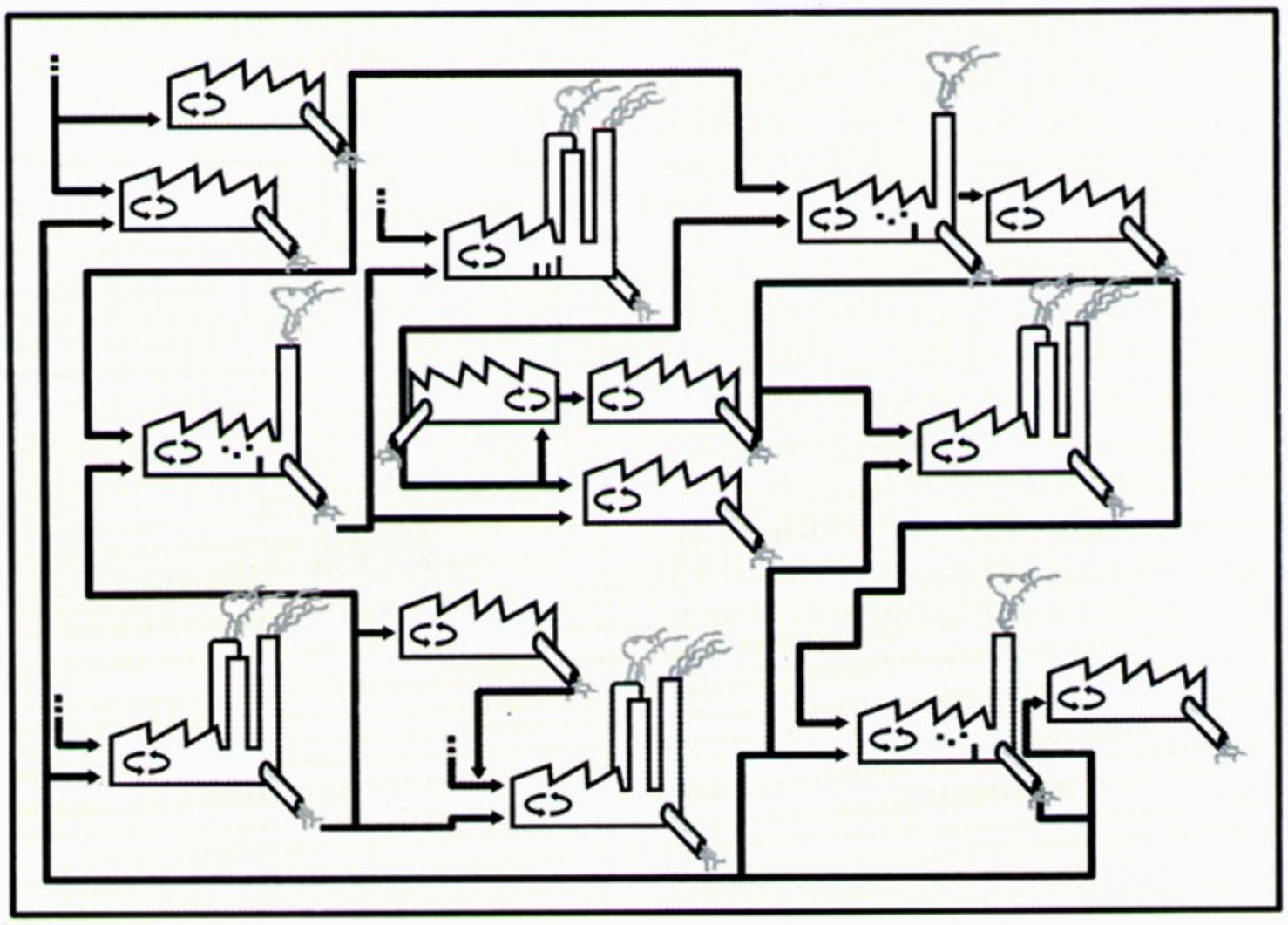

Figura 4- Representação de uma ecorrede, mostrando a otimização dos fluxos de materiais/energia devido à formação da rede. Os fluxos de produto não estão representados, somente aqueles que caracterizam uma ecorrede.

resíduos pode conter muita quantidade de enxofre, agravando ainda mais o impacto causado. O dano ambiental da indústria de mineração deve-se, em grande parte, à drenagem ácida, já que os resíduos descartados continuam nocivos por centenas de anos, após o término da vida econômica da mina.

Outra fonte geradora de grande quantidade de resíduos são os curtumes, que utilizam cromo para transformar peles em couro. O couro curtido com cromo é utilizado na manufatura de produtos para vestuário, calçados, luvas, móveis, estofamentos de automóveis e vários outros produtos de uso pessoal. Os processos para manufatura do couro geram resíduos sólidos e líquidos que contêm sais de cromo. Estes, quando descartados principalmente no solo e na água, constituem elemento de risco para o meio ambiente.

A utilização de resíduos de mineração para tratar efluentes de curtume (Tratamento 1, Figura 6) pode atenuar a drenagem ácida por descarte de sulfetos minerais, enquanto auxilia na remoção do cromo de efluentes de curtume. Paralelamente, devem-se desenvolver formas de recuperar o cromo retirado que permitam a reutilização dos sais de cromo no próprio curtume. Pode-se ainda complementar o tratamento com outras tecnologias como fitorremediação ou o desenvolvimento de materiais para garantir a qualidade final da água a ser despejada nos sistemas fluviais (Tratamento 2, Figura 6).

Condição favorável para aplicação dessa ecotecnologia é encontrada na Região Sul do Brasil. As reservas de carvão brasileiras representam uma porção significativa das fontes de energia não-renovável do País, e os maiores depósitos estão localizados no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina (Figura 7). O Paraná também possui alguns depósitos carboníferos menores. Até agora, apenas uma parcela dessas reservas foi explorada, e com o crescimento do consumo energético, a tendência é incrementar o uso do carvão como fonte de energia mais barata. O total estimado das reservas soma 32 bilhões de toneladas, devendo ser ressaltado que 87% encontram-se no Rio Grande do Sul.

Por outro lado, aproximadamente 60% do couro processado no Brasil provém de várias manufaturas e curtumes com sede no Vale dos Sinos. Dessa forma, seria razoável propor que a cooperação mineração/curtume poderia resultar na implementação de uma ecotecnologia na fronteira entre esses dois setores industriais. De acordo com a Associação da Indústria de Curtumes do Rio Grande do Sul (Aicsul), existem cerca de 90 curtumes na região, que respondem por 30% das exportações de couro brasileiro.

As duas atividades mineração e curtume, desconectadas no momento, poderiam promover uma interação, que resultaria no primeiro passo para a implementação da Ecologia Industrial na região. A utilização dos resíduos da mineração para tratar efluentes dos curtumes contribuiria, simultaneamente, para diminuir a drenagem ácida da mineração e para remover o cromo dos efluentes dos curtumes. Essa abordagem implica a interação entre resíduos de dois setores industriais distintos. A grande quantidade de resíduos da mineração garantiria o volume de insumos necessários para alimentar o tratamento de efluentes nos curtumes, que não dependeriam de produções sazonais (como no caso dos resíduos agrícolas), ou da demanda de mercado, em que a geração de resíduo depende da quantidade produzida.

Para as empresas envolvidas (mineração/curtume), a ecotecnologia oferece a oportunidade de diminuir custos: o resíduo da mineração é retirado do ambiente e transformado em insumo para tratamento de efluente, e a indústria de curtume dispõe de insumo a um custo menor que o convencional para tratamento de seus efluentes. Além disso, essa prática evitaria penalizações por parte de órgãos de controle ambiental e gastos futuros para remediação de áreas degradadas. Vale lembrar que o custo estimado para reabilitar áreas degradadas é de 10 a 50 vezes mais elevado que o custo das medidas de prevenção.

A interação entre empresas leva ao compartilhamento de despesas. Por exemplo: a) a mineração, se isolada, arcaria com o custo da remoção e do combate à drenagem ácida; b) a indústria de curtume arcaria totalmente com o custo de aquisição e transporte de insumos para retirada do cromo; c) no caso da utilização de ecotecnologia, ambas dividiriam parte dos custos envolvidos em a e b.

Como benefício ambiental, tem-se a redução de resíduos e de poluentes. Pode-se considerar que o benefício mais importante é a diminuição da demanda por recursos naturais, pela reutilização de resíduos. Esses benefícios estariam contribuindo para se atingir o desenvolvimento sustentável.

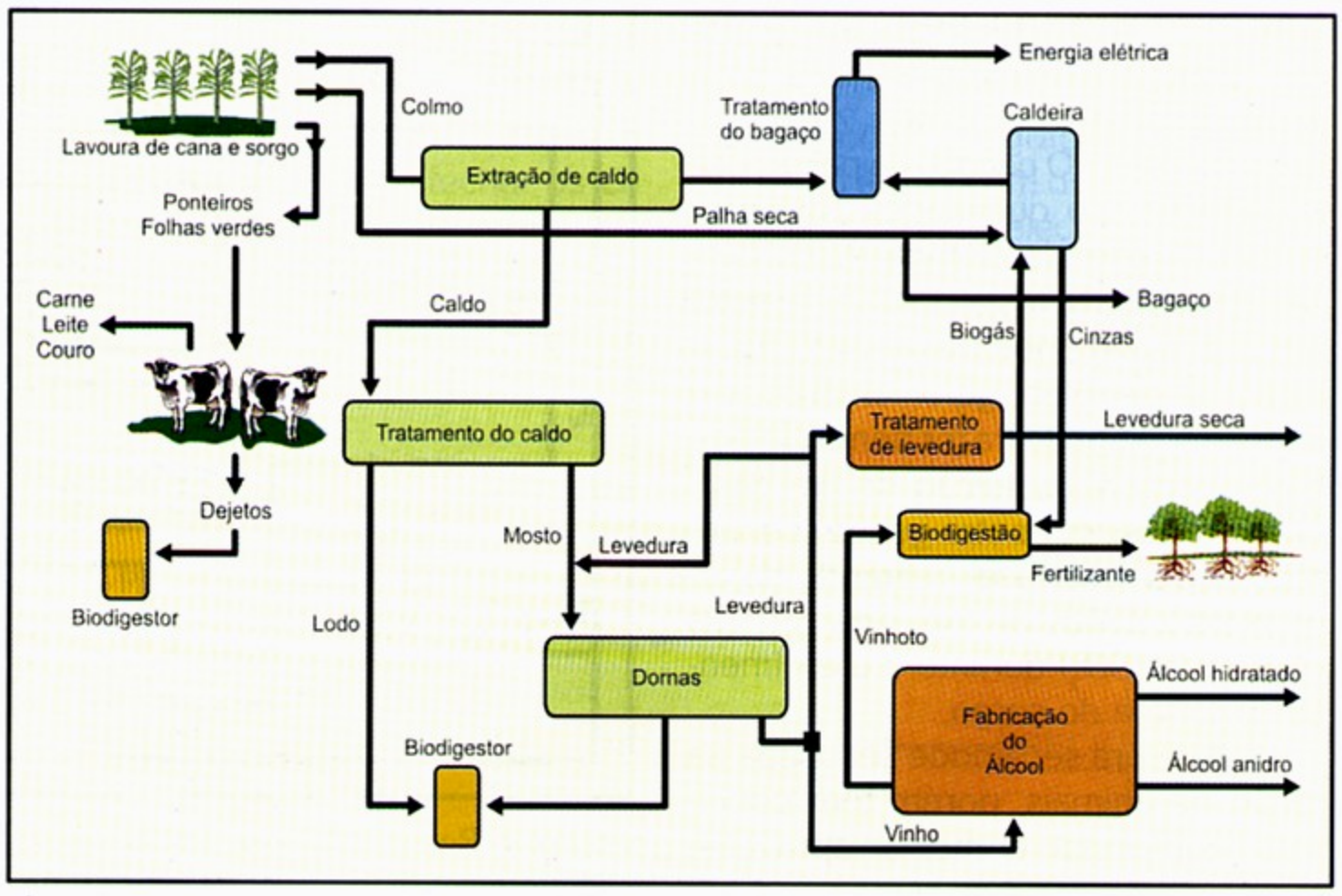

Figura 5 - Esquema de funcionamento de uma miniusina de álcool integrada (Muai).

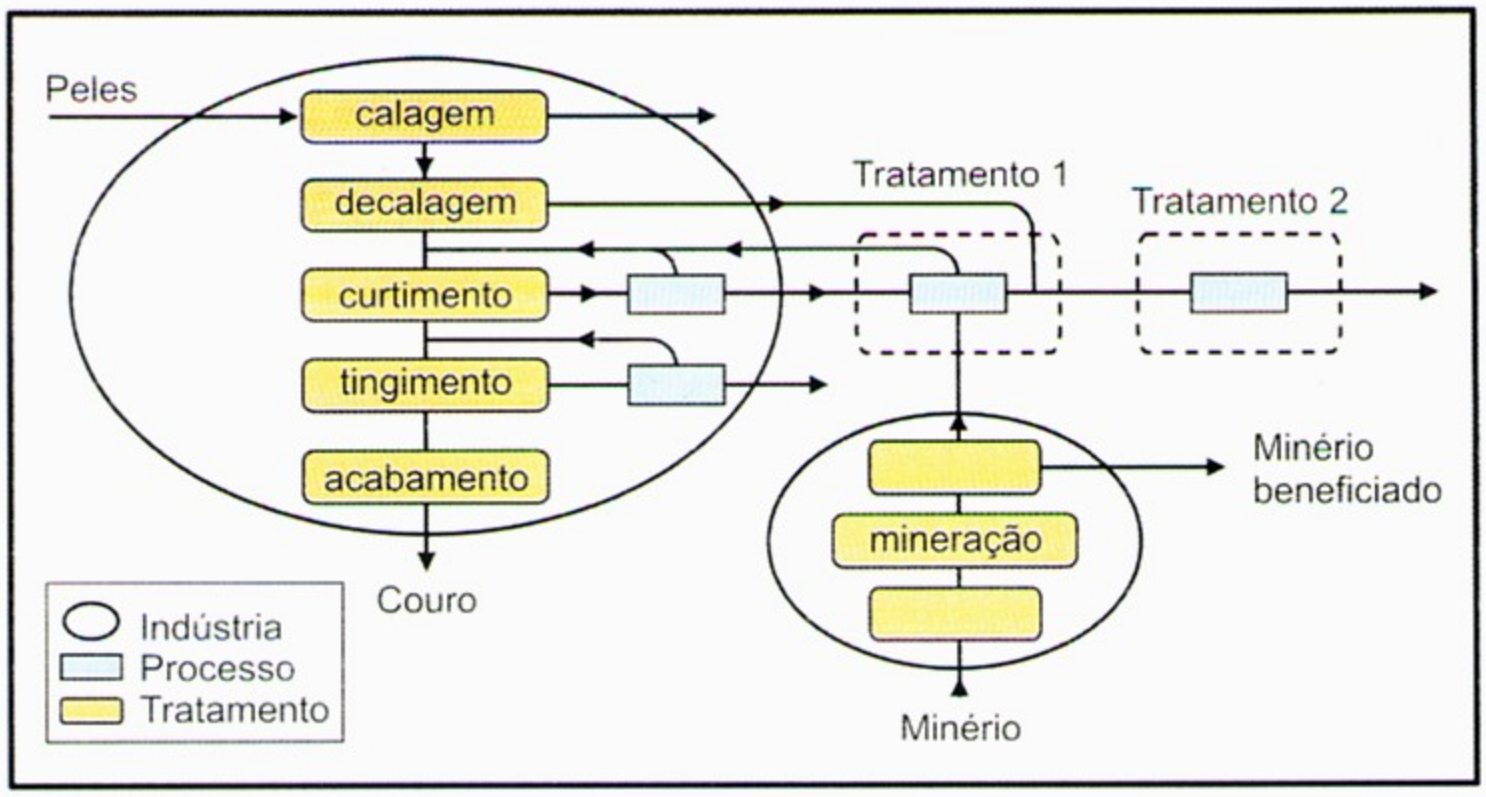

Figura 6 - Esquema do uso de resíduos de mineração no tratamento de efluentes de curtumes.

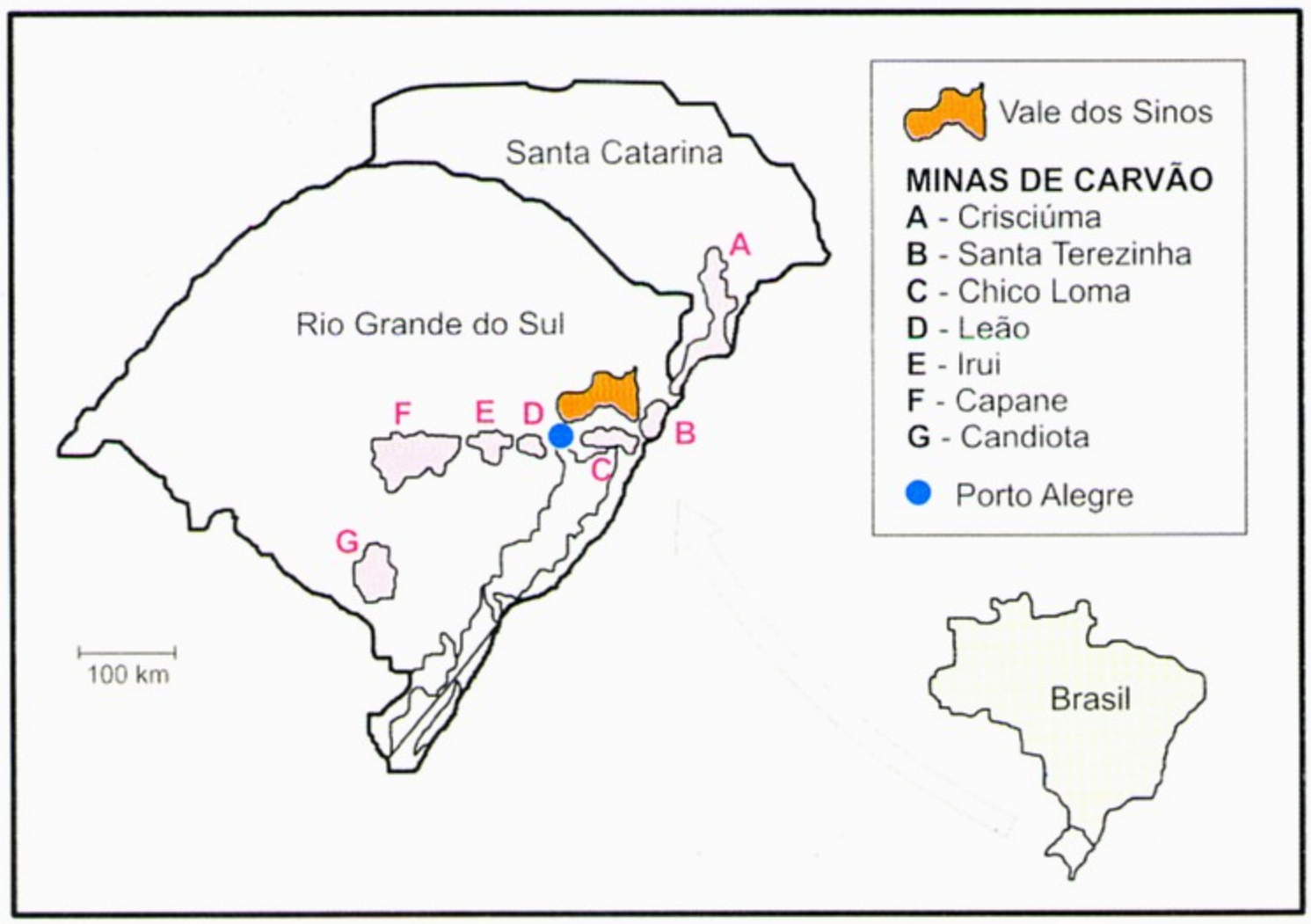

Figura 7 - Reservas de carvão no sul do país e a localização do Vale dos Sinos.

A provável melhora no desempenho econômico das empresas envolvidas resultará em desenvolvimento econômico da comunidade local. Esse tipo de interação entre empresas possibilitará novos empreendimentos regionais, criando novos postos de trabalho, gerados direta ou indiretamente pela ecotecnologia. A redução dos resíduos sólidos e de metais tóxicos nos efluentes líquidos diminui os gastos públicos com infra-estrutura e manutenção de instalações de tratamento de águas e esgotos. A qualidade de vida local, melhorada ou conservada, diminuirá os gastos na área da saúde pública.

Mais detalhes sobre essa proposta podem ser obtidas no trabalho "Developing eco-technologies: a possibility to minimize environmental impact in Southern Brazil", publicado pelos autores deste artigo no Journal of Cleaner Production, v.12, p.361-368, 2004.

Comentários finais

Nesses exemplos vimos como a Ecologia Industrial procura transformar as atividades industriais de modo a formar ciclos mais fechados, pela minimização da dissipação de materiais e também de energia.

Uma grande inovação da Ecologia Industrial é introduzir, por meio da visão holística do sistema, o conceito de cooperação entre empresas de diversos setores. Esta cooperação implica a participação de várias áreas do conhecimento. A análise da Ecologia Industrial não se limita à empresa, ou a um certo setor, mas a uma rede de empresas localizadas em uma determinada região e para as quais um espaço físico pode ser delimitado. O foco da ação deve ser dividido por várias esferas, como a ambiental, a econômica e a sociocultural, 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: leis, economia, saúde pública, ecologia e engenharia, que podem contribuir para o desenvolvimento da Ecologia Industrial. Além dos projetos com aplicação de tecnologias apropriadas, serão necessárias mudanças nas leis e nas políticas públicas, como também 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.

Cabe reconhecer que a interação entre diferentes setores industriais terá dificuldades e encontrará resistências. O sucesso na implementação de eco-tecnologias vai depender de um novo tipo de colaboração, entre instituições públicas e empresas locais, e de uma nova visão dos profissionais envolvidos.

Os autores têm desenvolvido pesquisa em Produção Mais Limpa e Ecologia Industrial. Os resultados dos trabalhos acadêmicos tem sido publicados na revista internacional de maior repercussão em Produção Mais Limpa, o Journal of Cleaner Production. O Programa de Pós-Graduação da UNIP destaca-se nesta área por ser a única Instituição de Ensino Superior Brasileira que possui Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, reconhecido pela CAPES, com área de concentração em Produção e Meio Ambiente e linha de pesquisa em Produção Mais Limpa e Ecologia Industrial. No LaFTA dezenas de alunos do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção têm obtido o título de Mestre.