



ANÁLISE DE CICLO DE VIDA: UMA EXPERIÊNCIA DE ENSINO COM MODELAGEM DE PROCESSO NA PERSPECTIVA DA SUSTENTABILIDADE

Leydervan de Souza Xavier – xavierls@cefet-rj.br

Departamento de Disciplinas Básicas e Gerais

José Antonio Assunção Peixoto – jpeixoto@cefet-rj.br

Departamento de Engenharia de Produção

Lilian Martins da Motta Dias – lilian@cefet-rj.br

Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação

CEFET/RJ

Av Maracanã, 229, Bloco E, 20271-110 – Rio de Janeiro

***Resumo:** Os engenheiros das mais diversas formações não dispõem, em geral, de elementos técnicos para incorporar às suas práticas uma conduta de desenvolvimento sustentável, ainda que estejam comprometidos pessoalmente com este conceito. Por outro lado, os futuros engenheiros continuam sendo formados com orientações ao projeto, desenvolvimento e operação de produtos e de sistemas sem que haja uma alteração significativa das tecnologias aprendidas no que se refere ao novo paradigma. Neste trabalho apresenta-se uma experiência realizada por três docentes no Programa de Mestrado em Tecnologia do CEFET/RJ com mestrandos, majoritariamente engenheiros, porém de origens distintas (química, mecânica, produção, elétrica e telecomunicações), em um trabalho envolvendo a técnica Análise do Ciclo de Vida. O propósito da experiência era que os mestrandos pudessem aplicar a técnica a um contexto empírico modelando fenômenos com significados facilmente identificáveis para os observadores. A técnica pressupõe a existência de um sistema em que ocorram processos de transformação com fluxos de entrada e de saída quantificáveis. Por outro lado, a experiência pretendia que a modelagem favorecesse o acoplamento entre dimensões econômicas, ambientais e sociais, na concepção de engenharia para planejamento e operação de um processo produtivo, como se espera do exercício profissional orientado pelo conceito de sustentabilidade. Os resultados produzidos por quatro grupos de mestrandos são analisados e utilizados para avaliar a experiência em termos dos objetivos propostos e de perspectivas de empregabilidade.*

***Palavras-chave:** ACV, Educação, Sustentabilidade, Experiência de Ensino*

1 INTRODUÇÃO

O modelo de desenvolvimento econômico preponderante após a segunda guerra mundial, baseado na produção intensiva de bens de consumo, resultou no aumento da demanda por recursos naturais, especialmente o uso de energia não renovável como o petróleo e implicou no despejo crescente dos resíduos de produção no meio ambiente. A degradação ambiental e os conflitos sociais no contexto da distribuição heterogênea de renda, gradativamente, foram incorporados às discussões estratégicas dos organismos internacionais de referência, destacando-se, como marco inicial para a incorporação da questão ambiental no debate sobre o desenvolvimento das nações, a primeira Conferência da Organização das Nações Unidas (ONU) sobre o Meio Ambiente Humano realizada em Estocolmo em 1972. “Essa conferência chamou a atenção das nações para o fato de que a ação humana estava causando séria degradação da natureza e criando severos riscos para o bem estar e para a própria sobrevivência humana” (FELDMAN, 1997). Este evento foi a primeira iniciativa global visando identificar os impactos da ação do homem sobre o meio ambiente, bem como propor a adoção de um modelo de desenvolvimento que respeitasse a capacidade de renovação dos ecossistemas em substituição ao modelo fundamentado apenas no crescimento econômico. A evolução para a construção deste novo paradigma deu origem ao termo desenvolvimento sustentável cuja definição mais conhecida é aquela constante do Relatório Brundtland, em 1987, na qual descreve que o desenvolvimento de cada nação deve ser orientado no sentido de que se atendam as necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de que as gerações futuras atendam à suas próprias (MARTINS, 2006). A aceleração da obsolescência dos produtos e a diversificação da produção em geral, reduziram o tempo de utilização destes, caracterizado como ciclo de vida (tempo entre a produção e o descarte), provocando o aumento da velocidade logística e gerando impactos diretos sobre o meio ambiente, quer pela exploração de recursos, quer pela acumulação de resíduos. Por outro lado, autores como Braga (BRAGA *et al.*, 2006) questionam se à taxa de crescimento populacional se aproxima de 1,13% ao ano, os recursos naturais da Terra serão suficientes para sustentar o contingente populacional nos moldes de consumo atuais. Para estes autores, a engenharia foi a responsável pela oferta de alimentos, aumento do conforto, saúde e longevidade do ser humano, através das tecnologias de construção civil, geração de energia, transportes, comunicação, saneamento, biomédicas, agronômicas, entre outras. Porém, apesar desses benefícios, o crescimento populacional foi muito expressivo, e a urbanização e o desconhecimento científico de seus problemas contribuíram para a degradação ambiental em grande escala. Assim, surge, para os engenheiros, um novo desafio, que é o de utilizar as tecnologias e criar novas com a intenção de minimizar os impactos ambientais, já que nem sempre as práticas da engenharia levaram em consideração o ponto de vista do meio-ambiente. Esse desafio consiste em encontrar o ponto de equilíbrio, onde seja possível aumentar o conforto individual e diminuir os impactos ambientais negativos.

O desenvolvimento sustentável avança ideologicamente na sociedade contemporânea, como se pode perceber pelo crescimento de iniciativas as mais diversas na construção de uma nova cultura de consciência ecológica. Se no plano conceitual não parece haver dúvidas do crescimento dessa iniciativa, no plano operacional há uma evidente inércia dos sistemas de produção e de gestão e dos conhecimentos técnico-científicos disponíveis para que o paradigma do desenvolvimento sustentável se materialize no cotidiano da maior parte da sociedade. Os engenheiros das mais diversas formações não dispõem, em geral, de elementos técnicos para incorporar às suas práticas uma conduta de desenvolvimento sustentável, ainda que estejam comprometidos pessoalmente com este conceito. Por outro lado, os futuros engenheiros continuam sendo formados com orientações ao projeto, desenvolvimento e operação de produtos e de sistemas sem que haja uma alteração significativa das tecnologias

aprendidas no que se refere ao novo paradigma. Para Braga (BRAGA *et al.*, 2006), os cursos de engenharia ainda não estão preparados para formar profissionais com o perfil de um técnico, que deve ser competente, comunicativo, e saber associar a viabilidade econômica e técnica de um projeto com sua viabilidade ambiental.

Neste trabalho apresenta-se uma experiência realizada por três docentes no Programa de Mestrado em Tecnologia do CEFET/RJ com mestrandos, majoritariamente engenheiros, porém de origens distintas (química, mecânica, produção, elétrica e telecomunicações), em um trabalho envolvendo a técnica Análise do Ciclo de Vida. Esta técnica, objeto da norma ISO 14040, foi escolhida por dois motivos: constitui uma ferramenta útil na perspectiva de desenvolvimento sustentável de projetos e de produtos e trata-se de um modelo de representação de sistemas, portanto, bastante familiar ao modo de pensar e projetar dos engenheiros. O propósito da experiência era que os mestrandos pudessem aplicar a técnica a um contexto empírico modelando fenômenos com significados facilmente identificáveis para os observadores. A técnica pressupõe a existência de um sistema em que ocorram processos de transformação com fluxos de entrada e de saída quantificáveis.

Por outro lado, a experiência pretendia que a modelagem favorecesse o acoplamento entre dimensões econômicas, ambientais e sociais, na concepção de engenharia para planejamento e operação de um processo produtivo, como se espera do exercício profissional orientado pelo conceito de sustentabilidade. A heterogeneidade das formações de origem dos mestrandos, a ausência de experiência específica com a técnica e a generalidade do objeto de estudo foram considerados fatores interessantes que permitem cogitar a generalização desta experiência para trabalhos de graduação nas engenharias.

2 O CONCEITO DE CICLO DE VIDA

O ciclo de vida de é a história do produto, desde a fase de extração das matérias primas, passando pela fase de produção, distribuição, consumo, uso e até sua transformação em lixo ou resíduo. A avaliação do ciclo de vida leva em conta as etapas “do berço à cova” ou considerando-se o aproveitamento do produto após o uso, do “berço ao berço”, como por exemplo, está indicado na figura 1.a. O ciclo de vida pode ser caracterizado através de estágios ou etapas em que ocorrem processos diferentes. Na figura 1.b estão representados os cinco estágios de ciclo de vida de um determinado produto: extração de recursos naturais (1), a transformação de nas indústrias (2), acondicionamento e expedição (3), a utilização pelo consumidor (4), descarte ou revisão do produto já obsoleto ou defeituoso (5).

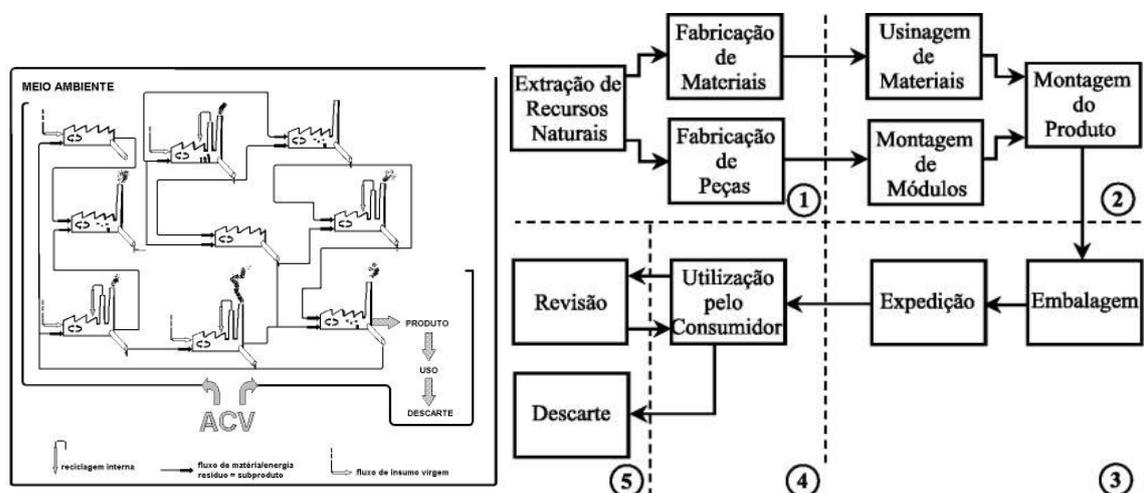


Figura 1 (RIBEIRO et al 2007) a) Esquema de uma Eco-rede, mostrando a otimização dos fluxos de materiais/energia devida à formação da rede. b) Os cinco estágios do ciclo de vida de um produto específico.

Cada estágio pode ser caracterizado por um conjunto de variáveis como as emissões que ocorrem e a quantidade de energia e matérias primas utilizadas. Considerando-se o conjunto dos ciclos, ou a vida do produto, pode-se pensar em um balanço de massa e energia em que todos os fluxos de entrada devem corresponder a um fluxo de saída quantificada como produto, resíduo ou emissão. O inventário destas grandezas leva ao conhecimento detalhado do processo de produção. Com isto, podem-se identificar pontos de produção de resíduos e sua destinação, as quantidades de material que circulam no sistema e as quantidades que deixam o sistema, determinar a poluição associada a uma unidade do sistema e identificar pontos críticos de desperdício de matéria prima ou de produção de resíduos (RIBEIRO, *et al.* 2007). Por outro lado, este inventário, por si só, permite a tomada de decisões sobre os investimentos necessários em determinadas partes do processo e a análise técnica para a escolha de soluções para os problemas determinados (reciclagem, reutilização, mudança de processo ou parte dele).

O ciclo de vida pode envolver um conjunto de estágios bem extenso, com a interação de diversos agentes agindo isolada ou interativamente em cada um deles. Na figura 2 está indicada outra forma de representação utilizada pela agência de proteção ambiental dos EUA – (US)EPA, em que aparece a fronteira do sistema sendo analisado.

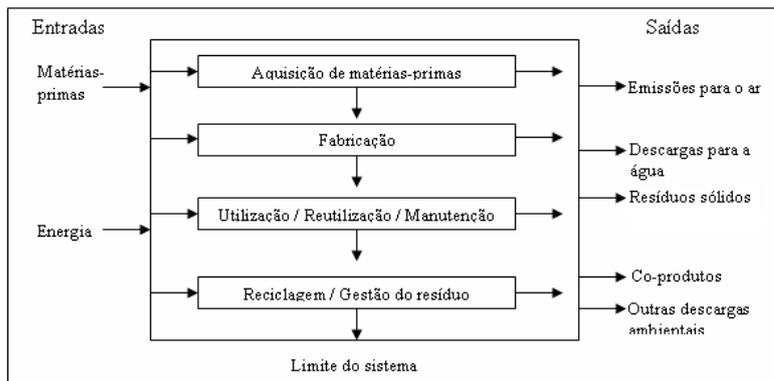


Figura 2 – Estágios do ciclo de vida do produto (Fonte: USEPA 2001)

3 A AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA

A avaliação do Ciclo de Vida - ACV (Life Cycle Assessment - LCA) é uma metodologia utilizada para avaliar o impacto ambiental de bens e serviços. Consiste em uma avaliação sistemática que permite quantificar os fluxos de energia e de materiais no ciclo de vida do produto. Segundo a EPA (Environmental Protection Agency, EUA), a ACV é “uma ferramenta para avaliar, de forma holística, um produto ou uma atividade durante todo seu ciclo de vida”. Segundo Bernardes (BERNARDES, 2006), devido a relações cada vez mais complexas das empresas com o meio ambiente, a Avaliação do Ciclo de Vida surge como uma ferramenta que possui justamente a capacidade de lidar com essas complexidades, de maneira eficiente, por descrever e avaliar os fluxos de material e energia retirados da natureza e depois retornados a ela. Essa ferramenta, constantemente aperfeiçoada e atualmente padronizada pela série de normas ISO 14040 (CAJAZEIRA& BARBIERI, 2004), tem o

objetivo de realizar a avaliação de aspectos ambientais e impactos potenciais associados a um produto ou serviço. Porém, a maior evolução está na forma como seus resultados são utilizados na gestão empresarial, já que é uma poderosa ferramenta para gerar e interpretar dados ambientais, que proporcionam uma indicação da direção que a empresa deve seguir para melhorar sua produção, gestão, design, etc.

O estudo da análise do ciclo de vida se divide, segundo a ISO14040, nas fases representadas na figura 3:

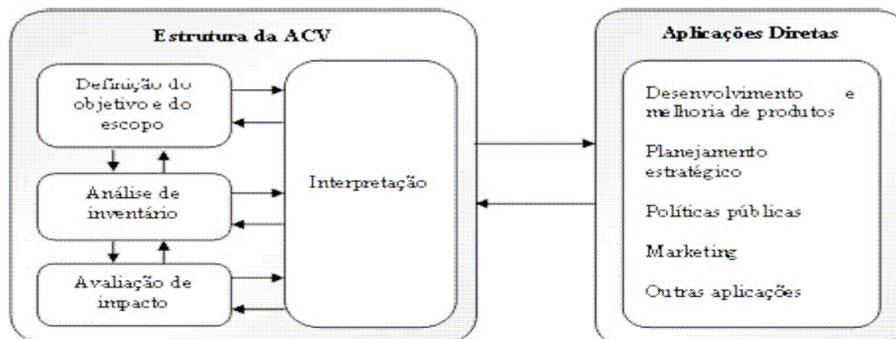


Figura 3 – Fases de uma ACV (Fonte: ISO 14040:1997)

Definição do objetivo e do escopo: nessa fase, deve-se definir e descrever o produto ou processo, estabelecer o contexto das avaliações e identificar os limites (fronteiras) e efeitos ambientais que serão revistos por esta avaliação, quais são as razões para a condução desse estudo, que decisões serão tomadas com o resultado obtido, as aplicações (internas e externas à empresa), nível de detalhamento das informações necessárias e metodologia de coleta de dados, abrangência geográfica do estudo, as unidades funcionais (massa, volume, etc).

Inventário: quantifica a energia, materiais e água utilizados no sistema analisado, e as liberações ambientais, como as emissões para o ar, resíduos sólidos e líquidos, entre outros. É nessa fase que ocorre a coleta de dados, e a quantificação das variáveis envolvidas no estudo.

Análise dos impactos ambientais: é o momento de identificar os efeitos humanos e ecológicos da utilização da água, energia, e materiais, classificando os dados do inventário de acordo com os impactos ambientais já conhecidos.

Interpretação: avaliação dos resultados, permitindo identificar e escolher os melhores processos e produtos, ou formas de melhorá-los.

Segundo FERREIRA (2004), o método possui algumas limitações, como a dificuldade na coleta de dados, que devem ser bastante detalhados; o tempo longo de levantamento e análise das informações; e a necessidade de outras ferramentas para possibilitar um completo processo de tomada de decisão, pois não realiza avaliações de custo e performance.

4 ESTUDO DE CASO

O processo proposto deveria se inserir no universo de experiências comuns ou acessíveis a todos os integrantes da turma, o que por sua formação diversa, impôs se excluíssem processos de produção dos ambientes profissionais. Por outro lado, como condição indispensável para a aplicação da técnica, seria necessário um processo de transformação com etapas, fluxos e variáveis quantificáveis. O objeto de estudo escolhido pelos docentes foi a realização hipotética de um churrasco para confraternização dos alunos, considerando-se um público alvo em torno de cinquenta pessoas adultas. As condições de contorno do problema eram livres, devendo cada grupo apresentar um projeto de evento que contemplasse as três fases básicas de qualquer processo produtivo: aquisição de insumos, transformação de

insumos em produtos, a utilização dos produtos além das etapas de descarte ou reciclagem de resíduos. Como referências teóricas foram indicadas as normas ISO 9000, 14000, 16000. O churrasco é uma atividade confraternativa típica da cultura local do Rio de Janeiro e, a princípio, tanto como rito social quanto como técnica é evento conhecido e reconhecido naturalmente por todos. A modelagem do processo pelos quatro grupos auto-formados deveria considerar o evento proposto como uma etapa piloto de uma possível série de eventos regulares, buscando-se com isto a possível otimização de variáveis de processo.

Como requisitos de projeto eram necessários o perfil dos consumidores, o consumo projetado como função da duração e do período do dia do evento, da época do ano e da localidade. O local do evento deveria ser escolhido com base na centralidade, acessibilidade e facilidade de estacionamento seguro. Foi aventada a hipótese motivadora de que a análise eleita por consenso da turma como a mais adequada seria implementada ao longo do ano letivo.

5 RESULTADOS

Os modelos desenvolvidos foram produzidos de forma independente e apresentados como exposição oral e relatório detalhado. Em linhas gerais as abordagens foram detalhadas, consistentes e coerentes com a técnica de ACV. O aspecto mais interessante foi a grande diversidade de enfoques, para um mesmo objeto e um procedimento normalizado.

O grupo A trabalhou o evento associado a um clube em que seria possível terceirizar a maioria das atividades. Neste contexto foi estudada a logística de transporte dos insumos e o deslocamento das pessoas, o custo per capita, a geração de empregos e a produção de lixo orgânico e de materiais descartáveis. A rota entre o supermercado mais próximo e o local do evento, o peso e o volume das bebidas a serem transportadas por um determinado veículo foram comparados em relação ao custo de transporte e à emissão veicular. Foi analisada a possibilidade de reciclagem das latas de alumínio e de outros materiais. As sobras do churrasco seriam distribuídas com instituição de assistência social próxima. Foi projetado um custo total e per capita e, na eventual seqüência de outros eventos, foi simulada a substituição de materiais descartáveis por louças e talheres metálicos, além da fidelização de consumidores com possibilidade de minimizar possíveis desperdícios a partir de um melhor conhecimento do perfil de consumo.

O grupo B se concentrou no processo de produção, detalhando todas as etapas de preparação das carnes e das bebidas a partir do evento realizado no play-ground do edifício de um dos alunos. A localização foi defendida por atender os critérios já indicados e, ainda, por ser próximo de um grande supermercado e de um depósito de bebidas, sem necessidade de uso de automóvel para transporte dos produtos. Este grupo analisou o perfil de consumo presumível a partir de pesquisa bibliográfica e estabeleceu custos detalhados de cada item. Elementos descartáveis e de consumo, como carvão, forma estudados e propostos modelos de emissão gasosa. Todos os produtos recicláveis foram identificados e previstos fluxos para sua destinação após o evento.

O grupo C considerou o processo de elaboração coletiva do churrasco, computando as quantidades para consumo estimadas por empresas especializadas. Em função das preferências mapeadas elaborou um cardápio e calculou custos per capita e totais. Como destaque modelou o churrasco como uma etapa do ciclo de vida da carne bovina, rastreando sua produção desde o setor agropecuário, abate, beneficiamento, transporte e distribuição até as proximidades do local do evento. A reciclagem de latas de alumínio foi apontada como estratégia para lidar com parte dos resíduos.

O grupo D adotou processo semelhante, com outra forma de detalhar os custos e, como diferencial, enfocou o ciclo de vida do alumínio usado nas latas de bebidas consumidas no

churrasco. Deste modo partiu da extração da bauxita até a distribuição da lata com bebida no supermercado mais próximo.

Cada grupo gerou representação de redes diferentes correspondentes aos fluxos escolhidos para análise. Em todos os casos o conceito de sistema e de etapas de transformação foram explorados adequadamente. Algumas das análises evidenciaram a inexperiência e, por outro lado, o quase profissionalismo dos grupos para a organização do evento proposto. As matrizes de custos e de quantidades de insumos variaram entre cada grupo moderadamente, alguns valores refletindo claramente uma experiência maior de organização. Algumas grandezas físicas associadas à emissão de poluentes pelas churrasqueiras e pela circulação de pessoas e de automóveis foram bastante simplificadas.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo do experimento foi alcançado, no entendimento consensual dos mestrandos e dos três docentes responsáveis. O conhecimento detalhado do churrasco como um processo não gerou abordagens nem de longe semelhantes em nenhum aspecto. As quatro abordagens podem ser entendidas como complementares para a representação de uma rede de processos mais abrangentes. A qualidade final das apresentações demonstrou que a técnica foi satisfatoriamente compreendida e contribuiu com um novo ponto de vista sobre um evento rotineiro da maioria dos participantes. A realização de eventos em seqüência motivaram discussões importantes sobre otimização de processos na ótica da sustentabilidade. A comparação entre o conhecimento de um evento singular e o relativo a uma série histórica de eventos ampliou produtivamente o debate sobre ACV.

Assim parece razoável afirmar que experiência alcançou a proposta de integrar ao cotidiano de alguns engenheiros conceitos de sustentabilidade, normalmente distantes de suas práticas e de seus ambientes profissionais. A linguagem e o objeto técnico de interesse se mostraram acessíveis e compreensíveis, indicando a possibilidade de disseminação para outros estudantes.

A existência de dados inventariados permitiria um desenvolvimento bem mais completo e, em alguns casos, a comparabilidade parcial dos modelos, o que no caso trabalhado não foi possível.

7 REFERÊNCIAS

BRAGA, B., HESPANHOL, I., CONEJO, J. G. L., MIERZWA, J.C., de BARROS, M.T.L. SPENCER, M., PORTO, M., NUCCI, N., JULIANO, N., EIGER, S. **Introdução à Engenharia Ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável.** ed. Pearson Prentice Hall, São Paulo, 2006.

BERNARDES, M. A. S. **Breve introdução à metodologia** Avaliação do Ciclo de Vida. CEFET MG. Belo Horizonte, 2006.

CAJAZEIRA, J., BARBIERI, J. **A nova Norma ISO 14.001: Atendendo à Demanda das Partes Interessadas.** Fundação Getúlio Vargas. 2004.

FELDMAN, F. **Entendendo o meio ambiente.** Secretaria de Estado do Meio Ambiente. São Paulo: SMA, 1997.

FERREIRA, C. **Logística Reversa:** Aspectos Importantes para a Administração de Empresas. Disponível em <http://www.guiadelogistica.com.br/ARTIGO402.htm>. Acessado em 13 de Out 2006.

FERREIRA, J. V. R. **Análise de Ciclo de Vida dos Produtos.** Gestão Ambiental. Instituto Politécnico de Viseu. 2004.

MARTINS, A.R.P. **Desenvolvimento Sustentável:** uma análise das limitações do índice de desenvolvimento humano para refletir a sustentabilidade ambiental. Rio de Janeiro, 2006, 127 f. Dissertação (Mestrado) – Engenharia de Produção, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2006.

RIBEIRO, C. M. GIANNETI, B. F. ALMEIDA, C. M. V. B. **Avaliação do Ciclo de Vida (ACV):** Uma Ferramenta Importante da Ecologia Industrial. Disponível em <http://www.hottopos.com/regeq12/art4.htm> Acessado em 10 Out 2006.

SCANDAR NETO, W.J. **Indicadores de desenvolvimento sustentável no Brasil.** 4º Seminário Fluminense de Indicadores, 2004. Cadernos de textos. Rio de Janeiro: Fundação CIDE, 2004, 116 p.

SCANDAR NETO, W.J. **Síntese que organiza o olhar:** uma proposta para construção e representação de indicadores de desenvolvimento sustentável e sua aplicação para os municípios fluminenses. Rio de Janeiro, 2006, 110 f. Dissertação (Mestrado) – Estudos Populacionais e Pesquisas Sociais, Escola Nacional de Ciências Estatísticas, Rio de Janeiro, 2006.

LIFE CYCLE ASSESSMENT: A TEACHING EXPERIENCE WITH PROCESS MODELING IN SUSTAINABILITY PERSPECTIVE

Abstract: *The Engineers from several distinct graduations normally don't find it available technical elements in order to incorporate sustainable development conduct to their own practices, although personally engaged with this concept. On the other hand, future engineers are still graduated to project, develop and operate products and systems, without any significant change in the technologies learnt correspondingly to the new paradigm. In this paper it is discussed the teaching experiment of three Professors from Master Course in Technology fo CEFET/RJ involving master students, mainly engineers (chemistry, mechanics, management operation, electrical and telecom) at about LCA technique. The purpose of that work was to stimulate students to apply LCA to phenomena in an empirical context in which meanings could be easily recognized and known for observers. LCA technique demands the existence of a system containing transformations processes with input and output fluxes accountable. On the other hand, the intention with the experiment was to make the coupling of economical, social and environmental dimensions easier, for engineer conceptions of planning and operating a productive process under sustainability perspective, like it should be demanded in professional situations. The results obtained by four students different groups are analyzed and used to evaluate the experiment against proposed objectives and in perspective of applicability.*

Key-words: *LCA, Education, Sustainability, Teaching Experiment*