



Desenho da Metodologia da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) do Etanol Combustível pelo Método CML 2000 com SimaPRO

I. D. Zapparoli ^a, S. S. da Silva ^b

a. Universidade Estadual de Londrina, Londrina, zapparoli@uel.br

b. Universidade Estadual de Maringá, Maringá, sidinei.uem@gmail.com

Resumo

O objetivo da pesquisa consiste em estudar a metodologia da avaliação do ciclo de vida (ACV) nos aspectos econômicos e ambientais concernentes à produção do etanol combustível, a partir da cana-de-açúcar. O etanol combustível por ser passível de melhorias ambientais durante seu ciclo de vida e ser alternativo frente aos combustíveis fósseis é de grande relevância estratégica para o Brasil. A estrutura metodológica está baseada nas recomendações da série ISO 14040 e será utilizado o método CML 2000, na avaliação do ciclo de vida. Serão consideradas as seguintes categorias de impacto: mudança climática; destruição da camada de ozônio; acidificação; eutrofização; ecotoxicidade de águas doces e toxicidade humana. Espera-se que este trabalho ao identificar os impactos ambientais em cada etapa do ciclo de vida do etanol combustível, possa contribuir para o debate sobre as novas formas de atuação do Estado e dos desafios e perspectivas de mercado para o setor sucroalcooleiro, após a desregulamentação da agroindústria canavieira, buscando uma melhor eficiência ambiental e econômica.

Palavras-chave: Metodologia. Avaliação do ciclo de vida (ACV). Etanol combustível. CML 2000. Agroindústria canavieira.

1 Introdução

As atividades humanas de consumo e produção industrial demandam cada vez mais consumo de energéticos. Nesse contexto, tem-se expandido no Brasil a produção do etanol a partir da cana-de-açúcar, com destaque no âmbito mundial, como matriz energética renovável e alternativa aos combustíveis de origem fóssil. Além de ser um produto renovável, o etanol tem potencial para reduzir os gases do efeito estufa. O ciclo de vida da cana-de-açúcar busca por novas tecnologias e aumento na produtividade tornam-se necessários no sentido de minimizar o empobrecimento do solo e riscos de ocorrência de surtos de pragas ou doenças e mitigar os desequilíbrios nos corpos hídricos.

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma ferramenta que permite avaliar o impacto potencial associado a um produto ou atividade durante seu ciclo de vida. A ACV também permite identificar quais estágios do ciclo de vida têm contribuição mais significativa para o impacto ambiental do processo ou produto estudado. Empregando a ACV é possível avaliar a implementação de melhorias ou alternativas para produtos, processos ou serviços.

Os estudos de ACV tiveram início na década de 60 (ACV da Coca-Cola), com a crise do petróleo, que levou a sociedade a se questionar sobre o limite da extração dos recursos naturais, especialmente de combustíveis fósseis e de recursos minerais. Os primeiros estudos tinham por objetivo calcular o consumo de energia e, por isso, eram conhecidos como “análise de energia” (*energy analysis*). O interesse por estudos de ACV enfraqueceu com a crise do petróleo. Porém, a ACV ressurgiu na década de 80 em decorrência do crescente interesse pelo meio ambiente. A partir de 1990, os estudos de ACV se expandiram muito e foram impulsionados pela normalização proporcionada pela série de normas ISO 14040.

No Brasil, os primeiros estudos de ACV começaram nos anos 2000 e a partir daí várias iniciativas estão sendo realizadas para consolidar essa importante ferramenta de gestão ambiental. Dentre essas iniciativas, destacam-se: o Projeto Brasileiro de Inventário de Ciclo de Vida (ICV), desenvolvido pelo Inmetro, Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT), Universidade de Brasília (UnB), Universidade de São Paulo (USP) e Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR); o Programa Brasileiro de Ciclo de Vida estabelecido pelo Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Conmetro); e o Projeto do Centro Regional (América Latina) de Ciclo de Vida, que busca facilitar o intercâmbio de informações em ACV e facilitar o desenvolvimento de ICVs regionalizados.

Quais são os impactos sobre a mudança climática, destruição da camada de ozônio, acidificação, eutrofização, ecotoxicidade de águas doces e toxicidade humana, em cada etapa do ciclo de vida do etanol combustível? O objetivo principal desta pesquisa consiste em estudar a avaliação do ciclo de vida (ACV) concernente à produção do etanol combustível, a partir da cana-de-açúcar, considerando aspectos econômicos e ambientais.

A questão ambiental está inserida nas diversas áreas de estudo da economia, uma vez que o meio ambiente é fonte de matérias primas e energia, local de despejo dos rejeitos das atividades produtivas e contribui de maneira significativa para o bem-estar da população. A abundância dos recursos naturais talvez seja uma das razões pelas quais os economistas não prestaram atenção às questões ambientais em épocas anteriores, afinal, a economia é por muitos definida como a ciência que aloca recursos escassos para fins alternativos (CLEMENTE; HIGACHI, 2000 e LUSTOSA, 2009).

Atualmente é crescente o uso do conceito de desenvolvimento sustentável. Esse termo foi difundido no relatório “Nosso Futuro Comum”, de 1987, da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento das Nações Unidas, e centra-se em três eixos principais: crescimento econômico, equidade social e equilíbrio ecológico, sendo mais uma meta do que um estado de harmonia. Do ponto de vista econômico, implica duas condições: o desenvolvimento deve permitir a ampliação, ou pelo menos a manutenção, da qualidade de vida em um horizonte temporal longo; e manutenção, ao longo do horizonte temporal, do estoque de capital, incluindo os recursos naturais (LUSTOSA, 2009).

Na busca de formas alternativas às fontes de energia não renovável, é crescente o uso do etanol combustível, cuja produção mundial saltou de aproximadamente 1,5 bilhão de litros, em 1975, para cerca de 40 bilhões de litros em 2008, de acordo com o portal BioDieselBr. Apesar do etanol ser obtido de diversas formas de biomassa, a cana-de-açúcar é a realidade econômica atual.

Nesse sentido, segundo Mattson e Sonesson (2003), na busca de uma maior eficiência ambiental e econômica do etanol combustível, recomenda-se a realização da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), que consiste em avaliar os aspectos ambientais e os impactos potenciais associados ao ciclo de vida, desde a extração

dos recursos naturais até o uso e disposição final do produto. As categorias gerais de impacto ambiental consideradas em estudos de ACV incluem o uso de recursos naturais, as implicações sobre a saúde humana e as consequências ecológicas.

Este trabalho será composto por duas etapas. Na primeira será realizada a contextualização do estudo, apresentando a problematização, os objetivos e a metodologia da pesquisa, e o referencial teórico abordado, enfatizando a relação entre a economia do meio ambiente e o setor sucroalcooleiro. Na segunda etapa é caracterizada pela análise do ciclo de vida (ACV) do etanol combustível, produzido a partir da cana-de-açúcar, que consiste no inventário e contabilização de todos os impactos ambientais.

2 A Economia do Meio Ambiente frente as Alternativas de Energia

O Brasil é o país mais avançado do ponto de vista tecnológico, na produção e no uso do etanol combustível, seguido pelos EUA e, em menor escala, pela Argentina, Quênia, Malawi e outros. Para Vilela e Araújo (2006) e Paulillo et al. (2006) *apud* Shikida et al. (2009), o setor sucroalcooleiro brasileiro é um dos poucos a apresentarem, na atualidade, grande expressividade social e econômica. Isto pode ser traduzido pela quantidade de empregos gerados pelo setor e principalmente pelo seu grande potencial de crescimento em face da possibilidade de um mercado internacional do etanol, tendo em vista os elevados preços do petróleo e as exigências ambientais traduzidas nas regulamentações do Protocolo de Kyoto.

O Balanço Energético Nacional (BEN, 2009) aponta que a cana-de-açúcar é a segunda maior fonte de energia primária do Brasil, com 19% de participação na matriz energética atual, considerando-se o etanol combustível e demais produtos derivados.

De acordo com o Ministério das Relações Exteriores (MRE) do Brasil, a experiência brasileira com a utilização do etanol combustível como aditivo à gasolina remonta à década de 1920. Porém, foi somente a partir de 1931 que o combustível produzido a partir da cana-de-açúcar passou a ser oficialmente adicionado à gasolina, então importada. Apesar dessas iniciativas iniciais, entretanto, foi apenas em 1975, com o lançamento do Programa Nacional do Álcool (PROÁLCOOL), que o Governo criou as condições necessárias para que o setor sucroalcooleiro brasileiro se tornasse, três décadas mais tarde, um dos mais modernos do mundo, tendo alcançado significativos resultados tanto ambientais quanto econômicos. Nos últimos 30 anos, o uso do etanol, em substituição à gasolina, promoveu uma economia de mais de 1 bilhão de barris equivalentes de petróleo, o que corresponde a cerca de 22 meses da produção atual de petróleo no Brasil. Nos últimos oito anos, o uso do etanol propiciou economia na importação de petróleo que se elevou a US\$ 61 bilhões, aproximadamente o total da dívida externa pública do Brasil.

Para Moraes (2000) *apud* Shikida et al. (2009), o ambiente organizacional do setor sucroalcooleiro é dividido entre público e privado. O ambiente organizacional público está relacionado a questões como a extinção do Instituto do Açúcar e do Álcool (IAA), criação do Conselho Interministerial do Açúcar e do Álcool (CIMA), criação da Agência Nacional do Petróleo (ANP) e abertura do mercado de combustíveis, além da criação da Associação dos Municípios Canavieiros do Estado de São Paulo (AMCESP) e da Câmara Paulista do Setor Sucroalcooleiro. E ao ambiente organizacional privado estão ligadas questões como a criação da União da Agroindústria Canavieira de São Paulo (UNICA), Fundação da Coligação das Entidades Produtoras de Açúcar e Álcool (CEPAAL), Fundação da Associação Paulista Agroindústria Sucroalcooleira (SUCROALCO), criação da Brasil Álcool S/A e a criação da Bolsa Brasileira de Álcool (BBA).

Economia e meio ambiente estão diretamente relacionados, e segundo Romeiro

(2010, p.1):[...] o problema da economia política da sustentabilidade é visto como um problema de distribuição intertemporal de recursos naturais finitos, o que pressupõe a definição de limites para seu uso (escala). Além disso, trata-se de um processo envolvendo agentes econômicos cujo comportamento é complexo em suas motivações (as quais incluem dimensões sociais, culturais, morais e ideológicas) e que atuam num contexto de incertezas e de riscos de perdas irreversíveis que o progresso da ciência não tem como eliminar. Desse modo, tanto a natureza como o papel da ação coletiva são completamente distintos daqueles pressupostos no esquema analítico convencional. Trata-se de um processo de escolha pública em que caberá à sociedade civil, em suas várias formas de organização (o Estado entre outras), decidir, em última instância, com base em considerações morais e éticas.

Segundo Georgescu-Roegen (1976), o sistema econômico não pode contrariar as leis da física. A segunda lei da termodinâmica estabelece que o grau de degeneração de um sistema isolado tende a aumentar com o tempo, impedindo a existência de moto-perpétuos. Da mesma forma, o sistema econômico não pode se mover para sempre sem entrada de recursos e saída de resíduos. Georgescu destacou ainda que o sistema produtivo não é circular, mas linear e aberto. A magnitude da escala atual das atividades humanas tem levantado o problema do limite da capacidade de suporte do planeta Terra, seja como fornecedor de bens e serviços naturais, seja como receptor dos rejeitos das atividades humanas de consumo e produção industrial.

De acordo com Cohen (2003, p. 262), a luta contra o aumento do efeito estufa é muito mais complexa do que aquela que vem sendo tratada, por exemplo, pela proteção da camada de ozônio. O uso de Clorofluorcarbonetos (CFC) restringe-se a poucas aplicações industriais e alguns eletrodomésticos, como geladeiras e aparelhos de ar condicionado, onde sua substituição por gases inócuos ou menos nocivos não constitui uma tarefa tão custosa. Já a redução das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) se apresenta como algo mais difícil de atingir, pois sua principal causa, a queima de combustíveis fósseis, está presente em quase todas as atividades humanas.

Para Pereira e May (2003, p. 219), há milhares de anos, o efeito estufa natural proporciona ao nosso planeta as condições ideais para o desenvolvimento da vida. A partir da era industrial, no entanto, o homem vem progressivamente interferindo no sistema climático do planeta, que passa por um processo de aquecimento global, trazendo conseqüências irreversíveis e possivelmente catastróficas para as sociedades humanas e para os ecossistemas e sua biodiversidade. Em função de determinadas atividades econômicas, das quais decorrem emissões de alguns GEE, principalmente o dióxido de carbono (CO_2), a concentração dos mesmos na atmosfera da Terra vem aumentando. Essa é a principal causa do atual processo de intensificação do efeito estufa natural e do aquecimento decorrente deste.

Segundo Cohen (2003 p. 262), atualmente, não se encontram disponíveis em larga escala substitutos baratos para os combustíveis fósseis, ainda que, a médio e longo prazos, as perspectivas das energias renováveis (solar, eólica, biomassa, eletricidade e outras) e das tecnologias de conservação de energia sejam cada vez mais promissoras. Portanto, reduções significativas das emissões de GEE, a curto prazo, envolveriam custos e/ou mudanças em estilos de vida e padrões de consumo. Essa é a principal razão pela qual alguns países, especialmente os Estados Unidos, vêm resistindo contra qualquer tentativa de fixação de metas e prazos para a redução das emissões de GEE.

Os recursos naturais podem ser classificados em renováveis (reprodutíveis) e não renováveis (exauríveis). Os solos, o ar, as águas, as florestas, a fauna e a flora são considerados recursos naturais renováveis, pois seus ciclos de recomposição são compatíveis com o horizonte de vida do homem. Os minérios em geral e os combustíveis fósseis (petróleo e gás natural) são tido como não renováveis, uma vez que são necessárias eras geológicas para sua formação (SILVA, 2003).

Apesar do etanol figurar como o principal biocombustível substituto dos combustíveis de origem fóssil, segundo Skikida et al. (2008, p. 6), o mesmo está sujeito a questionamentos por parte dos mercados internacionais quanto à sua capacidade de expandir a oferta, em linha com as práticas da produção sustentável. Por esta razão, os mesmos propõem a certificação socioambiental (ISO 14001, SA 8000 e NBR 16001) para a cultura da cana-de-açúcar como ferramenta de garantia da produção sustentável do etanol brasileiro, reduzindo a assimetria de informações com o mercado externo e mitigando ou eliminando barreiras não tarifárias ao produto.

Ademais, segundo Dufey (2006) *apud* Skikida et al. (2008), o debate envolvendo biocombustíveis e desenvolvimento sustentável é variado e complexo. Isso ocorre, porque os biocombustíveis apesar de implicar em maior segurança no suprimento de energia, ganhos econômicos, desenvolvimento de áreas rurais e redução nas emissões dos gases de efeito estufa; expandem a fronteira agrícola, podendo gerar desmatamento, monoculturas, poluição da água, ameaças à segurança alimentar, condições precárias de trabalho e distribuição injusta dos benefícios ao longo da cadeia de valor.

Goes et al. (2009) afirmam que a cana-de-açúcar tornou-se um produto que alcançou novas práticas e novos manejos no trato do solo, que permitem a introdução de novas tecnologias e novas variedades adaptadas as várias regiões. A seguir apresenta-se a cadeia produtiva do etanol a partir da cana-de-açúcar (figura 1).

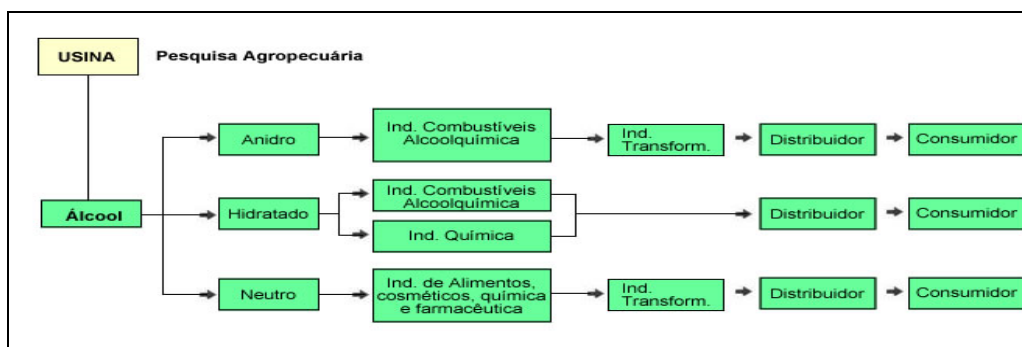


Fig.1. Cadeia produtiva do Etanol. GOES, (2009)

No que se refere às publicações nacionais sobre ACV, destacam-se os trabalhos de Gatti; Queiroz e Garcia (2007), que estudaram a reciclagem de embalagem de alumínio; Jaime (2007), que analisou o ciclo de vida de embalagem de vidro para sistemas retornável e descartável; e, Coltro e Mourad (2007), que realizaram um estudo de ACV para a produção brasileira de café. No caso dos biocombustíveis, pode-se citar o trabalho de Angarita (2008) que estudou a avaliação do impacto energético e ambiental da cogeração no balanço e no ciclo de vida do biodiesel de óleo de palma africana; e, Ometto (2005), que utilizando-se dos métodos EDIP, Exergia e Emergia avaliou o ciclo de vida (ACV) do álcool etílico hidratado combustível, demonstrando que a atividade da colheita de cana apresenta o maior potencial de impacto para o consumo de recursos renováveis, o aquecimento global, a formação fotoquímica de ozônio troposférico, a acidificação e a toxicidade humana. O preparo do solo apresentou maior potencial para o consumo de recursos não renováveis e para a ecotoxicidade da água. O trato cultural apresentou maior influência na eutrofização e na ecotoxicidade do solo.

3 Metodologia para Análise do Ciclo de Vida do Setor Sucoalcooleiro

Esse estudo apresenta uma pesquisa exploratória com a utilização de dados primários e secundários. Define-se pesquisa exploratória como o estudo preliminar

realizado com a finalidade de melhor adequar o instrumento de medida à realidade que se pretende conhecer. Em outras palavras, a pesquisa exploratória, ou estudo exploratório, tem por objetivo conhecer a variável de estudo tal como se apresenta, seu significado e o contexto onde ela se insere.

Os dados primários serão obtidos a partir de informações estruturadas a serem coletadas na própria Usina, em levantamentos *in loco*. Os dados secundários serão coletados por meio de relatórios e outras publicações disponibilizadas: i) pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE); ii) pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA); iii) pelo Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC); iv) pela União da Agroindústria Canavieira de São Paulo (UNICA); v) pela Associação de Produtores de Bioenergia do Estado do Paraná (ALCOPAR); vi) pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), e, vi) pela Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA).

Os procedimentos de pesquisa e análise compreendem as etapas consideradas em um estudo de ACV. A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), conhecida internacionalmente por *Life Cycle Assessment* (LCA), é uma técnica de avaliação de impacto ambiental associado a um produto ou serviço, durante o seu ciclo de vida (GOEDKOOP, 1998).

As avaliações do ciclo de vida de produtos, processos e serviços avaliam os aspectos ambientais e os impactos potenciais associados, desde a extração dos recursos naturais até o uso e disposição final do produto, conforme figura 2.

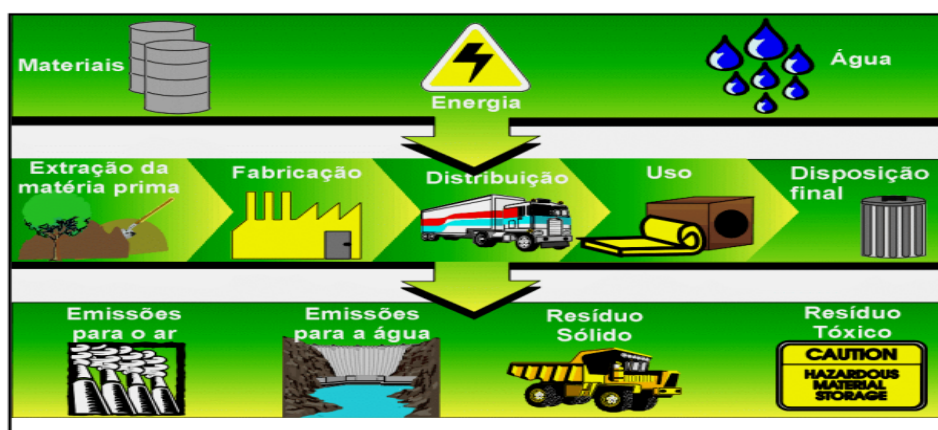


Fig.2. Representação das etapas consideradas em um estudo de ACV. COLTRO (2007)

Um estudo de ACV é dividido em quatro fases, conforme apresentado na figura 3. Na primeira fase, Definição e Escopo, o propósito do estudo e sua amplitude são definidos, envolvendo decisões importantes sobre as fronteiras e a unidade funcional. Na fase de Análise e Inventário, informações sobre o sistema do produto são levantadas e as entradas e as saídas consideradas relevantes para o sistema são quantificadas. Na fase de Avaliação de Impacto, os dados e as informações gerados da Análise de Inventário são associados a impactos ambientais específicos, de modo que o significado destes impactos potenciais possa ser avaliado. E, na fase de Interpretação, os resultados obtidos nas fases de Análise de Inventário e de Avaliação de Impacto são combinados e interpretados de acordo com os objetivos definidos previamente no estudo.

As definições dos Objetivos e Escopo da ACV para o estudo será conduzido de acordo com a série de normas ISO 14040 (1997) – *Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework*, objetivando identificar os pontos críticos no ciclo de vida do etanol combustível e propor melhorias no produto,

propiciando otimização de recursos, elaboração de políticas públicas e planejamento estratégico. (Figura 3).

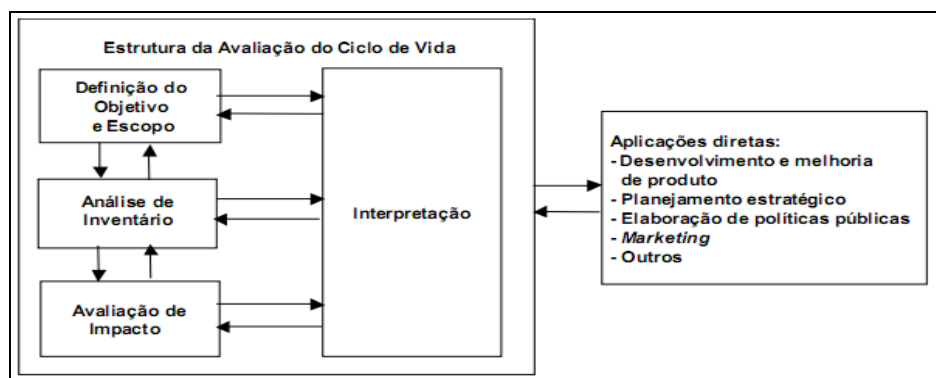


Fig. 3. Fases de um estudo de ACV (ISO 14040, 1997)

As informações utilizadas serão obtidas a partir da coleta de dados feita por meio de protocolo específico a ser aplicado em uma Usina, considerando as entradas de água, energia, fertilizantes, pesticidas, corretivos e disposição de resíduos. A seleção da região de estudo considerará a importância econômica da Usina para o Estado do Paraná, dando prioridade para a maior agroindústria canavieira paranaense. Serão contabilizados todos os insumos necessários para a produção do etanol em termos de uso de fertilizantes, corretivos, defensivos agrícolas, água, óleo diesel e energia.

O sistema a ser avaliado inclui o cultivo agrícola da cana-de-açúcar, a colheita, o beneficiamento, a estocagem e o transporte por caminhões até o porto para exportação. Somente as entradas e saídas associadas ao cultivo da cana-de-açúcar serão consideradas nas fronteiras deste estudo. A produção de fertilizantes, corretivos e pesticidas não será incluída na fronteira do estudo, mas somente seu consumo e transporte até as fazendas.

A unidade funcional adotada será de 1.000 litros de etanol destinado a exportação. A abrangência temporal deste estudo será de duas safras completas (2007/2008 e 2009/2010). O fluxograma elaborado para a produção do etanol considerará os principais processos da cadeia produtiva. Para a construção do Inventário do Ciclo de Vida serão utilizados os modelos de Transporte de Cargas e de Geração de Energia Elétrica da Rede Pública desenvolvidos pelo CETEA para ACV de produtos brasileiros (COLTRO et al, 2003).

Dentre as ferramentas de Avaliação de Ciclo de Vida, destacam-se: o Ecoindicator 95; o Ecoindicator 99; o EDIP; o TRACI e o CML 2000.

Nesse estudo será utilizado o Método CML 2000, considerado um método "multi-fase", sendo um dos primeiros métodos de avaliação, desenvolvido e utilizado em vários países. O seu nome está relacionado com a entidade onde foi desenvolvido - o Centro de Gestão Ambiental da Universidade de Leiden, Holanda.

Com o CML 2000 serão avaliadas as seguintes categorias de impactos:

- **mudança climática:** *Climate change - The characterisation model as developed by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) is selected for development of characterisation factors. Factors are expressed as Global Warming Potential for time horizon 100 years (GWP100), in kg carbon dioxide equivalent/kg emission;*
- **destruição da camada de ozônio:** *Stratospheric Ozone depletion - The characterisation model is developed by the World Meteorological Organisation (WMO) and defines ozone depletion potential of different gasses (kg CFC-11*

- equivalent/ kg emission*);
- **acidificação:** *Acidification - only characterization factors including fate were used for the CML baseline method. The method was extended with Nitric oxide, air (is nitrogen monoxide). Acidification: Corrected the characterisation factor for Sulphur dioxide from 1 to 1,2 SO₂ eq . This factor of 1,2 SO₂ eq for SO₂ is including fate;*
 - **eutrofização:** *Eutrophication - nitrogen compounds completed. Nitrogen is replaced by Nitrogen, total, with same characterisation factor;*
 - **ecotoxicidade de águas doces:** *Fresh water aquatic ecotox - Marine aquatic ecotoxicity, Terrestrial ecotoxicity: Characterisation factors Naphthalene and Naphthalene (subcompartment Ocean) corrected;*
 - **toxicidade humana:** *Human toxicity - Characterisation factors, expressed as Human Toxicity Potentials (HTP), are calculated with USES-LCA, describing fate, exposure and effects of toxic substances for an infinite time horizon. For each toxic substance HTP's are expressed as 1,4-dichlorobenzene equivalents/ kg emission. Chromium (soil) -> Chromium (VI) (soil, agricultural).*

O software a ser utilizado é o SimaPro 7, desenvolvido pela empresa Pré Consultants, e que trata-se de uma ferramenta profissional para coletar, analisar e monitorar o desempenho ambiental de produtos, processos e serviços. Ele permite modelar e analisar dos mais complexos aos mais simples ciclos de vida de uma forma sistemática e transparente, seguindo as recomendações da série ISO 14040.

A informação no SimaPro encontra-se organizada em projetos, os quais podem incluir diversos ciclos de vida de um ou vários produtos e cujos processos podem ser extraídos das bases de dados do SimaPro. Uma vez definido o Ciclo de Vida, o SimaPro calcula a soma das diversas intervenções ambientais associadas à unidade funcional definida na modelação. Para verificar a qualidade dos dados será utilizada a matriz pedigree. A Análise do Inventário do Ciclo de Vida envolve a coleta de dados e procedimentos de cálculo para quantificar as entradas e saídas de um sistema de produto. Itens a serem considerados:

- **Fases:** coleta de dados; validação dos dados; relacionar dados a unidade de processo (alocação inclui reuso e reciclagem); relacionar dados a unidade funcional; agregação dos dados; refinamento das fronteiras do sistema;
- **Recomendações da ISO 14040:** desenho de fluxogramas de processo que delineiam todas as unidades de processo; descrição das unidades de processos com os dados categorizados; descrição da técnica de coleta de dados e cálculo; fornecimento de instruções para documentação de casos especiais, irregularidade ou outros;
- **Evitar a duplicação ou falhas de contagem:** descrever cada processo; documentar os procedimentos de alocação; referenciar as fontes de dados; incluir informações sobre a qualidade dos dados;
- **Validação dos dados:** balanço de massa; balanço de energia; análise comparativa de fatores de emissão;
- **Procedimentos a adotar no caso de ausência de dados:** incluir um valor diferente de zero, com justificativa; incluir um valor igual a zero, com justificativa; incluir um valor calculado com bases em tecnologias similares; documentar dados ausentes;
- **Relacionar dados a unidades de processo:** dividir as entradas e saídas proporcionalmente;
- **Relacionar dados a unidade funcional:** normalizar o fluxo de todos os processos para unidade funcional;
- **Agregação de dados – recomendações:** que o nível de agregação seja suficiente para satisfazer o objetivo do estudo; que somente sejam agregadas substâncias equivalentes e que tenham impactos ambientais similares; caso necessário agregar outros dados, incluir a justificativa na definição do objetivo e do escopo ou na avaliação de impacto;
- **Uso da análise de sensibilidade:** excluir ou incluir etapas do ciclo de vida

com pouca ou nenhuma significância; excluir ou incluir entradas e saídas sem significância para os resultados do estudo.

A Avaliação dos Impactos no Ciclo de Vida (AICV) é a etapa da ACV em que se mede e avalia a significância dos impactos ambientais potenciais do sistema do produto. Itens a serem considerados:

- **Classificação:** enquadramento dos aspectos ambientais inventariados nas diferentes categorias de efeitos ambientais; classificar os aspectos ambientais nos impactos ambientais causados por eles;
- **Etapas:** seleção das categorias de impacto, indicadores de categoria e modelos de caracterização; correlação dos dados do ICV (classificação); cálculos dos resultados dos indicadores de categoria (caracterização); resultados dos indicadores de categoria (perfil da AICV); normalização, ponderação e análise da qualidade de dados.

A ponderação é um assunto controverso na ACV e, por isso, é uma etapa opcional, de acordo com a norma ISO. Computacionalmente, entretanto, a ponderação é simples e consiste em um vetor w em que cada elemento w_i é o peso para cada categoria de impacto. A Interpretação do Ciclo de Vida mostra o resultado do painel e perspectivas culturais, que podem ser: hierarquista, individualista ou equalitária.

4 Conclusão

A metodologia para a realização da Avaliação do Ciclo de Vida no setor sucroalcooleiro mostra o tipo de análise que a ACV promove, sendo baseada em balanços de massa e energia, e utiliza indicadores para a avaliação do impacto ambiental.

De acordo com as Normas Internacionais, essa metodologia pode ser estruturada em quatro fases: definição dos objetivos e âmbito do estudo (ISO 14041); análise de inventário, compilação de um inventário de entradas e saídas relevantes do sistema (ISO 14041); avaliação de impactos ambientais potenciais associados a essas entradas e saídas (ISO 14042); e, interpretação dos resultados das fases de análise de inventário e de avaliação dos impactos, de acordo com os objetivos do estudo (ISO 14043).

Entre os maiores problemas no setor sucroalcooleiro estão os aspectos socioambientais. A ACV constitui uma ferramenta em desenvolvimento e apesar das limitações de estudo que o modelo está sujeito ao simplificar a realidade (inerente a qualquer modelo socioeconômico), essas limitações podem ser minimizadas. Ademais, a ACV tem se consolidado como uma ferramenta de gestão ambiental, demonstrando relevância na busca da sustentabilidade na produção de bens e serviços e implementação de processos.

5 Referências

BEN. (2009). *Balanço Energético Nacional*. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Resultados_Pre_BEN_2009.pdf> acessado em fevereiro/2010.

CAVALCANTI, C. (Org.) (1998). *Desenvolvimento e natureza: estudos para uma sociedade sustentável*. São Paulo: Cortez; Recife: Fundação Joaquim Nabuco

CLEMENTE, A., HIGACHI, H. Y. (2000). *Economia e desenvolvimento regional*. São Paulo: Atlas.

COLTRO, L.; GARCIA, E. E. C.; QUEIROZ, G. C. (2003). Life cycle inventory of electric energy system in Brazil. *Int. J. Life Cycle Assessment*, Landsberg, v. 8, n. 5, p. 290-296

COLTRO, L.; MOURAD, A. L. ACV de Produtos Alimentícios. In: COLTRO, Leda (Org.) (2007). *Avaliação do Ciclo de Vida como Instrumento de Gestão*. Campinas: CETEA/ITAL.

- COHEN, C. (2003). Padrões de consumo e energia: efeitos sobre o meio ambiente e o desenvolvimento. In: MAY, P. H.; LUSTOSA, M. C.; VINHA, V. (Org.) *Economia do meio ambiente: teoria e prática*. Rio de Janeiro: Elsevier.
- GATTI, J. B.; QUEIROZ, G. C.; GARCIA, E. E. C. (2007). Reciclagem de Embalagem em Termos de ACV – Estudo de Caso. In: COLTRO, Leda (Org.) *Avaliação do Ciclo de Vida como Instrumento de Gestão*. Campinas: CETEA/ITAL,
- GEORGESCU-ROEGEN, N. (1976). *Energy and Economy Myths*. New York: Pergamon Press.
- GOEDKOOP, M. (1998). *The Ecoindicator 95 Final Report*. Pré Consultants, Amersfoort, The Netherlands.
- GOEDKOOP, M.; SPRIENSMA, R. (2001). *The Ecoindicator 99*. A Damage oriented method for life cycle impact assessment, methodology report, 2. ed. Pré Consultants, Amersfoort, The Netherlands.
- GOES, Tarcizio *et al.* (2009). Novas fronteiras tecnológicas da cana-de-açúcar no Brasil. *Revista de Política Agrícola*. Brasília: Jan./Fev./Mar., n.1.
- JAIME, S. B. M. (2007.) ACV de Embalagem de Vidro para Sistemas Retornável e Descartável. In: COLTRO, Leda (Org.) *Avaliação do Ciclo de Vida como Instrumento de Gestão*. Campinas: CETEA/ITAL.
- LUSTOSA, M. C. J. (2009). *Economia e meio ambiente: revendo desafios*. Disponível em: <<http://www.jornaldeplasticos.com.br/jpjul01/pag07.html>> acessado em outubro/2009.
- MAY, P. H.; PEREIRA, A. S. (2003). Economia do aquecimento global. In: MAY, Peter H.; LUSTOSA, Maria C.; VINHA, Valéria. (Org.) *Economia do meio ambiente: teoria e prática*. Rio de Janeiro: Elsevier.
- MEADOWS, Dennis L. (Coord.) (1973). *Limites do crescimento*. São Paulo: Perspectiva.
- MRE. Ministério das Relações Exteriores. (2011). Disponível em: <http://www.mre.gov.br/index.php?Itemid=61&id=1795&option=com_content&task=view> acessado em outubro /2009.
- MDIC. (2009). Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior Disponível em: <http://www.mdic.gov.br/sitio/interna/interna.php?area=2&menu=999> acessado em outubro/2009.
- MORAES, M. A. F. D. de; SHIKIDA, P. F. A. (Org.) (2002). *Agroindústria Canavieira no Brasil: Evolução, Desenvolvimento e Desafios*. São Paulo: Editora Atlas.
- PORTAL Biodieselbr. (2011). *Álcool combustível*. Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/energia/alcool/etanol.htm>> acessado em outubro/2009.
- ROMEIRO, A. R. (2010). Economia ou economia política da sustentabilidade. In: MAY, Peter H.; LUSTOSA, Maria C.; VINHA, Valéria. (Org.) *Economia do meio ambiente: teoria e prática*. Rio de Janeiro: Elsevier.
- ROMEIRO, A. R.; REYDON, B. P.; LEONARDI, M. L. (Org.) *Economia do meio ambiente: teoria, políticas e gestão de espaços regionais*. Campinas: UNICAMP/IE, 2001.
- SHIKIDA, P. F. A. *et al.* (2007). Álcool combustível e biodiesel no Brasil: quo vadis? *Revista de Economia e Sociologia Rural*, Brasília, v.45, n.03. p.531-565, Jul./Set.
- _____. (2008). Certificação socioambiental: oportunidades para o etanol brasileiro. *Revista de Estudos Sociais*, Cuiabá, ano 10, v.20, n.2, p.18-43.
- _____. (2009). Um estudo das deliberações da câmara setorial do açúcar e do álcool usando análise de correspondência. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, Brasília, v.47 n.01 p.183-210, Jan./Mar.
- SILVA, M. A. R. da. (2003). Economia dos recursos naturais. In: MAY, Peter H.; LUSTOSA, Maria C.; VINHA, Valéria. (Org.) *Economia do meio ambiente: teoria e prática*. Rio de Janeiro: Elsevier.