

5º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

Comparação entre os Desempenhos Ambientais da Gasolina e do Etanol para a Situação Brasileira usando a técnica de Avaliação de Ciclo de Vida

AUTORES:

Isabel Akemi Bueno Sado¹, Gil Anderi da Silva², Miguel Edgar Morales Udaeta³

INSTITUIÇÃO:

¹ Departamento de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo,

² Departamento de Engenharia Química, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo

³ Instituto de Eletrotécnica e Energia, Universidade de São Paulo

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 5º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás- 5º PDPETRO, realizado pela Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás-ABPG, no período de 15 a 22 de outubro de 2009, em Fortaleza-CE. Esse Trabalho foi selecionado pelo Comitê Científico do evento para apresentação, seguindo as informações contidas no documento submetido pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pela ABPG. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões da Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás. O(s) autor(es) tem conhecimento e aprovação de que este Trabalho seja publicado nos Anais do 5ºPDPETRO.

Comparação entre os Desempenhos Ambientais da Gasolina e do Etanol para a Situação Brasileira Usando a Técnica de Avaliação de Ciclo de Vida

Resumo

O trabalho tem por objetivo comparar os desempenhos ambientais do etanol e da gasolina para a situação brasileira. Para isso metodologicamente foi utilizada a ferramenta de análise de ciclo de vida através do programa *Gabi 4 Software-System and Databases for Life Cycle Engineering*, onde utilizaram-se os fatores de equivalência do método CML - *Centrum voor Milieukunde Leiden*. Para a sistematização do inventário fez-se uso de informações disponibilizadas pelo banco de dados do ECOINVENT e da CETESB, cuja unidade funcional definida foi de 100 quilômetros percorridos por um veículo automotivo do tipo “flex fuel”.

Os resultados obtidos mostraram que a utilização de etanol etílico hidratado como combustível é visivelmente melhor em quase todas as categorias de impacto, com exceção apenas da categoria do uso do solo no quesito competição do uso. Esse resultado pode ser justificado pela elevada quantidade de substâncias tóxicas e potencialmente poluidoras naturalmente presentes na composição do petróleo, somado ao fato da própria característica de não renovabilidade do recurso, que pela metodologia de análise de ciclo de vida já é considerada um impacto por si só. Outra conclusão evidente é a geração de subsídios para a tomada de decisão em diversos níveis.

Abstract

This study aims to compare the environmental performance of ethanol and gasoline to the Brazilian scenario. Therefore, it was used the tool of life cycle assessment through the software Gabi-4 Software System and Databases for Life Cycle Engineering, where it was used the equivalence factors of CML - *Centrum voor Milieukunde Leiden*. As for the inventory, it was used the information available from the database of ECOINVENT and CETESB, which the functional unit defined was 100 kilometers traveled by an automotive vehicle such as "flex fuel".

The results showed that the use of hydrated ethanol as fuel is noticeably better in almost all categories of impact, except only in the category of land use in the matter of competition use. This result can be explained by the high amount of toxic and potentially polluting naturally present in the composition of oil, coupled with the non-renewability feature of the resource, which the method of life cycle assessment already consider an impact by itself. Another apparent conclusion is to generate subsidies for decision making at several levels.

Introdução

O novo ciclo de expansão da indústria canavieira brasileira, com expectativas de crescimento tanto pelo mercado interno, representadas pelo apoio político e pelos motores bicomcombustíveis, quanto pelo mercado externo (Lanzotti, 2000), caracterizado pela ascensão dos preços do petróleo e pelos compromissos de redução das emissões de CO₂, fez com que se salientasse uma nova preocupação uma vez que o atendimento desta vasta e ascendente demanda aponta na direção do avanço das monoculturas e de impactos sociais e ambientais no território nacional (Ortiz, 2006).

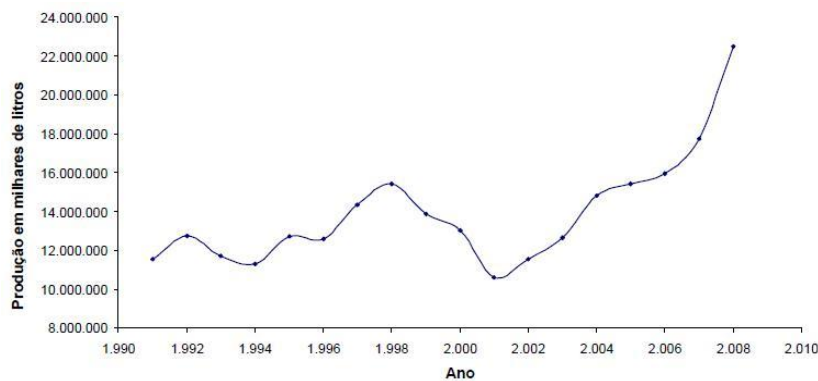


Figura 1 - Produção Brasileira de Etanol

Fonte: Única

A figura acima mostra números da produção de etanol nas últimas décadas. Verifica-se o significativo aumento da produção no território brasileiro. No ano de 1992 a produção era de 12 bilhões de litros, quinze anos depois esse valor quase dobrou, chegando a produzir 22 bilhões de litros (Única, 2005).

Esse aumento significativo acirrou as controvérsias entre os desempenhos ambientais dos biocombustíveis e dos combustíveis fósseis. Todavia, podemos afirmar que essas discussões ainda encontram-se em estado de precocidade, abrindo espaço para informações bastante subjetivas de ambos os lados, tanto por dificuldade em comparar dois combustíveis diferentes quanto por interesses políticos e econômicos diversos. Os impactos ambientais provenientes do uso e manufatura da gasolina são qualitativamente conhecidos, onde a colaboração para o aquecimento global e a chuva ácida talvez sejam os mais difundidos. Já o etanol tem seus impactos abordados de maneira mais nebulosa: o potencial de eutrofização devido aos tratamentos culturais do solo e a emissão de material particulado devido às queimadas são os mais evidentes, porém os impactos indiretos devido à ocupação de área fértil ainda não foram abordados cientificamente de maneira mais objetiva.

Metodologia

A conscientização sobre a importância da proteção ambiental e dos possíveis impactos associados a produtos manufaturados e consumidos aumentou o interesse no desenvolvimento de métodos para melhor compreender e diminuir estes impactos. Uma das técnicas em desenvolvimento com este propósito é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Esta técnica é descrita pela Norma NBR ISO 14040, que descreve os princípios e a estrutura para se conduzir e relatar estudos de ACV e inclui certos requisitos mínimos. Segundo a norma, o ciclo de vida de um produto corresponde a todos os estágios sucessivos e encadeados de um sistema de produto, desde a aquisição da matéria prima à disposição final como pode ser visto na figura abaixo, adaptada de Vianna.

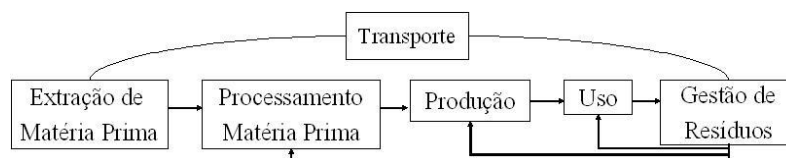


Figura 2 - Etapas de Ciclo de Vida de Produtos

Fonte: Adaptado de Vianna

Existem princípios, estruturas e alguns requisitos metodológicos para condução de estudos de ACV, a saber: a avaliação do ciclo de vida deve incluir a definição de objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impactos e interpretação de resultados, conforme ilustrado na figura abaixo, adaptada da

ISSO 14040. Cada uma dessas fases tem seus requisitos mínimos, como definição da unidade funcional e fronteiras do sistema; coleta de dados; seleção de categorias de impacto, classificação e caracterização através dos fatores de equivalência.

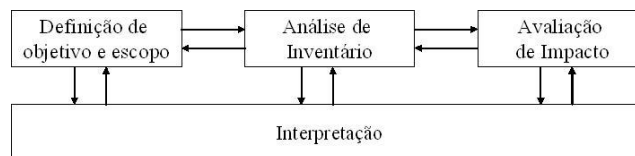


Figura 3 - Fases de uma ACV

Fonte: NBR ISO 14040

Nesse estudo foram feitas duas avaliações do ciclo de vida, uma para o etanol etílico hidratado e outra para a gasolina tipo C (gasolina automotiva). Como a função do produto em estudos comparativos deve ser a mesma para todos os produtos analisados, estabeleceu-se como função o transporte feito por motores de veículos automotivos, onde a unidade funcional adotada foi definida como 100 quilômetros percorridos por um veículo automotivo. Em função da diversificação da frota automotiva brasileira e da predominância significativa das vendas de veículos do tipo “flex fuel” com 71,9% das vendas totais em 2007 (Cetesb, 2007); para a definição da unidade funcional foi utilizada como base um modelo 2007 flex fuel com autonomia de 11,7 km/l para gasolina tipo C e 7,8km/l para etanol. Isto implica que considerando as respectivas densidades dos combustíveis, foi feita a comparação entre 6,24Kg de Gasolina tipo C com 10,25Kg de etanol etílico hidratado.

A definição dos sistemas de produtos foi estruturada a partir das informações obtidas na revisão bibliográfica sobre o etanol etílico hidratado e a gasolina do tipo C. Para o etanol foram consideradas as entradas dos fertilizantes e defensivos nas fases agrícolas de produção; extração da cana de açúcar; fase industrial até o consumo nos veículos automotivos. Para a gasolina tipo C, foi criado um sistema de produto considerando a extração de petróleo bruto; a produção de etanol anidro (devido à mistura com 22% de etanol anidro) até o consumo nos veículos automotivos. O transporte e a distribuição aos postos de serviço foram desconsiderados em ambos os casos.

Seguindo as especificações da norma ISO 14044, uma alocação é sempre necessária se um processo apresenta duas ou mais saídas. Sendo assim, para a gasolina foi utilizado um fator de alocação em função da massa (para todos os produtos extraídos do petróleo); e para o etanol, o fator considerado foi em função dos valores econômicos dos subprodutos (bagaço e etanol). Para a aquisição de informações quantitativas sobre os fluxos de entrada e saída dos sistemas foram utilizadas informações do banco de dados do ECOINVENT, onde foram obtidos os inventários denominados do “berço ao portão”, i.e. no caso da gasolina foram obtidos dados desde a extração de petróleo bruto até a saída da refinaria; e no caso do etanol foram obtidos dados desde o plantio até a saída da usina. Com relação às emissões veiculares foram utilizados dados obtidos pelo PROCONVE divulgados no Relatório de Qualidade do Ar da CETESB de 2007.

Os dados obtidos foram integrados a partir do programa *Gabi 4 Software-System and Databases for Life Cycle Engineering*, desenvolvido pela Universidade de Stuttgart, *Echterdingen*, onde para a etapa de avaliação de impacto foram utilizados os fatores de equivalência do método CML - *Centrum voor Milieukunde Leiden*.

Resultados e Discussão

Para melhor entendimento dos impactos ambientais optou-se por não utilizar indicadores únicos de avaliação de impacto ambiental. Isto é, não se pretende afirmar aqui de maneira simplista, qual dos

dois combustíveis é melhor e sim, como cada um se desempenha em certas categorias de impacto definidas pelo método de ACV.

A categoria de esgotamento de recursos abióticos inclui os recursos naturais não vivos e é calculada com base nas taxas de extração de minerais e combustíveis fósseis obtidas no inventário, onde o fator de caracterização é o potencial de depleção abiótica expresso em kg de antimônio equivalentes por kg extração (CML, 2003). Nessa categoria o etanol apresentou melhores resultados, como era de se esperar, pois a própria gasolina vem de um recurso natural não renovável. Apesar da comparação entre os resultados serem coerentes, devemos observar com cautela os resultados obtidos para o etanol. Embora não estarmos considerando as etapas de transporte e distribuição, e conseqüentemente o valor esperado para essa categoria de impacto ser baixo; a partir de estudos de revisão bibliográfica observamos que existe um consumo de diesel para as fases de tratos culturais, e colheita.

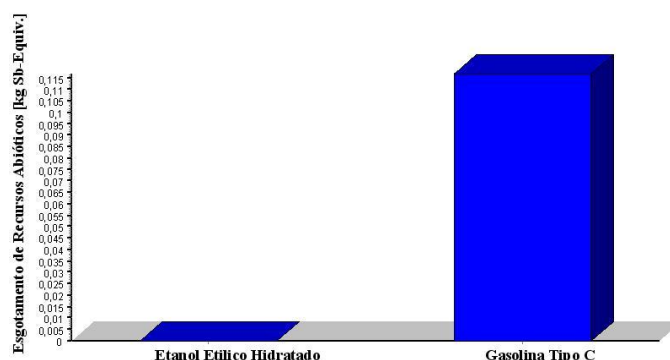


Figura 4 - Resultados da ACV na categoria de Esgotamento de Recursos Abióticos

Fonte: Elaboração Própria

A categoria de impactos do uso do solo está preocupada com a perda da terra como um recurso, devido à sua indisponibilidade temporária, portanto pode ser expressa em através do uso do solo em $m^2 \cdot ano$ (CML,2003). Para essa categoria, a gasolina tem destaque positivo, conforme mostra a figura abaixo, pois apesar da grande área ocupada pelas refinarias e plataformas de petróleo, ele é produzido em quantidade elevada, o que deixa a relação área por quilo de combustível reduzida. Relevar notar que esta relação se reduz mais ainda porque a gasolina tem vários co-produtos, conforme mencionado anteriormente. Os grandes responsáveis, pelo elevado uso da terra no ciclo de vida do etanol, são os espaços ocupados pela agricultura em função da cultura de cana-de-açúcar.

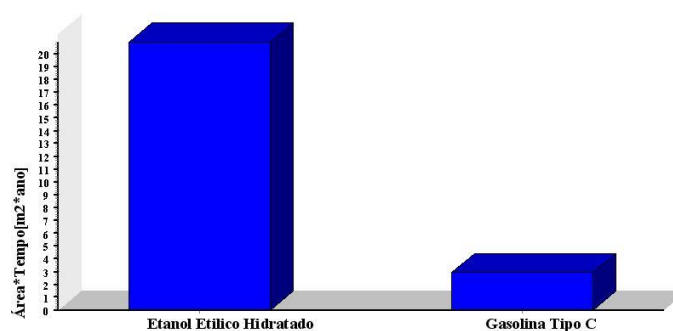


Figura 5 - Resultados da ACV na categoria de Uso do Solo

Fonte: Elaboração Própria

A mudança climática é definida como o impacto das emissões humanas sobre a forçante radioativa da atmosfera, ou seja, a absorção de radiação de calor. A categoria de impacto de alterações climáticas é medida através dos resultados das emissões de gases efeito de estufa para a atmosfera caracterizados os por unidade de dióxido de carbono equivalente (CML,2003). No que se refere a essa categoria,

pode-se observar a partir da figura abaixo, um melhor desempenho da Gasolina. Essa melhor performance deve-se principalmente às emissões automotivas de CO₂ obtidas pela CETESB, onde o etanol apresenta emissões maiores em função do menor rendimento. Os altos valores obtidos para o etanol também são justificados pela metodologia de cálculo utilizada pelo software, onde o potencial de aquecimento global é calculado somente pelas saídas, e o sequestro de carbono devido à plantação de cana-de-açúcar é representado no inventário como input, isto é, como um consumo de CO₂.

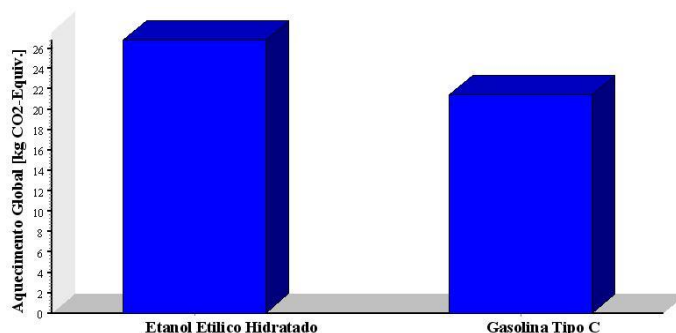


Figura 6 - Resultados da ACV na categoria de Aquecimento Global

Fonte: Elaboração Própria

A diminuição do ozônio estratosférico refere-se ao desgaste da camada de ozônio da estratosfera como resultado das emissões antrópicas. A categoria de impacto é obtida através da caracterização do potencial de redução do Ozônio para diferentes gases expressa em unidade de kilogramas de CFC-11equivalentes (CML,2003).O potencial de diminuição de ozônio estratosférico apresenta valores nulos para o etanol e valores baixos para a gasolina. Os resultados são justificáveis, pois os principais agentes responsáveis pela destruição da camada de ozônio são típicos de produção de solventes industriais, ar condicionado e espumas de embalagens. Como esses agentes são pouco ou nada usados pelos processos estudados, esses valores são previsivelmente baixos.

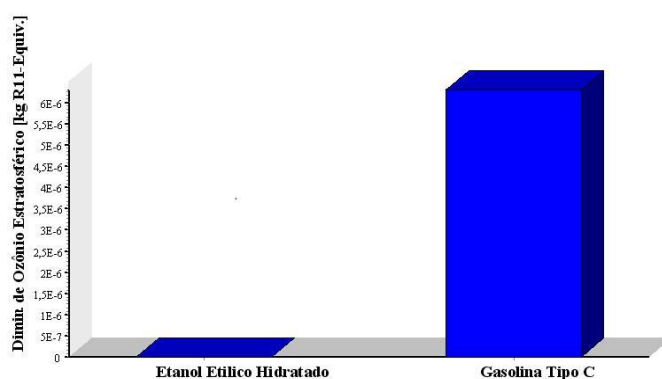


Figura 7 - Resultados da ACV na categoria de Diminuição de Ozônio Estratosférico

Fonte: Elaboração Própria

O potencial de toxicidade humana abrange os impactos na saúde humana das substâncias tóxicas presentes no ambiente. Esta categoria é obtida através dos resultados do inventário de emissões tóxicas para o ar, da água e do solo (em kg), onde os fatores de equivalência são calculados através de razão entre as doses diárias aceitáveis e a ingestão diária prevista, e são expressas em kg 1,4-diclorobenzeno equivalente (CML,2003).

Quanto a essa categoria, a gasolina tem baixa performance em relação ao etanol, visto que existe durante sua produção, o contato com muitos hidrocarbonetos voláteis (Vianna,2006), algo que não ocorre no combustível de origem vegetal. Por sua vez, as implicações tóxicas no ciclo de vida do etanol estão relacionadas ao uso de fertilizantes e defensivos nas culturas da cana-de-açúcar. No

entanto, o potencial de toxicidade dos fertilizantes utilizados não são significativamente altos quando comparados com o potencial dos efluentes gerados em uma refinaria, pois ocorre reaproveitamento dos efluentes gerados pela destilação, i.e. a própria vinhaça é utilizada como fertilizante no processo denominado fertirrigação (Ometto,2005).

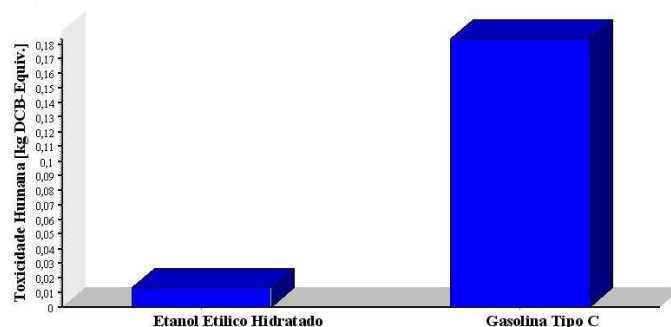


Figura 8 - Resultados da ACV na categoria de Toxicidade Humana

Fonte: Elaboração Própria

As ecotoxicidades terrestre; de água doce e de água marinha abrangem os impactos das substâncias tóxicas nos respectivos meios de maneira equivalente à categoria de toxicidade humana. O fator de equivalência é calculado através da razão das concentrações ambientais previstas e das concentrações previstas sem efeito (CML,2003). Nessas categorias a gasolina tem baixa performance em relação ao etanol, como pode ser visto nas figuras abaixo e ao lado. As explicações para esses resultados são análogas as informadas na categoria de toxicidade humana apresentadas anteriormente.

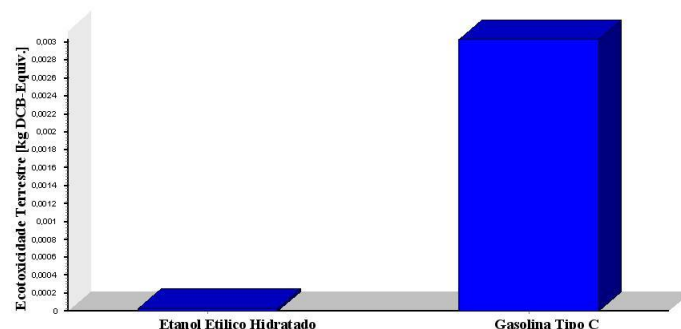


Figura 9 - Resultados da ACV na categoria de Ecotoxicidade

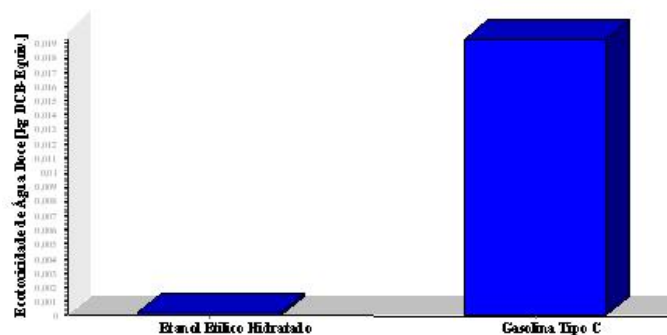


Figura 10 - Resultados da ACV na categoria de Ecotoxicidade Aquática

Fonte: Elaboração Própria

A categoria de formação de ozônio fotoquímico consiste na formação de compostos químicos reativos tais como o ozônio por ação da luz solar sobre determinados poluentes atmosféricos primários. Os

fatores de equivalência são calculados através de um modelo de trajetória e os resultados são indicados por unidades de kg equivalentes de etileno (CML,2003). Nessa categoria de potencial de formação de ozônio fotoquímico, obtivemos novamente um melhor desempenho para o etanol. Apesar disso ambos os impactos são significativamente altos, pois a combustão de ambos emite quantidades razoáveis de carbono orgânicos voláteis.

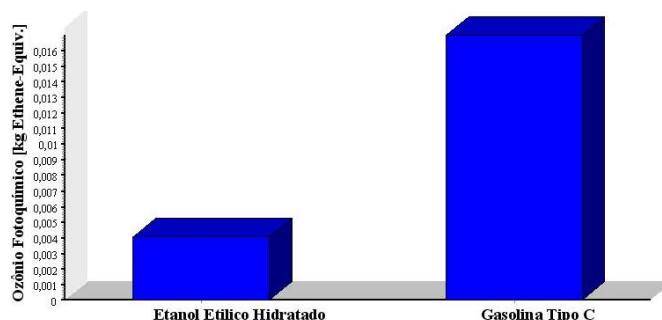


Figura 11 - Resultados da ACV na categoria de Formação de Ozônio Fotoquímico

Fonte: Elaboração Própria

O potencial de acidificação abrange uma ampla variedade de impactos sobre o solo, as águas subterrâneas, as águas de superfície, os ecossistemas e construções, a categoria de impacto de acidificação é obtida através dos resultados do inventário de emissões de substâncias acidificantes para o ar (em kg) onde os fatores de equivalência são calculados por modelos que descrevem o destino e a deposição de substâncias acidificantes levando em conta a razão entre a deposição e a carga crítica de acidificação (CML, 2003). Os resultados são expressos em kilogramas de SO₂ equivalentes. Com relação a essa categoria o etanol ainda leva vantagem. Os resultados são justificáveis uma vez que ambos os combustíveis apresentam concentrações óxidos de nitrogênio em suas emissões atmosféricas.

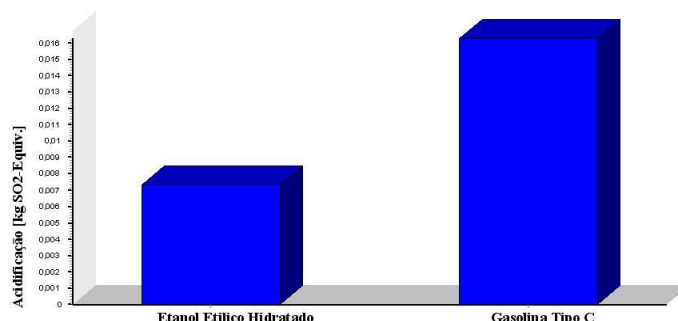


Figura 12 - Resultados da ACV na categoria de Acidificação

Fonte: Elaboração Própria

A eutrofização abrange todos os potenciais impactos ambientais dos elevados níveis de macronutrientes, dos quais os poluentes mais importantes são o nitrogênio (N) e o fósforo (P). Sabe-se que o excesso de nutrientes pode causar uma elevação de espécies indesejáveis e de biomassa tanto em ecossistemas aquáticos quanto terrestres. A obtenção da categoria de impacto de eutrofização é feita através dos fatores de equivalência expressos em kilogramas de PO₄ equivalentes (CML,2003). Para essa categoria, a diferença entre etanol e gasolina é também menos acentuada, mas etanol novamente ainda leva vantagem. Os valores altos para o etanol são justificáveis em função da presença de macronutrientes em sua composição.

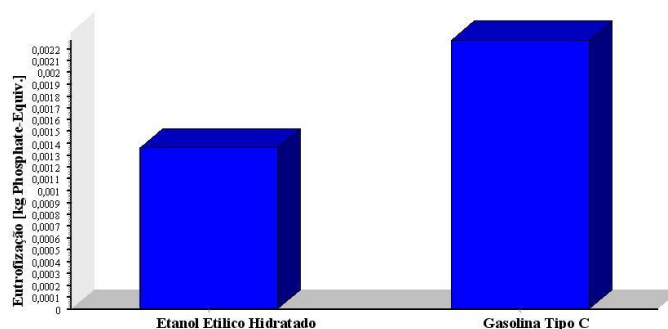


Figura 13 - Resultados da ACV na categoria de Eutrofização

Fonte: Elaboração Própria

Conclusões

A partir dos dados obtidos nos inventários e dos resultados da avaliação de ciclo de vida, pudemos observar que a utilização de etanol etílico hidratado como combustível é visivelmente melhor em quase todas as categorias de impacto, com exceção apenas da categoria do uso do solo no quesito competição do uso. Os altos valores da avaliação de impacto da gasolina são justificáveis uma vez que a própria matéria prima, o petróleo, contém substâncias tóxicas e potencialmente poluidoras por natureza. Além disso, a própria característica de não renovabilidade do recurso já é considerada um impacto por si só.

Para esse estudo foram utilizados inventários denominados do berço ao portão, onde as diferentes atividades são agregadas em um único processo, i.e. tivemos que lidar com um modelo “caixa preta” para a avaliação de dados. Infelizmente esse tipo de modelo dificulta a discussão sobre os resultados e impede a possibilidade de criação de alternativas para mitigação dos impactos existentes. Sendo assim, algumas recomendações são sugeridas, portanto, para o aprimoramento deste trabalho. Em primeiro lugar, que seja feita uma ampliação do estudo, considerando-se as etapas de distribuição e uso dos combustíveis, em seguida propõe-se uma desagregação das atividades a fim de avaliar os principais focos de poluição na obtenção dos combustíveis.

Todavia, podemos afirmar que a indústria de petróleo por ter uma tecnologia mais antiga e mais consagrada e também por sofrer mais pressões públicas tem um maior controle sobre o tratamento e destino de seus efluentes. Isto é, a possibilidade de mitigação dos impactos causados pela indústria de petróleo através de melhorias da eficiência do processo e novas tecnologias não seria significativa na diminuição dos impactos obtidos pela avaliação de ciclo de vida.

O etanol por sua vez, por ser um combustível renovável, com forte apoio político e relativamente recente quando comparado aos combustíveis fósseis, não sofre tanta pressão com relação aos seus impactos ambientais gerados. Através da revisão bibliográfica e a partir de dados de outros inventários de ciclo de vida do etanol, pode-se afirmar que boa parte dos impactos existentes pode ser significativamente diminuída através de melhorias no processo, uma vez que os principais focos de poluição são referentes aos tratamentos culturais e colheita da cana, onde ainda utiliza-se a prática de queimada (Ometto, 2005).

Deste modo podemos afirmar que um melhor controle sobre o uso de defensivos agrícolas e leis mais severas com relação às queimadas podem otimizar ainda mais os benefícios da substituição de combustíveis automotivos. Todavia, apesar de o uso do solo ser a única categoria de impacto com piores desempenhos do etanol, esse é um quesito que deve ser levado em conta com muita cautela já que acarreta em diversos outros impactos sociais e econômicos que não são levados em conta na ACV.

Agradecimentos

Ao Grupo de Prevenção a Poluição pelo apoio e pela imensa contribuição na coleta de dados; ao PRH-ANP/MCT/MME (Programa de Recursos Humanos da Agência Nacional de Petróleo) e a FINEP pela concessão da bolsa de Iniciação Científica que possibilitou o desenvolvimento deste trabalho através do PRH-ANP/04; á FAPESP pelo projeto de pesquisa FAPESP 03/06441-7 onde foi desenvolvida parte da capacitação a pesquisa através da bolsa ANP.

Referências Bibliográficas

UNICA – União da Agroindústria Canavieira do Estado de São Paulo. Vários Autores; **“A Energia da Cana-de-Açúcar – Doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e a sua sustentabilidade”**. São Paulo, 2005.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **“Relatório de Qualidade do Ar 2007”**. São Paulo, 2007.

NBR ISO 14040 - Environmental management - Life cycle assessment -Principles and framework. 1997.

CML - Centrum voor Milieukunde Leiden. Guia **“Life cycle assessment: An operational guide to the ISO standards”**; **“Operational Annex”** e **“Scientific Background”**.

GABI 4. The software system for Life Cycle Engineering: PE Europe GMBH Life Cycle Engineering.

OMETTO, A.R; **“Avaliação do ciclo de vida do álcool etílico hidratado combustível pelos métodos EDIP, Exergia e Emergia”**. (Tese de Doutorado) - Escola de Engenharia São Carlos. 2005.

VIANNA, F. C; **“Análise de Ecoeficiência: Avaliação de Desempenho Econômico-Ambiental do Biodiesel e Petrodiesel”**. Dissertação Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

LANZOTTI, C.R; **“Uma análise emergética de tendências do setor sucroalcooleiro”**. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica. 2000.

RORIGUES, D; ORTIZ,L; **“Em direção à sustentabilidade da produção de etanol de cana de açúcar no Brasil”**. Projeto Dutch import of biomass - Producing countries point of view on the sustainability of biomass exports. Outubro de 2006.