

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA
GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

TRABALHO DE FORMATURA

**COMPARAÇÃO ENTRE OS DESEMPENHOS
AMBIENTAIS DA GASOLINA E DO ETANOL PARA A
SITUAÇÃO BRASILEIRA USANDO A TÉCNICA DE
AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA**

Autor: Isabel Akemi Bueno Sado

Orientador: Gil Anderi da Silva

**São Paulo
2008**

SUMÁRIO

SUMÁRIO	2
ÍNDICE DE FIGURAS	5
ÍNDICE DE TABELAS	7
GLOSSÁRIO DE SIGLAS E ABREVIACÕES	8
1. INTRODUÇÃO	9
2. JUSTIFICATIVA	14
3. OBJETIVOS	16
4. MATERIAIS E MÉTODOS	17
4.1. Análise de Ciclo de Vida	17
4.1.1. Introdução	17
4.1.2. Definições	18
4.1.3. Limitações	19
4.1.4. Fases de uma ACV	19
4.1.5. Estrutura Metodológica	20
4.1.5.1. Definição de objetivo e escopo	20
4.1.5.2. Objetivo do estudo	20
4.1.5.3. Escopo do estudo	20
4.1.5.4. Análise do inventário do ciclo de vida	22
4.1.5.5. Avaliação do impacto do ciclo de vida	23
4.1.5.6. Interpretação dos resultados	24
4.2. Metodologia de Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida	25
4.2.1. Seleção de categorias de impacto	25
4.2.2. Caracterização das categorias de impacto	25
4.2.2.1. Esgotamento dos recursos abióticos	26
4.2.2.2. Impactos do uso das terras	26
4.2.2.3. Mudanças climáticas	26
4.2.2.4. Diminuição do ozônio estratosférico	27
4.2.2.5. Toxicidade Humana	27
4.2.2.6. Ecotoxicidade	27
4.2.2.7. Formação de Ozônio Fotoquímico	28
4.2.2.8. Acidificação	29
4.2.2.9. Eutrofização	29
4.3. Ferramentas Computacionais	30

5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	32
5.1. Etanol	32
5.1.1. Introdução	32
5.1.2. O ciclo de vida do álcool etílico hidratado combustível	33
5.1.2.1. Extração da matéria-prima:	35
5.1.2.2. Processamento da matéria prima	39
5.1.2.3. Produção	40
5.1.2.4. Reciclagem	44
5.1.2.5. Armazenagem	45
5.1.2.6. Distribuição	45
5.1.2.7. Utilização	45
5.1.3. O ciclo de vida do álcool etílico anidro combustível	45
5.2. Gasolina	46
5.2.1. Introdução	46
5.2.2 O Ciclo de Vida da Gasolina Automotiva	47
5.2.2.1. Extração da matéria-prima	49
5.2.2.2. Produção	50
5.2.2.3. Armazenagem	56
5.2.2.4. Mistura	56
5.2.2.4. Distribuição	56
5.2.2.5. Utilização	57
6. RESULTADOS	57
6.1 Avaliação de Ciclo de Vida	57
6.1.1 Objetivo	57
6.1.2 Escopo	57
6.1.2.1. Função dos Produtos	57
6.1.2.2. Unidade Funcional	58
6.1.2.3. Sistema de produtos	58
6.1.2.4. Procedimentos de Alocação	59
6.1.3 Análise de Inventário	60
6.1.3.1. Inventário da Gasolina	60
6.1.3.2. Inventário do Etanol Etílico Hidratado	62
6.1.4. Avaliação de Impactos	65
6.1.4.1. Esgotamento dos recursos abióticos	65
6.1.4.2. Impactos do uso das terras (competição de terra)	66
6.1.4.3. Mudanças climáticas	67
6.1.4.4. Diminuição do ozônio estratosférico	68
6.1.4.5. Toxicidade humana	68

6.1.4.6. Ecotoxicidade de água doce	69
6.1.4.7. Ecotoxicidade marinha	70
6.1.4.8. Ecotoxicidade terrestre	71
6.1.4.9. Formação de Ozônio Fotoquímico	72
6.1.4.10. Acidificação	73
6.1.4.11. Eutrofização	74
7. CONCLUSÕES E DISCUSSÕES	75
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - DISTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DE VENDAS POR COMBUSTÍVEIS	10
FIGURA 2 - PRODUÇÃO BRASILEIRA DE ETANOL ANIDRO E HIDRATADO	11
FIGURA 3 - PRODUÇÃO BRASILEIRA DE ETANOL	12
FIGURA 4 - FROTA BRASILEIRA DE AUTOVEÍCULOS	14
FIGURA 5 - ETAPAS DO CICLO DE VIDA DE PRODUTOS	18
FIGURA 6 - FASES DE UMA ACV	20
FIGURA 7 - REPRESENTAÇÃO DOS FLUXOS AMBIENTAIS DE ENTRADA E SAÍDA DE UM PROCESSO	23
FIGURA 8 - INTERFACE GRÁFICA DO PROGRAMA UTILIZADO	31
FIGURA 9 - CICLO DE VIDA SIMPLIFICADO DO ETANOL	34
FIGURA 10 - APLICAÇÃO DE HERBICIDA COM OPERAÇÃO DE PREPARO DO SOLO	36
FIGURA 11 - PLANTIO MANUAL DA CANA-DE-AÇÚCAR	36
FIGURA 12 - APLICAÇÃO DE HERBICIDA COM TRATORES	37
FIGURA 13 - QUEIMA NO CANAVIAL	38
FIGURA 14 - PRODUÇÃO INDUSTRIAL DO ÁLCOOL ETÍLICO HIDRATADO	43
FIGURA 15 - FERTIRRIGAÇÃO DE VINHAÇA POR ASPERSÃO	44
FIGURA 16 - CICLO DE VIDA SIMPLIFICADO DA GASOLINA	48
FIGURA 17 - ESQUEMA ILUSTRATIVO DE UM POÇO DE PETRÓLEO COM BOMBA INSTALADA	50
FIGURA 18 - FLUXOGRAMA SIMPLIFICADO DAS PRINCIPAIS UNIDADES DE PROCESSO DE UMA REFINARIA DE PETRÓLEO	55
FIGURA 19 - SISTEMA DE PRODUTO DA GASOLINA DA EXTRAÇÃO ATÉ A REFINARIA	59
FIGURA 20 - RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DE IMPACTO DA CATEGORIA DE ESGOTAMENTO DE RECURSOS ABIÓTICOS	65
FIGURA 21 - RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DE IMPACTO DA CATEGORIA DE USO DA TERRA	66
FIGURA 22 - RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DE IMPACTO DA CATEGORIA DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS	67
FIGURA 23 - RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DE IMPACTO DA CATEGORIA DE DIMINUIÇÃO DE OZÔNIO ESTRATOSFÉRICO	68
FIGURA 24 - RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DE IMPACTO DA CATEGORIA DE TOXICIDADE HUMANA	69
FIGURA 25 - RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DE IMPACTO DA CATEGORIA DE ECOTOXICIDADE DE ÁGUA DOCE	70
FIGURA 26 - RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DE IMPACTO DA CATEGORIA DE ECOTOXICIDADE MARINHA	71

FIGURA 27 - RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DE IMPACTO DA CATEGORIA DE ECOTOXOCIDADE TERRESTRE	71
FIGURA 28 -RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DE IMPACTO DA CATEGORIA DE FORMAÇÃO DE OZÔNIO FOTOQUÍMICO	72
FIGURA 29 - RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DE IMPACTO DA CATEGORIA DE ACIDIFICAÇÃO	73
FIGURA 30 - - RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DE IMPACTO DA CATEGORIA DE EUTROFIZAÇÃO	74

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 - EMISSÕES VEICULARES PARA UM CARRO FLEX MODELO 2007 MOVIDO Á GASOLINA TIPO C	61
TABELA 2 - INVENTÁRIO DE ENTRADAS DO CICLO DE VIDA DA GASOLINA	61
TABELA 3 - INVENTÁRIO DE SAÍDAS DO CICLO DE VIDA DA GASOLINA	62
TABELA 4 - EMISSÕES VEICULARES PARA UM CARRO FLEX MODELO MOVIDO Á ETANOL	63
TABELA 5 - INVENTÁRIO DE ENTRADAS DO CICLO DE VIDA DO ETANOL ETÍLICO HIDRATADO	63
TABELA 6 - INVENTÁRIO DE SAÍDAS DO CICLO DE VIDA DO ETANOL ETÍLICO HIDRATADO	64

GLOSSÁRIO DE SIGLAS E ABREVIACÕES

ACV:	Avaliação de Ciclo de Vida
ABNT:	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANFAVEA:	Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
CETESB:	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CATI:	Coordenadoria de Assistência Técnica Integral
CML:	Centrum voor Milieukunde Leiden
COV:	Carbono Orgânico Voláteis
GEE:	Gases de efeito Estufa
GL:	Gay Lussac
GLP:	Gás Liquefeito de Petróleo
HC:	Hidrocarbonetos totais
IBCT:	Instituto Brasileiro de Ciência e Tecnologia
IEA:	Instituto de Economia Agrícola
IPCC:	Painel Intergovernamental de Alterações Climáticas
ISO:	International Organization for Standardization
OMM:	Organização Meteorológica Mundial
PAN:	Nitratos de Peroxiacetila
PROALCOOL:	Programa Nacional do Alcool
PROCONVE:	Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores
RMSP:	Região Metropolitana de São Paulo
SETAC:	Society for Environmental Toxicology and Chemistry
ÚNICA:	União da Agroindústria Canavieira do Estado de São Paulo
UV:	Ultravioleta

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, as questões ambientais se tornaram mais evidentes e as preocupações com relação às mudanças climáticas se destacaram. Projeções de aumentos das temperaturas com relação às emissões de dióxido de carbono e outros gases de efeito estufa foram divulgados e dentro desse paradigma, o modelo de produção e consumo energético adotado tem sido apontado como a maior contribuição ao forçamento antrópico do clima, devido ao uso intensivo dos recursos fósseis não renováveis[1].

A preocupação na redução dos gases de efeito estufa foi ratificada em 1997 na cidade de Quioto, Japão, onde ocorreu a Conferência das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima, na qual os países industrializados decidiram adotar um protocolo a fim de reduzirem, entre os anos de 2008 a 2012, suas emissões combinadas de GEE em pelo menos 5% em relação aos níveis de 1990 [1].

Essa preocupação em reduzir a emissão de GEE através da intensificação da retirada desses gases da atmosfera em curto, médio e longo prazo apontou para a importância da substituição dos combustíveis fósseis pelos biocombustíveis. Estudos mostram que somente no setor de cana-de-açúcar brasileiro, a substituição do etanol pela gasolina e a geração de energia a partir do bagaço pode evitar emissões de GEE equivalentes a 13% das emissões de todo o setor de energia no Brasil (base 1994) [2]

Devido á pressões ambientais, e outros fatores socioeconômicos, temos presenciado no âmbito nacional políticas de apoio aos biocombustíveis nos últimos anos, através da indução de investimentos para o aumento da produção e da oferta nacionais que asseguraram a viabilidade de ser praticada em todo o País. Alguns exemplos de atuação dessas políticas são o Próalcool lançado durante a primeira crise do petróleo; leis de percentual mínimo obrigatório (tanto de etanol como de biodiesel); linhas de financiamento vantajosas às usinas; apoio à pesquisa, como a existente atualmente sobre etanol celulósico; entre outras.

O apoio político brasileiro ao etanol e as crises do petróleo fizeram com que o Brasil fosse o único país no mundo que conta com uma frota veicular que utiliza etanol em larga escala como combustível. De acordo com a CETESB, na frota atual da RMSP, os veículos movidos a etanol hidratado representam 11,4%; os movidos a gasolina, representam 61%; os veículos do tipo “flex-fuel” correspondem a 10,1% e o percentual restante representam as motocicletas e veículos movidos a diesel representam [3].

Apesar da frota de veículos “flex-fuel” e dos veículos movidos a etanol ainda não representarem maioria na participação total, devemos salientar que a frota da RMSP é bastante antiga, sendo que 49,5% desta é anterior a 1997 [3]; e nos últimos anos observamos um aumento muito expressivo nas vendas de carro flex. Em 2007 os carros flex ocuparam um percentual de vendas de 71,9% das vendas totais [4], como podemos observar na figura 1.

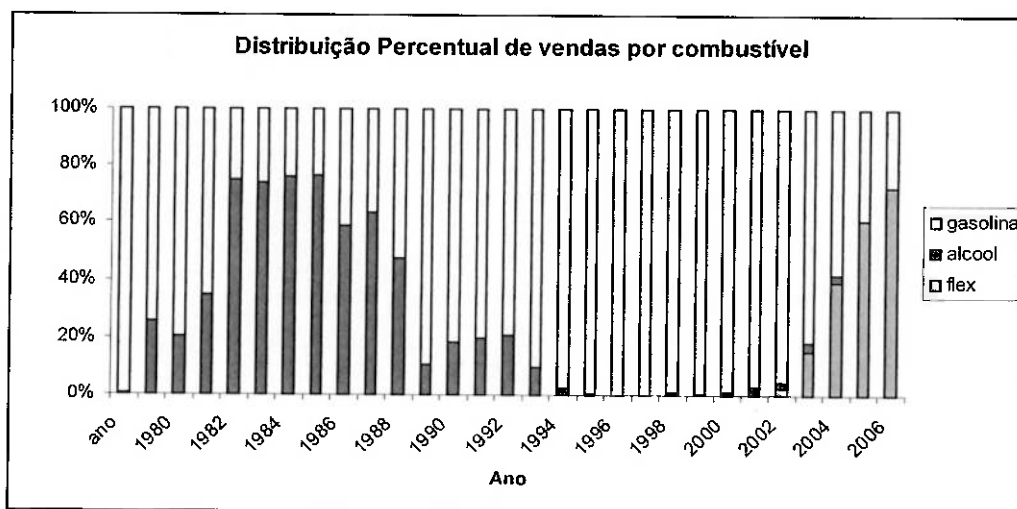


Figura 1 - Distribuição percentual de vendas por combustíveis

Fonte: Anuário da Indústria Automobilística Brasileira, 2008.

Essa mudança expressiva da venda de automóveis acarretou alterações nas produções de etanol etílico anidro e hidratado. A partir de 2003, quando iniciaram as

produções dos carros flex, pode-se observar uma diminuição da produção de etanol anidro e um aumento na produção de etanol hidratado, mostrando uma tendência de substituição da gasolina como combustível automotivo pelo álcool, uma vez que o etanol anidro é usado para a mistura e obtenção da gasolina tipo C, que é vendida nos postos de distribuição. Essas mudanças podem ser observadas no gráfico abaixo, obtido partir de dados da ÚNICA de 2008[2].

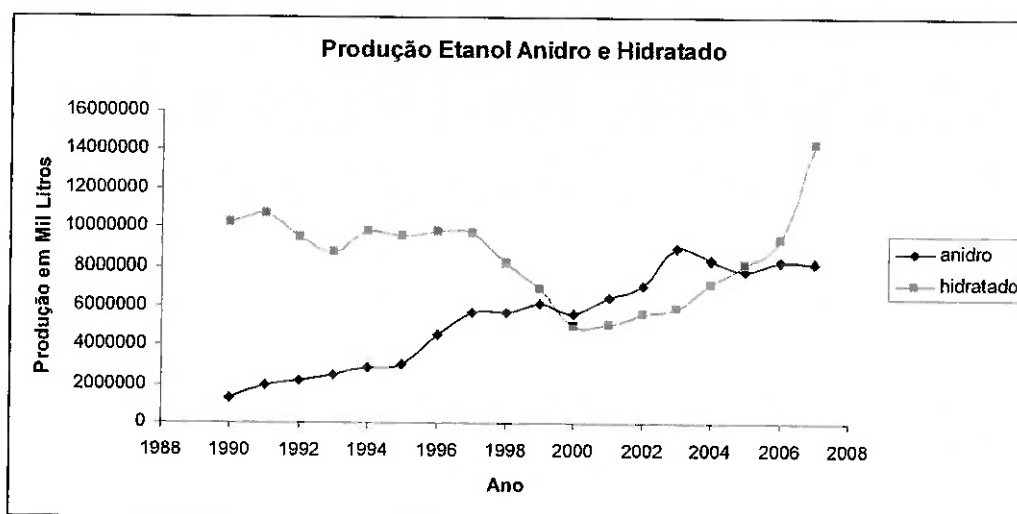


Figura 2 - Produção Brasileira de Etanol Anidro e Hidratado

Fonte: ÚNICA, 2008

Todavia, a diminuição da produção de etanol anidro e o aumento da produção de etanol hidratado não foram complementares, isto é, o aumento do consumo de etanol hidratado foi muito mais significativo uma vez que nos últimos anos observamos um aumento do valor absoluto da produção de etanol no território brasileiro. A figura 1 apresenta números sobre a produção de cana nas últimas décadas. Verifica-se o significativo aumento na produção de cana-de-açúcar no território brasileiro. No ano de criação do Proálcool, a produção de cana-de-açúcar era de 91 milhões de toneladas. Dez anos depois esse valor quase triplicou, chegando a produzir 247 milhões[5].

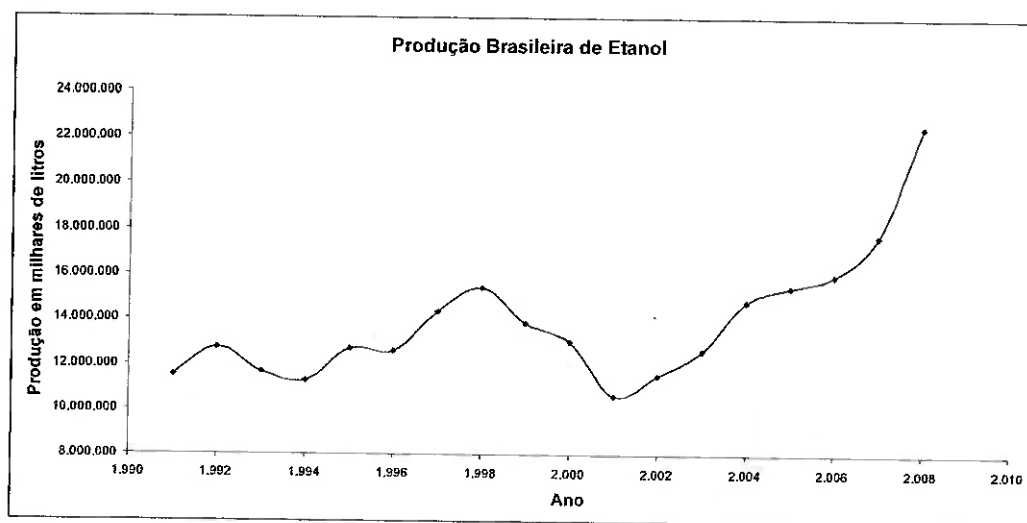


Figura 3 - Produção Brasileira de Etanol

Fonte: Única.

Esse novo ciclo de expansão da indústria canavieira brasileira, com expectativas de crescimento tanto pelo mercado interno representadas pelo apoio político e pelos motores bi-combustíveis quanto pelo mercado externo[5], caracterizado pela ascensão dos preços do petróleo e pelos compromissos de redução das emissões de CO₂, trouxe novas preocupações uma vez que o atendimento desta vasta e ascendente demanda aponta na direção do avanço das monoculturas e de seus impactos sociais e ambientais no território nacional demandam muita atenção[6].

O aumento significativo da produção de etanol mostrado acima, 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. A colaboração com o aquecimento global e a chuva ácida

são talvez 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.

Frente a essa discussão que permeia a realidade brasileira em vários aspectos e devido às suas implicações para o futuro que podem ser negativas ou positivas, foi pretendido para o trabalho de conclusão de curso fazer uma análise mais objetiva e completa desse cenário atual através da ferramenta de análise de ciclo de vida.

A ferramenta de análise de ciclo de vida pode compreender diversas áreas de conhecimento, particularmente na Engenharia ambiental. A reflexão da sociedade em relação à atitude preventiva trouxe a conscientização de um aspecto ligado ao desenvolvimento sustentável. Rejeitos materiais e energéticos são gerados a partir do consumo e da transformação de recursos naturais em bens e serviços.

Sendo assim, prevenir a disposição de rejeitos significa não apenas reduzir níveis de poluição, como também minimizar consumo de recursos naturais materiais e energéticos. Além disso, lembrando que o manuseio de recursos, como o tratamento e a disposição de rejeitos, implicam custos para qualquer organização, a redução das perdas do processo produtivo se traduz em economia de fundos, o que, tratado pela ótica do balanço econômico, pode ser entendido como aumento de lucro [7].

2. JUSTIFICATIVA

De acordo com dados da ANFAVEA [4], em 1997 cerca de 17 mil veículos rodoviários trafegavam pelo Brasil. Atualmente essa frota aumentou para cerca de 25 mil, sendo que 82% do total são automóveis. Esses dados podem ser observados no gráfico abaixo:

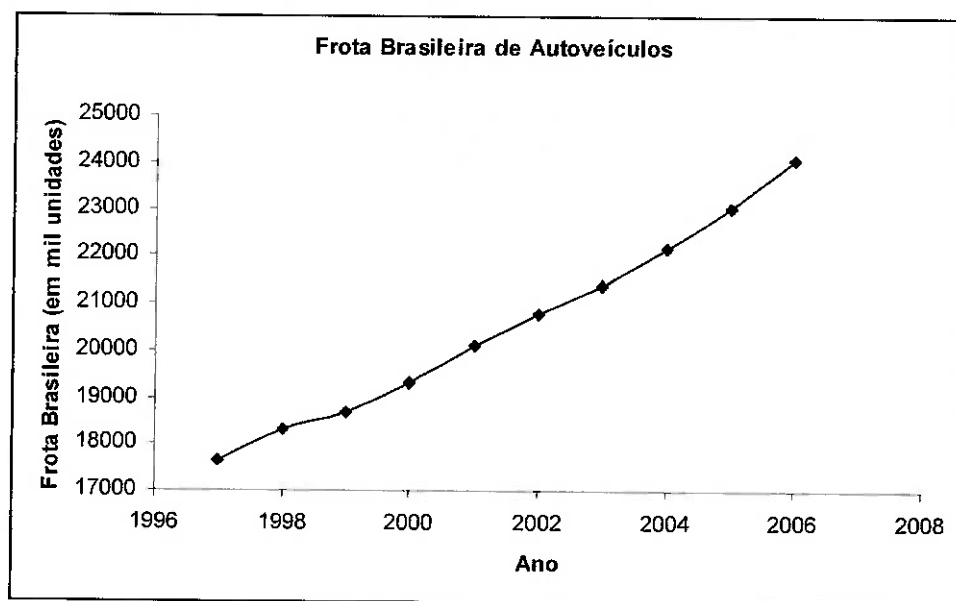


Figura 4 - Frota Brasileira de Autoveículos

Fonte: Anuário da Indústria Automobilística Brasileira 2008

A sociedade automotiva na qual vivemos, divulgada pela ANFAVEA através de números intimidantes, nos leva a refletir sobre as possíveis soluções. A diminuição da frota de automóveis e a melhoria e universalização do transporte público são a princípio ideais, mas requerem uma difícil mudança de cultura, e principalmente um planejamento de longo prazo.

O planejamento por sua vez, precisa de dados, mas muito mais do que isso precisa transformar esses dados em informação, para podemos usá-los de maneira eficiente, minimizando os impactos que afetam a sociedade como um todo.

Infelizmente, a questão do aumento do tráfego rodoviário está sendo tratada com soluções paliativas, isto é, com a finalidade de diminuir os impactos gerados pelo transporte está sendo induzida uma substituição de combustíveis, por outro considerado mais sustentável. Frente á essa linha política, devemos avaliar se essa substituição traz impactos mais ou menos significativos e analisar as produções a fim de diminuir esse impacto.

Os combustíveis discutidos neste estudo são o etanol e a gasolina. Embora exerçam a mesma função são completamente diferentes com relação aos seus impactos ambientais e sociais. É comum que os impactos do uso de uma determinada alternativa energética para os transportes sejam entendidos de forma mais direta no que se refere ao uso final, mas quando se pretende fazer comparação entre alternativas, principalmente no que se refere à forma como os recursos energéticos são obtidos, uma análise de toda a ciclo de vida da alternativa deve ser contemplada [8]. Esta necessidade se torna maior quando se pretendem destacar as vantagens ambientais do uso de fontes de energia renováveis, se comparadas com as convencionais, derivadas do petróleo.

Frente a essa problemática, a análise de ciclo de vida mostra ser uma ferramenta que se encaixa muito bem aos requisitos uma vez que se trata de uma técnica para avaliação dos aspectos ambientais e dos impactos potenciais associados a um produto, compreendendo etapas que vão desde a retirada da natureza das matérias-primas elementares que entram no sistema produtivo, à disposição do produto final. Essa técnica também é conhecida como análise "do berço ao túmulo".

Sendo assim, a análise de ciclo de vida é, na verdade, uma ferramenta técnica que pode ser utilizada em uma grande variedade de propósitos. As informações coletadas na ACV e os resultados de sua análise e interpretações podem ser úteis para

tomadas de decisão, durante um processo de comparação entre dois produtos diferentes que exercem a mesma função [7], características essas que se encaixam perfeitamente no caso da comparação do desempenho ambiental do etanol e da gasolina.

3. OBJETIVOS

O principal objetivo deste estudo consiste na comparação da avaliação dos desempenhos ambientais do etanol e da gasolina para a situação brasileira. Ainda dentro desse intento, pretende-se fornecer subsídios que auxiliem na tomada de decisão sobre a política energética de transporte automotivo no Brasil.

Entre os produtos a serem obtidos, pretende-se obter um inventário de ciclo de vida para cada uma das alternativas estudadas através do levantamento de dados sobre o ciclo de vida dos combustíveis em questão. Feito isso, se pretende conseguir uma interpretação e sistematização dos resultados através da avaliação de impactos transformando assim, dados em informações consolidando com a indicação de opções energéticas mais sustentáveis, considerando todos os impactos significativos dos recursos energéticos em estudo de uma maneira holística e objetiva.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Análise de Ciclo de Vida

4.1.1. Introdução

A ampliação da abordagem preventiva da questão ambiental aumentou o foco de sua atuação para além do uso final de cada unidade da organização. Essa ampliação ficou conhecida como “filosofia do ciclo de vida” ou, Life Cycle Thinking.

Essa filosofia pode ser entendida de acordo com Kulay [7] “como a consciência de que o bom desempenho ambiental de uma unidade isolada da cadeia produtiva não é suficiente para garantir que a mesma tenha sua sustentabilidade garantida. Esta condição será atingida apenas se a totalidade dos elos da cadeia apresentarem desempenho ambiental adequado. Nunca é demais enfatizar que a avaliação do desempenho ambiental de um produto, processo ou serviço leva em conta não apenas a disposição de rejeitos como também o consumo de recursos naturais”.

Sendo assim, a avaliação do desempenho ambiental, deve passar a ser feita de forma sistêmica, abrangendo todas as atividades capazes de impactar potencialmente ao meio ambiente, envolvidas na manufatura do produto. São, portanto, objeto dessa abordagem todas as atividades compreendidas desde a obtenção dos recursos naturais até a fabricação propriamente do produto, ao final de toda a sua cadeia produtiva. Esse escopo de aplicação é denominado foco sobre o produto.

Essa crescente 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 NBR ISO 14040:2001, 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.

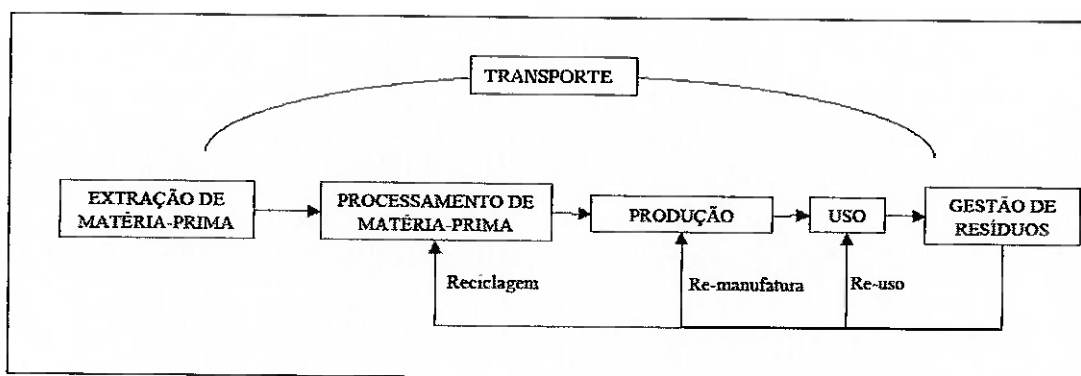


Figura 5 - Etapas do Ciclo de Vida de Produtos

Fonte: Adaptado de Vianna

Observe que o transporte foi considerado etapa do ciclo de vida por se tratar de uma atividade potencialmente geradora de impactos ambientais, que permeia praticamente todo o ciclo de vida de todos os produtos.

4.1.2. Definições

De acordo com a ISO 14040 [9], a ACV é uma técnica para avaliar aspectos ambientais e impactos potenciais associados a um produto mediante a compilação de um inventário de entradas e saídas pertinentes de um sistema de produto; a avaliação dos impactos ambientais potenciais associados a essas entradas e saídas e finalmente a interpretação dos resultados das fases de análise de inventário e de avaliação de impactos em relação aos objetivos dos estudos.

A ACV estuda os aspectos ambientais e os impactos potenciais ao longo da vida de um produto (isto é, do “berço ao túmulo”), desde a aquisição da matéria-prima, passando por produção, uso e disposição. As categorias gerais de impactos ambientais

que necessitam ser considerada incluem o uso de recursos, a saúde humana e as consequências ecológicas.

Sendo assim, a ACV pode ajudar na identificação de oportunidades para melhorar os aspectos ambientais dos produtos em vários pontos de seu ciclo de vida; na tomada de decisões na indústria, organizações governamentais ou não-governamentais; na seleção de indicadores pertinentes de desempenho ambiental, incluindo técnicas de medição entre outras utilidades

4.1.3. Limitações

A ACV tem suas limitações. Ela pode necessitar de escolhas e suposições subjetivas, como fronteiras do sistema e seleção das fontes de dados; em alguns casos as condições locais podem não ser adequadamente representadas pelas condições globais ou regionais; além disso é muito comum que a exatidão dos estudos de ACV seja limitada pela acessibilidade ou disponibilidade de dados pertinentes, ou pela qualidade dos dados. No caso do presente estudo temos terr cautela, pois a comparação de resultados de diferentes estudos de ACV só é possível se as suposições e o contexto de cada estudo forem os mesmos [9].

4.1.4. Fases de uma ACV

A norma NBR ISO 14040:2001 fornece princípios e estruturas e alguns requisitos metodológicos para condução de estudos de ACV. De acordo com ela, 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.

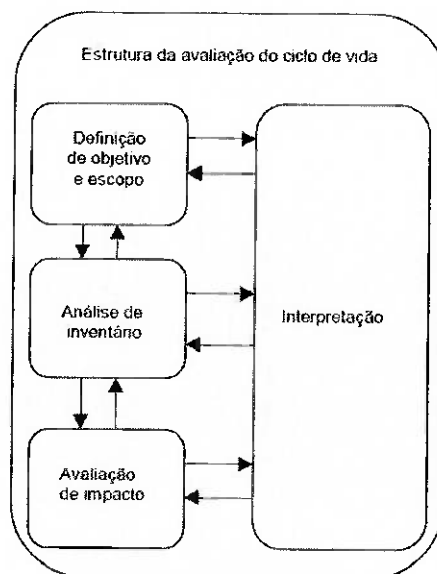


Figura 6 - Fases de uma ACV

Fonte Norma ISO 14040

4.1.5. Estrutura Metodológica

4.1.5.1. Definição de objetivo e escopo

O objetivo e escopo de um estudo da ACV devem ser consistentes com a aplicação pretendida e devem ser claramente definidos [9].

4.1.5.2 Objetivo do estudo

O objetivo de um estudo da ACV deve declarar inequivocamente a aplicação pretendida, as razões para conduzir o estudo e o público-alvo, isto é, para quem se pretende comunicar os resultados do estudo[9].

4.1.5.3. Escopo do estudo

Na definição do escopo de um estudo da ACV devem ser consideradas e claramente descritas as funções dos sistemas de produto; a unidade funcional; as

fronteiras do sistema de produto; os procedimentos de alocação; os tipos de impacto e metodologia de avaliação de impacto; assim como as suposições e limitações [9].

Convém que o escopo seja suficientemente bem definido para assegurar que a extensão, a profundidade e o grau de detalhe do estudo sejam compatíveis e suficientes para atender o objetivo estabelecido. A ACV é uma técnica iterativa. Portanto, o escopo do estudo pode necessitar de modificação enquanto o estudo estiver sendo conduzido, quando informações adicionais forem coletadas [10].

4.1.5.3.1. Função e unidade funcional

Uma unidade funcional é uma medida do desempenho das saídas funcionais do sistema de produto, onde o propósito principal é fornecer uma referência para a qual as entradas e saídas são relacionadas. Esta referência é necessária para assegurar a comparabilidade de resultados da ACV. A comparabilidade de resultados da ACV deve ser particularmente crítica quando diferentes sistemas estiverem sendo avaliados, para assegurar que tais comparações sejam feitas numa base comum [9].

4.1.5.3.2. Fronteiras do sistema

As fronteiras do sistema determinam quais unidades de processo devem ser incluídas na ACV, ela pode ser definida em função da aplicação pretendida do estudo, das suposições feitas, das restrições de dados e custo. Para tanto, os critérios usados no estabelecimento das fronteiras do sistema devem ser identificados e justificados no escopo do estudo [9].

4.1.5.3.3. Comparações entre sistemas

Em estudos comparativos como o nosso, a equivalência dos sistemas que são comparados deve ser avaliada antes da interpretação dos resultados, isto é a mesma unidade funcional deve ser utilizada, assim como as fronteiras dos sistemas e qualidade dos dados, e caso haja diferenças entre os sistemas, esses devem ser identificados e relatadas [9].

4.1.5.4. Análise do inventário do ciclo de vida

Após o objetivo e escopo do estudo estarem claramente definidos, a seguinte fase da metodologia é a análise de inventário que identifica e quantifica as entradas e saídas de e para o ambiente, do sistema de produto investigado. O seu resultado essencial é muitas vezes chamado de “tabela de inventário” [10].

Análise do inventário envolve a coleta de dados e procedimentos de cálculo para quantificar as entradas e saídas pertinentes de um sistema de produto. Estas entradas e saídas podem incluir o uso de recursos e liberações no ar, na água e no solo associados com o sistema. Podem ser feitas interpretações destes dados, dependendo dos objetivos e do escopo da ACV. Estes dados também constituem a entrada para a avaliação do impacto do ciclo de vida [10].

O processo de condução de uma análise do inventário é iterativo. Na medida em que os dados são coletados e é conhecido mais sobre o sistema, podem ser identificados novos requisitos ou limitações para os dados que requeiram uma mudança nos procedimentos de coleta de dados, de forma que os objetivos do estudo ainda sejam alcançados. Às vezes, podem ser identificadas questões que requeiram revisões de objetivo ou do escopo do estudo.

4.1.5.4.1 Procedimento de coleta de dados e cálculo

Para análise do inventário, e de acordo com a norma ISO 14040, devem ser recolhidos os dados qualitativos e quantitativos para cada processo unitário que esteja incluído dentro dos limites do sistema. A coleta de dados é feita em dois tipos de fluxos de entrada e de saída, conforme se ilustra na figura abaixo sendo um processo complexo e intensivo em recursos [9].

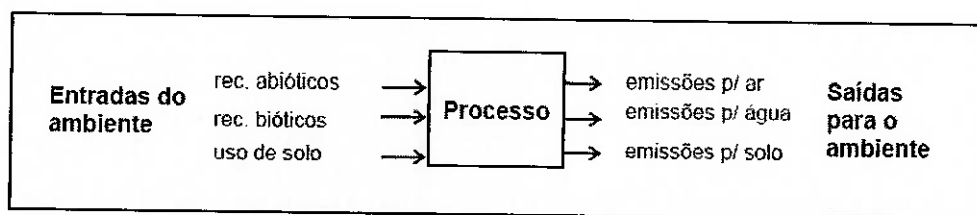


Figura 7 - Representação dos fluxos ambientais de entrada e saída de um processo

Fonte: adaptada de Ferreira, 2004.

4.1.5.5. Avaliação do impacto do ciclo de vida

A fase de avaliação do impacto da ACV é dirigida à avaliação da significância de impactos ambientais potenciais, usando os resultados da análise de inventário do ciclo de vida. Em geral, este processo envolve a associação de dados de inventário com impactos ambientais específicos e a tentativa de compreender estes impactos. O nível de detalhe, a escolha dos impactos avaliados e as metodologias usadas dependem do objetivo e do escopo do estudo [10].

Tal como aparece apresentado no texto da ISO 14040, a avaliação de impacto é, geralmente, constituída dos seguintes elementos:

- *Seleção e definição das categorias* – onde são identificadas as preocupações ambientais e as categorias e os indicadores que o estudo utilizará. As categorias devem ser definidas com base no conhecimento científico dos processos e mecanismos ambientais [9].

- *Classificação* – onde os dados do inventário são classificados e agrupados nas diversas categorias seleccionadas (como aquecimento global, destruição da camada de ozônio, acidificação, toxicidade humana, exaustão dos recursos naturais, etc.). A atribuição adequada de aspectos ambientais às suas categorias de influência é condição essencial para conferir relevância e validade à avaliação de impacto [9].

- *Caracterização* – na transposição dos aspectos ambientais em seus impactos correspondente, realizada por meio da aplicação de índices de conversão denominados *fatores de equivalência*. Quando a caracterização estiver completa, formar-se-á então o *Perfil de Impactos Ambientais* do produto em estudo, por meio do qual será possível comparar diretamente o potencial dos impactos do objeto sob análise [9].

A seleção e definição das categorias, bem como suas classificações e caracterizações serão melhor explicadas no item 4.2. referente *à metodologia de avaliação de ciclo de vida*

São também considerados, para efeito de execução da Avaliação de Impactos, muito embora em caráter não obrigatório, os procedimentos de *Normalização e Valoração*, cuja aplicação se destina à consolidação do perfil de cargas ambientais em um índice único.

4.1.5.6. Interpretação dos resultados

Consiste na identificação e análise dos resultados obtidos, incluindo conclusões sobre as questões ambientais significativas; avaliação que pode incluir elementos tais como a checagem da integridade; recomendações e explicação das limitações do estudo[9].

4.1.5.6.1. Interpretação do ciclo de vida

Interpretação é a fase da ACV na qual as constatações da análise do inventário e da avaliação de impacto ou, no caso de estudos de inventário do ciclo de vida, somente os resultados da análise de inventário, são combinados, de forma consistente, com o objetivo e o escopo definidos, visando alcançar conclusões e recomendações. As constatações desta interpretação podem tomar a forma de conclusões e recomendações para os tomadores de decisão, de forma consistente com o objetivo e o escopo do estudo [9].

4.2. Metodologia de Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida

Como foi dito anteriormente, a avaliação de impacto ambiental é a fase em que o conjunto dos resultados da Análise de Inventário são tratados e interpretados em termos de impactos ambientais [10]. Para este fim, uma lista de categorias de impacto foi definida e modelos que adequam as intervenções relacionadas com o ambiente aos indicadores de categoria de impacto também são selecionados.

4.2.1. Seleção de categorias de impacto

Na fase de avaliação do impacto, os resultados da análise de inventário são traduzidos em contribuições relevantes para as categorias de efeitos, para tanto, categorias de impactos relevantes foram identificadas. Neste trabalho estudaremos apenas as categorias de base, existente em quase todos os estudos de ACV, listadas pela IPCC como as melhores práticas de categorias de impacto de base disponíveis [11]. São elas:

- Esgotamento dos recursos abióticos
- Impactos do uso das terras (competição de terra)
- Mudanças climáticas
- Diminuição do ozônio estratosférico
- Toxicidade humana
- Ecotoxicidade de água doce
- Ecotoxicidade marinha
- Ecotoxicidade terrestre
- Formação de Ozônio Fotoquímico
- Acidificação
- Eutrofização

4.2.2. Caracterização das categorias de impacto

Os resultados das categorias de impacto são calculados na etapa de caracterização, onde foram utilizados os fatores de equivalência do método CML de

avaliação de impacto. A seguir é apresentada uma definição de cada categoria e uma breve explicação de como foram obtidos os fatores de equivalência.

4.2.2.1. Esgotamento dos recursos abióticos

"Recursos abióticos" são os recursos naturais (incluindo os recursos energéticos), como minério de ferro, petróleo e energia eólica, que são considerados como não-vivos. A categoria de impacto 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 antimônio equivalentes por kg extração. Portanto a unidade indicadora de resultado é antimônio equivalente [11].

4.2.2.2. Impactos do uso das terras

A categoria "impactos do uso das terras" pode abranger uma série de consequências humanas da utilização dos solos, como a diminuição de recursos, perda de biodiversidade, funções de apoio à vida entre outras. Consideraremos aqui apenas a categoria de base indicada pela SETAC, que compreende apenas a concorrência pelo uso da terra.

Esta subcategoria 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 m².ano [11].

4.2.2.3. Mudanças climáticas

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. Isto pode ter impactos negativos sobre saúde dos ecossistemas, a saúde humana e os patrimônios. A maior parte do aumento dessas emissões faz com que a temperatura à superfície da terra suba, referido popularmente como o "efeito estufa" [11].

A categoria de impacto de alterações climáticas é medida através dos resultados das emissões de gases efeito de estufa para a atmosfera obtidas no inventário (em kg) e

o modelo de caracterização CML foi obtido por dados do IPCC (Painel Intergovernamental de Alterações Climáticas) onde são consideradas as forçantes radioativas infravermelha dos elementos e caracterizando os por unidade de dióxido de carbono equivalente [11].

4.2.2.4. Diminuição do ozônio estratosférico

Diminuição do ozônio estratosférico refere-se ao desgaste da camada de ozônio da estratosfera como um resultado das emissões antrópicas. Isto provoca uma maior fração de radiação solar UV-B que atinge a superfície da Terra, com impactos potenciais nocivos sobre a saúde humana, saúde animal, ecossistemas aquáticos e terrestres, bioquímicas e ciclos materiais [11].

A categoria de impacto é obtida através dos resultados do inventário das emissões atmosféricas de gases que destroem a camada de ozônio no ar; onde a caracterização pelo método CML é baseada no modelo desenvolvido pela OMM Organização Meteorológica Mundial que definem o potencial de redução do Ozônio para diferentes gases expressa em unidade de kilogramas de CFC 11 equivalentes [11].

4.2.2.5. Toxicidade Humana

Esta categoria de impacto abrange os impactos na saúde humana das substâncias tóxicas presentes no ambiente. A categoria é obtida através dos resultados do inventário de emissões tóxicas para o ar, da água e do solo (em kg), onde a caracterização pelo método CML é feita por um modelo de transporte de poluentes, que descreve o destino, a exposição e os efeitos de substâncias tóxicas. 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 [11].

4.2.2.6. Ecotoxicidade

Esta categoria abrange os impactos das substâncias tóxicas no meio aquático, terrestre e sedimentos dos ecossistemas.

4.2.2.6.1. Ecotoxicidade de água doce

A categoria de impacto é obtida de maneira equivalente à categoria de toxicidade humana e também é expressas em kg 1,4 diclorobenzeno equivalentes, todavia, o fator de equivalência é calculado através da razão das concentrações ambientais previstas e das concentrações previstas sem efeito [11].

4.2.2.6.2. Ecotoxicidade Marinha

A categoria de impacto é obtida de maneira equivalente à categoria de ecotoxicidade de água doce.

4.2.2.6.3. Ecotoxicidade Terrestre

A categoria de impacto é obtida de maneira equivalente à categoria de ecotoxicidade de água doce.

4.2.2.7. Formação de Ozônio Fotoquímico

A 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. Estes compostos podem ser reativos e prejudiciais à saúde humana e aos ecossistemas. Além disso, eles também podem danificar as culturas.

Os compostos foto-oxidantes podem ser formados na troposfera sob a influência da luz ultravioleta, através da oxidação fotoquímica de compostos orgânicos voláteis (COV) e de monóxido de carbono (CO) na presença de óxidos de nitrogênio (NO_x). O ozônio é considerado o mais importante destes compostos oxidantes, juntamente com os nitratos de peroxiacetila (PAN) [11].

A categoria de impacto de formação foto-oxidante é obtida através dos resultados do inventário de emissões de carbono orgânico voláteis e monóxidos de carbono (em kg), onde os fatores de equivalência pelo método CML foram calculados através de um modelo de trajetória e os resultados são indicados por unidades de kg equivalentes de etileno [11].

4.2.2.8. Acidificação

Sabe-se que os poluentes acidificantes têm uma ampla variedade de impactos sobre o solo, as águas subterrâneas, as águas de superfície, os ecossistemas e construções. Os principais poluentes acidificantes são SO_2 , NO_x e NH_x [11].

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 do método CML foram 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. Os resultados são expressos em kilogramas de SO_2 equivalentes [11].

4.2.2.9. Eutrofização

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. Além disso, elevadas concentrações de nutrientes podem também tornar as águas superficiais impróprias para o consumo. Nos ecossistemas aquáticos o aumento da produção de biomassa pode levar a uma diminuição das concentrações de oxigênio, devido ao consumo adicional de oxigênio na decomposição dessa biomassa.

A categoria de impacto de eutrofização é obtida através dos resultados do inventário de emissões de nutrientes para o ar, da água e do solo (em kg), onde os fatores de equivalência do método CML foram calculados pela deposição de biomassa e os resultados são expressos em kilogramas de PO_4 equivalentes [11].

4.3. Ferramentas Computacionais

Os estudos de ACV permitem o gerenciamento de recursos naturais envolvidos no processo de produção e a identificação dos pontos críticos de um determinado processo/produto. A fase de inventário, por exemplo, é uma fase da ACV que envolve a compilação e quantificação das entradas e saídas para um determinado sistema de produto. Para tanto, é apropriado que se apresente o conteúdo do banco de dados de forma harmonizada e consistente com documentação compreensiva e, considerando que a realização dessa análise envolve a manipulação de um grande volume de informações, faz-se necessário o uso de ferramentas computacionais [12].

Atualmente, alguns softwares têm sido desenvolvidos, principalmente na Europa e Estados Unidos, para atender às diversas necessidades em que a ACV pode ser empregada como ferramenta de avaliação ambiental. Para esse trabalho foi escolhido o software *Gabi 4 Software-System and Databases for Life Cycle Engineering*, desenvolvido pela Universidade de Stuttgart, Echterdingen.

O software utilizado permite calcular processos de redes complexos e faz a combinações hierárquica dos planos arranjados. Além disso, através dele pode-se fazer o controle de consistência através dos balanços de massa calculados [13]. Apesar das funcionalidades citadas acima, a principal justificativa para a utilização dessa ferramenta computacional é a o sistema do software que permite a compilação e o gerenciamento de banco de dados de inventário de ciclo de vida existentes. Na figura abaixo é mostrada a interface gráfica do programa utilizado.

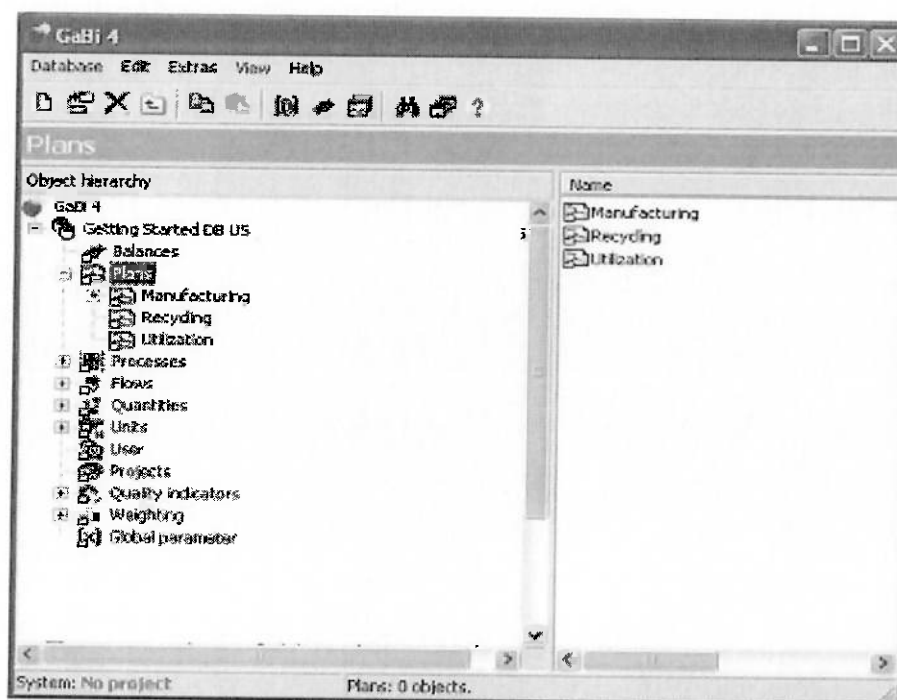


Figura 8 - Interface gráfica do programa utilizado

Fonte: Gabi 4 Software-System and Databases for Life Cycle Engineering

5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

5.1. Etanol

5.1.1. Introdução

O etanol que iremos estudar possui a forma molecular de C_2H_5OH ou C_5H_6O , comercialmente conhecido como álcool etílico, ele é produzido a partir da fração biodegradável de resíduos para utilização como combustível e pode ser caracterizado como um álcool incolor, volátil, inflamável e solúvel em água, produzido através da fermentação da sacarose[14].

Existem diversas utilizações para o álcool etílico como solvente em processos industriais, anti-séptico, conservante, componente de diversas bebidas, em desinfetantes domésticos e hospitalares, solvente de fármacos importantes [14]. Todavia o que estudaremos aqui é somente o etanol na forma de combustível veicular proveniente da fermentação da cana de açúcar.

A evolução tecnológica do setor sucroalcooleiro vem permitindo um maior aproveitamento energético de todos os componentes da planta cana-de-açúcar. Atualmente, além do aproveitamento do suco para a produção de açúcar e álcool, o bagaço é utilizado como combustível para o processo industrial [15].

Nesse tópico abordaremos primeiramente o álcool etílico hidratado combustível, que é usado diretamente no automóvel, mas também consideraremos álcool etílico anidro para o estudo da gasolina automotiva brasileira, uma vez que de acordo com a Lei Federal No 10.203, de 2001 existe um percentual obrigatório de adição de etanol anidro em vinte e dois por cento da gasolina em todo o território nacional.

5.1.2. O ciclo de vida do álcool etílico hidratado combustível

Em todo seu ciclo de vida, o etanol possui etapas que consomem combustível fóssil, direta e indiretamente, com conseqüente emissão de gases de efeito estufa. Há emissões indiretas na produção dos insumos químicos e no maquinário utilizado para todas as fases da produção de etanol [15].

De forma geral, as etapas do seu ciclo de vida podem ser resumidas em: extração da matéria-prima, produção, reciclagem, armazenagem, distribuição e utilização. Para o álcool combustível advindo da cana-de-açúcar, a extração da matéria-prima corresponde às atividades agrícolas do cultivo da cana-de-açúcar; a produção, a fase de transformação industrial, desde a entrada da cana na usina até a produção do álcool combustível, incluindo a geração de energia elétrica e o vapor; a reciclagem que é realizada por meio da fertirrigação da vinhaça; a armazenagem nos tanques de álcool; a distribuição, pelo transporte do álcool até os postos revendedores e a utilização, pela combustão do etanol usado como combustível em veículos automotores [16]. Na figura 9 é mostrado um fluxograma simplificado do ciclo de vida do etanol etílico hidratado.

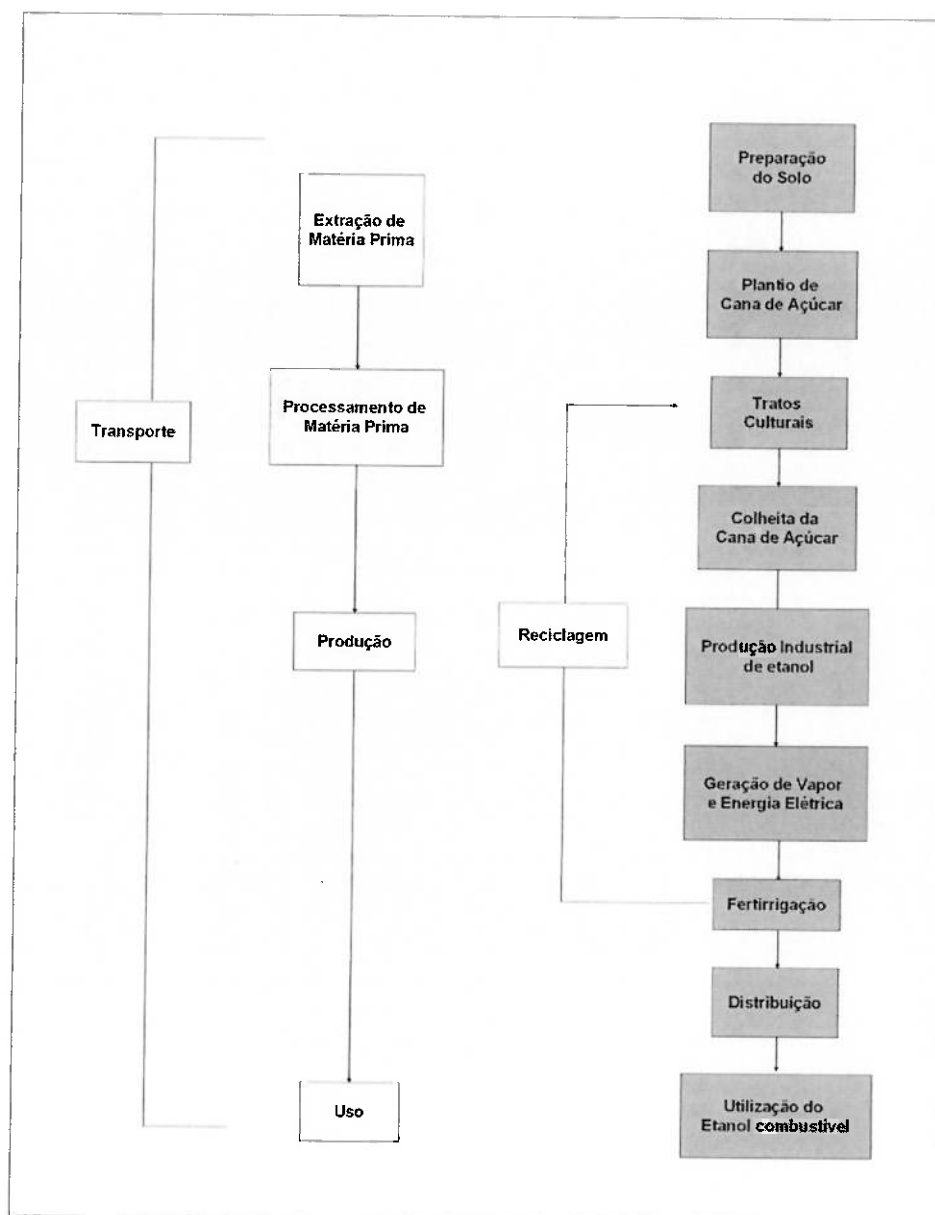


Figura 9 - Ciclo de vida simplificado do etanol

Fonte: Elaboração própria a partir de Vianna e Ometto

5.1.2.1. Extração da matéria-prima:

A extração da matéria-prima corresponde às atividades agrícolas do cultivo da cana-de-açúcar. Nessa fase, consideraremos as etapas de preparo do solo; plantio da cana; tratos culturais e a colheita da cana.

5.1.2.1.1. Preparo do Solo

A fase agrícola do processo canavieiro pode ser teoricamente em qualquer área fértil e propícia para a plantação de cana-de-açúcar, porém dados mostram que a expansão da cana-de-açúcar nos últimos 25 anos aconteceu principalmente no Centro-Sul do Brasil, em áreas muito distantes dos biomas atuais da Floresta Amazônica, Mata Atlântica e Pantanal. Entre 1992 e 2003, no Centro-Sul a expansão deu-se quase totalmente (94%) nas áreas já utilizadas com cana-de-açúcar, sendo que novas fronteiras agrícolas foram muito pouco envolvidas [17]. Portanto, para fins de análise, podemos admitir que as áreas utilizadas para esse tipo de cultura são majoritariamente já desmatadas, com áreas previamente utilizadas para fins agrícolas e que as atividades de iniciam pelas operações de limpeza do terreno, de nivelamento de solo, de estudos de sua qualidade, de aração e de gradagem [16].

Após essas atividades, inicia-se o preparo do solo, que abrange uma série de operações que têm por finalidade fornecer as melhores condições físico-químico-biológicas ao solo para a germinação das sementes ou o brotamento dos tubérculos [16].

No preparo do solo, temos de considerar duas situações distintas, uma onde a cana vai ser implantada pela primeira vez; ou outra situação onde o terreno já se encontra ocupado com cana. No primeiro caso, faz-se uma aração profunda seguida de gradagem, com o objetivo de completar a primeira operação. Já na segunda situação, onde a cultura da cana já se encontra instalada, o primeiro passo é a destruição da soqueira, que deve ser realizada logo após a colheita. Essa operação pode ser feita por meio de aração rasa nas linhas de cana, seguidas de gradagem ou através de gradagem pesada, enxada rotativa ou uso de herbicida, em alguns casos [17].



Figura 10 - Aplicação de Herbicida com operação de preparo do solo

Fonte: Ometto, 2005

5.1.2.1.2. Plantio da cana

A operação de plantio pode ser manual ou mecanizada, todavia acredita-se que ainda o plantio é realizado prioritariamente de modo manual, com o auxílio de um caminhão que carrega a cana. Nesse processo; os funcionários arremessam-na no sulco enquanto outros a picam em toletes, como mostra a figura abaixo [16].



Figura 11 - Plantio manual da cana-de-açúcar

Fonte: Ometto, 2005

5.1.2.1.3. Tratos Culturais

Após o plantio, iniciam-se os tratos culturais que são práticas agrícolas que tem as finalidades de preservar ou restaurar as propriedades físicas e químicas do solo; eliminar ou reduzir a concorrência das plantas invasoras; conservar o sistema de controle de erosão; controlar pragas ou doenças, eventualmente [16] No caso da cana de açúcar, os tratos culturais na cana-planta limitam-se apenas ao controle das ervas daninhas, adubação em cobertura e adoção de uma vigilância fitossanitária para controlar a incidência do carvão [18].

A análise da aplicação de herbicidas deve ser cautelosa uma vez que os métodos de controle das ervas daninhas têm sido freqüentemente modificados em função de avanços tecnológicos. No Brasil, a cana ainda utiliza mais herbicidas que café ou milho e menos que a citricultura e é equivalente à soja. Há forte tendência para o aumento das áreas com colheita de cana crua, com palha remanescente no solo. Todavia, apesar dos avanços, não parece ser possível eliminar totalmente os herbicidas, inclusive pelo surgimento de pragas até então incomuns [19].



Figura 12 - Aplicação de herbicida com tratores

Fonte: Ometto, 2005

5.1.2.1.4. Colheita da Cana

Após as aplicações de herbicidas, a próxima etapa do ciclo de vida do álcool, ainda nas operações agrícolas, é a fase da colheita, na qual ainda se utiliza a prática da queima da palha da cana-de-açúcar, prévia ao corte. A principal justificativa é a diminuição dos custos da colheita em até 50 % e a eliminação de roedores e outras pragas [20].

Quando a cana é queimada na pré-colheita ocorre a produção de grande quantidade de fumaça, dependendo das condições atmosféricas e do estado vegetativo das plantas. Sob clima quente e seco, o canavial apresenta grande volume de folhas secas, e o fogo é extremamente rápido e intenso, gerando uma grande quantidade de elemento particulado [21].

Assim como na análise da aplicação de herbicidas, a análise das áreas queimadas também deve ser cautelosa uma vez que existem legislações com metas de redução e os avanços tecnológicos também podem influenciar nesses dados. O estudo mais recente realizado pelo Instituto de Economia Agrícola (IEA) de São Paulo e publicado em Abril de 2008 se baseou em estimativas de safra fornecidas pelo Cati (Coordenadoria de Assistência Técnica Integral) e mostra que a mecanização alcança pouco mais de 40% da área de cana em SP [22].



Figura 13 - Queima no Canavial

Fonte: Arbex, 2001.

Após a colheita, a cana deve ser transportada da lavoura até a unidade industrial. A carga é transportada predominantemente por caminhões [23].

5.1.2.2. Processamento da matéria prima

O processamento da matéria prima inicia-se na mesa alimentadora, que recebe as cargas de cana do estoque, ou diretamente dos caminhões, transferindo-as a uma ou mais esteiras metálicas que conduzem a cana até as moendas, passando pelo sistema de preparo [24]. Logo no início do processo industrial, a cana já é lavada com água. A lavagem, efetuada sobre as mesas alimentadoras, visa à retirada de matérias estranhas como terra, areia e fuligem. [24]. Nessa etapa é gerado o primeiro efluente: a água de lavagem de cana, mas em alguns casos, algumas usinas descartam esta operação, principalmente quando é utilizado o corte da cana crua, pois dessa maneira, a cana não retém tanta sujeira [16]



Figura 14 - Lavagem da Cana de Açúcar

Fonte: Ometto, 2005

5.1.2.3. Produção

A produção consiste nos processos de moagem, tratamento do caldo, fermentação e destilação. Os processos serão explicados de maneira mais detalhadas nos itens a seguir

5.1.2.3.1. Moagem

O processo de moagem consiste em deslocar o caldo contido na cana. Este deslocamento é conseguido fazendo a cana passar entre rolos, submetidos à determinada pressão e rotação, sendo o volume gerado menor que o volume da cana. [24].

Na primeira unidade de moagem ocorre a maior parte da extração global, simplesmente pelo deslocamento do caldo. A cana tem aproximadamente sete partes de caldo para cada parte de fibra; já no primeiro bagaço essa proporção cai para duas a duas vezes e meia. Para aumentar essa eficiência utiliza-se o processo de embebição [24], onde se adiciona água para embeber o interior das células da cana diluindo o açúcar ali existente e com isso aumentando a eficiência da extração, conseguindo-se assim extrair cerca de 96% do açúcar contido na cana. Em seguida, o caldo extraído vai para o processo de tratamento do caldo e o bagaço para as caldeiras [23].

5.1.2.3.2. Tratamento do Caldo

O tratamento do caldo tem como objetivo a máxima eliminação das impurezas insolúveis, uma vez que o caldo de cana obtido no processo de extração apresenta uma quantidade e qualidade variável de impurezas (areia, argila, bagacilho, etc.), cujos teores variam de 0,1% a 1%. O tratamento do caldo pode variar bastante de acordo com a usina. Podem ser usadas peneiras ou hidrociclones para a separação dos sólidos [24].

Após o tratamento primário, o caldo é submetido a um aquecimento através dos trocadores de calor onde o caldo é aquecido a aproximadamente 105°C, com a finalidade de acelerar e facilitar a coagulação e floculação de colóides, ou seja, acelerar o processo químico, aumentando a eficiência da decantação [24]. Ainda acredita-se que

o aquecimento pode favorecer a fermentação por fazer uma "esterilização" das bactérias e leveduras selvagens que concorreriam com a levedura do processo de fermentação [23].

Após o aquecimento, outra etapa de tratamento do caldo, é a sedimentação realizada de forma contínua em um equipamento denominado clarificador ou decantador, que possui vários compartimentos (bandejas), com a finalidade de aumentar a superfície de decantação [24]. O lodo resultante da decantação é submetido à filtração a vácuo.

Esta filtração objetiva recuperar o açúcar contido no lodo, fazendo com que este retorne ao processo na forma de caldo filtrado. O material retido no filtro recebe o nome de torta de filtro e é enviado à lavoura para ser utilizado como adubo [16].

O caldo clarificado obtido nos decantadores é submetido a um processo de concentração por meio da eliminação da água presente através do evaporador. Este procedimento, obtido devido à diferença de pressão existente entre os corpos, é mantido por um sistema gerador de vácuo [24].

5.1.2.3.3. Fermentação

Após o tratamento do caldo, inicia-se o processo de fermentação. O processo de fermentação mais comumente utilizado no Brasil é feito através da recuperação da levedura através da centrifugação do vinho. Esta levedura recuperada, antes de retornar ao processo fermentativo, recebe um tratamento severo, que consiste em diluição com água e adição de ácido sulfúrico até, normalmente, $\text{pH} = 2,5$, ou mais baixo no caso de haver infecção bacteriana [24]. Assim, o fermento tratado volta ao primeiro estágio para começar um novo ciclo fermentativo [23].

Durante a fermentação a levedura *Saccharomyces uvarum* é responsável pela transformação dos açúcares em etanol, ou seja, do açúcar em álcool, onde ocorre desprendimento de gás carbônico e calor. A fermentação é regulada para 28 a 30°C. O mosto (solução de açúcar cuja concentração foi ajustada de forma a facilitar a sua

fermentação) fermentado é chamado de vinho. Esse vinho contém de 7 a 10% de álcool, e o tempo de fermentação pode variar de 4 a 10 horas [23].

5.1.2.3.4. Destilação

Como dito anteriormente, o vinho que vem da fermentação possui, em sua composição, 7 a 10% em volume de álcool. A destilação, processada em colunas superpostas, faz com que etanol se separe do vinho gerando a flegma (vapores com 40° a 50°GL) [24]. Além da flegma, no processo de destilação é também gerada a vinhaça, principal efluente da produção de etanol, responsável por mais de 60% da carga poluidora de uma destilaria [16].

Após a destilação ainda existe o processo de retificação, onde a concentração eleva-se à até 97°GL. O produto obtido após a retificação é o álcool etílico hidratado combustível, um dos objetos de estudo desse trabalho [16].

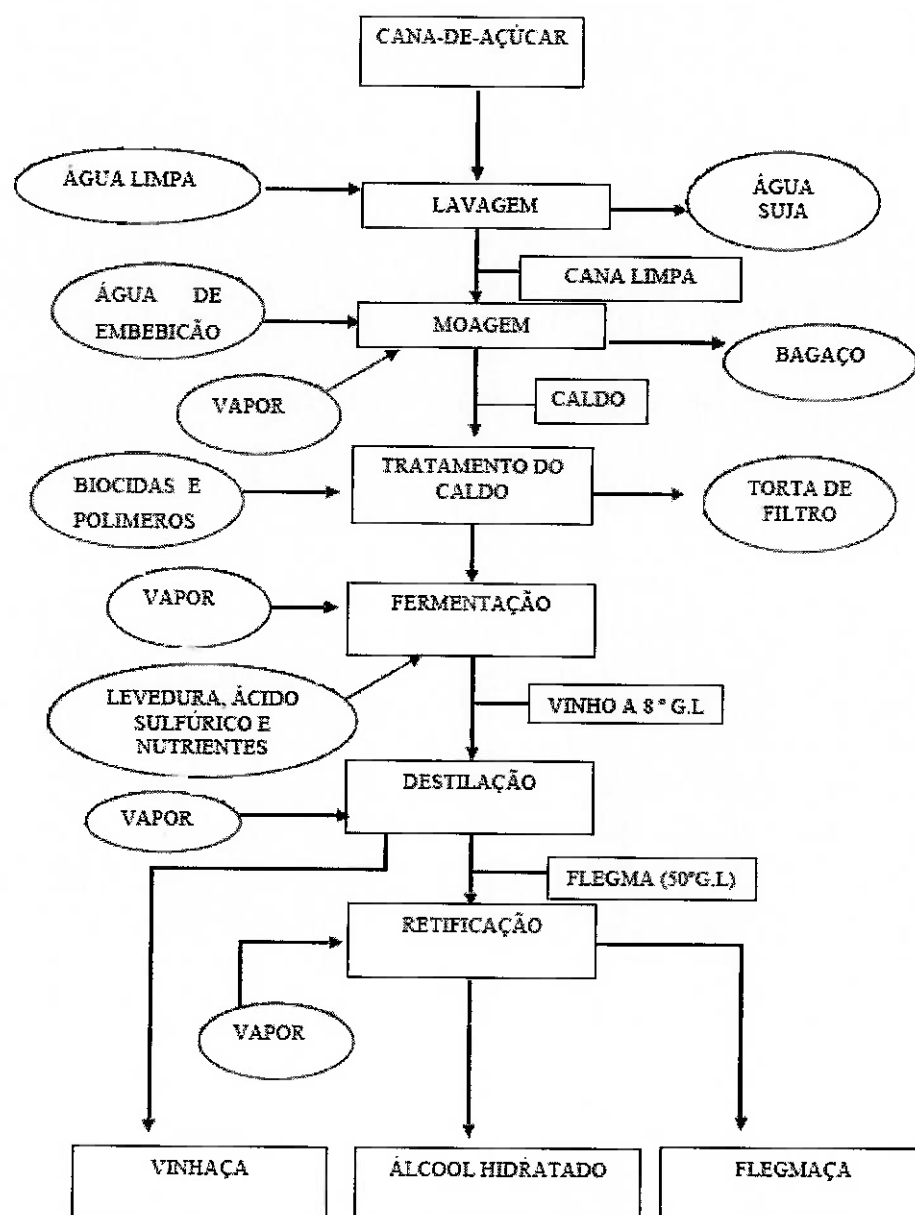


Figura 15 - Produção Industrial do Álcool Etílico Hidratado

Fonte: Ometto, 2005

5.1.2.4. Reciclagem

A reutilização de subprodutos no ciclo de vida do álcool é caracterizada pela fertirrigação da vinhaça e torta de filtro nos campos de cultivo. A vinhaça ou vinhoto, como visto, é resultante da produção do álcool, após a fermentação do mosto e a destilação do vinho[16]. Seu desprendimento, dependendo do teor alcoólico obtida na fermentação, de 10 a 15 m³ por m³ de álcool produzido [25].

A porcentagem da área de fertirrigação das usinas é bastante variável, tanto em escala regional, como dentro de uma mesma região. Existem usinas que já vem aplicando vinhaça em 70% da sua área de cultivo, por outro lado podem-se encontrar também usinas com áreas de fertirrigação bem abaixo deste valor [26]. Por constituir-se em matéria rica em nitrogênio, e em especial em potássio sua utilização nas lavouras de cana-de-açúcar, em substituição parcial ou total à adubação organo-mineral, tem sido largamente ampliada [25].

O transporte da vinhaça pode ser realizado por caminhões, canais abertos ou bombeados. A aplicação, também pode ser feitas por caminhões, mas em 94% dos casos estudados por Souza [27], é utilizado o método de aspersão, como mostra a figura abaixo.

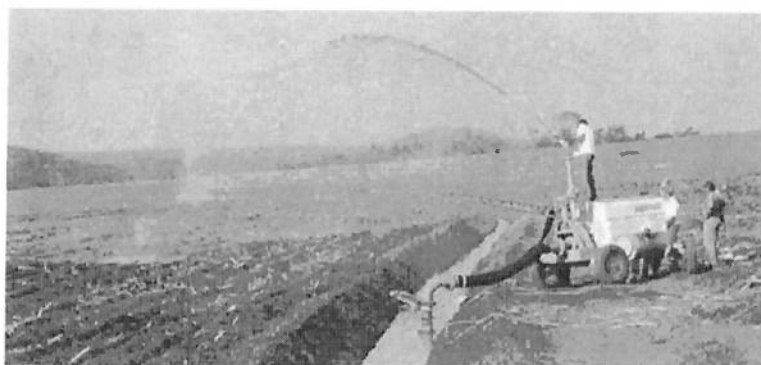


Figura 16 - Fertirrigação de vinhaça por aspersão

Fonte: Conselho Estadual de Política Agrícola

5.1.2.5. Armazenagem

Os álcoois produzidos, hidratado e anidro, são quantificados através de medidores de vazão ou tanques calibrados e enviados para armazenagem em tanques de grande volume, situados em parques de tanques, onde aguardam sua comercialização e posterior remoção por caminhões [24].

5.1.2.6. Distribuição

A distribuição do etanol é realizada, por meio de caminhões a diesel, até os postos de gasolina [16].

5.1.2.7. Utilização

A utilização é feita através da combustão do etanol usado como combustível em veículos automotores como meio de transporte [16].

5.1.3. O ciclo de vida do álcool etílico anidro combustível

O etanol anidro é usado como combustível quando adicionado à gasolina, no entanto, apresenta uso muito variado. Pode ser utilizado nas fabricações de polietileno, estireno, cetona, acetaldeído, poliestireno, ácido acético, éter, acetona e toda a gama de produtos que se extraem do petróleo. Além disso, é utilizado na produção de fibras sintéticas, de vernizes, de solventes e de plastificantes [28].

Como dito anteriormente, o álcool hidratado atinge um teor da ordem de 96°GL [16]. Isto ocorre devido à formação de uma mistura azeotrópica, fenômeno físico no qual os componentes não são separados pelo processo de destilação. Este álcool hidratado pode ser comercializado desta forma ou passar por mais processos de desidratação [24]. Sendo assim, o ciclo de vida do etanol anidro é igual ao do etanol hidratado, porém passando por mais alguns dos processos de descritos a seguir.

Um processo bastante utilizado é a denominada destilação azeotrópica, onde se utiliza o ciclohexano para auxiliar a mistura ternária entre o álcool e a água (azeótropo) com um ponto de ebulição de 63°C. Este menor ponto de ebulição da mistura em

relação ao do álcool (78°C), faz com que a água seja retirada no topo da coluna, similarmente ao processo de destilação citado anteriormente, mas dessa vez, o efluente alcoólico sai com um teor alcóolico em torno de 99,3%. [24].

Além da utilização de artifícios como o benzeno também pode ser utilizado o mono etileno glicol (MEG), onde o processo de destilação é denominado destilação extrativa, pois nesse caso, o MEG absorve e arrasta a água para o fundo da coluna e os vapores de álcool anidro saem pelo topo da coluna. [24].

Outro tipo de desidratação é através de peneiras moleculares, referida tecnicamente como zeolitas, i.e. hidrosilicato de alumínio contendo micro-poros. Por meio de aquecimento e evaporação, as zeolitas auxiliam na separação da mistura absorvendo a água e deixando passar os vapores de álcool que são posteriormente condensados na forma de álcool anidro [24].

5.2. Gasolina

5.2.1. Introdução

O petróleo é originário da decomposição de matéria orgânica, transformada por meio de determinadas condições de pressão e temperatura, durante um profundo e prolongado soterramento, na ausência de oxigênio. Sua base de formação é composta por hidrocarbonetos parafínicos e naftênicos [29].

O refino do petróleo envolve uma sequência de operações de beneficiamento, cujo objetivo é a obtenção de uma diversidade de produtos de alto valor comercial, minimizando os custos da produção. Em 2005 de acordo com dados do IBCT [30], 20,12% em massa dos produtos de uma refinaria correspondiam à gasolina automotiva.

A gasolina automotiva é uma mistura complexa de hidrocarbonetos variando de quatro a doze átomos de carbono e tendo pontos de ebulição entre 30 e 225°C. A faixa de destilação da gasolina tem sofrido modificação com a evolução da indústria petrolífera e dos motores de combustão interna [31].

Como foi dito anteriormente, desde o Programa Nacional do Álcool – PROÁLCOOL, ocorreram importantes modificações nas composições dos combustíveis utilizados pelos veículos automotores. Inicialmente, foi adotada a mistura da gasolina com 15% de álcool anidro, e atualmente temos o percentual obrigatório de 22%. Portanto, o produto final do ciclo de vida que estudamos aqui será a mistura entre a gasolina e o etanol anidro, também conhecido como gasohol

5.2.2 O Ciclo de Vida da Gasolina Automotiva

Vários processos podem ser usados para obter a gasolina a partir do petróleo. Os diferentes processos do ciclo de vida da gasolina passaram por diversas mudanças e por fim evoluiu no processo que já é consagrado hoje em dia. Acredita-se que devido à pressões com relação aos impactos do uso de combustíveis fósseis e também a valorização dos preços dos barris de petróleo, as refinarias de todo o mundo aperfeiçoavam os processos de fabricação de gasolina a fim de maximizar os lucros e satisfazer os requisitos de qualidade. Isto é, o maior consumo de gasolina levou ao desenvolvimento de processos permitindo maiores rendimentos. Todos esses fatores induziram ao estado atual do ciclo de vida da gasolina, constituindo um consagrado e complexo conjunto de tecnologias [32].

O mencionado conjunto de tecnologias que compõe o ciclo de vida da gasolina pode ser resumido de forma geral pelos processos de perfuração; bombeamento; hidrotratamento, destilação; craqueamento; reforma (e outros tratamentos); distribuição e finalmente a utilização da gasolina automotiva como combustível. Na figura 16 é mostrado um esquema simplificado do ciclo de vida da gasolina automotiva.

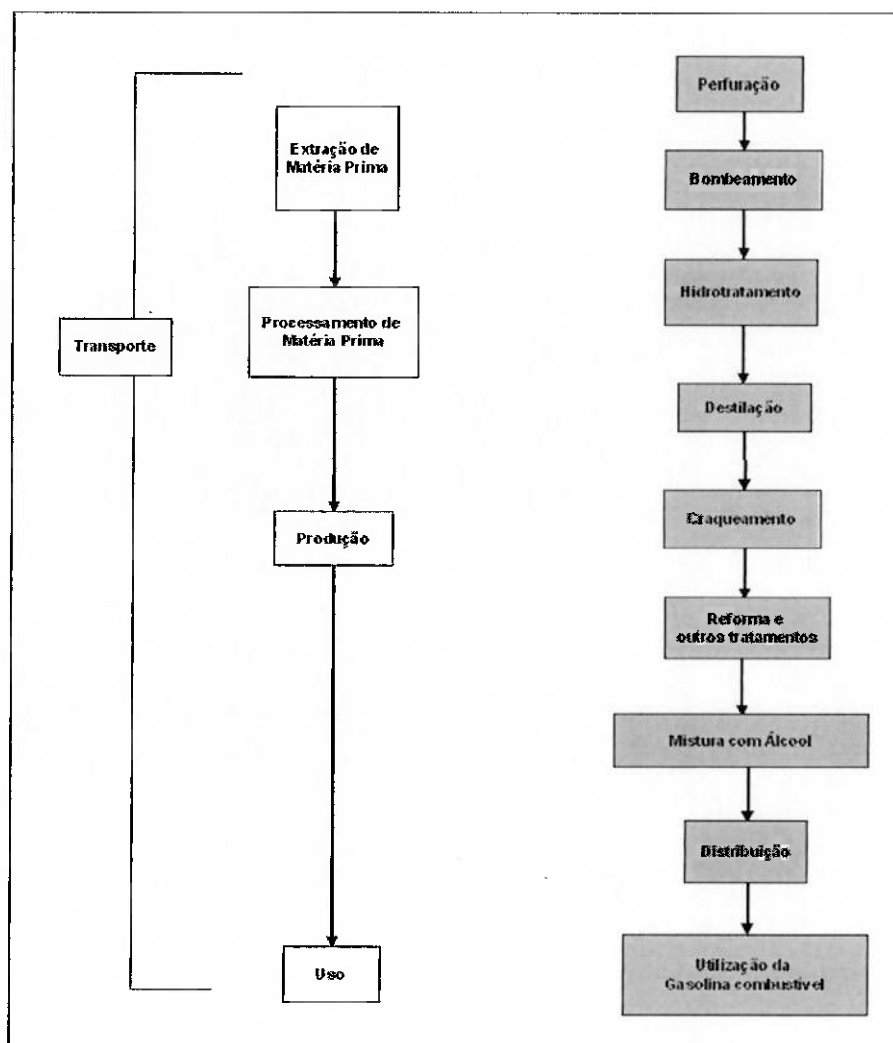


Figura 17 - Ciclo de vida simplificado da Gasolina

Fonte: Elaboração própria a partir de Vianna, Matta et al.

5.2.2.1. Extração da matéria-prima

A extração da matéria prima pode ser entendidas pelas etapas de perfuração e bombeamento de petróleo bruto.

5.2.2.1.1. Perfuração

A etapa de perfuração dos poços de petróleo bruto pode ser em terra ou mar, designadas respectivamente como perfuração *onshore* e *offshore*. Em ambos os casos a perfuração é feita através de uma sondas e brocas que formam a coluna de perfuração, que consiste em um tubo vertical.

No Brasil, a perfuração em alto mar é muito mais comum, representando 85,5% de todo o petróleo originário do Brasil [28]. Ainda com relação à perfuração *offshore*, temos a possibilidade de procedimentos tanto em águas rasas como em águas profundas. Em águas rasas, são utilizadas plataformas auto-elevatórias, e em águas profundas, são empregadas plataformas flutuantes ou semi-submersíveis [33].

Apesar de ainda não haver tecnologia consolidada para perfuração em águas muito profundas, não podemos deixar de citar a possibilidade de perfuração em camadas as do pré-sal, que são reservas localizadas abaixo da camada de sal e se localizam de cinco a sete mil metros abaixo do nível do mar.

5.2.2.1.2. Bombeamento

O bombeamento é a etapa em que se consolida a extração da matéria prima. Para tanto, a torre de perfuração é removida e a bomba é colocada sobre a cabeça do poço. O sistema de bombeamento é composto basicamente por alavancas que movimentam uma vareta polida para cima e para baixo, onde a vareta polida é fixada a uma vareta de sucção, a qual é fixada à bomba. Isto é, cria-se um sistema que força a bomba para cima e para baixo, criando uma sucção que aspira o petróleo através do poço.[34].

Nessa etapa existe um alto consumo de energia uma vez que estamos lidando com grandes dimensões e a movimentação da alavanca é acionada por motores elétricos que acionam a caixa de engrenagens [34].

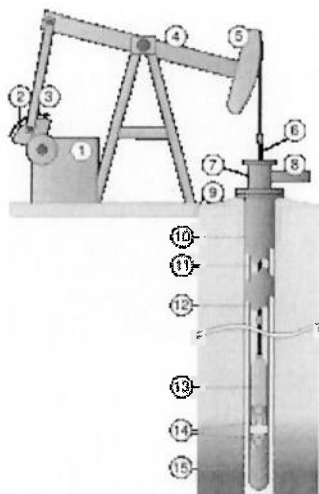


Figura 18 - Esquema ilustrativo de um poço de petróleo com bomba instalada

5.2.2.2. Produção

A fase de produção da gasolina pode ser entendida pelo refino do petróleo que de maneira simplificada compreende as etapas de destilação, craqueamento, reforma e outros tratamentos.

Para a caracterização da produção, é importante frisarmos que a gasolina não passa necessariamente por todas as etapas de refino que serão citadas a seguir. Todavia, para uma revisão bibliográfica de análise de ciclo de vida da gasolina, devemos entender bem todos processos de refino, uma vez que uma refinaria típica apresenta diversos produtos finais (como gás natural, diesel, lubrificantes), muitos deles com alto valor econômico. Sendo assim, a ACV deve abranger todo o processo de refino, entretanto considerando o devido fator de alocação para a análise da gasolina.

A refinaria tem diversos co-produtos, visto que o processo consiste na separação dos diversos tipos de hidrocarbonetos em várias substâncias úteis. Para isso, faz-se uso do processo de destilação fracionada, onde basicamente, esquentam-se o petróleo bruto deixando-o evaporar e depois se condensa este vapor. [29].

5.2.2.2.1. Recebimento de Petróleo

A próxima etapa do ciclo de vida da gasolina é o recebimento do petróleo bruto na refinaria. Normalmente através de um oleoduto entre um terminal portuário, onde ocorre a descarga dos navios, e a refinaria. Ao ser recebido na refinaria, o petróleo é estocado em tanques, de acordo com suas propriedades físico-químicas. Finalmente, um ou mais tanques enviam petróleo à unidade de destilação atmosférica, que separa esta carga em diferentes frações, as quais serão destinadas aos diversos processos da refinaria [31].

Em alguns casos, quando existe o recebimento de petróleo com diferentes características e esses são recebidos em sequência por um mesmo duto, na fronteira entre eles é comum ocorrer uma mistura. Para se preservar a qualidade daquele considerado mais nobre, esta faixa de volume pode ser enviada a um outro tanque [31].

5.2.2.2.2. Destilação

O processo de refino se inicia na destilação fracionada, onde os componentes são separados em função das diferenças de suas temperaturas de ebulição. Para isso, aquece-se a mistura geralmente com vapor de alta pressão, onde o vapor entra no fundo de uma coluna longa cheia de bandejas ou placas, que ajudam a coletar os líquidos que se formam nos diferentes pontos da coluna. Conforme o vapor sobe pelas placas da coluna, ele esfria, assim, quando uma substância na forma de vapor atinge uma altura em que a temperatura da coluna é igual ao ponto de ebulição da substância, ela condensa e forma um líquido [33].

O processo citado acima é denominado destilação atmosférica, onde ocorre a formação de um resíduo bastante pesado que, nas condições de temperatura e pressão

da destilação atmosférica, não se vaporiza. Esse resíduo é submetido a um outro processo de separação, denominado destilação á vácuo [31].

O resíduo de vácuo, produzido na destilação atmosférica, é um corte de alto peso molecular e baixo valor comercial. Contudo, existem frações nele, como os gasóleos, de mais alto valor e que não podem ser vaporizadas na destilação atmosférica. Como a temperatura de ebulição varia diretamente com a pressão, ao se reduzir a pressão, reduz-se o ponto de ebulição. Então, trabalhando em pressões subatmosféricas é possível retirar do resíduo atmosférico os gasóleos [31].

A seguir começa o processamento químico, onde se transforma uma fração em outra usando os métodos de craqueamento, reforma, e alquilação.

5.2.2.2.3. Craqueamento

Após as destilações inicia-se o processo de craqueamento, que consiste basicamente em provocar a “ruptura” ou “quebra” das moléculas de hidrocarbonetos de alto ponto de ebulição para produzir outro de menor ponto de ebulição na faixa da gasolina. Esse processo pode ser dividido em térmico e catalítico [32].

O craqueamento térmico consiste na quebra dos hidrocarbonetos através de altas temperaturas, usado para craquear etano, butano e nafta em etileno e benzeno. Atualmente é mais comum o craqueamento catalítico, onde se utiliza um catalisador para aumentar a velocidade da reação [35], a carga entra em contato com um catalisador em uma temperatura elevada, resultando na ruptura das cadeias moleculares, nesta etapa, podem ser produzidos o gás combustível; gás liquefeito do petróleo; Nafta de Craqueamento Catalítico; Óleo Leve de Reciclo; Óleo Pesado de Reciclo e Óleo Clarificado [31].

Com relação a gasolina de craqueamento catalítico, sabe-se que ela constitui um excelente componente para mistura final, pois tem elevado índice de octano. Os hidrocarbonetos parafínicos e naftênicos da carga de alimentação, de baixa octanagem, são convertidos em sua maioria em olefinas e aromáticos de alto índice de octano[32].

5.2.2.2.4. Hidrocraqueamento

O hidrocraqueamento consiste em craquear frações pesadas de petróleo em presença de hidrogênio e de um catalisador. As frações produzidas no hidrocraqueamento são muito estáveis; entretanto se elas forem constituir parte substancial da gasolina final, deverão ser submetidas aos processos de reforma para melhorar o índice de octano, por elas não possuírem as olefinas ramificadas de alta octanagem que estão presentes nos produtos oriundos do craqueamento catalítico [32].

5.2.2.2.5. Reforma

Outro processo importante da etapa de refino é a reforma, que tem a finalidade de converter frações de hidrocarbonetos de baixa octanagem da faixa da gasolina em frações de octanagem elevada. Normalmente, as cargas das unidades de reforma são destilados primários de faixa 93 a 204°C, pois as frações mais leves não são adequadas. A reforma pode ser térmica, em desuso, ou catalítica [31]

Na reforma catalítica, utiliza-se um catalisador para transformar nafta de baixo peso molecular em compostos aromáticos, usados na fabricação de produtos químicos e para misturar na gasolina[35]. As reações de melhoria de octanagem incluem rearranjos moleculares, bem como, ruptura de moléculas[31]. Um produto importante dessa reação é o gás hidrogênio, que pode ser reinserido no ciclo de vida da gasolina no processo de hidrocraqueamento ou pode ser vendido separadamente[34]

5.2.2.2.6. Alquilação

O processo de alquilação consiste no rearranjo de estruturas de moléculas em uma fração para produzir outra. Nesse processo, compostos de baixo peso molecular são misturados na presença de um catalisador como o ácido fluorídrico ou ácido sulfúrico. Os produtos da alquilação são hidrocarbonetos ricos em octanas, usados em tipos de gasolina para reduzir o poder de detonação[34].

Em outras palavras, a alquilação pode ser entendida por um processo onde são produzidos hidrocarbonetos de cadeia maior partindo de outros menores, isto é, líquidos na faixa da gasolina a partir de gases de refinaria são obtidos[31].

5.2.2.2.7. Outros tratamentos

A seguir, inicia-se tratamento e mistura das frações destiladas e processadas quimicamente. Nesses processos são tratadas as impurezas como compostos orgânicos contendo enxofre, nitrogênio, oxigênio, água, metais dissolvidos e sais inorgânicos sejam removidos. O tratamento costuma ser feito através de uma coluna de ácido sulfúrico que remove hidrocarbonetos insaturados e uma coluna de absorção preenchida com agentes secantes para remover a água tratamento para remover o enxofre e compostos de enxofre [35]. Apesar de os tratamentos melhorarem a qualidade dos produtos, essa etapa gera um dos principais efluentes da refinaria, que apresenta características bem tóxicas.

Após o tratamento das frações, elas são resfriadas e misturadas para formar vários produtos, tais como óleos lubrificantes, querosene, combustível de aviação, óleo diesel, óleo combustível, diferentes tipos de produtos químicos para a produção de plásticos e outros polímeros e também a gasolina de vários tipos, com ou sem aditivos, que é o produto do estudo de ACV deste trabalho.

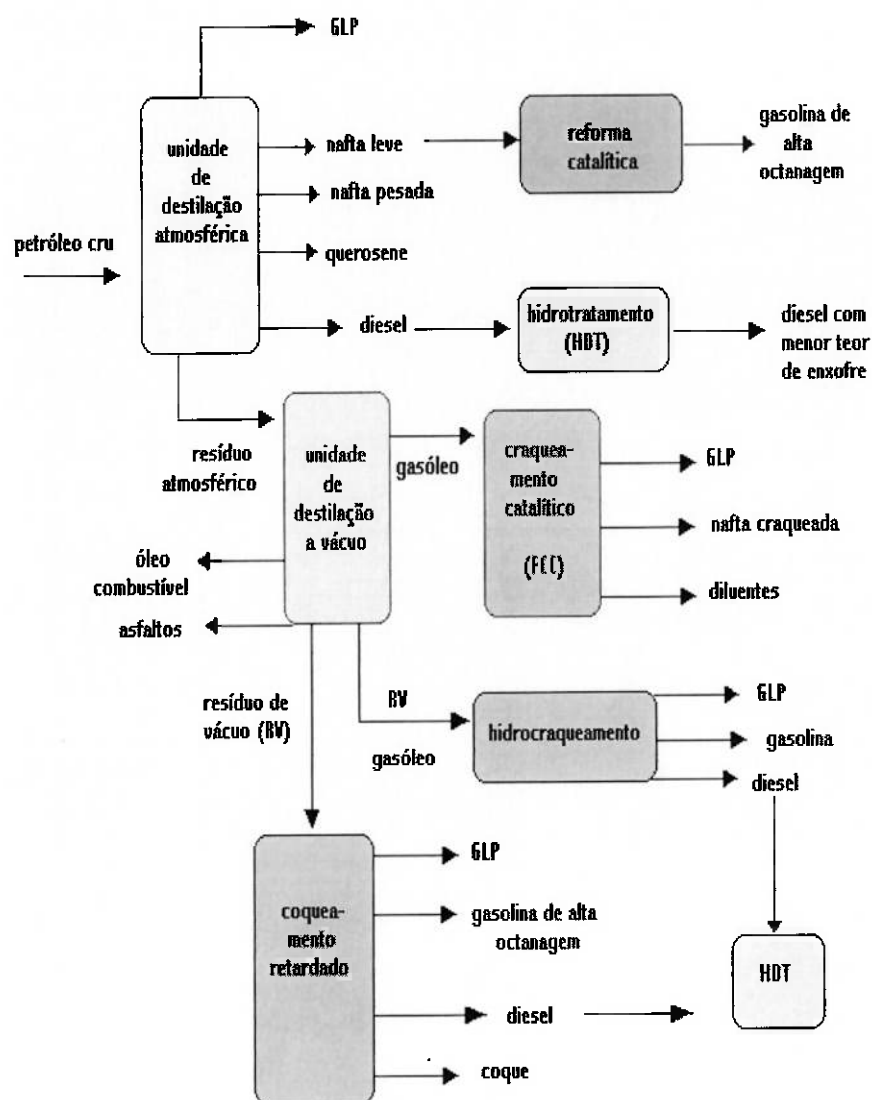


Figura 19 - Fluxograma simplificado das principais unidades de processo de uma refinaria de petróleo

Fonte – Lancellotti, 2003

5.2.2.3. Armazenagem

Os produtos são armazenados no local até que sejam entregues aos diferentes compradores, como postos de gasolina, aeroportos e fábricas de produtos químicos. [29].

5.2.2.4. Mistura

A mistura de produtos ocorre principalmente para enquadrar um determinado produto em seus limites de especificação, para que este possa ser vendido. O equipamento especialmente usado para se misturar correntes é o misturador, que transforma as várias correntes de entrada em uma corrente de saída homogênea. Frequentemente, as misturas são realizadas na refinaria nos próprios tanques e esferas de destino dos produtos e, às vezes, até na porta de carga de algumas unidades de processo [31].

De modo geral, as misturas carburantes são baseadas em álcoois como o etanol e metanol. As vantagens ou desvantagens do uso de misturas gasolina-álcool nos motores de combustão interna têm sido comentadas e discutidas por inúmeros especialistas e técnicos. Acredita-se que a utilização de misturas gasolinas-álcool pode trazer vantagens apreciáveis como o aumento da octanagem da gasolina [31]

5.2.2.4. Distribuição

A atividade de distribuição trabalha de maneira conjunta às atividades de aquisição, armazenamento, transporte, comercialização e o controle de qualidade dos combustíveis. O petróleo bruto é transportado para as refinarias, a gasolina é enviada das refinarias para os pontos de distribuição e daí finalmente aos postos de abastecimento. [34].

A entrega de produtos, ou distribuição, é a parte do processo onde os produtos deixam a refinaria e vão para seus consumidores. A entrega é, muito frequentemente, feita por meio de dutos, que vão até terminais portuários ou até plantas petroquímicas e

outras refinarias, mas também pode ser feita por meio de terminais de carga de caminhões-tanque [31].

5.2.2.5. Utilização

A utilização é feita através da combustão da gasolina usada como combustível em veículos automotores como meio de transporte.

6. RESULTADOS

6.1 Avaliação de Ciclo de Vida

Serão apresentadas duas avaliações do ciclo de vida, uma para cada um dos produtos estudados etanol etílico hidratado e gasolina tipo C cujos resultados foram utilizados na aplicação da ferramenta de análise de impacto de ciclo de vida CML.

6.1.1 Objetivo

O objetivo destas Avaliações do Ciclo de Vida foi fornecer subsídios referentes para a comparação de duas fontes alternativas de energia veicular automotiva: etanol etílico hidratado e gasolina tipo C.

As avaliações contribuem para a avaliação da sustentabilidade de diferentes combustíveis que são utilizados em larga escala no Brasil e as consequências positivas e negativas da substituição de combustíveis fósseis por combustíveis renováveis na utilização de veículos automotivos.

6.1.2 Escopo

6.1.2.1. Função dos Produtos

Em todo estudo de ACV, como especificado pela norma, é necessário determinar a função do produto e, em estudos comparativos, esta deve ser a mesma para todos os produtos analisados. Neste caso, estabeleceu-se, como função, o transporte feito por motores de veículos automotivos.

6.1.2.2. Unidade Funcional

A unidade funcional adotada, para a qual todos os aspectos ambientais foram normalizados, foi definida como 100 quilômetros percorridos por um veículo automotivo.

Devido à diversificação da frota automotiva brasileira e a predominância significativa das vendas de veículos do tipo “flex fuel” (71,9% das vendas totais em 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 [3]. Isto é, considerando as respectivas densidades dos combustíveis, compararemos 6,24Kg de Gasolina tipo C com 10,25Kg de etanol etílico hidratado.

6.1.2.3. Sistema de produtos

6.1.2.3.1. Sistema de produto do etanol etílico hidratado

A partir das informações obtidas na revisão bibliográfica sobre o etanol etílico hidratado foi possível estruturar um modelo de sua produção no Brasil. O sistema de produto do etanol proposto considera desde as entradas dos fertilizantes e defensivos nas fases agrícolas de produção; extração da cana de açúcar, a fase industrial até o consumo nos veículos automotivos. O transporte e a distribuição aos postos de serviço foram desconsiderados.

6.1.2.3.2. Sistema de Produto da Gasolina

A partir das informações obtidas na revisão bibliográfica sobre a Gasolina, foi possível estruturar um modelo de sua produção no Brasil. A partir de dados estrangeiros, foi adaptado um sistema de produto da gasolina brasileiro considerando desde a extração de petróleo bruto (dados internacionais), a produção de etanol anidro (dados nacionais) até o consumo nos veículos automotivos.

Para a obtenção do conjunto de dados primeiramente foi considerada a cadeia desde a extração de petróleo bruto até a saída da refinaria, denominada análise do “berço ao portão”.

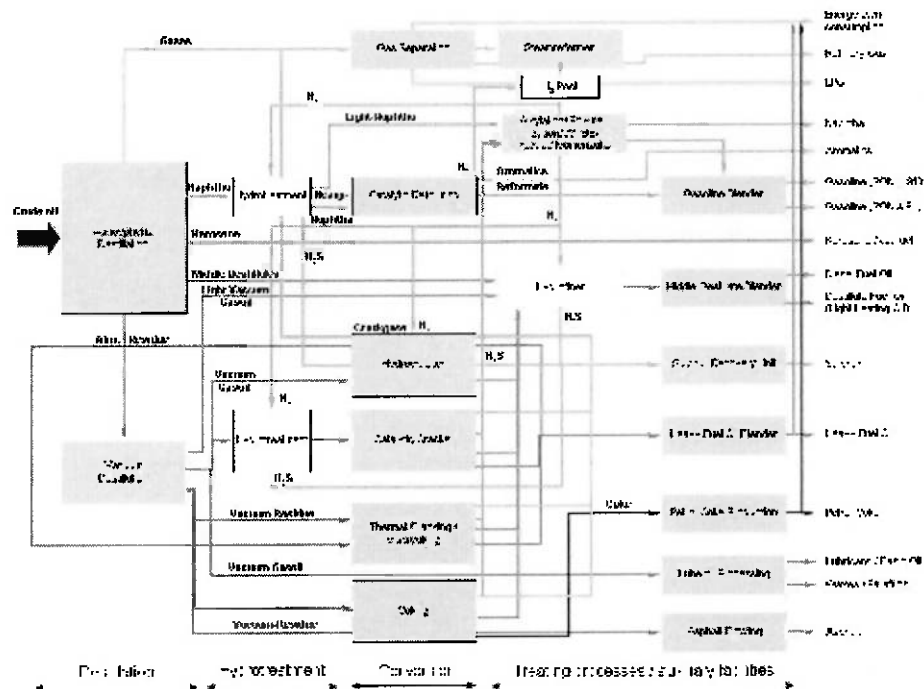


Figura 20 - Sistema de produto da Gasolina da extração até a refinaria

Fonte: IBCT

Ao sair da refinaria, a gasolina é misturada com etanol anidro, formando então a gasolina tipo C, e a mistura é utilizada como combustível automotivo. O transporte e a distribuição aos postos de serviço foram desconsiderados.

6.1.2.4. Procedimentos de Alocação

Seguindo ainda as especificações da norma ISO 14044, uma alocação é sempre necessária se um processo apresenta duas ou mais saídas. Para a gasolina foi usado um

fator de alocação em função da massa e para o etanol, o fator considerado foi em função dos valores econômicos dos subprodutos (bagaço e etanol)

6.1.3 Análise de Inventário

6.1.3.1. Inventário da Gasolina

A partir das informações obtidas na revisão bibliográfica sobre a Gasolina, e com dados obtidos pelo ECOINVENT e pela CETESB foi possível criar um inventário para a utilização da gasolina automotiva no Brasil.

A obtenção do inventário do berço ao portão, i.e. a cadeia desde a extração de petróleo bruto até a saída da refinaria, foi feita a partir de dados do Ecoinvent que consideram o petróleo cru utilizado na Alemanha, onde as principais diferenças com o sistema brasileiro são com relação à extração *onshore* e *offshore* bem como os sistemas de transporte [30]. Todavia essas diferenças foram desconsideradas.

Como a gasolina automotiva contém apenas 78% de gasolina pura, e considerando 6,24Kg de Gasolina tipo C para percorrer 100Km, consideraremos o inventário de gasolina pura para uma produção de 4,8672Kg

Além disso, também foram necessários dados com relação à produção de etanol anidro. Esses dados foram obtidos através do banco de dados do ECOINVENT da produção de etanol etílico hidratado, considerando que 1kg de etanol etílico hidratado pode gerar 0,95kg de etanol anidro.

Como a gasolina automotiva contém 22% de etanol anidro, e considerando 6,24Kg de gasolina tipo C para percorres 100Km, consideraremos o inventário de etanol anidro para uma produção de 1,3728Kg.

Para a obtenção de dados das emissões veiculares foram utilizados dados obtidos pelo PROCONVE divulgados no Relatório de Qualidade do Ar da CETESB de 2007. As emissões veiculares são para um veículo flex 2007 e estão expressas apenas em alguns tipos de poluentes atmosféricos, como é mostrado na tabela abaixo:

Tabela 1 - Emissões veiculares para um carro flex modelo 2007 movido á gasolina tipo C

Emissões em Kg/ 100Km	CO	HC	Nox	RCHO	CO2
	0,048	0,01	0,005	0,0003	18,5

Através da integração de todos os inventários mencionados acima, obtivemos resultados para 100 km percorridos por um carro movido a Gasolina Tipo C de acordo com o software Gabi. Os consumo do ciclo de vida da gasolina, ou entradas (inputs) do inventário medidas em Kilogramas são mostrados na tabela abaixo:

Tabela 2 - Inventário de Entradas do Ciclo de Vida da Gasolina

Recursos Energéticos	Não Renováveis	Óleo Cru	5,39937
		Carvão	0,03553
		Lignita	0,11575
		Gás Natural	0,23556
		Urânio	3,06E-06
	Renováveis	Energia Hidroelétrica	0
		Energia Eólica	0
		Combustíveis Renováveis	0,00022
Recursos Materiais	Elementos Não renováveis	Ferro	8,71E-10
		Enxofre	3,59E-08
	Recursos Não renováveis	Bentonita	0,00284
		Baritinas	0,04426
		Rochas Inertes	1,88762
		Minério de Ferro	8,19E-05
		Minério de Ferro (65%)	3,96E-05
		Calcário	0,00249
		Areia	3,14E-13
		Cloreto de Sódio (rochas)	3,92E-07
		Enxofre	1,85E-08
		Água	18,9303
	Recursos Renováveis	Ar	3,11501
		Nitrogênio	1,74E-07

As emissões do ciclo de vida da gasolina, ou saídas (outputs) do inventário medidas em Kilogramas estão expressas na tabela abaixo.

Tabela 3 - Inventário de Saídas do Ciclo de Vida da Gasolina

Emissões Atmosféricas	Metais Pesados	4,98E-06
	Emissões Inorgânicas	21,56121
	VOC	0,063322
	Outras Emissões	0,75383
	Material Particulado	0,001014
	Emissões Radioativas	2,69E-08
Geração de Efluentes	Metais Pesados	0,000237
	Emissões Inorgânicas	0,167723
	Emissões Orgânicas	0,000575
	Outras Emissões	18,76478
	Material Particulado	0,020111
	Emissões Radioativas	0
Geração de Resíduos	Escória	0,001527
	Cinzas	0,004636
	Gesso	0,003293
Emissões no Solo	Agricultural	0,004196
	Plantio	0,00018
	Industrial	5,77E-05
	Não Especificado	0,000185

6.1.3.2. Inventário do Etanol Etílico Hidratado

A partir das informações obtidas na revisão bibliográfica sobre o etanol etílico hidratado, e com dados obtidos pelo ECOINVENT e pela CETESB foi possível criar um inventário para o consumo automotivo de etanol etílico hidratado.

A obtenção do inventário do berço ao portão, i.e. a cadeia desde a extração de cana de açúcar até a saída usina, foi feita a partir de dados do ECOINVENT.

Considerando um consumo de 10,25Kg de etanol para percorrer 100Km, obtivemos o seguinte inventário:

Para a obtenção de dados das emissões veiculares foram utilizados dados obtidos pelo PROCONVE divulgados no Relatório de Qualidade do Ar da CETESB de 2007. As emissões veiculares são para um veículo flex 2007 e estão expressas apenas em alguns tipos de poluentes atmosféricos, como é mostrado na tabela abaixo:

Tabela 4 - Emissões Veiculares para um carro flex modelo movido á etanol

Emissões em	CO	HC	Nox	RCHO	CO2
Kg/100Km	0,047	0,011	0,007	0,0014	17,7

Através da integração de todos os inventários mencionados acima, obtivemos os seguintes resultados para 100 km percorridos por um carro movido a etanol etílico hidratado de acordo com o software Gabi:

Os consumo do ciclo de vida do etanol hidratado, ou entradas (inputs) do inventário medidas em Kilogramas são:

Tabela 5 - Inventário de entradas do ciclo de vida do etanol etílico hidratado

Consumo de Recursos Bióticos	2,64E-05
Consumo Gases atmosférico	74,946
Consumo Recursos do Solo	3,52034
Consumo Recursos Aquáticos	2,38E-08

As emissões do ciclo de vida do etanol, ou saídas (outputs) do inventário medidas em Kilogramas estão expressas na tabela abaixo:

Tabela 6 - Inventário de saídas do ciclo de vida do etanol etílico hidratado

Emissões Atmosféricas	Para população de alta densidade (emissões diversas)	53,9235
	Para população de baixa densidade (emissões diversas)	0,8304
	Níveis acima da troposfera (emissões diversas)	8,51E-07
	Não especificados (emissões diversas)	0,59735
	Emissões Inorgânicas	26,631
	Emissões Orgânicas	0,0186
Resíduos Sólidos	Recursos Materiais	1,5329
Emissões Para o Solo	Agricultural	0,02976
	Florestal	0,00128
	industrial	0,00041
	Não Especificado	0,00131
Geração de Efluentes	Lançados no solo	0,00621
	Lançados no solo, longo prazo.	0,87185
	Lançados em lagos	5,17E-06
	Lançados em oceano	0,24824
	Lançados em rios	0,40098
	Não especificado	0,00562

6.1.4. Avaliação de Impactos

6.1.4.1. Esgotamento dos recursos abióticos

Para a categoria de esgotamento de recursos abióticos, 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 os valores esperados para essa categoria de impacto serem baixos, a partir de estudos de revisão bibliográfica observamos que existe um consumo de diesel para as fases de tratamentos culturais, e colheita.

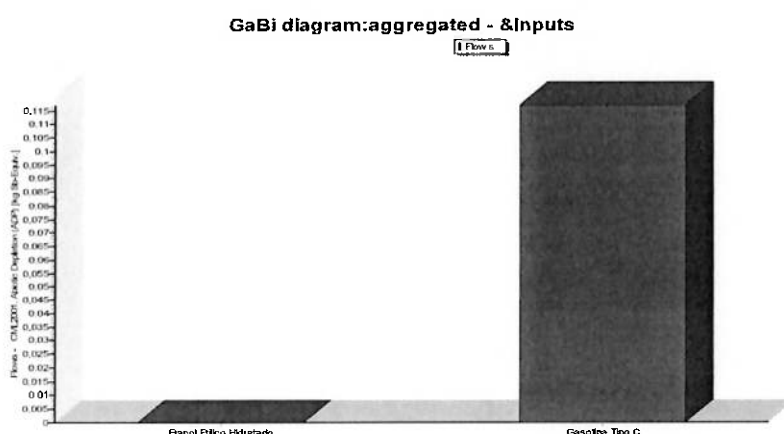


Figura 21 - Resultados da Avaliação de Impacto da Categoria de Esgotamento de Recursos Abióticos

Fonte: Elaboração própria a partir do software Gabi

6.1.4.2. Impactos do uso das terras (competição de terra)

Para a categoria uso da terra, a gasolina tem destaque positivo, conforme Figura 21, 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. Releva 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.

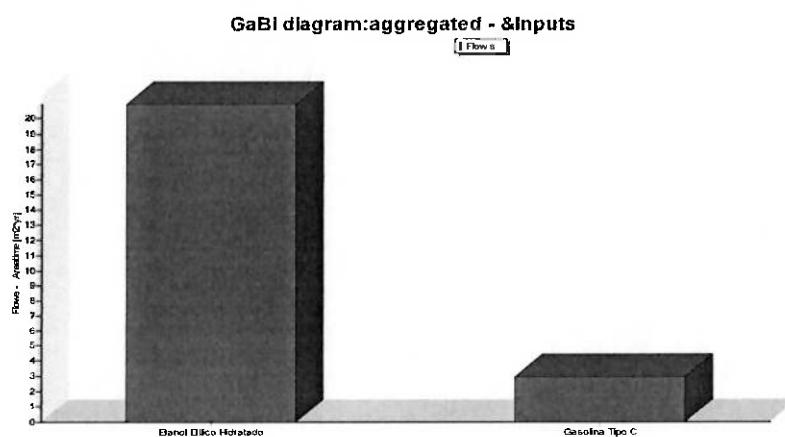


Figura 22 - Resultados da Avaliação de Impacto da Categoria de Uso da Terra

Fonte: Elaboração própria a partir do software Gabi

6.1.4.3. Mudanças climáticas

No que se refere à categoria de potencial de aquecimento global, pode-se observar a partir da Figura 22, 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. Os altos valores obtidos para o etanol 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 a plantação de cana de açúcar é representada no inventário como input, isto é, como um consumo de CO₂.

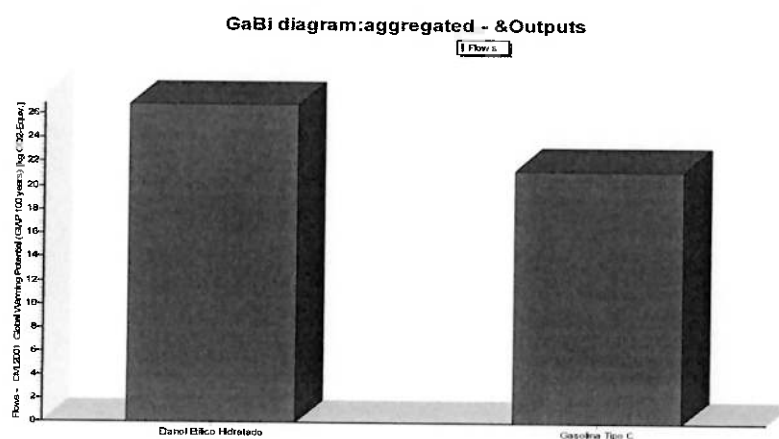


Figura 23 - Resultados da Avaliação de Impacto da Categoria de Mudanças Climáticas

Fonte: Elaboração própria a partir do software Gabi

6.1.4.4. Diminuição do ozônio estratosférico

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.

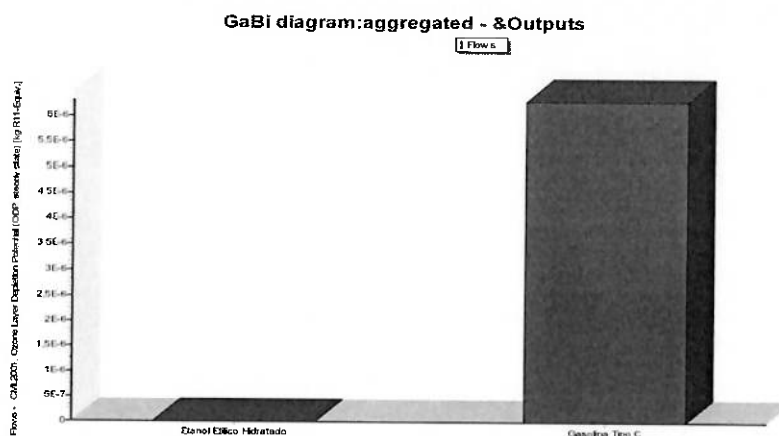


Figura 24 - Resultados da Avaliação de Impacto da Categoria de Diminuição de Ozônio Estratosférico

Fonte: Elaboração própria a partir do software Gabi

6.1.4.5. Toxicidade humana

Quanto à categoria potencial de toxicidade, a gasolina tem baixa performance em relação ao etanol, visto que existe, durante sua produção, o contato com muitos hidrocarbonetos voláteis, algo que não ocorre no combustível de origem vegetal, conforme pode ser observado na Figura 24.

As implicações tóxicas no ciclo de vida do etanol estão relacionadas, principalmente 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 como citado na revisão bibliográfica, ocorre reaproveitamento dos efluentes gerados pela destilação, i.e. a própria vinhaça é utilizada como fertilizante no processo denominado fertirrigação.

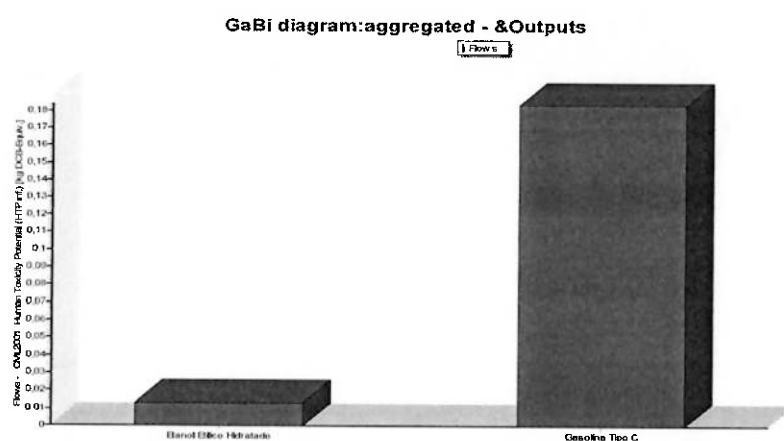


Figura 25 - Resultados da Avaliação de Impacto da Categoria de Toxicidade Humana

Fonte: Elaboração própria a partir do software Gabi

6.1.4.6. Ecotoxicidade de água doce

Nas categorias de potencial de ecotoxicidade de água doce, a gasolina tem baixa performance em relação ao etanol. As explicações para esses resultados são análogas às informadas na categoria de toxicidade humana.

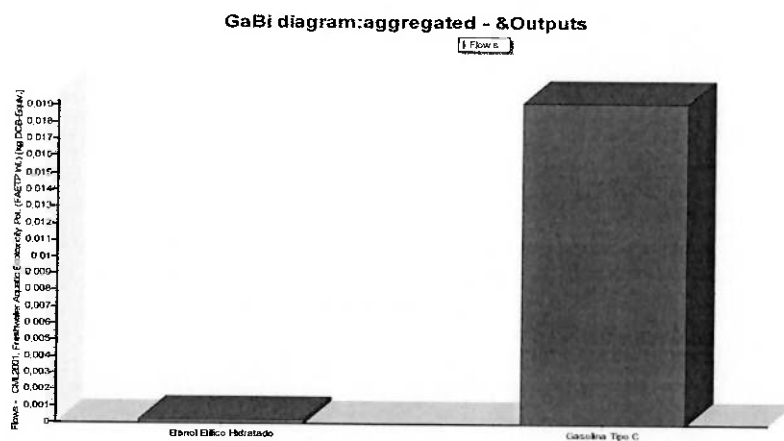


Figura 26 - Resultados da Avaliação de Impacto da Categoria de Ecotoxocidade de Água Doce

Fonte: Elaboração própria a partir do software Gabi

6.1.4.7. Ecotoxocidade marinha

Novamente, nas categorias de potencial de ecotoxocidade, a gasolina tem baixa performance em relação ao etanol. As explicações para esses resultados são análogas às informadas na categoria de toxicidade humana.

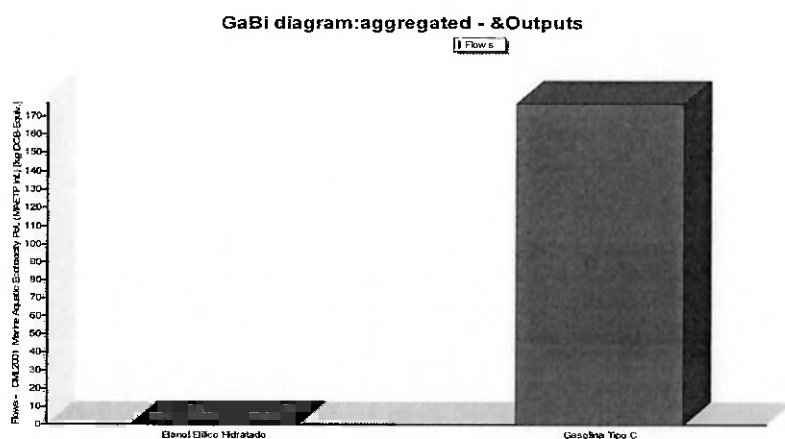


Figura 27 - Resultados da Avaliação de Impacto da Categoria de Ecotoxocidade Marinha

Fonte: Elaboração própria a partir do software Gabi

6.1.4.8. Ecotoxicidade terrestre

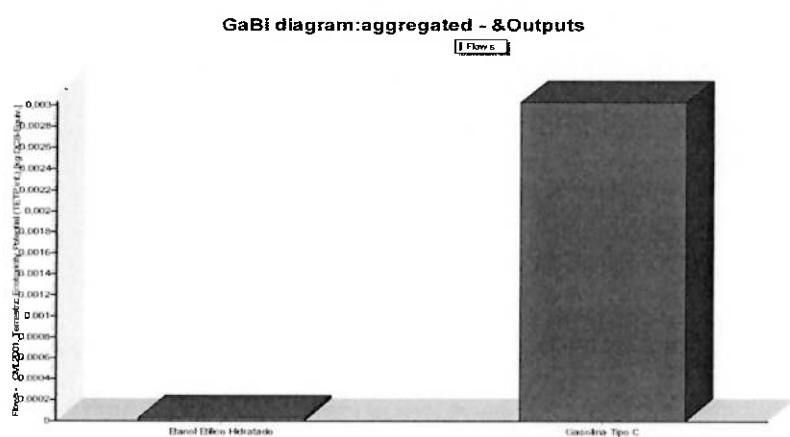


Figura 28 - Resultados da Avaliação de Impacto da Categoria de Ecotoxocidade Terrestre

Fonte: Elaboração própria a partir do software Gabi

6.1.4.9. Formação de Ozônio Fotoquímico

Na categoria 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 valores razoáveis de carbono orgânicos voláteis.

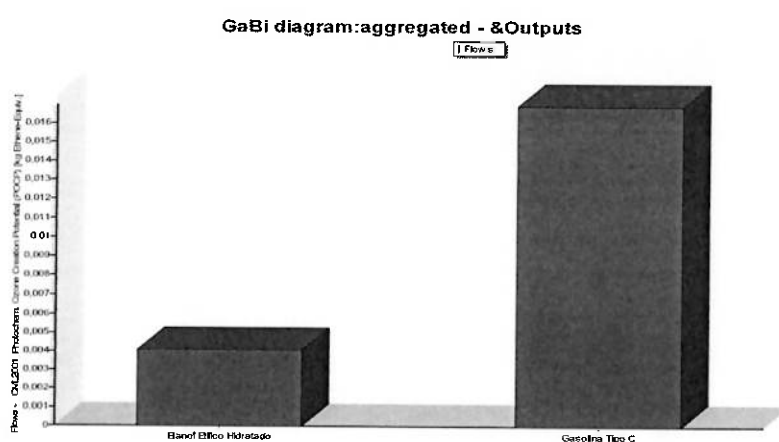


Figura 29 -Resultados da Avaliação de Impacto da Categoria de Formação de Ozônio Fotoquímico

Fonte: Elaboração própria a partir do software Gabi

6.1.4.10. Acidificação

Com relação à categoria de impacto de potencial de acidificação o etanol ainda leva vantagem. Os resultados são justificáveis uma vez que ambos os combustíveis apresentam concentrações óxidos de nitrogênio em suas emissões atmosféricas.

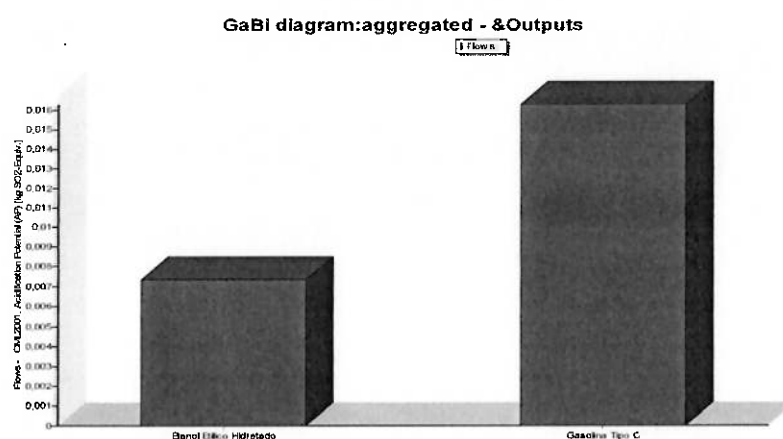


Figura 30 - Resultados da Avaliação de Impacto da Categoria de Acidificação

Fonte: Elaboração própria a partir do software Gabi

6.1.4.11. Eutrofização

Com relação à categoria de impacto de potencial de eutrofização, a diferença entre etanol e gasolina é também menos acentuada, mas etanol novamente ainda leva vantagem. Os valores altos para o etanol são justificáveis devido à presença de macronutrientes em sua composição.

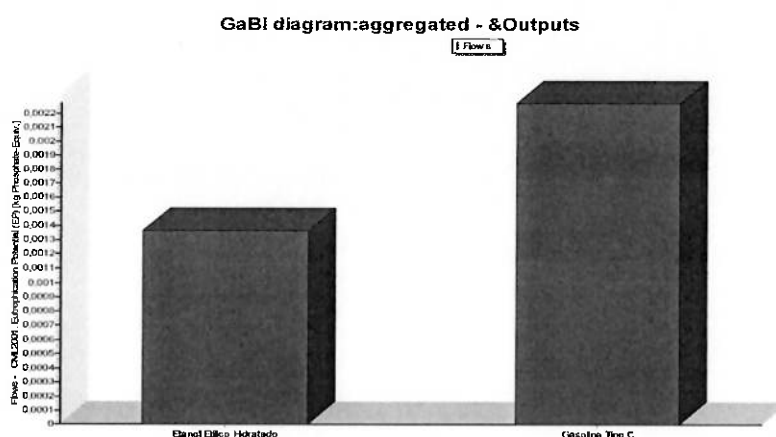


Figura 31 - Resultados da Avaliação de Impacto da Categoria de Eutrofização

Fonte: Elaboração própria a partir do software Gabi

7. CONCLUSÕES E DISCUSSÕES

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.

O modelo de inventário obtido também se torna prejudicial, pois apesar das vantagens da análise de ciclo de vida em obter resultados quantitativos e objetivos, devemos frisar que estamos lidando com impactos potenciais e que seus impactos reais dependem do tipo de tratamento e do destino que os efluentes gerados podem percorrer.

Todavia, a partir da revisão bibliográfica, 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 podem ser significativamente diminuídos através de melhorias no processo, uma vez que os principais focos de poluição são referentes aos tratos culturais e colheita da cana (onde ainda utiliza-se a prática de queimada).

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.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CALDAS, M.C.; ZOURABICHVILI A.; FONTENELLE R.E.S.; **“Projeto do mecanismo de desenvolvimento limpo e oportunidades para o Brasil”** XXIV Encontro Nac. de Eng. de Produção. Florianópolis, Novembro de 2004.
- [2] 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.
- [3] CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **“Relatório de Qualidade do Ar 2007”**. São Paulo, 2007.
- [4] ANFAVEA - Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. **“Anuário da Indústria Automobilística Brasileira 2008”**.
- [5] LANZOTTI, C.R; **“Uma análise emergética de tendências do setor sucroalcooleiro”**. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica. 2000.
- [6] 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.
- [7] MIYAMARU, E.S; KULAY, L.A; **“Avaliação do Ciclo de Vida: Ferramenta Gerencial para Tomada de Decisão”** . InterfacEHS, Revista de Gestão Integrada em Saúde no Trabalho e Meio Ambiente. V.1, n.1, Art 4, ago 2006.
- [8] MATTOS, L.B.; D’AGOSTO, M. A.; RIBEIRO, S.K.; **“ A importância da Análise de Ciclo de Vida na escolha de Combustíveis usados no transporte rodoviário”** Programa de Engenharia de Transporte – COPPE/UFRJ.
- [9] NBR ISO 14040 - Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework. 1997.

[10] FERREIRA, J.V.R.; **“Análise de Ciclo de Vida dos Produtos”**. Instituto Politécnico de Viseu, 2004.

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

[12] ANDRADE, J.N.; NETO, J.A.A.; PIRES, M.M.; **“Avaliação de Ferramentas Computacionais para a análise de ciclo de vida”**Anais do 11º seminário de Iniciação Científica – Ciências Exatas e da Terra.

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

[14] SANTOS, F.A. **“Biocombustíveis: Prós e Contras”**.

[15] OBERLING, D.F. **“Avaliação Ambiental Estratégica da Expansão de Etanol no Brasil: Uma proposta Metodológica e sua aplicação”**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Março de 2008.

[16] 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.

[17] GOES, T.; MARRA R.; **“A Expansão da Cana de Açúcar e sua sustentabilidade”**.

[18] AGROBYTE – Semeando Informações. **“Cana-de-açúcar (Saccharum híbridas)”** Disponível em: <http://www.agrobyte.com.br/cana.htm>

[19] UNICA – União da Agroindústria Canavieira do Estado de São Paulo. Vários Autores **“Produção e Uso do Etanol combustível no Brasil: Respostas às questões mais frequentes”** São Paulo, Março de 2007.

- [20] LORA, E.S; **"Controle da Poluição do Ar na Indústria Açucareira"**. Escola Federal de Itajubá. 2000.
- [21] ARBEX, M.A. **"Avaliação dos Efeitos do Material Particulado Proveniente da Queima da Plantação de cana-de-açúcar sobre a morbidade respiratória na população de Araraquara"**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2001.
- [22] SUCRE-ETHIQUE – Açúcar ético. **"Mecanização alcança 40% da área de cana em SP"**. Disponível em <http://www.sucre-ethique.org/Mecanizacao-alcanca-40-da-area-de>
- [23] USINA ESTER. **"O Processo de fabricação de Açúcar e Álcool na Usina Ester"** Disponível em: <http://www.usinaester.com.br/Produtos/produtos.html>
- [24] COPERSUCAR – Cooperativa de Produtores de Cana-de-Açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo. **"Academia do Açúcar e Álcool"**. Disponível em: http://www.copersucar.com.br/servicos_clientes/publicacoes_tecnicas.asp
- [25] LAMONICA, H.M. **"Potencial de Geração de Excedentes de Energia Elétrica a partir da Biodigestão da Vinhaça"**. AGRENER, 2006
- [26] GRANATO, E.F. **"Geração de Energia através da Biodigestão Anaeróbia da Vinhaça"**. Dissertação Mestrado. UNESP – Bauru, 2003.
- [27] SOUZA, S.A.V.; **"Métodos de Utilização e Aplicação de Vinhaça"**. Workshop Tecnológico sobre VINHAÇA. Projeto Programa de Pesquisa em Políticas Públicas.
- [28] 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.

[29] LANCELOTTI, A.; MATAI, P.H.L; **“Análise de ciclo de vida de gasolina automotiva”** SIICUSP. Departamento de Engenharia química da Escola Politécnica de São Paulo.

[30] IBCT - Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia. **“Methodology Report: Pilot Study Diesel. Contribution to the Brazilian National Life Cycle Inventory (LCI) Database”** Dept. Life Cycle Engineering. Chair of Building Physics. University of Stuttgart.

[31] BIBLIOTECA DIGITAL PUC: **“Descrição do Problema: O refino do Petróleo”**.

[32] BIBLIOTECA DIGITAL PUC: **“Petróleo e Gasolina”**

[33] BIBLIOTECA DIGITAL PUC: **“Recursos Energéticos: Petróleo”**

[34] MATAI, P.H.; **“Inventário de ciclo de vida de gasolina automotiva”**. Trabalhos apresentados São Paulo.ABEPPOLAR/IUAPPA-UIAPPA, 2002.

[35] MATA, T.; SMITH, D.; YOUNG, D.; COSTA, C.A. **“Life Cycle Assessment of Gasoline Blending Options”** Laboratory of Processes, Environment and Energy Engineering, Faculty of Engineering, University of Porto.