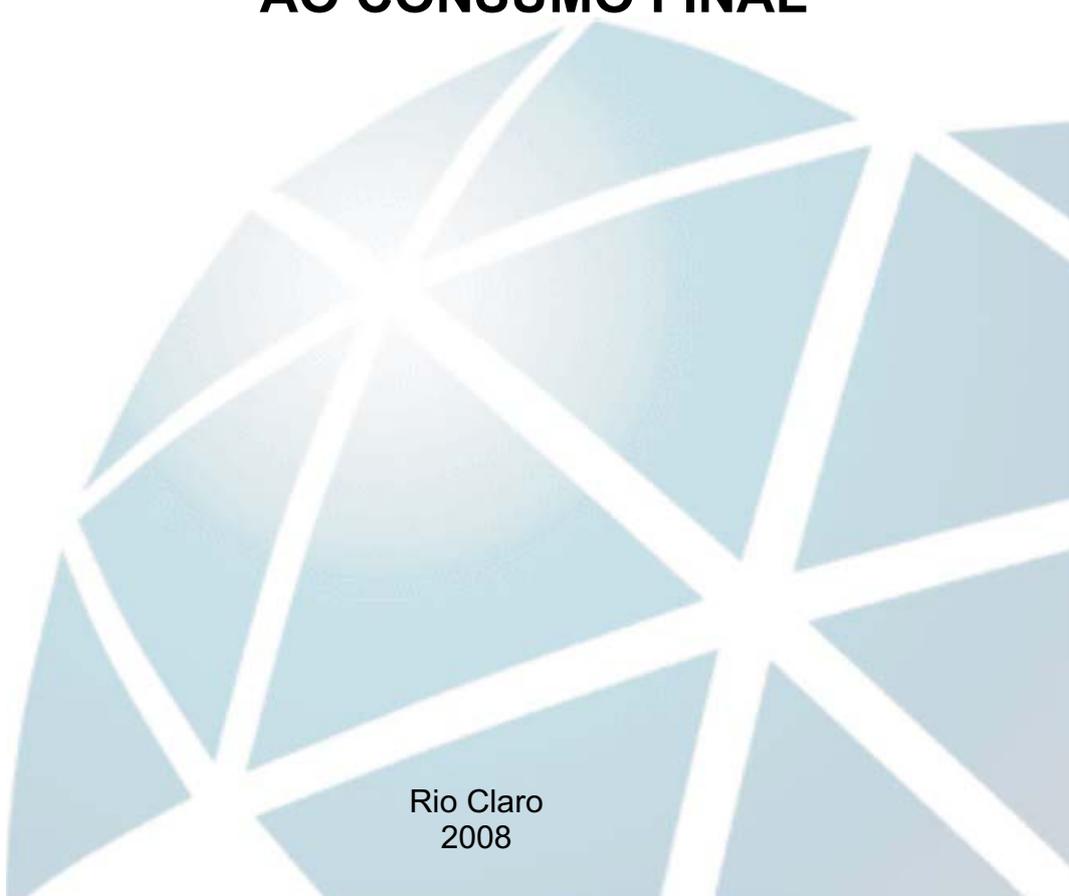

ECOLOGIA

THAÍS ALVES PINTO

**GASOLINA, GÁS NATURAL E ETANOL:
COMPARAÇÃO DOS PRINCIPAIS IMPACTOS
AMBIENTAIS DA PRODUÇÃO
AO CONSUMO FINAL**



Rio Claro
2008

THAÍS ALVES PINTO

GASOLINA, GÁS NATURAL E ETANOL:
COMPARAÇÃO DOS PRINCIPAIS IMPACTOS
AMBIENTAIS DA PRODUÇÃO AO CONSUMO FINAL

Orientador: DÉCIO LUIS SEMENSATTO JÚNIOR

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Instituto de Biociências da Universidade
Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” -
Câmpus de Rio Claro, para obtenção do grau
de Ecólogo.

Rio Claro
2008

574.5 Pinto, Thaís Alves
P659g Gasolina, gás natural e etanol : comparação dos principais impactos ambientais da produção ao consumo final / Thaís Alves Pinto. – Rio Claro: [s.n.], 2008
178 f. : il., gráfs., tabs., quadros., mapas

Trabalho de conclusão (Ecologia) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Rio Claro
Orientador: Décio Luis Semensatto Junior

1. Ecologia. 2. Impactos ambientais. 3. Ciclo de vida. I. Título.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todos que acreditaram
em mim e aos que de alguma maneira
tornaram possível a sua realização.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Dr. Décio Luis Semensatto Jr. Primeiro por ter aceitado me orientar assim meio de repente, segundo por sugerir um novo tema de estudo e, por fim, pela ajuda e pelo voto de confiança depositado nesses dois anos de convívio.

Ao Prof. Dr. Dimas Dias Brito pela dedicação com que coordena o PRH-05, por me fornecer as melhores condições de estudo e pelas constantes conversas durante todo o tempo que estive no laboratório.

Ao José Maria Cazonatto pela prestatividade e eficiência. Sempre presente e disposto a ajudar.

Ao Programa de Recursos Humanos em Geologia do Petróleo e Ciências Ambientais aplicadas ao setor de Petróleo & Gás e de Biocombustíveis: PRH 05 – ANP/MCT/UNESP pela bolsa e por todo apoio e oportunidades concedidas nesses dois anos de parceria. Agradeço também pelos Cursos de Verão oferecidos pelo programa que, apesar de consumir parte das minhas férias, me fez encontrar a área de conhecimento que mais me identifiquei durante todo o curso de Ecologia.

A alguns professores que de alguma maneira participaram da realização desse trabalho e me fizeram crescer como pessoa: Hildebrando Herrmann, Jairo Roberto Jiménez-Rueda e João Carlos Milanelli. Vocês foram de extrema importância para que eu finalmente pudesse me formar.

Aos meus pais (José Luiz e Cidinha) por sempre me apoiarem. Vocês são os grandes responsáveis por tudo isso! Agradeço a toda minha família, principalmente, à minha irmã (Débora), à Pandora, às minhas primas (Maíra, Mariana, Talita) e tios, por todo apoio, carinho, incentivo e compreensão. Amo vocês!

Ao Felipe pelo amor dedicado em todos esses anos. Obrigada por todos os momentos felizes que passamos e que ainda vamos passar juntos. Amo você!

A todos os meus amigos da faculdade, já que com eles aprendi a respeitar as diferenças. Agradeço, principalmente, a minha classe (XXIX Turma de Ecologia) que, mesmo com as discussões, aprendeu a conviver em harmonia. Nunca esquecerei nossas viagens e suas respectivas canções!

Às minhas amigas Carol, Gabi e Lucy (vulgo “quadrilátero”) por todos esses praticamente doze anos de amizade. Mesmo com a distância e caminhos distintos conseguimos manter o carinho que sempre existiu uma pela outra. Espero sempre poder contar com vocês.

Agradeço principalmente a Carol por ter sido minha melhor amiga nesses últimos quatro anos de faculdade e por ter escolhido transferir o curso de Assis para Rio Claro. Na verdade ela não agüentou de saudade! Juntas vivemos momentos inesquecíveis e que sentirei muita saudade.

Ao Fórum das Sete (Carla, Carol, Jane, Limps, Manu e Rafa) por participarem de todos os maus e bons momentos da minha vida universitária. Aprendi muito com vocês. Vou sentir muita saudade e espero sempre que possível reencontrá-las. Não sei o que teria sido de mim sem vocês por perto. Adoro vocês!

Ao pessoal da Bio (Grampola, Jocketa, Joyce, Rodrigo, Thaisona, Tia Rê, Tia Rô e Dom) por terem me agregado e por serem minhas companhias nas melhores baladas da Facul, destacando as Garagens e, principalmente, o Interunesp!

Às minhas novas ou velhas amigas que neste último ano se intensificaram (Jú – Casa de Repouso, Aninha Pavão, Júlia, Lívia, Clarissa, Zeca, Pacífico, Daniel, Henrique e Marcel). Obrigada pelos momentos inesquecíveis que passamos.

Às meninas do treino de Hand (Ellen, Flávia, Aline...) e aos treinadores (Junior e Laurie), por terem me aturado todo esse tempo. Time Campeão do Interunesp 2008!

Às repúblicas que me acolheram desde que cheguei em Rio Claro e suas respectivas moradoras: Rep. Da Carô, Rebordosa (Naty e Jú), Casa da Árvore (Mirian, Jú, Carol e Chiquita), Sambaqui (Sayuri, Lika, Manu, Limps, Carol, Thaisão) e, principalmente, Rep. Garagem (Carol, Fernanda e Thaisona).

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	9
2. INDÚSTRIA PETROLÍFERA: GASOLINA E GÁS NATURAL.....	13
3. SETOR SUCROALCOOLEIRO: ETANOL.....	29
4. PRINCIPAIS IMPACTOS AMBIENTAIS E ALGUNS SÓCIO-ECONÔMICOS DA INDÚSTRIA PETROLÍFERA (GASOLINA E GNV).....	41
5. PRINCIPAIS IMPACTOS AMBIENTAIS E ALGUNS SÓCIO-ECONÔMICOS DO SETOR SUCROALCOOLEIRO (ETANOL).....	88
6. COMPARAÇÃO DOS PRINCIPAIS IMPACTOS AMBIENTAIS E ALGUNS SOCIOECONÔMICOS ENTRE OS DOIS SETORES.....	140
7. CONCLUSÕES.....	150
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	153

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	9
1.1. Objetivo.....	11
1.2. Metodologia.....	11
2. INDÚSTRIA PETROLÍFERA: PETRÓLEO E GÁS NATURAL.....	13
2.1. Petróleo.....	13
2.1. Gás natural.....	18
2.3. Etapas da produção ao consumo final.....	21
2.3.1. Exploração e exploração.....	21
2.3.2. Refino.....	23
2.3.3. Transporte e distribuição.....	24
2.3.3.1. Transporte aquaviário.....	25
2.3.3.2. Transporte dutoviário.....	26
2.3.3.3. Transporte ferroviário.....	27
2.3.3.4. Transporte rodoviário.....	27
2.3.3.5. Postos de combustíveis.....	27
2.3.4. Consumo final.....	28
3. SETOR SUCROALCOOLEIRO: ETANOL.....	29
3.1. Álcool combustível.....	29
3.1.1. Produção brasileira de etanol.....	32
3.2. Etapas da produção ao consumo final.....	37
3.2.1. Produção.....	38
3.2.2. Processamento.....	38
3.2.3. Transporte e distribuição.....	39
3.2.4. Consumo final.....	40
4. PRINCIPAIS IMPACTOS AMBIENTAIS E ALGUNS SÓCIO-ECONÔMICOS DA INDÚSTRIA PETROLÍFERA (GASOLINA E GNV).....	41
4.1. Impactos ambientais da exploração e exploração.....	41
4.1.1. Impactos sobre o meio físico e biótico oceânico.....	43
4.1.2. Impactos sobre o meio sócio-econômico.....	54
4.1.3. Discussão.....	55
4.2. Impactos ambientais do refino.....	56
4.2.1. Emissões atmosféricas.....	57
4.2.1.1. Principais poluentes emitidos pela refinaria de petróleo.....	58
4.2.2. Efluentes líquidos.....	59
4.2.3. Resíduos sólidos.....	60
4.2.4. Poluição sonora.....	61
4.2.5. Acidentes em refinarias.....	61
4.2.6. Impactos das unidades de processamento de gás natural.....	62
4.2.7. Discussão.....	64
4.3. Impactos ambientais do transporte e distribuição.....	65
4.3.1. Transporte terrestre.....	65
4.3.1.1. Impactos na implantação de dutos.....	65
4.3.1.2. Acidentes com dutos e gasodutos.....	68
4.3.1.3. Acidentes no modal ferroviário.....	69

4.3.1.4. Acidentes no modal rodoviário.....	70
4.3.2. Transporte marítimo (navios petroleiros).....	70
4.3.2.1. Vazamento de óleo por acidente com navios petroleiros.....	72
4.3.2.2. Comportamento do óleo no meio ambiente marinho.....	73
4.3.2.3. Poluição em portos e terminais.....	74
4.3.2.4. Resíduos.....	75
4.3.2.5. Tintas anti-incrustantes.....	75
4.3.2.6. Poluição atmosférica.....	75
4.3.2.7. Transferência de espécies exóticas.....	76
4.3.3. Posto comercial de combustível: impactos ambientais de um vazamento de gasolina.....	77
4.3.4. Posto comercial de combustível: impactos ambientais de um vazamento de gás natural.....	79
4.3.5. Discussões.....	79
4.4. Impactos ambientais do consumo final.....	80
4.4.1. Uso da gasolina como combustível.....	80
4.4.2. Uso do gás natural como combustível.....	84
4.4.3. Discussão.....	86
5. PRINCIPAIS IMPACTOS AMBIENTAIS E ALGUNS SÓCIO-ECONOMICOS DO SETOR SUCROALCOOLEIRO (ETANOL).....	88
5.1. Impactos ambientais da produção (fase agrícola).....	88
5.1.1. Queimada cana-de-açúcar.....	93
5.1.1.1. Outros impactos da queima da cana-de-açúcar.....	100
5.1.1.2. Legislação sobre a queima da cana.....	100
5.1.2. Uso de agrotóxicos e agroquímicos na plantação da cana.....	101
5.2. Impactos gerados no processamento (fase industrial).....	104
5.2.1. Principais resíduos do processamento e suas possíveis disposições.....	104
5.2.2. Utilização intensiva da água no processo de lavagem.....	109
5.2.3. Discussões (fase agrícola e industrial) e algumas medidas minimizadoras.....	110
5.3. Impactos ambientais no transporte e distribuição.....	111
5.3.1. Impactos no transporte da cana até as usinas.....	112
5.3.2. Impactos na distribuição do etanol das usinas aos postos de abastecimento.....	112
5.3.3. Impactos de vazamentos de álcool em postos de combustível.....	113
5.4. Impactos do consumo final.....	113
5.4.1. Impactos do uso de álcool combustível.....	113
5.4.2. Discussões.....	117
5.5. Emissões atmosféricas do ciclo do etanol.....	118
5.5.1. O efeito estufa e a redução da emissão de CO ₂	118
5.5.2. Discussões.....	128
5.6. Impactos sócio-econômicos.....	124
5.6.1. Riscos de acidentes com os trabalhadores na agroindústria canavieira.....	125
5.6.2. Mecanização X Desemprego.....	126
5.6.3. Concentração fundiária e de renda.....	129
5.6.4. Discussões.....	130
5.7. Biocombustíveis X Preço dos Alimentos: comparação com o etanol americano....	131
5.8. Biocombustíveis X Desmatamento.....	136
5.9. Melhoramento genético da cana-de-açúcar.....	138
5.10. Discussões.....	138

6. COMPARAÇÃO DOS PRINCIPAIS IMPACTOS AMBIENTAIS E ALGUNS SÓCIO-ECONÔMICOS EM CADA FASE DO CICLO DE VIDA DOS COMBUSTÍVEIS.....	140
7. CONCLUSÕES.....	150
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	153

1 - INTRODUÇÃO

O uso de energia é essencial para satisfazer as necessidades humanas. No entanto, a relação entre energia e meio ambiente é muito intensa, não existindo nenhuma forma de uso que não provoque poluição, já que toda sua cadeia de produção, transformação, transporte, distribuição, armazenagem e uso final está diretamente relacionada a alterações no meio ambiente. Segundo Odum (1988) a produção de bens e serviços está acompanhada necessariamente da emissão de resíduos (matéria/energia) sobre o meio externo, causando uma série de impactos ambientais.

O consumo de energia, principalmente de combustíveis fósseis (petróleo e gás natural) cresceu bruscamente após a revolução industrial, trazendo consequências drásticas como a poluição do ar, instabilidade política e mudanças climáticas, principalmente relacionadas ao efeito estufa e ao aquecimento global. Além disso, a perspectiva de escassez dos combustíveis fósseis em um período não muito longo e os custos crescentes têm indicado a iminência de uma crise energética. Segundo Goldemberg (2007), em referência aos dados da British Petroleum, as reservas atualmente conhecidas de petróleo vão durar cerca de 41 anos, as de gás natural 64 anos e a de carvão 155 anos. A iminência de uma crise recorrente (a primeira grande crise de combustíveis ocorreu na década de 70), porém, gera a oportunidade de se desenvolver fontes mais limpas e renováveis de energia, tornando-se tema essencial no planejamento do crescimento energético sustentável (MARCOCCIA, 2007; UNICA, 2008).

A gasolina é um dos principais combustíveis derivados do petróleo para automóveis leves e uma das estratégias para a redução da dependência dessa fonte de energia não renovável é a produção de veículos que utilizam combustíveis alternativos, como combustíveis gasosos, eletricidade e, principalmente no Brasil, combustíveis provenientes da biomassa, energia renovável, como o álcool (etanol).

O impulso para o desenvolvimento de combustíveis alternativos é influenciado não só pelas preocupações de segurança energética, mas também pelas preocupações ambientais, uma vez que muitos combustíveis alternativos podem causar reduções das emissões de substâncias

químicas tóxicas como o ozônio e outros poluentes que provocam o efeito de estufa (YACOBUCCI, 2005). Segundo o relatório da WWF-Brasil (Maio/2008), atualmente, os biocombustíveis parecem ser a melhor resposta para se reverter a matriz energética global dependente do petróleo, pois emite menor quantidade de resíduos poluentes com melhor balanço energético.

As questões relativas à conservação ambiental ocupam hoje uma significativa parcela dos investimentos e esforços administrativos de todos os segmentos da atividade econômica e são itens obrigatórios de todas as agendas de negócio no planeta. Os temas como mudança climática, poluição do solo, ar e águas são discutidos em todos os âmbitos da sociedade e passam a ter importância econômica para as empresas, quer seja pelos custos advindos de uma gestão não eficaz relativa a meio ambiente, quer seja pelo aumento da exigência por parte dos mercados que procuram cada vez mais condutas social e ambientalmente responsáveis, incluindo o desenvolvimento sustentável. Nesse contexto, a preocupação com os impactos ambientais e sociais deve fazer parte de todas as etapas do setor energético (políticas, planejamento, programas), sendo necessário gerenciar de forma eficaz o uso dos recursos naturais, controlar a disposição de seus resíduos sólidos, seus efluentes líquidos e suas emissões atmosféricas (CAVALCANTE, 2008).

No Brasil, a alternativa encontrada para substituir o uso de petróleo foi o etanol produzido da cana-de-açúcar. Devido a uma tradicional indústria açucareira que remonta à época colonial, a cana-de-açúcar foi a cultura que melhor se adaptou no país para produção de álcool (BRANDÃO, 1985¹ apud MARCOCCIA, 2007). No entanto, a produção de petróleo e gás natural, tanto quanto a produção de etanol, provoca impactos negativos ao meio ambiente. Para que esses impactos sejam minimizados, há a necessidade de que as atividades potencialmente danosas ao meio ambiente, sejam gerenciadas de maneira correta, podendo ao mesmo tempo, assegurar o crescimento econômico e o progresso da sociedade.

As atividades decorrentes da indústria do petróleo envolvem as etapas de produção (incluindo a exploração e a perfuração), transporte, refino, distribuição e uso final. Já as atividades do setor sucroalcooleiro incluem produção (fase agrícola), processamento (fase industrial), transporte, distribuição e consumo final.

¹ BRANDÃO, A. **Cana-de-açúcar: álcool e açúcar na história e no desenvolvimento social do Brasil**, Brasília, DF, Horizonte Editora: em convênio com o Instituto Nacional do Livro, Fundação Nacional Pró-Memória, 1985.

1.1. Objetivo

Tendo em vista a ampla discussão sobre a poluição causada pela queima de combustíveis fósseis e a possível redução desses impactos por meio da utilização de combustíveis automotores alternativos como o etanol, este projeto comparou os principais impactos ambientais e alguns sócio-econômicos, decorrentes desde a produção até o consumo final de três dos principais combustíveis automotores no Brasil, a gasolina, o gás natural veicular (GNV) e o etanol.

Essa comparação possibilitou analisar os principais produtos combustíveis automotores que compõem a matriz energética brasileira, na tentativa de indicar qual produto tem maior potencial poluidor e qual etapa do ciclo de vida do combustível é mais impactante, ressaltando sempre a importância de medidas que minimizem esses impactos.

1.2. Metodologia

A metodologia utilizada para a elaboração deste trabalho foi baseada em uma extensa revisão bibliográfica nacional e internacional, envolvendo consultas a livros, artigos científicos e não-científicos, dissertações de mestrado e teses de doutorado, reportagens atuais, documentos oficiais, pareceres técnicos e visitas a *sites* oficiais na internet de órgãos ambientais e empresas particulares envolvidas com o tema.

A comparação dos impactos ambientais entre os dois tipos de indústria (petrolífera e sucroalcooleira) foi realizada por meio de uma análise detalhada de cada etapa do ciclo de produção/consumo de cada combustível.

Os impactos ambientais foram divididos de acordo com o meio que afetam: água, ar, solo e biota local. Além disso, a poluição sonora e alguns impactos sócio-econômicos também foram retratados.

Na indústria petrolífera as etapas estudadas incluem a exploração, desenvolvimento (perfuração) e produção (retirada do petróleo), refino, transporte/distribuição e consumo final. Como a produção e algumas fases do transporte e distribuição do GNV são semelhantes às da gasolina, considerou-se que os impactos ambientais também são parecidos e, por isso, a comparação entre os dois combustíveis fica restrita ao processamento e, mais especificamente, à etapa de consumo.

Já no setor sucroalcooleiro, as etapas do ciclo do etanol incluem a produção/fase agrícola (plantação da cana), desenvolvimento/fase industrial, transporte/distribuição e

consumo final.

Uma visão geral sobre o emprego dos referidos combustíveis está apresentada, apontando os principais impactos ambientais de cada um deles. Para isso, foi feita uma matriz comparativa entre os produtos em cada etapa, ficando mais claro e fácil a análise dos impactos.

Como o tema trabalhado é instigante e amplamente discutido, apresenta volumosa e profunda bibliografia. Por isso, esse trabalho, em certos momentos, enfatiza alguns assuntos que estão mais disponíveis nos meios de busca e, em outros, apresenta algumas limitações, pela dificuldade de se encontrar referências bibliográficas confiáveis sobre o tema.

Esse estudo não teve a intenção de encontrar uma real e mais viável alternativa para a substituição do uso de combustíveis fósseis, ou então afirmar que um dos três combustíveis deve ser escolhido pela matriz energética brasileira. No entanto, a quantidade e a intensidade dos impactos dos combustíveis derivados do petróleo e do etanol poderão, de alguma forma, indicar o combustível menos impactante do ponto de vista ambiental.

2 - INDÚSTRIA PETROLÍFERA: PETRÓLEO E GÁS NATURAL

O petróleo tem origem fóssil e é encontrado na natureza em emanções naturais (*seeps*) na superfície terrestre ou no fundo dos oceanos. Jazidas de petróleo se encontram armazenadas nos poros e fraturas de rochas-reservatório, sendo a maioria areníticas ou carbonáticas. É considerado uma fonte de energia não renovável, sendo matéria-prima da indústria petrolífera e petroquímica. O petróleo bruto constitui-se em cadeias de hidrocarbonetos (podendo ter ligações com nitrogênio, enxofre e/ou fósforo, por exemplo), onde frações leves formam os gases e as frações pesadas, o óleo cru. Essa diferença de frações diferencia os diversos tipos de petróleo existentes no mundo e determina a sua densidade ou seu grau API, que é referência para indicação dos processos de refino a serem adotados e dos produtos potenciais, o que define, por consequência, o seu preço no mercado (AMBIENTE BRASIL, 2008 f).

Quando se fala em petróleo pode-se considerar dois tipos de produto: o óleo (fase líquida) que produz a gasolina, o diesel e os produtos petroquímicos e a fase gasosa (gás natural). Esses produtos são considerados energias secundárias ou formas secundárias, obtidas das fontes primárias nos centros de transformação (FEROLLA & METRI, 2006).

2.1. Petróleo

O petróleo é a principal fonte de energia utilizada, sendo 43,4 % do total consumida no mundo (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2007). Em 2006, o petróleo e seus derivados representaram 37,6% da matriz energética brasileira, mantendo-se como uma das principais fontes de energia no país e no mundo. Entre os consumidores de derivados de petróleo no país, o setor mais importante é o setor de transportes, que representou 50,7% do consumo, seguido pelo setor industrial (BRASIL, 2007 a).

Desde a década de 30 até os dias atuais, a indústria do petróleo e gás natural vem crescendo progressivamente, mesmo com o aumento do preço do barril, que se encontram novamente acima dos US\$ 100,00, batendo recordes históricos. Em junho de 2008, o preço do

barril atingia US\$ 139,00 (cerca de R\$226,50) (KOCHINSKI, 2008). Atualmente, segundo o relatório mensal de junho de 2008 da OPEP (Organização dos Países Exportadores de Petróleo), o consumo mundial de petróleo estimado para este ano é de 86,88 milhões de barris diários, um aumento de 2,5% em relação a 2007, causado principalmente pelo crescimento do consumo nos países emergentes da região Ásia-Pacífico e do Oriente Médio (UOL, 2006).

As reservas provadas das Américas Central e do Sul (103,5 bilhões de barris, em dezembro de 2006), correspondiam a 8,6% das reservas provadas mundiais de petróleo em 2005 (1,2 trilhão de barris) e teve um aumento de 0,3% devido ao crescimento das reservas do Brasil (3,6%). Mesmo com esse incremento, o Brasil manteve-se na 17ª posição no ranking mundial em 2006. A maioria das reservas provadas brasileiras, 92,6%, localiza-se no mar, com destaque para o Rio de Janeiro (detendo 86,6% das reservas provadas *offshore*) e apenas 7,4% situam-se em jazidas terrestres (BRASIL, 2007 b).

Segundo a OPEP, o consumo do petróleo na América Latina crescerá consideravelmente em 2008 e será impulsionado pelo aumento da demanda do Brasil, com um total de 5,5 milhões de barris diários, 100 mil a mais que em 2007 (UOL, 2007).

Segundo dados da Petrobras, em 2007 a produção brasileira de petróleo atingiu 1,918 bilhão de barris/dia (LANDIM, 2008) e a oferta interna de gás natural correspondeu a 9,4% em 2005, sendo que sua participação vem aumentando de forma sistemática há mais de uma década (UOL, 2006). O petróleo e o gás natural, juntos, respondiam por quase 50% da oferta de energia no Brasil em 2006 (Figuras 2.1, 2.2 e 2.3).

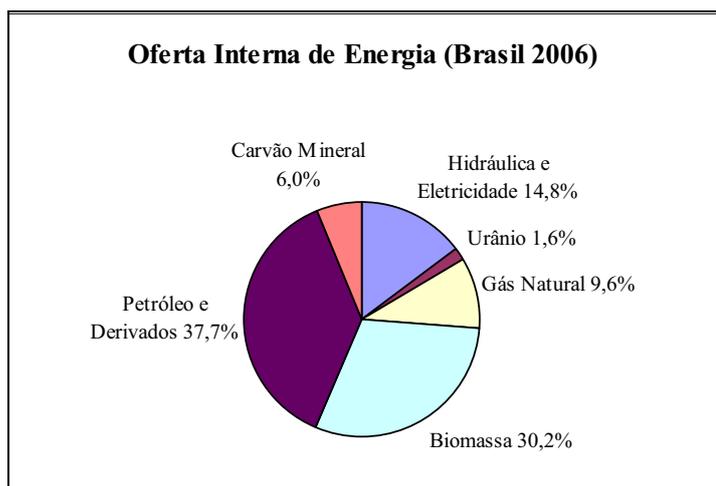


Figura 2.1. Oferta Interna de Energia: participação das fontes (Brasil 2006). Fonte: Brasil (2007a).

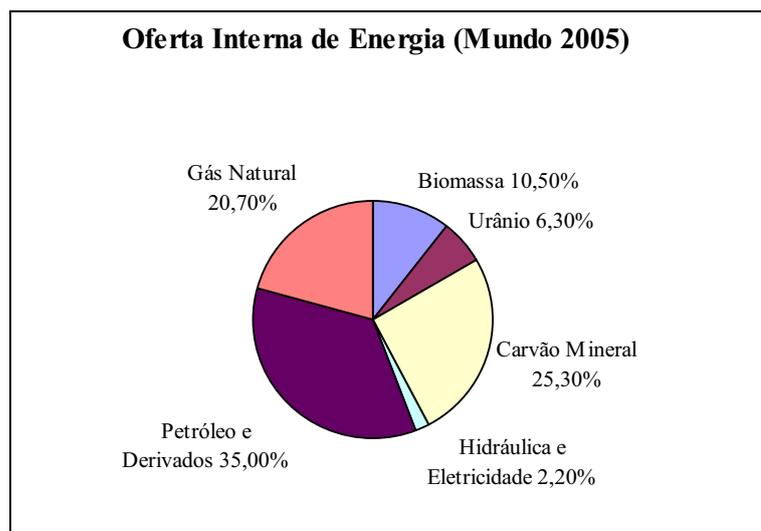


Figura 2.2. Oferta Interna de Energia: participação das fontes (Mundo 2005). Fonte: Brasil (2007a).

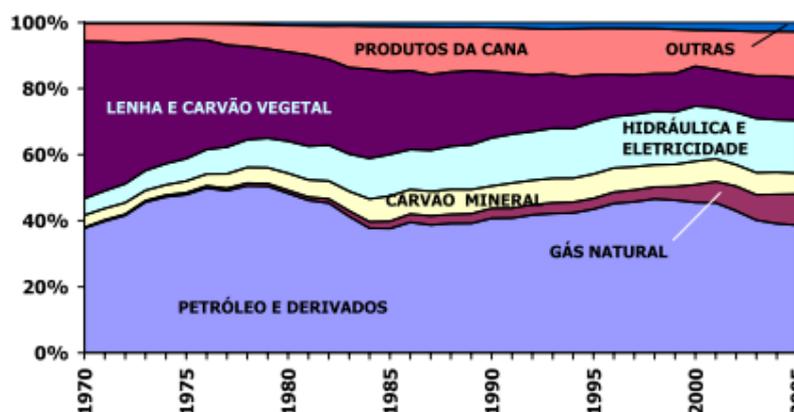


Figura 2.3. Evolução da participação das fontes (Brasil 1970 – 2005). Fonte: Brasil (2007a).

Além de sua importância como fornecedor de energia, os derivados do petróleo são a matéria-prima para a manufatura de inúmeros bens de consumo e, deste modo, têm um papel cada dia mais presente e relevante na vida das pessoas.

No entanto, para atender a essa demanda crescente no uso de combustíveis fósseis, o nível das atividades de exploração e produção também está aumentando, sendo necessário descobrir novos campos petrolíferos, construir superpetroleiros transoceânicos e implantar terminais de carga e descarga, refinarias, oleodutos e gasodutos interestaduais (CETESB, 2006). Como consequência desse avanço são liberados no meio ambiente resíduos provenientes de lavagens de tanques de navios, carga e descarga nos portos e terminais,

acidentes de navegação e falhas mecânicas ou operacionais em navios, dutos, terminais e plataformas (CETESB, 2002).

As atividades decorrentes da indústria do petróleo e gás natural envolvem as etapas de exploração, perfuração, produção, transporte, refino, distribuição e consumo. Todas têm potenciais para causar uma série de impactos ao meio ambiente (SILVA, 1996; SILVA, 2004), tais como aumento antropogênico do efeito estufa e o conseqüente aquecimento global, a poluição atmosférica, as chuvas ácidas, a degradação e contaminação das águas e dos lençóis freáticos, além da contribuição para a perda de biodiversidade, degradação da paisagem e desestruturação de ecossistemas.

Além dos impactos ambientais existentes na operação normal das instalações de produção, transporte e do uso de energia, há também a possibilidade de ocorrer grandes prejuízos ao meio ambiente por meio de acidentes e catástrofes (LA ROVERE, 2007). Um acidente expressivo, e que foi o grande motivador para a revisão e elaboração de legislação nacional relacionada a derramamentos de óleo, envolveu o oleoduto que interliga a Refinaria de Duque de Caxias (REDUC) ao Terminal da Ilha D'água, no Rio de Janeiro, em 2000. Além de ter registrado explosões e incêndios em suas instalações, derramou 1,3 milhões de litros de óleo e atingiu áreas de preservação ambiental (AZUAGA, 2000).

Outra fonte geradora de poluição são as refinarias de petróleo e as unidades de processamento de gás natural. Geralmente estão localizadas próximas a centros urbanos, representando um problema de segurança por causa dos riscos de explosão e incêndio, merecendo atenção redobrada. Se não são realizadas as manutenções adequadas, podem poluir o ar com gases nocivos (óxidos de enxofre e de nitrogênio, monóxido de carbono e particulados), além de consumir grande quantidade de água e de energia e gerar efluentes líquidos e resíduos sólidos de difícil tratamento (LA ROVERE, 2007).

A poluição por óleo, por seu aspecto destruidor, destaca-se como sendo uma das mais agressivas à sociedade e ao meio ambiente, tendo como exemplo, a desestruturação do desenvolvimento de áreas costeiras e da pesca comercial. Essa poluição pode ser crônica, caracterizada pela exposição prolongada do agente contaminante, normalmente causada por ações rotineiras de manutenção dos navios e constantes descargas nos portos e terminais. Alternativamente, pode ser aguda, provocada por grandes acidentes, causando efeitos letais aos organismos que ficam expostos à poluição por um curto período de tempo (SILVA, 2004).

O uso final dos combustíveis fósseis é outra fonte de poluição energética. A queima do combustível, principalmente do petróleo (gasolina ou diesel), causa impactos ambientais e à

saúde humana, devido à poluição atmosférica. A magnitude das emissões varia de acordo com o tipo de combustível usado, sua composição e as medidas tomadas para reduzi-las (LA ROVERE, 2007). Os principais poluentes são: monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NOx), hidrocarbonetos (HC), óxidos de enxofre (SOx), material particulado (MP), compostos orgânicos voláteis (COV), ozônio troposférico (oriundo de reações na atmosfera) e chumbo (em alguns países).

No que diz respeito à influência dos poluentes sobre o bem-estar da comunidade, pode-se afirmar que tanto os produtos primários (material particulado sob a forma de fumaça, substâncias odoríferas, alguns grupos de hidrocarbonetos), quanto os produtos secundários (ozônio e demais oxidantes fotoquímicos), afetam negativamente a qualidade da vida nas cidades sujeitas aos seus efeitos (AZUAGA, 2000). Em relação ao meio ambiente, a queima de combustíveis fósseis polui a atmosfera global com a emissão de CO₂, e juntamente com outras emissões, podem intensificar o efeito estufa e o aquecimento da terra provocando possíveis mudanças climáticas (RIBEIRO, 1997).

Nesse contexto, a redução da poluição atmosférica foi bastante discutida em 1992, na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (ECO-92), realizada no Rio de Janeiro, que debateu intensamente a questão das mudanças climáticas no mundo. Após algumas conferências e convenções a fim de reduzir ou ao menos estabilizar a concentração de gases de efeito estufa, em 1997 criou-se Protocolo de Quioto. Os países desenvolvidos comprometeram-se a reduzir, no período entre 2008 e 2012, em média 5,2% os níveis de gases estufas observados em 1990. Porém, em 2002, o presidente dos EUA (George Walker Bush) recusou assinar o protocolo, justificando a presença de falhas ao estabelecer um objetivo de longo prazo baseado na ciência, sendo que estabelecia riscos sérios e desnecessários para as economias dos EUA e do mundo e era ineficaz quanto às mudanças climáticas ao excluir a maior parte dos países em desenvolvimento (HILGEMBERG & GUILHOTO, 2006). Para Bush o crescimento econômico não é a causa e sim a solução do problema da mudança no clima, porque ele faz com que seja possível separar os recursos de produção das emissões de gases (VAN VUUREN *et al.*, 2002).

Os principais combustíveis automotivos derivados do petróleo são o diesel e a gasolina. Estes combustíveis são formados por uma grande variedade de hidrocarbonetos, normalmente de cadeia linear. No caso da gasolina (C₈H₁₈), a maior parte contém entre 6 e 12 carbonos e no caso do diesel (C₈H₁₇), de 12 a 22 átomos de carbono (BRASIL ESCOLA, 2008). A gasolina é uma mistura complexa de hidrocarbonetos voláteis, composta majoritariamente de parafinas

com cadeias ramificadas e cicloparafinas (alcanos e cicloalcanos), hidrocarbonetos aromáticos e olefinas (alcenos) (FERREIRA, 2000).

Devido ao impacto que indústria petrolífera causa ao meio ambiente, ela tem sido objeto de legislação e regulamentações cada vez mais rigorosas e complexas. A implementação de projetos ambientais passou a ser um requisito para aprovação de atividades petrolíferas e o processo de licenciamento ambiental tem sido cada vez mais discutido, buscando-se aperfeiçoamentos e meios de se reduzir os danos ambientais (MARIANO, 2007).

2.2. Gás natural

O gás natural é um combustível fóssil, energia não-renovável, produzido a partir de poços de gás denominados “não-associados” ou como um subproduto da produção do petróleo, chamado de “associado”. É composto de hidrocarbonetos leves, principalmente metano (91,8%). Apresenta baixos teores de dióxido de carbono, enxofre e outros contaminantes como nitrogênio. A sua combustão é completa, liberando como produtos o dióxido de carbono e vapor de água, sendo os dois componentes não-tóxicos (AMBIENTE BRASIL, 2008 g; SANTOS, 2008).

Como fonte energética de muitos países, o gás natural é uma das principais formas de energia, pois pode abastecer usinas elétricas, indústrias, residências, empresas de cogeração e veículos (MOSCARDI, 2005). O uso de gás natural em veículos teve grande aumento devido à conversão de motores de automóveis à gasolina para gás natural veicular (GNV) (MARIANO, 2007). Pela sua natureza gasosa, o gás natural pode ser armazenado sob alta pressão a bordo de um veículo, quer como gás natural comprimido (GNC), mais utilizado no Brasil, ou como o gás natural liquefeito (GNL) (LOURENÇO, 2003). Assim, o GNC é geralmente preferido para os automóveis de passageiros, enquanto que os dois são utilizados em aplicações mais pesadas, como o ônibus (YACOBUCCI, 2005).

O gás natural tende a ser mais seguro do que a gasolina, por muitas razões. Em primeiro lugar o combustível não é tóxico, embora em concentrações elevadas e em ambientes fechados pode levar à asfixia. Em segundo lugar, o gás natural é mais difícil de inflamar que a gasolina e tende a dissipar mais rapidamente devido à sua baixa densidade. No entanto, dado que o gás natural é incolor e inodoro é adicionado um “odorante” ao combustível para torná-lo detectável no ar. Uma das principais preocupações de segurança com o gás natural relaciona-se ao armazenamento, pois sendo comprimido sob pressões elevadas há a possibilidade de ruptura do

tanque, o que seria extremamente perigoso. Por esta razão, cisternas de GNC devem ser submetidas a intensos testes de segurança, sempre tendo como preocupações as colisões, incêndios e até tiros (YACOBUCCI, 2005).

Estima-se que a combustão do diesel emite em média 84 g km^{-1} de partículas, enquanto o GNC apresenta média de 11 g km^{-1} (NYLUND & LAWSON, 2000). Argumenta-se que a conversão do combustível em veículos a GNC reduz os níveis poluentes, é menos perigoso, é ecologicamente correto e economicamente rentável em termos de custo operacional (CHELANI & DEVOTTA, 2007).

Devido a essas vantagens, novos investimentos estão sendo realizados no Brasil e em todo mundo, na produção e distribuição do gás natural, com o objetivo de assegurar a oferta desse tipo de energia. Nesse sentido, o Ministério de Minas e Energia criou o Gasoduto Bolívia-Brasil e estimulou a extração de gás natural da Bacia de Santos (MOSCARDI, 2005).

Um relatório elaborado pelo Centro de Ciência e Ambiente (2001) mostra que as cidades que enfrentam graves problemas de poluição atmosférica estão substituindo o diesel pelo gás natural. Isto levou Teerã, Los Angeles, Bangkok, Santiago, Cairo, Pequim e outras muitas outras cidades a estabelecer um programa de gás natural (RAVINDRA *et al.*, 2006).

A queda anual média de 8,7% no consumo de óleo combustível, no Brasil, é justificada pelo crescimento da utilização de gás natural e coque de petróleo na indústria. O gás natural é o combustível que apresenta as taxas mais altas de crescimento na matriz energética do país. Representou 9,6% da matriz energética brasileira de 2006 (produção de 48,5 milhões m^3/dia em 2005), apresentando um crescimento médio de 11,8 % ao ano. Em 2006, o principal consumidor do gás natural continuou sendo o setor industrial (23,5%). Neste mesmo ano, o setor de transporte rodoviário teve um crescimento de 18,6% no consumo do gás natural (UOL, 2006; BRASIL, 2007 a).

A participação do gás importado da Bolívia subiu 11,3%, o equivalente a 2,5 milhões de metros cúbicos entre 1998 e 2005. Com um fornecimento de cerca de 27 milhões de metros cúbicos por dia, o gás boliviano abastece cerca de 60% do mercado brasileiro. Originou-se da Bolívia 95,2% do volume de gás natural importado pelo país e o volume restante foi proveniente da Argentina (BRASIL, 2007 b). Esse aumento nas importações de gás ocorre devido ao forte crescimento automobilístico. As compras externas do produto subiram 130% entre 2004 e 2007. Entre 2006 e 2007 o aumento foi de 20%.

A descoberta de novas reservas nacionais (588,6 bilhões de m^3 em 2006) e a perspectiva de ampliação da importação de gás natural da Bolívia e do Peru permitem ampliar

ainda mais sua utilização. Entre 2005 e 2006, o Brasil registrou um acréscimo de 13,5% das reservas provadas de gás natural, mantendo-se no 42º lugar na lista dos detentores de reservas provadas. Nesse mesmo período, o país aumentou em 3,6% sua produção, ficando na 35ª posição em 2006 entre os maiores produtores mundiais de gás natural (BRASIL, 2007 a; BRASIL, 2007 b).

Similarmente ao petróleo, a maior parte das reservas provadas de gás natural do Brasil encontra-se em reservatórios marítimos (78,6%) (BRASIL, 2007 b), principalmente na Bacia de Campos, no Estado do Rio de Janeiro, contendo cerca de 104 bilhões de metros cúbicos, em 2003 (LOURENÇO, 2003). Apesar de 40% da produção nacional de gás natural estar concentrada na Bacia de Campos, também é encontrado em outras áreas localizadas nas regiões Sudeste, Norte e Nordeste do país (SANTOS, 2008).

O gás natural tem excelentes características técnicas, econômicas e ambientais e por isso seu consumo mundial triplicou nos últimos trinta anos, consolidando-se cada vez mais como opção inteligente de aproveitamento de recursos energéticos alternativos ao petróleo (LOURENÇO, 2003; SANTOS, 2008). Segundo Santos (2008), das fontes alternativas de energia: solar, eólica, elétrica, hidrogênio e biomassa, o gás natural é o que dispõe de tecnologia mais amadurecida e com eficiência comprovada.

A Tabela 2.1 apresenta a evolução no uso das energias nos últimos anos. Houve uma diminuição no uso de petróleo e derivados e um aumento significativo no uso do gás natural e no uso da cana-de-açúcar como fonte energética.

Tabela 2.1. Evolução recente da estrutura da oferta interna bruta de energia no Brasil e sua situação de 1990 a 2005. Fonte: LA ROVERE (2007)

Fontes de Energia	1990 Mtep	1990 %	1994 Mtep	1994 %	2000 Mtep	2000 %	2005 Mtep	2005 %
Petróleo e derivados	57,7	40,7	66,7	42,4	86,7	45,5	84,5	38,6
Gás Natural	4,3	3,1	5,1	3,2	10,3	5,4	20,5	9,4
Carvão Mineral e derivados	9,6	6,8	11,3	7,2	13,6	7,1	13,7	6,3
Energia Nuclear	0,6	0,4	0,4	0,3	1,8	0,9	2,5	1,1
Subtotal não - renováveis	69,7	50,9	83,2	52,9	112,4	59,0	121,3	55,5
Hidroelétrica e Hidráulica	20,0	14,1	23,6	15,0	30,0	15,7	32,4	14,8
Lenha e Carvão vegetal	28,5	20,1	24,8	15,8	23,0	12,1	28,5	13,0
Derivados de Cana-de-açúcar	18,9	13,4	22,8	14,5	20,8	10,9	30,1	13,8
Outras Renováveis	2,1	1,5	3,0	1,9	4,4	2,3	6,3	2,9
Subtotal renováveis	69,7	49,1	74,2	47,1	78,2	41,0	97,3	44,5
TOTAL	142,0	100	157,4	100	190,6	100	218,7	100

• Mtep = milhões de toneladas equivalentes de petróleo

2.3. Etapas da produção ao consumo final

A cadeia produtiva da indústria do petróleo vai desde a exploração, perfuração, produção, transporte, passa pelo refino, que transforma o petróleo em vários derivados, e chega finalmente à fase de distribuição e comercialização do produto para que ele seja usado como combustível em veículos automotivos (SILVA, 1996). A Figura 2.4 ilustra a cadeia produtiva do gás natural.

Todas essas etapas têm grande potencial para causar impactos ambientais, tais como o aumento antropogênico do efeito estufa e o conseqüente aquecimento global, a poluição atmosférica, as chuvas ácidas, a degradação e contaminação das águas e dos lençóis freáticos, além da contribuição para a perda de biodiversidade, degradação da paisagem e para a destruição dos ecossistemas (MARIANO, 2007).

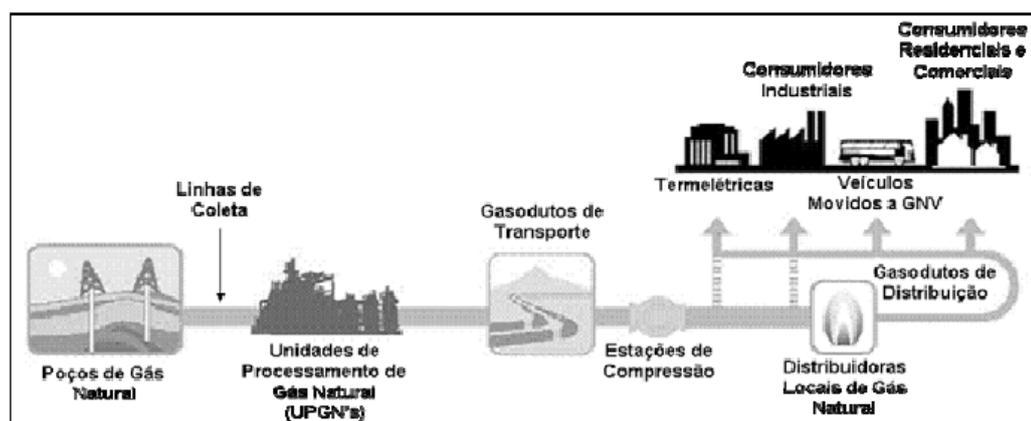


Figura 2.4. Cadeia produtiva do gás natural. Fonte: BRITO (2006) adaptado de INGAA (2005)².

2.3.1. Exploração e exploração (produção e desenvolvimento)

As atividades de exploração e exploração (desenvolvimento e produção) terão maior enfoque neste trabalho em áreas *offshore*, pois o petróleo e o gás natural brasileiro, em sua grande maioria, estão localizados na plataforma continental. No entanto, também são encontrados em áreas *onshore* (no continente). O Brasil domina a tecnologia de perfuração

² INGAA. Interstate Natural Gas Association of America. Disponível em <http://www.ingaa.org>.

submarina em águas profundas e subprofundas, superiores a 2.000 metros, detendo o recorde mundial de perfuração exploratória no mar (CUNHA *et al.*, 2006 c).

A atividade de exploração ou pesquisa é a busca por jazidas comercialmente viáveis de petróleo e/ou gás natural e caracteriza-se pelo levantamento de dados sísmicos e a perfuração de poços exploratórios, possibilitando determinar a extensão, a localização e o potencial produtivo das reservas. O primeiro e mais importante passo dessa etapa é a aquisição dos dados sísmicos que fornecem um nível mais elevado de precisão para a feitura dos poços exploratórios para a identificação da quantidade de hidrocarbonetos (ANTUNES, 2003).

A atividade de exploração envolve o desenvolvimento e a produção. O desenvolvimento é a perfuração de um ou mais poços, desde o início até o abandono, se não forem encontrados hidrocarbonetos. Ocorre uma vez que as reservas de hidrocarbonetos já foram descobertas, delineadas e confirmada a viabilidade comercial (SCHAFFEL, 2002). De acordo com a Lei 9.478/97, a fase de desenvolvimento consiste no conjunto de operações e investimentos destinados a viabilizar as atividades de produção e um campo de petróleo ou gás natural (BRASIL, 1997). Já a produção é o processo de extração em si dos hidrocarbonetos e separação dos compostos líquidos da mistura inicial de óleo, água e sólidos. Segundo a mesma lei, a fase de Lavra ou Produção consiste no conjunto de operações coordenadas de extração de petróleo ou gás natural de uma jazida e de preparo para a sua movimentação (BRASIL, 1997).

A exploração e a exploração de petróleo e gás natural, tanto em terra (*onshore*) como no mar (*offshore*), podem ocasionar vazamentos e incêndios. Falhas de equipamentos e acidentes têm causado danos significativos aos trabalhadores, ao setor de turismo, à biota, à pesca e à atmosfera (LA ROVERE, 2007).

As operações *offshore* podem ter pequenos vazamentos, que em longo prazo podem gerar efeitos significativos sobre ecossistemas. Em terra, pode haver infiltração de petróleo no solo e contaminação de lençol freático (LA ROVERE, 2007).

O gás natural extraído em poços normalmente encontra-se associado à outras substâncias, como água, hidrocarbonetos pesados e outros gases. Para eliminá-las, o gás sofre alguns tratamentos, adequando-se às características técnicas especificadas para o consumo. Este procedimento tem como objetivo evitar problemas durante a produção, transporte ou consumo do produto. O tratamento pode ser feito diretamente no poço de produção ou em plantas centralizadas e específicas (BORELLI *et al.*, 2001).

2.3.2. Refino

O refino do petróleo é um conjunto de processos físicos e químicos que transformam as frações de hidrocarbonetos em derivados comerciais, como combustíveis, lubrificantes, plásticos, fertilizantes, medicamentos, tintas e tecidos (BRASIL, 2008 a). O principal objetivo dos processos de refinação é a obtenção da maior quantidade possível de derivados de alto valor comercial ao menor custo operacional possível, com máxima qualidade, minimizando-se ao máximo a geração dos produtos de pequeno valor de mercado (MARIANO, 2001).

De um modo geral, uma refinaria pode ter dois objetivos básicos: a produção de produtos energéticos, tais como combustíveis e gases em geral (GLP, gasolina, diesel, querosene e óleo combustível) ou a produção de produtos não-energéticos (parafinas, lubrificantes, etc.) e petroquímicos.

Quanto ao gás natural, depois de retirado dos poros das rochas recebe os primeiros tratamentos, passando por um processamento primário (separação do petróleo no caso de um campo associado) e por vários depuradores para a retirada de água, hidrocarbonetos líquidos, substâncias corrosivas e partículas sólidas. Quando o gás está contaminado por outros compostos, como o enxofre, é levado para uma Unidade de Dessulfurização, a fim de eliminar essas impurezas (SCANDIFFIO, 2001). Uma parte do produto é consumida no próprio local para acionar as turbinas da termelétrica e outros equipamentos geradores de vapor, sendo o restante transportado para a Unidade de Processamento (UPG's) ou Tratamento (UTG's), onde o gás é desidratado e sofre o processo de fracionamento, que propicia a obtenção dos seguintes produtos: metano e etano, propano e butano. As UPG's têm como objetivos garantir o fluxo do gás sem causar problemas aos gasodutos e equipamentos, separar ou tratar das outras substâncias associadas ao gás e eliminar as substâncias que podem propiciar a corrosão nos dutos de produção e nas demais instalações (BORELLI *et al.*, 2001).

Em 2006, o parque de refino nacional processou cerca de 1,7 milhão b/d de petróleo (639 milhões de barris no ano), volume 0,7% superior ao processado no ano anterior. O conjunto de refinarias de São Paulo foi responsável por 42,6% da produção total de derivados. O processamento do gás natural nacional foi realizado por 24 unidades de processamento e o volume total de gás natural processado foi de 13,9 bilhões m (38,1 milhões m³/d) (BRASIL, 2007 b).

2.3.3. Transporte e distribuição

Nessa etapa há uma interconexão entre os modais aquaviários, dutoviários, ferroviários e rodoviários. No Brasil, diferentemente do transporte de petróleo nos EUA, o modal com menor participação é o rodoviário, seguido pelo ferroviário e dutoviário. O aquaviário é o que apresenta maior participação, visto a grande produção de petróleo estar concentrada na exploração *offshore* (SILVA, 2004).

O transporte desses produtos tem como função a importação e a exportação, o escoamento da produção dos campos petrolíferos e a distribuição dos produtos processados.

Os riscos decorrentes dessas atividades podem acontecer por vazamento, explosão e incêndio em navios petroleiros, dutovias, trens, caminhões e depósitos (armazenamento) de gás e produtos petrolíferos, como observou-se com ocorrências recentes de acidentes deste tipo.

A maior parte do petróleo produzido e dos produtos refinados no país é transportada por navios petroleiros até o destino final e, portanto, o principal meio de transporte de petróleo e derivados é a navegação marítima. Para esse tipo de transporte são atribuídos riscos e impactos que podem advir da própria atividade de navegação ou de derrames de óleo operacionais ou acidentais. Por isso, essa atividade constitui-se uma das principais causas da poluição acidental por óleo na costa brasileira (SILVA, 2004). Os pequenos vazamentos decorrentes das operações normais de transporte são responsáveis por 35 % do total de descargas de óleo nos oceanos, com diversos impactos negativos às regiões costeiras (LA ROVERE, 2007).

O transporte marítimo de petróleo e derivados pode ocorrer através de navios tanque (petroleiros) ou por dutos submarinos instalados no leito marinho. A ligação destes modais com o continente se dá através dos portos e terminais localizados nas áreas costeiras. Dos terminais, o produto é evacuado por oleodutos ou gasodutos até as refinarias, sendo que depois de processados, são transportados para as empresas distribuidoras.

A distribuição é realizada por caminhões, dutos ou trens das refinarias até as empresas distribuidoras de onde seguem para os postos de abastecimento público de combustíveis. Toda essa etapa também apresenta potenciais impactos ambientais decorrentes, principalmente, de acidentes.

O petróleo processado nas refinarias e seus derivados são transportados para grandes centros consumidores ou para terminais marítimos, para serem embarcados e distribuídos ao longo da costa. O gás natural é transferido dos campos de produção para as plantas de gasolina

natural ou Unidades de Processamento, onde é processado para a retirada das frações pesadas e enviado para os grandes consumidores industriais e para a rede de distribuição domiciliar (CUNHA *et al.*, 2006 b). Das unidades de processamento o gás natural é transportado às estações de abastecimento por gasodutos ou caminhões-feixes.

2.3.3.1. Transporte aquaviário

É aquele que utiliza uma via aquática para a navegação, seja esta interior, costeira (cabotagem) ou destinada a percursos de longo curso cruzando os oceanos. No Brasil, a maior parte do petróleo é transportada por navios petroleiros. Esses navios têm capacidades superiores a 35.000 toneladas e são usados para o transporte de longa distância, incluindo-se, nesse caso, a exportação de petróleo.

Para viabilizar a movimentação de petróleo e seus derivados, o Brasil dispunha, em 2006, de 54 terminais aquaviários e 30 terminais terrestres, possuindo uma capacidade nominal de armazenamento de 11,6 milhões m³, distribuída por 1.413 tanques (BRASIL, 2007 b). Os terminais marítimos são os principais pontos de ligação do navio com o continente, viabilizando a movimentação de petróleo e seus derivados. São Paulo é o Estado com a maior capacidade de armazenamento e o maior número de tanques: 2.702.137 m³ em 327 tanques (BRASIL, 2008 a). O terminal marítimo Almirante Barroso (TEBAR), localizado no litoral paulista, apresenta a maior capacidade de armazenamento de petróleo (1.585.345 m³), seguido do terminal da Ilha Grande (870.000 m³), no Rio de Janeiro. Com relação à capacidade de armazenamento de derivados, o terminal Madre de Deus, na Bahia, é o que apresenta a maior capacidade (604.079 m³). O sistema portuário brasileiro é composto por 37 portos públicos, entre marítimos e fluviais (BRASIL, 2008 b). Próximo aos portos e terminais frequentemente ocorrem acidentes com vazamento de petróleo, atingindo áreas bastante sensíveis da costa marinha.

O transporte de gás natural por grandes distâncias, como as intercontinentais, até os postos de recebimento, somente se torna viável através de navios metaneiros, necessitando, para isso, que o gás seja liqüefeito para reduzir o seu volume em aproximadamente 600 vezes. A opção pelo transporte de gás natural por navios metaneiros só se justifica quando a construção de gasodutos não é possível. Quando o produto chega aos postos de recebimento, é armazenado, bombeado, regaseificado e odorado, para ser conduzido por gasodutos até os centros de consumo (LOURENÇO, 2003).

2.3.3.2. Transporte dutoviário

Os dutos transportam petróleo e seus derivados, álcool, gás e produtos químicos diversos por distâncias especialmente longas. Dependendo do produto movimentado, podem ser chamados de oleodutos, gasodutos ou polidutos. São construídos com chapas que recebem tratamentos anti-corrosivos e passam por inspeções freqüentes de prevenção. Por isso, permitem que grandes quantidades de produtos sejam transportadas de maneira segura, diminuindo o tráfego de cargas perigosas por caminhões, trens ou por navios e, conseqüentemente, diminuindo os riscos de acidentes ambientais (CETESB, 2008 g).

As dutovias apresentam alta eficiência energética e a melhor relação custo/benefício para movimentação de grandes volumes, pois somente a carga se move. Podem ser classificados como dutos de transferência ou de transporte, de acordo com a função desempenhada nas operações. Estão localizados, em maior escala, nas regiões costeiras interligando plataformas, terminais, refinarias e companhias distribuidoras e consumidores (SILVA, 2004). Há dutos internos (que transportam produtos dentro de uma mesma instalação), intermunicipais, interestaduais ou internacionais. Na maioria são subterrâneos, mas há também os aéreos e os submarinos (CETESB, 2008 g).

Em 2006, a infra-estrutura dutoviária nacional era composta de 511 dutos destinados à movimentação de petróleo, derivados, gás natural e outros produtos. Esses dutos somaram 15,4 mil km de extensão, divididos em 10,3 mil km para transporte e 5,1 mil km para transferência (BRASIL, 2007 b).

O transporte do gás natural por meio de gasodutos abrange 78% do comércio mundial, sendo o restante efetuado através de navios metaneiros, utilizados para maiores distâncias (LOURENÇO, 2003). No estado gasoso, o produto é transmitido através de gasoduto, caso contrário é armazenado e transportado em cilindros de alta pressão, como Gás Natural Comprimido - GNC ou Gás Natural Liquefeito - GNL. O transporte na fase gasosa pode ser realizado a alta pressão (comprimido a 230 kgf cm^{-2}) através de barcaças ou de caminhões tanques, quando o volume é pequeno e a distância envolvida é relativamente curta. Já para grandes volumes e em regime de operação contínua, o ideal é utilizar gasodutos que operam a pressão de 120 kgf cm^{-2} , por ser econômico e confiável (BORELLI *et al.*, 2001).

A tendência mundial e brasileira é a construção de novos gasodutos para abastecer os grandes parques industriais. Os benefícios da implantação de gasodutos como o Brasil-Bolívia, além dos aspectos comerciais, também gera a possibilidade de substituição energética com

menores impactos ambientais. No entanto, a construção de dutos e gasodutos é uma atividade que impacta o meio ambiente em todas as suas esferas (meio biótico, físico e sócio-econômico).

2.3.3.3. Transporte ferroviário

Destaca-se pela capacidade para o transporte de grandes volumes a médias e grandes distâncias e quando comparado ao transporte rodoviário, apresenta maior segurança registrando menor índice de acidentes, de furtos e roubos (BRASIL, 2008 c). Constitui um importante meio de escoamento de cargas em geral, transportando 5,2% do total de cargas movimentadas no país, incluindo produtos perigosos como álcool, coque, diesel, gasolina, óleos combustíveis, entre outros (CETESB, 2008 d).

Normalmente, os trens são usados para transportar produtos como gasolina e diesel das refinarias, onde estão armazenados, até os terminais de distribuição. Desses terminais saem caminhões tanques que levam os produtos aos postos comerciais de combustível. Acidentes com trens podem gerar grandes prejuízos ao meio ambiente como poluição do solo e dos cursos d'água próximos ao local do acidente.

2.3.3.4. Transporte rodoviário

O transporte rodoviário, no caso da indústria do petróleo, é mais utilizado para a movimentação final dos produtos, como por exemplo, o transporte de gasolina e diesel das refinarias ou pontos de distribuição aos postos de abastecimento ao consumidor. Esse tipo de transporte tem grandes probabilidades de ocorrência de acidentes, porque estão expostas a uma infinidade de fatores externos não controláveis.

O crescente número de acidentes rodoviários durante o transporte de produtos perigosos no Estado de São Paulo é bastante preocupante, tendo em vista que os mesmos circulam por áreas densamente povoadas e vulneráveis do ponto de vista ambiental, agravando assim os impactos causados ao meio ambiente e à comunidade (CETESB, 2008 a).

2.3.3.5. Postos de combustíveis

Outra etapa da distribuição de petróleo refinado (gasolina, diesel e gás natural) são os

postos de combustíveis, que armazenam e vendem esses produtos à população. Porém, o armazenamento subterrâneo desses produtos pode provocar a contaminação das águas e do solo, em decorrência de vazamentos, que podem durar anos e que, muito freqüentemente, atingem lençóis freáticos e aquíferos.

No final de 2006, 34.709 postos operavam no país. Deste total, 43,9% encontravam-se na região Sudeste, 21,2% na região Sul, 20,0% na região Nordeste, 8,7% na região Centro-Oeste e 6,0% na região Norte (BRASIL, 2007 b).

2.3.4. Consumo final

Nesta etapa inclui-se a utilização da gasolina e do gás natural por veículos leves. O consumo desses combustíveis é responsável por grande parte da poluição atmosférica, que se constitui uma das mais graves ameaças à qualidade de vida humana e aos ecossistemas.

Para diminuir a emissão de gases tóxicos na atmosfera originados pela combustão do combustível, é necessária a implantação de diversas normas que obriguem a redução dessas emissões como, por exemplo, o uso de catalisadores em escapamentos de automóveis. Outra ação é o estímulo ao uso de transportes coletivos, evitando-se congestionamentos, já que a redução da velocidade média aumenta muito a emissão de cada veículo, além da substituição da frota de carros antigos que não se adequam aos limites legais de emissões atmosféricas.

3 – SETOR SUCROALCOOLEIRO: ETANOL

3.1. Álcool combustível (etanol)

As preocupações ambientais junto à necessidade de diminuir as emissões poluentes definidas pelo Protocolo de Quioto e a possibilidade da redução na dependência das importações de energia, especialmente no contexto de subida dos preços do petróleo, têm contribuído muito para o aumento da produção de biocombustíveis (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2007; WALTER *et al.*, 2007). Dentre as alternativas economicamente viáveis no momento, uma das mais importantes é o álcool combustível (etanol).

O etanol (C_2H_5OH) é um líquido incolor, transparente, volátil, de cheiro estéril e miscível em água. É obtido através da fermentação de substâncias amiláceas ou açucaradas e também mediante à processos sintéticos (AMBIENTE BRASIL, 2008 b). É empregado na forma hidratada (de 95 a 96% de pureza) para o abastecimento de veículos com motor a álcool ou na forma de anidro (maior que 99% de pureza) utilizado na mistura com a gasolina. A gasolina misturada ao álcool, quando comparada à gasolina pura, tem uma melhor combustão (maior octanagem) e considerável redução da poluição atmosférica (UNICA, 2008).

Nos anos 90, diversos estudos sobre energia renovável foram publicados e um deles (“The renewables–intensive global energy scenario – RIGES” ou “O cenário de energias globais renováveis-intensivas”), preparado como parte da Conferência UNCED (sigla em inglês para Conferência das Nações Unidas em Meio Ambiente e Desenvolvimento), realizada no Rio de Janeiro em 1992, sugere que até o ano de 2050 as fontes renováveis de energia podem representar 60% do mercado mundial de eletricidade e 40% do mercado de combustíveis diretos e que as emissões de CO_2 em todo mundo possam ser reduzidas em 75% em relação aos níveis observados em 1985. Nesse cenário, a biomassa forneceria 38% dos combustíveis e 17% da eletricidade no mundo. Nessa mesma época, o IPCC (sigla em inglês do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas) considerou que a produção e o consumo de biomassa devem crescer de 25 a 46% até 2100, e que com o uso intensivo desse

tipo de energia, o objetivo de estabilizar os níveis atuais de emissão de CO₂ na atmosfera deverá ser atingido (ROSILLO-CALLE *et al.*, 2005). Considerando a produção mundial de etanol em 2005, cerca de 60% da produção era baseada na cana-de-açúcar, 30% a partir de grãos (principalmente milho), 7% de etanol sintético (produzido a partir de etileno, carvão etc.) e 3% a partir de outras matérias-primas (WALTER *et al.*, 2007).

Com esses dados, a agroindústria canavieira nacional, frente ao mercado de exportação, tenta transmitir uma imagem de desenvolvimento sustentável, através de uma produção limpa e renovável de energia. No entanto, os processos da produção provocam uma série de impactos ambientais negativos. A fase agrícola apresenta aspectos diretamente ligados à economia, ao processo de ocupação territorial e à utilização excessiva de recursos naturais, como água e solo, e de recursos não-renováveis, como os agrotóxicos produzidos a partir de combustíveis fósseis. Já a fase industrial está ligada aos processos de transformação da matéria-prima, que também são responsáveis pela geração de diversas externalidades (PIACENTE, 2005). Além disso, os trabalhadores do setor e as comunidades locais atingidas pelos impactos gerados pela agroindústria canavieira alegam outra realidade, bem diferente do desenvolvimento sustentável, marcada pelo desemprego, péssimas condições de trabalho, poluição ambiental, concentração fundiária e de renda. Todos esses aspectos citados colocam em dúvida a imagem que a atividade canavieira tentar criar não só à sociedade brasileira, quanto também ao mercado internacional (GONÇALVES, 2005).

Considerar o etanol como energia renovável é bastante discutível. Para o Prof. Dr. José Goldemberg (IEE/USP), o etanol só deve ser considerado um combustível renovável se a contribuição de combustíveis fósseis usados na produção for pequena (MACEDO, LEAL & SILVA, 2004). Segundo Pimentel (2003), diversos estudos científicos apontam que a produção de etanol, principalmente nos EUA, não é uma fonte de energia renovável, não é um combustível econômico e sua produção e uso contribuem muito para a poluição do ar e do aquecimento global, além de ser produzido por uma das mais agressivas agriculturas no mundo.

Ao contrário de Pimentel, muitos autores consideram o etanol como a melhor alternativa para a substituição do petróleo como combustível. Segundo Vieira-Junior *et al.*, (2008), a cana é hoje a melhor alternativa para a produção de biocombustíveis e, para serem bem aceitos pelo mercado mundial, “devem ter saldo positivo de energia líquida, benefícios ecológicos, serem economicamente competitivos e produzirem em grandes escalas sem competir com o abastecimento de alimentos”. Goldemberg (2007) publicou na revista *Science*,

um artigo comentando a grande possibilidade de o álcool brasileiro transformar-se uma solução energética para o planeta. No mesmo ano, o jornal *The Wall Street* chamou o Brasil de “Arábia Saudita do álcool”, demonstrando o interesse dos demais países pelo álcool brasileiro da cana-de-açúcar e pela tecnologia dos veículos biocombustíveis (BERTELLI, 2007; VIEIRA-JUNIOR *et al.*, 2008). Porém, Mattos (2002), ressalta uma importante dificuldade que a indústria sucroalcooleira brasileira está enfrentando para conquistar o mercado internacional: a denúncia de “*dumping*” ambiental e social no processo de produção da cana (queima dos canaviais e condições precárias de trabalho).

Para alguns autores, como Piacente (2004), a atividade agrícola da cana apresenta um dos mais baixos índices mundiais de erosão de solos e de uso de defensivos e insumos químicos, realizando controle biológico de pragas e fertirrigação do solo com os resíduos do processamento industrial da cana. Porém, Pimentel (2007), relata que a produção da cana causa mais erosão do solo do que qualquer cultura produzida no Brasil, pois após a colheita o solo fica desprotegido e exposto à erosão da chuva e da energia eólica. O autor também acrescenta que a produção da cana usa quantidades maiores, quando comparados às outras culturas, de herbicidas, inseticidas e fertilizantes nitrogenados que podem provocar a poluição dos solos e das águas.

Estudos realizados no país e enviados ao Banco Mundial enfatizam as principais conseqüências que beneficiam o uso do etanol em diversos setores, tais como geração de empregos, preocupação com meio ambiente no aproveitamento de resíduos para a produção de subprodutos como a produção de energia através do bagaço da cana-de-açúcar, proporcionando atrativos econômicos e ambientais, diminuição da poluição nos grandes centros e o potencial de crescimento para nações em desenvolvimento (NASTARI *et al.*, 2005).

A utilização do bagaço da cana pode gerar energia térmica, elétrica e mecânica. Usando o bagaço como fonte de energia, a produção sucroalcooleira pode ser auto-suficiente na geração de energia elétrica (PRADO, 2007).

Além das preocupações ambientais, surgem os problemas quanto ao uso mundial do etanol que se referem à uniformização de padrões técnicos internacionais e a existência de estoques reguladores que possam garantir o fornecimento contratado do produto (SZWARC, 2006). No Brasil, essa regulamentação é estabelecida pela Agência Nacional do Petróleo, Gás e Biocombustíveis - ANP (MARCOCCIA, 2007). No entanto, falta uma clara e única especificação sobre o produto. A padronização é fundamental para definir os principais

parâmetros relativos às características dos combustíveis, como por exemplo, teor máximo de água, quantidade de aldeídos, limites de explosão, pH, etc (WALTER *et al.*, 2007).

Portanto, o que se vê é que não há consenso sobre o balanço entre aspectos positivos e negativos do etanol. As opiniões, muitas vezes diametralmente opostas, não estão imunes aos interesses econômicos e políticos que cercam o assunto.

3.1.1. Produção brasileira de etanol

Devido a uma tradicional indústria açucareira desde a época colonial, a cana-de-açúcar foi a cultura que melhor se adaptou no país, dentre as diferentes espécies vegetais estudadas para produção de álcool (BRANDÃO, 1985 apud MARCOCCIA, 2007). A agroindústria da cana encontrou no Brasil condições ambientais favoráveis, como solo e clima.

A produção brasileira de etanol diferencia-se dos demais países do mundo principalmente em relação à sua escala de produção, ao valor da produção e à posição de destaque que a cana-de-açúcar tem em relação a outras culturas quanto à área de plantio (PIACENTE, 2005). Por ser pioneiro (o primeiro carro movido exclusivamente a álcool foi produzido em 1925), o país garante maiores tecnologias de produção e comercialização a menores custos, tendo um forte potencial para aumentar muito a produção nos próximos anos. Hoje, o país tem um grande potencial exportador de álcool combustível apresentando vantagens comparativas no mercado internacional.

No Brasil, em 2006, cerca de 46,4% da oferta interna de energia (OIE) tinha origem em fontes renováveis, enquanto que no mundo essa taxa é de 12,7% e nos países membros da OECD é de apenas 6,2% (Figura 3.1). A cana-de-açúcar corresponde a 16% da matriz energética nacional (UNICA, 2008 c).

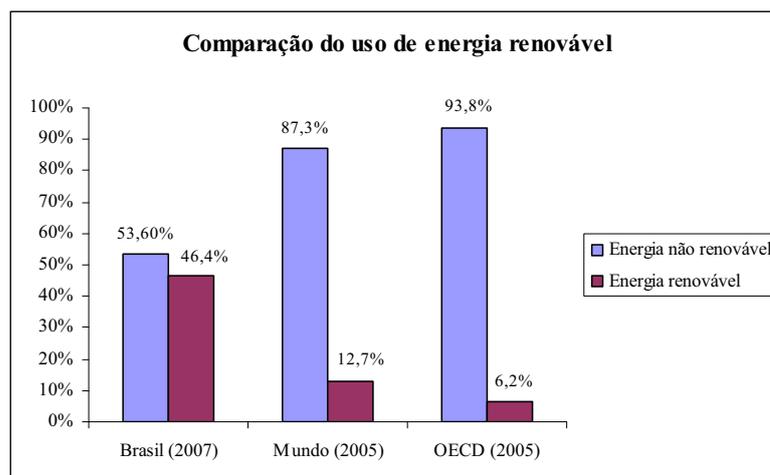


Gráfico 3.1. Comparação do uso de energia renovável entre o Brasil, o Mundo e os países da OECD. Fonte: UNICA (2008c).

Em 1973 os países da OPEP (Organização dos Países Exportadores de Petróleo), entraram em um acordo para reduzir a produção mundial de petróleo. Isso desencadeou o primeiro choque do petróleo, provocando a elevação nos preços no mercado internacional, afetando todos os países importadores do produto. Nesse período o Brasil importava mais de 80% de todo o petróleo que consumia. Em 1975, o presidente Geisel anunciou medidas para reduzir o déficit no Balanço de Pagamentos e elaborou o Programa Nacional do Alcool (Proálcool), concedendo subsídios financeiros para a expansão da lavoura canieira (BOLOGNINI, 1996). O Proálcool tinha cinco objetivos básicos elencados na época pela Comissão Nacional do Alcool - CENAL (GOLÇALVES, 2005):

- economia mediante a redução das importações do petróleo para a produção de gasolina;
- redução das disparidades regionais de renda mediante ao aumento da produção em diversas regiões (o que não aconteceu, pois a atividade canieira é centralizada principalmente na Região Sudeste);
- redução das disparidades individuais de renda através da maior ocupação da mão-de-obra no setor agrícola (o que também não aconteceu, já que é uma das atividades mais concentradoras de renda);
- crescimento de renda interna das usinas;
- expansão das indústrias de bens de capital como as produtoras de máquinas agrícolas e a indústria química)

O programa passou por duas fases. A primeira, até o ano de 1978, onde o álcool era misturado à gasolina em proporção variável e a segunda, a partir de 1979, na qual o álcool hidratado passou a ser combustível único (BOLOGNINI, 1996).

Na implantação do Proálcool, as questões ambientais sequer foram tratadas entre os temas secundários e muito menos se mencionou a sustentabilidade ambiental do programa (MELLO, 1997). Entre 1983 e 1988 o carro a álcool passou a ser mais vendido do que o a gasolina. Porém, em 1986 iniciou-se um período de declínio na venda desse tipo de automóvel, que se alongou durante a década de 90. Esse declínio derivou da redução dos preços internacionais do petróleo e também da expansão da produção brasileira deste produto, diminuindo a dependência do país em relação ao petróleo importado. Ao longo da década de 90, o governo brasileiro deu fim aos incentivos fiscais e às isenções de impostos que estimulavam a venda de carros a álcool.

Em 1997, as empresas do setor, sem o apoio do Estado, se tornaram concorrentes. Entretanto, criaram uma política unificada em torno da UNICA (União da Indústria da Cana-de-Açúcar), que passou a ter, no Estado de São Paulo, um papel chave na condução do complexo canavieiro (GONÇALVES, 2005). Durante o declínio das vendas, em 1999, as usinas brasileiras ampliaram as exportações do etanol com finalidade industrial. Os cinco principais compradores no ano de 2004 foram Índia, EUA, Coreia do Sul, Japão e Suécia (FIGUEIRA, 2005).

A nova fase do Complexo Agroindustrial Canavieiro, começa a partir de 2002, com a criação, no Estado de São Paulo, da Câmara Ambiental Sucroalcooleira, com o objetivo de discutir propostas para a melhoria ambiental das atividades. Essa nova fase começou com a retomada dos preços internacionais do açúcar, a entrada em vigor do Protocolo de Quioto e o crescimento da demanda interna do álcool com o lançamento no Brasil, dos carros híbridos, também chamados de *“flex fuel”*, que apresentam a possibilidade do abastecimento de qualquer mistura, em qualquer proporção, de álcool e gasolina, sem que cause danos ao veículo (MARCOCCIA, 2007; WWF-BRASIL, 2008 b) (Figuras 3.2 e 3.3). Essa nova fase é caracterizada por altos níveis de produtividade e baixos custos de produção, bem como por ganhos adicionais relacionados à questão ambiental. Hoje, a infra-estrutura logística de exportação de álcool tem condição de produzir cerca de 2,5 bilhões de litros/ano, sendo que essa capacidade exportadora pode aumentar bruscamente (BRASIL, 2006).

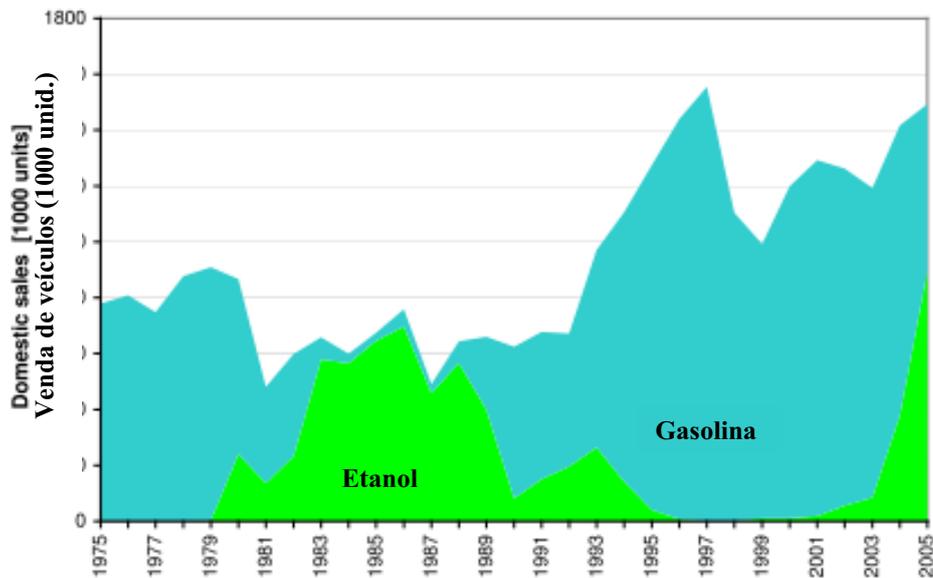


Gráfico 3.2. Vendas de veículos movidos a gasolina e a álcool (1975 à 2005).

Fonte: ANFAVEA (2006)³ apud WALTER *et al.* (2007).



Gráfico 3.3. Marcos históricos da produção de cana no Brasil.

Atualmente, o Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar junto com os EUA. Na verdade, EUA, nos últimos anos vem ultrapassando a produção brasileira (17 bilhões de litros), chegando a 20 milhões de litros, já que pretendem substituir, em dez anos, 20% da gasolina consumida no país por combustíveis renováveis (BERTELLI, 2007; CALDAS, 2007). Esse aumento norte-americano da produção de etanol ocorreu devido a elaboração das leis

³ ANFAVEA. Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. **Brazilian Automotive Industry Yearbook**, 2006. Disponível em www.anfavea.com.br.

americanas para banir o aditivo MTBE (metil-tércio-butil éter) na mistura de gasolina, em 1999, e a lei *Renewable Fuel Standard* (RFS), assinada pelo Presidente George W. Bush, em agosto de 2005 (ANDREOLI & SOUZA, 2007), pois o etanol substituiu a função do aditivo MTBE. A Petrobras planeja para 2011 suplantando os EUA e passar a ser líder mundial de vendas de biocombustíveis, investindo maciçamente em parcerias internacionais e construção de alcooldutos.

Na safra de Maio/2008, 63,96% da cana colhida foi destinada para a produção do etanol e 36,04% para a produção de açúcar (UNICA, 2008 b). O país produz 1/3 de todo álcool produzido no mundo, com a média anual 12 bilhões de litros. Colhe 450 milhões de toneladas por ano, em uma área de aproximadamente 6,2 milhões de hectares. Com 1 hectare de terra se consegue produzir 7.500 litros de etanol. Há mais de 310 usinas no país e 134 estão localizadas no Estado de São Paulo que é o maior produtor de etanol do país (60% da produção nacional). Sua produção está relativamente concentrada nas regiões de Piracicaba e Ribeirão Preto, com conseqüências ambientais e sociais negativas limitando a expansão de área nessas regiões tradicionais. A região Centro-Sul é responsável por 85% da produção brasileira de cana-de-açúcar. Existem 60 mil produtores de cana no país, em uma área de 5 milhões de hectares, gerando 1 milhão de empregos diretos e 3 milhões indiretos (PRADO, 2007; UNICA, 2008; VIEIRA JUNIOR *et al.*, 2008). Atualmente cerca de 80 novas unidades industriais estão em diferentes fases de construção (WALTER *et al.*, 2007).

A produção de cana-de-açúcar se concentra nas regiões Centro-Sul e Nordeste do Brasil (Figura 3.1).

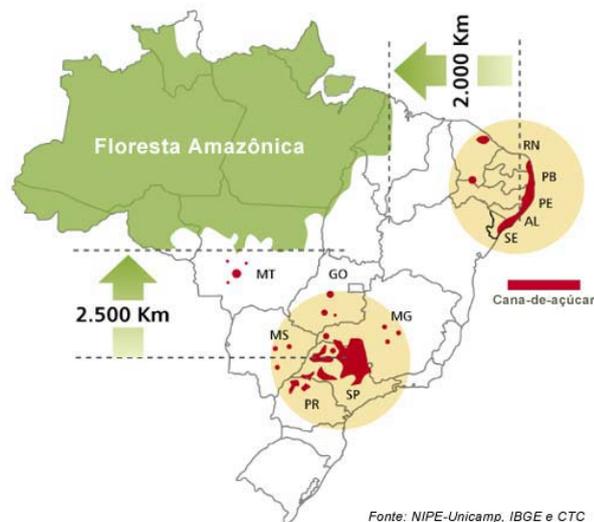


Figura 3.1. Concentração regional da produção de cana-de-açúcar.

O prognóstico da produção de cana-de-açúcar para a nova safra indica que o volume total a ser processado pelo setor sucroalcooleiro deverá atingir um montante entre 558,1 e 579,8 milhões de toneladas. Este volume representa um aumento de 11,3% a 15,6% do obtido na safra passada, ou seja, uma quantidade de 56,6 a 78,2 milhões de toneladas adicionais do produto (BRASIL, 2008 e). Segundo a WWF- BRASIL, o crescimento previsto para áreas destinadas ao cultivo da cana é de 7 milhões de hectares até 2020. Atualmente, o crescimento é de 600 mil hectares ao ano (WWF-BRASIL, 2008 a). A área colhida de cana foi de aproximadamente 6,7 milhões de hectares (BRASIL, 2008 d), apresentando um aumento de 8,6% referente a área colhida na safra de 2007. Esses dados mostram o porque o Brasil é responsável por um dos mais importantes programas de energia renovável do mundo.

A maior produção de álcool está relacionada ao aumento do consumo doméstico e das perspectivas do comércio externo deste produto. A produção do álcool hidratado deverá continuar crescendo em decorrência do expressivo aumento da frota nacional de veículos do tipo *flex*, cuja venda mensal representa 85% dos veículos novos e está próxima de 200 mil unidades. Esse tipo de veículo tem tido a preferência dos consumidores devido ao seu menor custo por quilômetro rodado quando comparado com a gasolina (BRASIL, 2008 e). Segundo Edson Silva, superintendente de abastecimento da ANP, as vendas de álcool combustível, em fevereiro de 2008, ultrapassaram as da gasolina (FECOMBUSTÍVEIS, 2008). Para MACEDO *et al.*, 2004, a utilização do etanol como combustível automotivo, seja misturado à gasolina ou puro, em veículos *flex*, é a responsável por conferir ao Brasil liderança no cenário internacional quanto ao seqüestro de carbono e à mitigação do efeito estufa.

Diferentemente do Brasil, onde 43% dos automóveis são movidos à álcool, a maioria dos outros países ainda não usam o etanol puro como fonte de combustível, boa parte deles o mistura à gasolina como aditivo. Durante os últimos anos, mais de 30 países introduziram ou estão interessados em introduzir programas de álcool combustível (ROSILLO-CALLE & WALTER, 2006). O álcool é utilizado em mistura com a gasolina no Brasil, EUA, União Européia, México, Índia, Argentina, Colômbia e, mais recentemente, no Japão (VIEIRA JUNIOR *et al.*, 2008).

3.2. Etapas da produção ao consumo final

As etapas do ciclo da cana-de-açúcar incluem a produção ou fase agrícola (preparo do solo e o cultivo da cana-de-açúcar); o transporte interno; a fase industrial (processamento); a

reutilização dos resíduos e efluentes industriais; a geração de vapor e de energia elétrica; o armazenamento; a distribuição e uso do álcool etílico hidratado como combustível (PRADO, 2007). Todas essas etapas também provocam impactos ambientais de diferentes intensidades.

3.2.1. Produção

A fase agrícola está relacionada com a avaliação e adequação do solo (estudos de qualidade do solo, limpeza do terreno, nivelamento, aração e gradagem), seguida do preparo do solo para prover condições físicas, químicas e biológicas de cultivo para o plantio. Após o plantio iniciam-se os tratamentos culturais, que são práticas agrícolas com os objetivos de preservar as propriedades físico-químicas do solo, eliminar ou reduzir plantas invasoras, conservar o sistema de controle de erosão e controlar pragas e doenças. Essa atividade inclui a utilização de agrotóxicos e, quando necessário, fertilização (OMETTO, 2005). A próxima fase é a colheita da cana na qual é utilizada a queima da palha, prévia ao corte, seguida do carregamento da cana às usinas (PRADO, 2007). Em algumas plantações, a prática da queima tem sido substituída pela colheita mecanizada. Por um lado, reduz-se a emissão de carbono na atmosfera e os efeitos nocivos da poluição do ar (principalmente nas épocas de estiagem, período de safra da cana). Por outro, a mecanização tem reduzido a oferta de emprego aos cortadores de cana, o que gera um sério problema social.

3.2.2. Processamento

A fase industrial está relacionada diretamente com a produção do álcool e começa com a entrada da cana na usina. O processo tem início com a lavagem da matéria-prima (gerando-se o primeiro efluente) para a retirada do material incorporado no colmo pela queimada e transporte. Algumas usinas eliminam essa operação, principalmente quando é usado o corte da cana crua, sem a queima, reduzindo os custos ambientais e econômicos desta fase pelo fato de diminuir o grande uso de água para a lavagem (3 a 7 m³ por tonelada de cana). As águas residuais da lavagem da cana apresentam alto potencial poluidor, isso obriga as unidades agroindustriais a instalarem sistemas de tratamento desse efluente antes do seu descarte (PIACENTE, 2005).

Da cana é extraído, pelo processo de moagem, o caldo, que passa por tratamento, aquecimento e decantação, subdividindo-se nos processos de produção de açúcar ou álcool. O

lodo excedente da decantação é filtrado a vácuo, o líquido volta para o processo e o resíduo sólido (torta de filtro) é destinado para a fertilização dos campos de cultivo da cana. (PRADO, 2007).

Existem dois tipos de destilarias de etanol: destilarias anexas que produzem o álcool também a partir da fermentação do melaço, subproduto do açúcar e as destilarias que produzem o álcool da fermentação direta do caldo da cana. A parte líquida do produto da fermentação é enviada para duas colunas de destilação autônomas. A primeira obtém álcool com 45°GL a 50°GL (fração de volume), denominado flegma, gerando um efluente (vinhaça ou vinhoto) responsável por mais de 60% da carga poluidora de uma destilaria. A segunda coluna obtém álcool com 97°GL, que é o álcool etílico hidratado combustível. É produzido de 10 a 30 litros de vinhaça por litro de álcool produzido. Esse efluente tem grande importância na aplicação em solos agrícolas, principalmente nas lavouras de cana, devido a alta riqueza de organo-mineral. Porém, o uso excessivo deste produto como adubo pode trazer prejuízos à cultura e ao meio ambiente, tais como a salinização do solo e a poluição dos aquíferos (PRADO, 2007).

3.2.3. Transporte e distribuição

Essa etapa se refere ao transporte da cana colhida no campo até as usinas e a distribuição do álcool combustível, onde ficam armazenados em grandes tanques, até os pontos de venda. O transporte da cana e distribuição do álcool aos postos de abastecimento são realizados normalmente por caminhões a diesel.

Depois que a cana é colhida, há normalmente uma etapa de transbordo da cana, do canavial para um local apropriado, em que ela é carregada nos caminhões para transporte até as usinas (LEME, 2005).

O escoamento da produção de etanol é realizado por um sistema intermodal, utilizando-se rodovias, ferrovias, dutos e portos especializados (UNICA, 2008).

Nos postos de comercialização, o produto é armazenado e vendido. Porém o armazenamento subterrâneo pode provocar a contaminação das águas e do solo, em decorrência de vazamentos, que podem durar anos e que freqüentemente atingem as águas subterrâneas.

3.2.4. Consumo final

Nesta etapa inclui-se a utilização do etanol em veículos. O uso desse combustível renovável é responsável pela redução da poluição atmosférica, principalmente dos gases causadores do efeito estufa, porém sua combustão pode gerar outros danos atmosféricos como a emissão de HAPs (hidrocarbonetos aromáticos policíclicos) e aldeídos. Hoje, 2,4 milhões de veículos leves são fabricados para o uso de etanol de uma frota total de 18 milhões (UNICA, 2008).

4 - PRINCIPAIS IMPACTOS AMBIENTAIS E ALGUNS SÓCIO-ECONÔMICOS DA INDÚSTRIA PETROLÍFERA (GASOLINA E GNV)

Neste trabalho, adotou-se a Resolução CONAMA nº 001 01/86 (BRASIL, 1986) para definição do termo “impacto ambiental”, que é “qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que direta ou indiretamente, afetam: I – a saúde, a segurança e o bem estar da população; II – as atividades sociais e econômicas; III – a biota; IV – as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; e V – a qualidade dos recursos ambientais”.

4.1. Impactos ambientais da exploração e exploração

As atividades de exploração e exploração (desenvolvimento e produção) de petróleo e gás natural têm potencial de causar uma grande variedade de impactos sobre o meio ambiente que dependem de vários fatores: estágio de desenvolvimento dos processos, tamanho e complexidade dos projetos, sensibilidade do ambiente e da eficácia do planejamento como técnicas de prevenção, controle e mitigação da poluição (MARIANO, 2007). Como a atividade petrolífera causa um potencial impacto ambiental significativo, está enquadrada entre aquelas que necessitam de um licenciamento ambiental prévio para que suas ações possam ser realizadas. Todas as suas etapas, como sísmica, perfuração, pesquisa para produção, desenvolvimento e produção, precisam passar pelo processo de licenciamento ambiental.

Segundo Antunes (2003), com base nas portarias ANP nº 114/2001 e nº 25/2002, após a concessão dos blocos:

“cabe aos concessionários, por sua conta e risco, as medidas que se fizerem necessárias para a conservação dos reservatórios e de outros recursos naturais e para a proteção do ar, do solo, da água de superfície ou de subsuperfície, sujeitando-se à legislação e à regulamentação brasileira sobre o meio ambiente e, na sua ausência ou lacuna, adotando as Melhores Práticas da Indústria do Petróleo a respeito. O concessionário está obrigado a preservar o meio ambiente e proteger o equilíbrio do ecossistema na Área de Concessão, a

evitar a ocorrência de danos e prejuízos à fauna, à flora e aos recursos naturais, a atentar para a segurança de pessoas e animais, a respeitar o patrimônio histórico-cultural, e a reparar ou indenizar os danos decorrentes de suas atividades e a praticar os atos de recuperação ambiental determinados pelos órgãos competentes [...]”.

A contaminação do meio marinho pode ocorrer por fontes de origem terrestre, que contribuem globalmente com cerca de 70 a 80 % da contaminação marinha, ou por fontes oriundas das atividades localizadas *in situ* como transporte marítimo, exploração de recursos minerais da plataforma continental e descarga direta de contaminantes por emissários submarinos (LACERDA & MARINS, 2006).

A atividade de exploração de óleo e gás *offshore* é uma fonte de poluição não só de hidrocarbonetos e derivados de petróleo, mas também de partículas em suspensão e outras substâncias químicas, como os metais pesados componentes dos fluidos de perfuração que serão descritos mais adiante (POZEBON *et al.*, 2005).

A etapa de desenvolvimento e produção tem como impactos mais severos os observados durante a construção, perfuração e outras atividades, tanto em terra, quanto no mar, pois são acompanhadas pelo tráfego intenso de embarcações de suporte e geração de resíduos. Essas embarcações incluem carregadores e lançadores de dutos, coletores de cascalhos de perfuração e outros resíduos. As operações de perfuração, produção (responsável pela maior parte) e transporte geram mais de oitocentas substâncias químicas em seus efluentes líquidos, sólidos e gasosos ou aerossóis. Nessas etapas, os impactos potenciais se concentram nas emissões de efluentes e resíduos com efeitos crônicos sobre a fauna bêntica e pelágica, impactos sobre o sedimento e a qualidade da água, geração de esgotos sanitários e emissões atmosféricas. Essas operações afetam a fauna e a flora devido a mudanças nas variações na água, no ar e na qualidade do solo/sedimentos, além de causar perturbações como ruídos, iluminação e mudanças na cobertura vegetal. Como consequência, as espécies atingidas podem sofrer prejuízos relacionados ao habitat, alimentação, rotas de migração, vulnerabilidade a predadores. No entanto, cabe ressaltar que esses impactos podem ser evitados, minimizados e/ou mitigados (MARIANO, 2007).

A atividade de perfuração exploratória *offshore* pode ter três fontes de impactos:

- seleção do local para perfuração, devido aos estudos prévios na área;
- operações, pois provocam emissões de efluentes e resíduos como fluidos, cascalhos, esgotos, resíduos domésticos e vazamentos, além das emissões dos equipamentos da planta;

- descomissionamento (fechamento). Quando uma plataforma é abandonada ela pode contaminar a água e o sedimento e causar danos aos habitats dos organismos pelágicos e bênticos.

Os impactos ambientais da etapa de exploração e exploração tiveram como principal base dois trabalhos (HABTEC, 2006; MARIANO, 2007) e trata mais especificamente da atividade *offshore*, já que esta é amplamente utilizada no país. Como os impactos da produção do petróleo e do gás natural são praticamente os mesmos, eles foram compilados e dispostos abaixo sem diferenciações.

4.1.1. Impactos sobre o meio físico e biótico oceânico

- alteração da qualidade da água e da comunidade bentônica devido ao impacto mecânico causado pelo lançamento de dutos marinhos e outras estruturas submarinas e ao jateamento hidráulico

A instalação do duto no assoalho oceânico provoca a suspensão de parte do sedimento, aumentando a concentração de material particulado na água que, conseqüentemente, aumenta a turbidez durante um determinado período de tempo que será definido pelas características do sedimento e pela hidrodinâmica. As partículas suspensas tendem a ser dispersas pela circulação no local da instalação e pela sedimentação natural, favorecendo a recuperação das condições anteriores, mas num primeiro momento a biota marinha é atingida.

O impacto mecânico pode provocar a redução da riqueza, alterando a diversidade e a biomassa na área afetada. Diversos estudos têm demonstrado uma redução a curto prazo, na abundância e densidade de organismos bentônicos após as atividades de instalação de dutos submarinos (REID & ANDERSON, 1999). Os organismos bentônicos têm pouca ou nenhuma mobilidade, o que dificulta a fuga de áreas afetadas e, por isso, são mais vulneráveis. O jateamento hidráulico usado para enterrar os dutos também impacta a fauna bentônica, pois desaloja os organismos que se encontram no sedimento removido. O revolvimento do sedimento altera a qualidade da água e causa efeitos sobre as estruturas de alimentação e respiração desses organismos (HABTEC, 2006).

O impacto mecânico levará à morte alguns organismos. No entanto, esse tipo de impacto é considerado reversível, pois os efeitos à comunidade cessarão após o término das atividades de instalação.

- Ancoragem da plataforma

Para dar início às atividades de perfuração, a plataforma é rebocada (a menos que seja auto-propelida) até o local que será fixada ao fundo do mar com auxílio de amarras e âncoras adequadas. Durante esse processo, ocorre o arrasto do substrato marinho e eliminação de organismos bentônicos (SCHAFEEL, 2002).

- alteração da qualidade da água do mar devido ao descarte de efluentes

Os principais efluentes hídricos resultantes das atividades de exploração e produção de petróleo e gás natural são:

- *Águas de produção*

Na etapa de produção do petróleo é gerada grande quantidade de água que pode conter sais inorgânicos, metais pesados, sólidos, produtos químicos, hidrocarbonetos, benzeno, hidrocarbonetos poliaromáticos (HPAs) e, ocasionalmente, substâncias radioativas utilizadas para análise das formações atravessadas pelo poço perfurado.

- *Fluidos de perfuração, calha e substâncias químicas para o tratamento dos poços*

Conforme a broca evolui perfuração, fragmentos de rocha triturada são gerados, os quais denominam-se “calha”. A calha é levada à superfície através do fluido ou lama de perfuração, que é expelido na broca através de pequenos orifícios, sendo esta uma das principais funções do fluido. A calha e o fluido de perfuração que chegam à superfície constituem valiosas fontes de informação sobre as formações que estão sendo perfuradas. O fluido tem diversas outras funções além da citada acima como lubrificar e resfriar a broca, inibir a corrosão e proteger e suportar as paredes do poço. São misturas de sólidos, líquidos, aditivos químicos e/ou gases e se diferenciam quanto à sua base, que pode ser água, óleo, sintética ou aerada.

Durante a perfuração, pode ocorrer a liberação desses fluidos e da calha no meio marítimo através de eventos acidentais (vazamentos ou erupções) ou operacionais. Os fluidos à base de água são biodegradáveis e se dispersam facilmente na coluna d'água; no entanto, apresentam limitações técnicas e operacionais. Seu descarte no mar é permitido em quase todo o mundo, desde que respeitadas as diretrizes de descarte de efluentes marítimos de cada região. Porém, resultados obtidos em 1993 pela Agência de Proteção Ambiental dos EUA e citados no estudo de Burke & Veil (1995), relatam que os fluidos de perfuração de base aquosa podem

causar mudanças na qualidade da água, sendo o principal fator de alteração o aumento das concentrações de alguns metais, como o ferro e o arsênio. Isso pode impactar a comunidade pelágica, embora espera-se que os efeitos desses impactos sejam reduzidos pela capacidade de diluição dos oceanos (HABTEC, 2006).

Os fluidos de perfuração a base de óleo foram desenvolvidos para situações onde os a base de água são inviáveis. São prejudiciais ao ambiente marinho, pois são altamente tóxicos e lentamente biodegradados em condições anóxicas. A calha coberta de óleo descartada ao mar tende a aglomerar-se em “placas” que passam rapidamente pela coluna d’água, acumulando-se no fundo do mar e prejudicando as comunidades bentônicas, o que não ocorre quando se usa fluido de base aquosa (MCFARLANE & NGUYEN, 1991).

Mais recentemente, foram produzidos fluidos de perfuração a base de óleo mineral, com menos de 20% de hidrocarbonetos aromáticos, e fluidos de base não-aquosa, os chamados NAFs (Non-Aqueous Fluids), que desempenham papel muito importante em função do rigor crescente da legislação ambiental internacional. Foram produzidos também fluidos de base sintética (Synthetic-based fluids) que, através de reações químicas, alcançam níveis de HPA inferiores a 0,001%. Os fluidos sintéticos são mais caros do que os oleosos, mas não deixam de ser economicamente viáveis, pois o descarte marítimo dos fluidos de perfuração à base de óleo está proibido em diversos países, implicando em custos extras se forem usados incorretamente. Um poço também pode ser perfurado utilizando ar ou gás natural ao invés dos fluidos líquidos convencionais, mas sua combinação com hidrocarbonetos no subterrâneo pode se transformar numa mistura explosiva, por isso seu uso é um tanto limitado. No Brasil, não há legislação que regulamente o descarte de resíduos específicos da perfuração de poços marítimos de óleo e gás (SCHAFFEL, 2002).

A calha coberta por óleo e por fluidos de perfuração tóxicos são as maiores fontes de poluição das operações de perfuração. Quando esses produtos não são reaproveitados no sistema interno, são descartados no mar ou transportados para terra para serem corretamente dispostos. A disposição da calha próximo ao leito marinho, ao invés de seu lançamento na superfície da água, pode limitar a dispersão dos poluentes suspensos, e, conseqüentemente, reduzir a magnitude de seu impacto potencial sobre o meio ambiente. O perigo para o meio ambiente das lamas de perfuração está relacionado, particularmente, à presença de materiais lubrificantes na sua composição, que normalmente, possuem uma base de hidrocarbonetos (MARIANO, 2007). É muito importante que esses fluidos e a calha sejam devidamente armazenados e manipulados, evitando maior impacto ecológico (CUNHA *et al.*, 2006 a).

Uma outra fonte de poluição por óleo é a areia extraída junto com os hidrocarbonetos, sendo que a quantidade produzida pode variar bastante. Em alguns casos, a areia constitui parte considerável do total extraído, porém normalmente ela é limpa e despejada no mar, no mesmo local do poço. Algumas vezes é calcinada e transportada para terra (MARIANO, 2007).

- *Águas de drenagem ou lavagem;*

Durante a operação normal da plataforma de perfuração é gerada água oleosa proveniente da limpeza do convés, de equipamentos ou da água da chuva contaminada com resíduos oleosos (SCHAFFEL, 2002).

- *Esgotos, águas sanitárias e domésticas;*

Os efluentes sanitários gerados pelas atividades de perfuração e produção são oriundas de vasos sanitários, banheiros, lavanderias e cozinha, além de restos alimentares particulados. As unidades de perfuração e produção devem possuir sistemas de tratamentos e destinos finais para a proteção ambiental, visando atender os princípios da Convenção MARPOL (73/74) e das NORMAMs (Normas da Autoridade Marítima). Esses efluentes podem ser acumulados em terra ou lançados no mar. Quando lançados, podem causar alterações locais na qualidade da água, modificando os padrões de produtividade e biodiversidade (HABTEC, 2006).

- *Vazamentos e derramamentos*

A poluição das águas pode ocorrer por vazamentos ou derramamentos na plataforma ou embarcações de apoio, por motivos acidentais ou operacionais, originados por diversas fontes nos locais de produção como: vazamento de tanques durante operações de transferência, vazamentos em linhas de transferência de fluidos e vazamentos em válvulas, medidores de pressão e/ou juntas e conexões (MARIANO, 2007). Os pequenos vazamentos são freqüentes, poluem o mar e, algumas vezes, a costa. No entanto, grandes acidentes também podem ocorrer em unidades de produção de petróleo e gás, como o da plataforma P-36 (maior plataforma semi-submersível do mundo) em 2001, gerando grandes impactos ambientais e vítimas fatais.

Os eventos acidentais causam alterações físico-químicas e biológicas na qualidade da água do mar, provocando prejuízos, principalmente, a organismos e habitats sensíveis, impactando também a pesca e o turismo. Os piores casos são aqueles onde há risco de atingir a costa contaminando praias, estuários, manguezais e demais áreas costeiras sensíveis (SCHAFFEL, 2002).

Outro tipo de acidente, bem mais raro, são as erupções dos poços de óleo e/ou gás (*blow outs*). Tem maior probabilidade de ocorrer na fase de perfuração, mas também pode acontecer durante a fase de desenvolvimento. Esse acidente pode emitir metano e se o poço entrar em ignição poderá desencadear reações de combustão dos hidrocarbonetos liberando também CO, CO₂ e materiais particulados, além de fluidos de perfuração e água de produção misturada ao petróleo (MARIANO, 2007). Um exemplo *blow out* foi o que destruiu a Plataforma de Produção de Enchova, em 1984.

- *Águas de refrigeração*

Durante a perfuração, é bombeada água do mar para ser usada no resfriamento de equipamentos a bordo, como motores e geradores. Esta água é descartada em seguida de volta ao mar em temperatura mais elevada, provocando um impacto térmico de aquecimento das águas superficiais locais, causando alteração das suas propriedades físico-químicas como um ligeiro decréscimo das taxas de oxigênio dissolvido (SCHAFFEL, 2002).

- *Cimento e seus aditivos utilizados durante as operações de perfuração*

- alteração da qualidade do sedimento devido ao descarte de calha e fluido de perfuração aderido

O comportamento da calha com fluido de perfuração aderido depende de diversos fatores, como quantidade de descarte, profundidade, condições oceanográficas e, principalmente, da composição do fluido. O descarte pode gerar duas plumas, uma inferior com grande quantidade de calha e fluido que se deposita no fundo, e uma superior com o restante do material que pode permanecer na coluna d'água (RAY & MEEK⁴, 1980 apud BARLOW & KINGSTON, 2001).

A calha e o fluido podem conter hidrocarbonetos e diversos metais como barita, alumínio e ferro. Os efeitos desse descarte são observados na área ao redor da plataforma onde são mais severos ou em grandes distâncias, dependendo da hidrodinâmica do local (HABTEC, 2006). Podem afetar diretamente a biota oceânica e, conseqüentemente, os recursos pesqueiros da região próxima a atividade. Estudos citados por Lacerda & Marins (2006) realizados em

⁴ RAY, J. P. and MEEK, R. P. Water column characteristics of drilling fluid dispersion from an offshore exploratory well. *In Symposium, Research on Environmental Fate and Effects of Drilling Fluids and Cuttings*. Vol. 1, p. 223–259. January 21–24, Lake Buena Vista, FL 1980.

áreas *offshore* no litoral da Califórnia, no Golfo do México e no Mar do Norte, mostraram o enriquecimento de contaminantes em sedimentos próximos às plantas de produção, como Al, Cu, Ni, Hg e Mn e Zn, que são metais principalmente associados à disposição de material descartado de perfurações.

- alteração da comunidade bentônica devido ao descarte de calha e fluido de perfuração

O descarte de calha afeta tanto os organismos da epifauna (vivem no substrato) como os da endofauna (vivem no interior do substrato). Esse impacto pode ser físico, gerado pela descarga direta do cascalho sobre a biota; químico, devido à presença de substâncias tóxicas (hidrocarbonetos e metais) no fluido de perfuração aderido ao cascalho; e bioquímico, provocado pelo consumo e conseqüente diminuição da concentração de oxigênio durante o processo de degradação do fluido (HABTEC, 2006). Estudos de campo têm identificado alterações como bioacumulação de hidrocarbonetos em tecidos de peixes e invertebrados, alterações fisiológicas em peixes, redução do nível de oxigênio em virtude da decomposição de componentes das lamas à base de óleo, além do sufocamento dos bentos devido ao recobrimento físico pelo cascalho (GESAMP, 1993). Segundo McFarlane & Nguyen (1991) o despejo de calha e fluido não traz riscos significativos de alteração nos ecossistemas, mas são necessários estudos para desenvolver uma maior biodegradabilidade desses produtos, já que mais de 2 milhões de toneladas são geradas anualmente pelas atividades *offshore*.

Quando descartados em águas marinhas, os fluidos de perfuração de base aquosa podem impactar a coluna d'água e os de base não-aquosa podem impactar o assoalho marinho. Logo, a preocupação com a toxicidade dos primeiros é sobre os organismos presentes na coluna d'água, enquanto que nos segundos é sobre o bentos. Para os organismos bentônicos, os fluidos de base não-aquosa são mais perigosos devido aos efeitos de bioacumulação, além dos impactos inerentes à deposição da calha sobre o sedimento marinho. Tal deposição provoca alterações físicas no habitat, sufocamento e intoxicação. A chegada da calha também provoca o revolvimento dos sedimentos do fundo do mar e, conseqüentemente, o enterro de matéria orgânica, podendo gerar condições anaeróbicas fatais (anoxia) para algumas espécies (SCHAFFEL, 2002).

- alteração da comunidade pelágica devido ao descarte de fluido de perfuração

O impacto do fluido sobre o plâncton pode ser direto, pois eles podem ser absorvidos ao fluido, formando grumos que alteram sua capacidade de flutuação e aumentam a velocidade de

sedimentação (BERNIER *et al.*, 2003). Pelo fato dos fluidos de base aquosa se dispersarem na coluna d'água, sua toxicidade atinge primeiramente os organismos presentes nessa área (SCHAFFEL, 2002). A coloração do fluido pode aumentar a turbidez da água, reduzindo a penetração da luz e dificultando a fotossíntese do fitoplâncton.

- alteração da comunidade pelágica devido ao descarte de efluentes sanitários

Normalmente, as unidades de perfuração e produção causam alterações pontuais na qualidade da água e na biota marinha através do lançamento de nutrientes e do aumento da turbidez. O aumento de nutrientes desregula a cadeia pelágica, pois favorece a produtividade primária, principalmente de espécies oportunistas, o que reflete na composição de toda a comunidade local. Porém, as correntes superficiais dispersam e diluem os efluentes sanitários, tornando o impacto não muito significativo, o que também dependerá da quantidade de efluentes lançados (HABTEC, 2006).

- alteração da biota marinha devido ao descarte do fluido de preenchimento do duto

O fluido de preenchimento é composto por água do mar e algumas substâncias químicas, como biocida, que são adicionados para inibir qualquer atividade corrosiva nos dutos. Esses compostos são tóxicos à biota, porém seus efeitos são pouco conhecidos (HABTEC, 2006).

- alteração da qualidade do ar devido às emissões atmosféricas

Segundo a CETESB (2008e), considera-se poluente do ar “qualquer substância presente no ar atmosférico que, pela sua concentração possa tornar esse ar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e à flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade”.

A preocupação com os impactos ambientais atmosféricos também ocorre nas etapas de exploração e produção, ainda que a maior parte deles ocorra durante o processamento do óleo e, mais largamente, no consumo final. Os impactos potenciais decorrentes dessas etapas não atingem somente escalas regionais, mas também globais, como a emissão de ozônio estratosférico e as mudanças climáticas decorrentes da elevação das concentrações de CO₂ na atmosfera.

A poluição atmosférica inclui produtos gasosos da evaporação e queima de hidrocarbonetos, além de partículas de aerossóis de combustíveis não queimados. A queima, a exaustão e a combustão são as fontes primárias de emissões de CO₂ decorrentes das operações de produção. As emissões de metano ocorrem, primariamente, na exaustão de processos, sendo esta operação seguida por vazamentos, queima em tochas e combustão incompleta. O impacto das emissões das atividades de exploração é geralmente considerado baixo. Entretanto, durante a etapa de produção, níveis elevados de emissões são gerados (MARIANO, 2007).

Os equipamentos geradores de poluição atmosférica nas unidades de produção podem ser turbogeradores (principal fonte de poluição, pois é o maior consumidor de diesel), motores diesel, incinerador de lixo doméstico, ‘vents’ (gases e vapores escapados de ambientes confinados e expelidos para atmosfera) e bombas de incêndio. Os poluentes são óxidos de nitrogênio (NO_x), monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos, material particulado, dióxido de enxofre (SO₂), metano, compostos voláteis e o dióxido de carbono (CO₂) (MARIANO, 2007; HABTEC, 2006).

- alteração da biota local devido aos ruídos e vibrações provocados pela broca durante a perfuração

A vibração interfere na biota local, pois podem desprender os organismos fixos, causando a morte de organismos bentônicos presentes no assoalho marinho. Já os ruídos causam o afugentamento temporário da fauna local.

- efeitos biológicos nas populações de cetáceos e outros organismos devido à geração de ruídos, efluentes e poluentes atmosféricos das atividades de pesquisa geológica e sísmica

A pesquisa geológica inclui amostragem do leito marinho e testes estratigráficos profundos, que causam elevação na turbidez local e suspensão de sedimentos, além do descarte de lamas de perfuração e de cascalhos similares aos da perfuração de poços exploratórios. Já a exploração geofísica utiliza-se de métodos sísmicos, elétricos, gravitacionais e magnéticos, gerando impactos específicos e que podem ser intensos, afetando a coluna d’água e o leito marinho.

As áreas cobertas pela pesquisa sísmica são significativas. Durante 2 ou 3 semanas, o navio de pesquisa percorre de 500 a 1.000 km de distância. Os impulsos podem gerar pressões sonoras de mais de 150 atmosferas e o número de impulsos executados durante a exploração de uma área de 100 km² não é menor que 5-8 milhões (MARIANO, 2007). Os métodos de

exploração sísmica e elétrica representam maior ameaça à biota marinha (GOMES *et al.*, 2000). No entanto, as informações disponíveis na literatura sobre os efeitos biológicos das ondas sísmicas são limitadas e contraditórias (PATIN, 1999). Algumas pesquisas sugerem a possibilidade de efeitos nocivos e até mesmo letais na maior parte da fauna aquática. Ambientalistas e pescadores de diversos países como Grã Bretanha, Noruega e Canadá, consideram a exploração geofísica um fator causador de efeitos danosos em organismos comerciais (especialmente durante os períodos de desova e crescimento). Os efeitos a esses organismos vão desde danos sobre a capacidade de orientação e de busca de alimento (efeitos indiretos) até danos em órgãos e tecidos, perturbações nas atividades motoras e morte (efeitos diretos) (MARIANO, 2007). A velocidade de propagação do som na água é cinco vezes maior que no ar (ROUSSEL, 2002) e por isso as espécies de cetáceos que freqüentam regiões próximas a essa atividade podem sofrer graves danos. Dentre as alterações observadas destacam-se: modificações dos padrões gerais de comportamento, mudanças de orientação, respiração e padrões de movimentação e velocidade, interrupção da alimentação, reprodução e vocalização e fuga das áreas ocupadas. As reações de comportamento dos cetáceos dependem da espécie, maturidade, *status* reprodutivo, hora, temperatura, atividade realizada, entre outros (PERRY, 1998; SIMMONDS *et al.*, 2003).

Estudos citados por Mariano (2007) e realizados por especialistas noruegueses indicam que determinados pelágicos são afetados pelas ondas sísmicas estando a até 100 km da fonte emissora dos sinais e demonstram os efeitos danosos de pesquisas sísmicas exploratórias intensivas na Noruega, que resultaram numa queda de 70% nos recursos pesqueiros da região.

No Brasil, para obter a licença de operação, a atividade sísmica enquadra-se em algumas restrições, como realizar levantamentos em profundidades menores que 50 m, interromper disparos sísmicos quando constatada a presença de cetáceos e quelônios em um raio de 500 m em volta do navio sísmico, adequar o cronograma de operação de forma a não coincidir com períodos de relevante atividade biológica (defeso, amamentação, acasalamento, reprodução), apresentar plano de compensação à comunidade afetada pelo estudo como a pesqueira, entre outros (ANTUNES, 2003). Para este último autor, de maneira geral, os riscos ambientais das atividades sísmicas não têm grandes conseqüências ambientais, sendo uma atividade de baixíssimo potencial de agressão ao meio ambiente. No entanto, há estudo que demonstraram o contrário (Quadro 4.1).

Quadro 4.1. Efeitos das ondas sísmicas sobre a biota.

Tipo de Efeito	Danos Observados
Físico	- Danos a tecidos corporais e órgãos (pulmões e bexiga natatória). - Danos aos tecidos e estruturas relacionadas à audição.
Sensoriais	- Mascaramento de sons essenciais à sobrevivência do animal (sinais de comunicação, eco-localização, busca de presas e percepção da aproximação de ameaças como predadores e navios).
Comportamentais	- Interferência no padrão comportamental (o animal passa a evitar certas áreas ou têm os padrões de mergulho e respiração alterados).
Crônicos	- Estresse que pode levar à diminuição da viabilidade de sobrevivência do animal ou ao aparecimento de doenças.
Indiretos	- Diminuição da disponibilidade de presas, reduzindo a alimentação e restringindo áreas de desova, alimentação e reprodução.

Fonte: BRASIL, 2002.

Além das perturbações, os navios sísmicos também emitem poluentes atmosféricos dos próprios motores; interferem na qualidade da água devido às descargas da água de lastro, esgoto e restos alimentares; aumentam a quantidade de lixo dispostos na orla; prejudicam os organismos marinhos devido a possibilidade de colisão e outros acidentes com o aumento do tráfego de embarcações; degradam os recifes de corais devido à colocação de cabos no fundo do oceano, além de interferir na atividade de pesca pela possível fuga temporária de peixes e pela criação de zonas de exclusão (GRANT, 2003).

- alteração da biota marinha devido a mobilização de sondas de perfuração e a permanência da unidade de produção

A mobilização e a permanência de unidades de perfuração não servem como grandes atrativos artificiais para fixação da biota marinha, pois ficam no local por pouco tempo (70 dias). A movimentação de estruturas e equipamentos da sonda de perfuração pode resultar em um afastamento de organismos do local. Já as unidades de produção, que permanecem de 20 a 30 anos, atraem grandes concentrações de organismos, constituindo um ponto de alta diversidade biológica (RELINI *et al.*, 1997; ATHANASSOPOULOS *et al.*, 1999), onde as estruturas e os equipamentos servem como “recifes artificiais”. Porém, do ponto de vista ecológico, essa alteração de origem antrópica nos padrões de distribuição, produtividade e biodiversidade é considerado um impacto negativo (HABTEC, 2006).

- contaminação da água do oceano e do sedimento devido ao descomissionamento (fechamento) de uma plataforma abandonada

Essa contaminação pode causar danos aos habitats dos organismos pelágicos e bentônicos. O tempo de vida útil de um reservatório de petróleo normalmente varia entre 20 e 40 anos. Após o descomissionamento, as plataformas, dutos submarinos e outras instalações têm três opções de destinos: abandono, uso secundário ou a remoção completa por explosivos. Para os pescadores, qualquer opção pode causar interferência física com as atividades de pesca. Porém, para eles o uso secundário da plataforma convertendo as estruturas fixas em recifes artificiais, pode atrair uma grande variedade de espécies de invertebrados e de peixes a procura de abrigo, alimento e locais seguros para reprodução, melhorando a pesca no local (MARIANO, 2007).

O quadro 4.2 faz um resumo de todas as emissões potenciais das etapas de exploração e produção.

Quadro 4.2. Emissões potenciais de alguns processos da etapa de exploração e exploração.

Processos	Emissões Atmosféricas	Efluentes	Resíduos
Desenvolvimento do poço	Emissões fugitivas de gás natural, compostos orgânicos voláteis (COV's), HPA's, CO ₂ , CO e H ₂ S.	Fluido de perfuração, ácidos orgânicos, óleo diesel, fluidos ácidos de estimulação (HCl e HF).	Calha de perfuração, sólidos do fluido de perfuração, agentes espessantes, dispersantes, inibidores de corrosão, surfactantes etc.
Produção	Emissões fugitivas de gás natural, COV's, HPA's, CO ₂ , CO, H ₂ S e BTX decorrente do condicionamento do gás natural.	Água de perfuração contaminada por metais pesados, sais e compostos orgânicos consumidores de O ₂ . Também podem conter biocidas, lubrificantes, e inibidores de corrosão.	Areias de produção, lamas dos separadores e resíduos sanitários.
Abandono de Poços, Vazamentos e <i>Blow-Outs</i>	Emissões fugitivas de gás natural e de COV's, HPA's, material particulado, CO ₂ , CO e compostos de enxofre.	Vazamento de óleo e salmouras.	Solo contaminado e materiais absorventes.

Fonte: EPA, 2000.

4.1.3. Impacto sobre o meio sócio-econômico:

- aumento do fluxo populacional devido à demanda de mão-de-obra

Do ponto de vista ambiental é um impacto negativo, pois induz uma forte pressão sobre a infra-estrutura da cidade envolvida no projeto.

- pressão sobre a infra-estrutura urbana

A geração de empregos aumenta a demanda de alguns serviços urbanos como saúde, educação, transporte público e saneamento básico.

- modificação paisagística da região costeira

A paisagem vem sendo reconhecida como um fator ambiental que pode contribuir para a qualidade de vida das pessoas e atrair investimentos. Por esse motivo esse impacto é considerado negativo (HABTEC, 2006).

- interferência nas atividades pesqueiras devido à criação de áreas de restrição de uso (zonas de segurança em torno das unidades de perfuração e produção) e ao descarte de fluido de preenchimento

A atividade pesqueira é reduzida devido à proibição de navegação de embarcações em um raio de 500 metros das plataformas, embora o lançamento de alguns efluentes induz ao incremento da riqueza e abundância das espécies aquáticas na área de entorno da plataforma. Isso gera um conflito entre os pesqueiros e a atividade de produção de petróleo. Além disso, a pesca de organismos eventualmente contaminados pelo fluido de preenchimento pode trazer conseqüências para a saúde da população (HABTEC, 2006).

- interferência física das atividades pesqueiras com as frotas de navios utilizados na produção, além dos sistemas de dutos que representam um obstáculo à atividade de pesca com redes de arrastão

- pressão sobre a infra-estrutura de disposição final de resíduos sólidos e oleosos

As atividades de perfuração, produção e escoamento geram resíduos sólidos, líquidos, oleosos e gasosos. A destinação final dos resíduos sólidos deve seguir as normas específicas para cada classe de resíduo. Os restos alimentares, segundo a Convenção MARPOL, devem ser

triturados e lançados no mar, enquanto que os outros resíduos sólidos devem ser transportados para a base terrestre e encaminhados para a destinação final adequada, de acordo com classe de resíduo. Os resíduos podem ser separados em diferentes grupos como contaminados por óleo ou produtos químicos, lixo comum, material reciclável e resíduos perigosos (HABTEC, 2006).

- pressão sobre o tráfego marítimo, infra-estrutura portuária e tráfego rodoviário devido à demanda de insumos e serviços e geração de resíduos

O tráfego marítimo será mais acentuado nos trechos entre as unidades de produção e a base de apoio operacional. Com essa intensificação, se pode esperar o aumento na possibilidade de ocorrer acidentes. Além disso, a implantação desse tipo de empreendimento implicará no aumento na movimentação do porto marítimo e do tráfego rodoviário que sofrerão pressão pelo aumento da circulação de veículos de carga.

- geração de empregos devido à mão-de-obra

Alocação direta de funcionários que serão empregados nas atividades realizadas nas unidades, na base de apoio operacional e nas embarcações de apoio. Há também a geração de empregos indiretos nos ramos de alimentação, aluguel, hospedagem, transporte, entre outros. Esse impacto é positivo e considerado de grande importância devido à sua influência na economia local (HABTEC, 2006).

- aumento da produção de petróleo devido a implantação da atividade de produção que contribui para a auto-eficiência do país

- aumento da receita tributária e incremento da economia local estadual e nacional

A atividade de perfuração gera empregos em diversos setores dos municípios da área de influência, como, por exemplo, hotelaria, comércio, lazer e transporte aumentando a arrecadação de tributos municipais e estaduais (SCHAFFEL, 2002).

4.1.4. Discussão

Conforme observado, as atividades que compõem a cadeia de produção do petróleo e do gás natural podem ser extremamente poluidoras e danosas ao meio ambiente. Desta forma, é necessário que sejam eficientemente geridas e conduzidas com os devidos cuidados, de forma a

causarem o mínimo impacto ambiental possível. Nessa etapa de produção destacam-se como os principais impactos: a atividade de pesquisa sísmica, emissões atmosféricas, alterações na qualidade do sedimento e da água oceânica devido à geração de resíduos, principalmente, os fluidos de perfuração e a calha. A maioria dos impactos sobre os meios físico, biótico e antrópico, em consequência de acidentes ou da atividade operacional de perfuração de poços marítimos de óleo e gás, são considerados de baixa significância e localizados próximos às plataformas. Por isso, deve-se concentrar esforços na mitigação dos impactos ambientais, devendo sempre realizar simulados e treinamentos periódicos, dispor de equipamentos adequados para responder a emergências de vazamentos e contar com o Plano de Emergência Individual, documento este exigido pela Lei Federal Nº 9.966 de 28 de abril de 2000. Além disso, é importante que as plantas de atividade de produção de petróleo e gás contemplem os projetos ambientais determinados pelo IBAMA, como Projeto de Controle da Poluição, que tem como objetivo estabelecer metodologias para controle, detecção da emissão e sistemas de tratamento de todos os poluentes gerados pelas atividades de perfuração de poços marítimos, e o Projeto de Monitoramento Ambiental, que monitora e acompanha as mudanças ambientais, mitigando os impactos, entre outros. É necessário que as atividades de exploração e exploração sejam reguladas visando o levantamento de dados técnicos mais precisos, cumprindo as boas práticas de conservação e uso racional do petróleo, dos seus derivados e do gás natural e de preservação do meio ambiente.

Hoje, no Brasil, falta uma regulamentação específica para o descarte dos resíduos que caracterizam a atividade de perfuração de poços marítimos de óleo e gás, que são a calha e fluido de perfuração. Tal regulamentação deveria ser aplicada de acordo com a base do fluido de perfuração utilizado (aquosa ou não-aquosa). A única referência legal para o descarte de resíduos provenientes da atividade de produção de óleo e gás é o Artigo 20 da Lei Federal nº 9.966, de 28 de abril de 2000, que dispõe sobre a prevenção, controle e fiscalização da poluição causada por lançamento de óleo e outras substâncias nocivas ou perigosas em águas sob jurisdição nacional (SCHAFFEL, 2002).

4.2. Impactos ambientais do refino do petróleo

O refino do petróleo é um conjunto de processos físicos e químicos que transformam as frações de hidrocarbonetos em derivados comerciais, como combustíveis, lubrificantes, plásticos, fertilizantes, medicamentos, tintas e tecidos (BRASIL, 2008 a). No entanto, as

refinarias de petróleo utilizam e geram uma grande quantidade de compostos químicos e, por isso, são consideradas empresas potencialmente poluidoras. Elas emitem quantidades significativas de poluentes atmosféricos, efluentes líquidos e resíduos sólidos.

4.2.1. Emissões atmosféricas

As emissões atmosféricas nas refinarias provêm de emissões fugitivas dos compostos voláteis (COV's) presentes no óleo cru e nas suas frações e emissões geradas pela queima de combustíveis nos aquecedores e nas caldeiras e emissões das unidades de processo. Essas emissões ocorrem ao longo de todas as atividades de refinamento por milhares de fontes potenciais como válvulas, bombas, tanques etc., e podem prejudicar significativamente a qualidade do ar no entorno. Normalmente, essas emissões são minimizadas através do uso de diversas técnicas incluindo o uso de chaminés, filtros, equipamentos com maior resistência a vazamentos, a redução do número de tanques de armazenamento e de outras fontes potenciais, o uso de tanques com teto flutuante e, talvez o método mais eficaz, o uso de um Programa de Detecção e Reparo de Vazamentos (EPA, 1995).

Os numerosos aquecedores usados para aquecer as correntes de processo ou gerar vapor em caldeiras podem ser fontes potenciais de emissões de CO, SO_x, NO_x, material particulado e de hidrocarbonetos, além de 0,412 kg de CO₂ por litro de petróleo processado (LA ROVERE, 2007). As emissões podem ser relativamente baixas quando esses equipamentos são operados de modo correto e quando queimam combustíveis limpos, como gás de refinaria, óleo combustível ou gás natural. No entanto, as emissões podem ser significativas se a combustão não for completa ou se os aquecedores estiverem sujos com piche ou outros resíduos.

Outras fontes de emissão das refinarias provêm da regeneração periódica dos catalisadores de processo que geram correntes gasosas, podendo conter CO, material particulado e hidrocarbonetos voláteis. Essas correntes, antes de serem liberadas para a atmosfera, são tratadas por uma caldeira, que queima não apenas o monóxido de carbono, transformando-o em CO₂, mas também qualquer hidrocarboneto presente. Em seguida, é necessário que as correntes passem por equipamentos com a finalidade de remover o material particulado presente no gás (MARIANO, 2001).

A maior parte das correntes gasosas que deixam as refinarias também contém quantidades variáveis de gás de refinaria, gás sulfídrico e amônia. Essas correntes normalmente são coletadas e enviadas para as unidades de tratamento de gás e de recuperação de enxofre,

com a finalidade de se recuperar o gás de refinaria usado como combustível e o enxofre elementar, podendo ser posteriormente vendido (EPA, 1995).

Os poluentes liberados no processo de refinamento causam diversos impactos à saúde humana, como irritação nos olhos, efeitos sobre o sistema cardiovascular e sobre o sistema respiratório. Também podem causar efeitos corrosivos sobre os materiais e sobre a visibilidade nas refinarias, fortes odores e alguns impactos globais como a contaminação atmosférica, chuva ácida e intensificação do efeito estufa. Segundo Szhlo & Schaeffer (2007), com a proibição do uso de enxofre na gasolina, a quantidade de energia e a emissão de CO₂ nas refinarias aumentará substancialmente.

4.2.1.1. Principais poluentes atmosféricos emitidos pelas refinarias de petróleo

- SO_x: naturalmente presente no petróleo, produzido, principalmente, durante a queima dos combustíveis utilizados para a geração de calor e energia. A toxicidade dos óxidos de enxofre pode causar danos à flora e provocar as chuvas ácidas, cujos impactos possuem caráter regional ou continental. O SO₂ pode reagir com outras substâncias presentes no ar formando partículas de sulfato que são responsáveis pela redução da visibilidade na atmosfera (CETESB, 2008 e).
- NO_x: são formados em qualquer situação de queima de combustível fóssil na refinaria. São gases que, em concentrações altas, são capazes de causar danos à vegetação próxima ao local.
- CO: produzido em grandes quantidades pelo regenerador do catalisador da unidade de craqueamento catalítico. O CO, ao entrar na atmosfera é oxidado e transforma-se em CO₂, cujo acúmulo na atmosfera intensificação do efeito estufa.
- Gás Sulfídrico: é gerado nas unidades de polimerização, na etapa de lavagem cáustica, assim como nas unidades de tratamento de gás ácido e recuperação de enxofre (EPA, 1995).
- Benzeno, Tolueno e Xileno (BTX): são componentes do petróleo, portanto estão presentes em muitas operações de refino. Interfere no funcionamento normal das membranas celulares, principalmente de organismos aquáticos.
- Material Particulado: a maior fonte potencial de emissões para a atmosfera em uma refinaria é a unidade de regeneração do catalisador de craqueamento catalítico. A presença de metais nesse material pode resultar em severa devastação da vegetação e em desnudação da paisagem, como resultado da contaminação do solo e subsequente acúmulo de níveis metálicos fitotóxicos pelas plantas (MARIANO, 2001). A causa da supressão do crescimento das plantas é, aparentemente, o solo contaminado por metais pesados. Esse tipo de emissão também pode

reduzir a visibilidade e criar danos para o transporte ocasionando acidentes materiais (CETESB, 2008 e).

- Acetileno, Butano, Etano, Eteno, GLP, Metano, Propano e Propeno (COV's): do ponto de vista da contaminação atmosférica, os hidrocarbonetos que contêm até quatro átomos de carbono são gases à temperatura ambiente e favorecem a formação das reações fotoquímicas, contribuindo para o surgimento do *smog* fotoquímico⁵.
- Amônia: é formada a partir dos compostos nitrogenados presentes no petróleo cru e é gerada em vários processos nas refinarias de petróleo.

Segundo Mariano (2001), a minimização das emissões atmosféricas das refinarias é geralmente possível de ser efetuada com procedimentos simples como:

- melhoria da combustão nos fornos, aquecedores e caldeiras, pois quanto mais eficiente é a reação de queima menor quantidade de poluentes é emitida (tal medida tem um efeito preciso sobre as emissões de NO_x, CO e material particulado);
- uso de combustíveis menos poluidores para a geração de calor e energia, como, por exemplo, o gás natural;
- operação e manutenção adequada dos equipamentos visando o seu funcionamento nas melhores condições possíveis, o que também reduz a quantidade de poluentes emitidos;
- processamento de petróleos com menores teores de enxofre, sempre que possível e viável.

4.2.2. Efluentes líquidos

Os efluentes líquidos consistem em águas de resfriamento, águas de processos, água dos esgotos sanitários e águas pluviais. Incluem também os efluentes de processo que tenham entrado em contato com óleo como soluções ácidas, soda exausta, água de lavagem do petróleo cru e dos derivados (amônia, fenóis, graxa) entre outros (MARIANO, 2001). Grande parte da água usada numa refinaria de petróleo é para resfriamento e não entra em contato com correntes de óleo do processo, portanto contém menos contaminantes (COLLARES, 2004). Normalmente são tratados em estações de tratamento nas próprias refinarias e descarregados em estações de tratamento públicas ou em corpos receptores, desde que atendam à legislação ambiental.

⁵ *smog* fotoquímico é o produto da reação de hidrocarbonetos com gases presentes na atmosfera, O₃, NO e NO₂. O ozônio é o principal componente do *smog* fotoquímico.

Ocasionalmente, algumas refinarias liberam hidrocarbonetos líquidos no solo, contaminando as águas subterrâneas e águas superficiais. Embora o volume liberado seja relativamente pequeno há um grave risco de contaminação dessas águas, podendo gerar prejuízos, tanto para ambiente quanto para a saúde humana (EPA, 1995).

As principais alterações na água de processo (efluentes) de uma refinaria estão relacionadas ao pH, carbono orgânico total, nitrogênio total, fósforo total, DBO, DQO, temperatura, condutividade e toxicidade e ocorrem devido à presença de sólidos dissolvidos, sólidos suspensos, H₂S, NH₃, óleo, compostos aromáticos (BTEX), fenol, sal, cianetos, fluoreto, MTBE, HPA's e metais pesados (COLLARES, 2004).

Os efluentes apresentam altas concentrações de complexos metálicos, em especial, cromo, cobre, mercúrio, zinco e chumbo e alguns tipos de solo apresentam grande afinidade com íons metálicos, sendo fontes potenciais de poluição. A prática da descarga desses efluentes diretamente sobre a superfície do solo acarreta sérios riscos ambientais e à saúde das populações atingidas, principalmente as localizadas próximas às refinarias (MIDUGNO *et al.*, 2007). Quando o descarte é realizado em meio aquático pode mudar totalmente as características da água como pH, salinidade e temperatura (WAKE, 2005).

As refinarias são grandes consumidoras de água e por isso produzem grande quantidade de despejos líquidos, alguns de difícil tratamento que variam em quantidade e em qualidade em função do tipo de petróleo processado, das unidades de processamento que compõem a refinaria em questão e da forma de operação dessas unidades. Por existir graus diversos de efluentes tóxicos, é difícil prever quais são seus efeitos quando lançados no meio ambiente. Testes subletais para fauna constataram que os efluentes não só podem ser letais (recobrimento, asfixia e envenenamento), mas também, muitas vezes, podem ter efeitos sobre o crescimento e reprodução de algumas espécies (WAKE, 2005).

A principal função da grande quantidade de água utilizada é a de resfriamento. No entanto, o uso de circuitos de resfriamento fechados promove a recirculação dessas águas, reduzindo em mais de 90% a água captada e, conseqüentemente, a quantidade de efluentes produzidos (EPA, 1995).

4.2.3. Resíduos sólidos

Os resíduos sólidos, perigosos ou não, são gerados em muitos processos de refino em operações de manuseio do petróleo e na etapa do tratamento de efluentes. Tais resíduos

normalmente estão sob a forma de lamas, catalisadores de processo exaustos, cinzas de incineradores e borras de filtração. São diversos os tipos de tratamento, pois dependem das características dos resíduos. Dentre eles, incluem-se incineração, neutralização, fixação química, disposição em aterros sanitários ou industriais, que podem estar situados dentro ou fora das refinarias, e queima em fornos adequados. Os resíduos variam muito na sua composição e toxicidade e suas características dependem do processo produtivo que os gera, do tipo de petróleo processado e dos derivados produzidos. Outros resíduos que não são derivados de petróleo (ácido acético, ácido fosfórico) são vendidos como subprodutos (EPA, 1995).

As medidas de minimização da geração de resíduos sólidos envolvem a redução na fonte de geração com o uso de equipamentos mais eficientes e o uso de tecnologias mais “limpas”, reciclagem e reutilização de materiais, economia no uso de produtos e práticas de gerenciamento.

O lançamento de resíduos sólidos industriais nos solos pode acarretar diversos problemas ao meio ambiente como a poluição da água, pelo escoamento superficial ou pela infiltração dos detritos para os corpos hídricos e a liberação de gases tóxicos. No entanto, a destinação adequada a ser dada ainda é um problema, pois existe uma grande diversidade de resíduos industriais. Os aterros são a alternativa mais empregada no Brasil devido ao seu baixo custo relativo e à tecnologia simples e bem difundida (MARIANO, 2001).

4.2.4. Poluição sonora

O ruído advindo das refinarias é causado principalmente pelo funcionamento de equipamentos como turbinas, compressores e motores e a exposição de pessoas pode causar-lhes danos à saúde. É necessário que nas refinarias seja feito tratamentos acústicos por meio do enclausuramento de equipamentos ou pela proteção acústica nas edificações. Os ruídos podem também impactar a biota local, pois pode afugentar os animais.

4.2.5. Acidentes em refinarias

No Brasil, já houve algumas ocorrências de graves acidentes envolvendo o refino de petróleo, como o ocorrido em 1972, na Refinaria Duque de Caxias (REDUC), em Duque de Caxias, RJ, resultando em 38 óbitos; em 1982, na Refinaria Henrique Lage (REVAP), em São

José dos Campos, São Paulo, com 11 óbitos; em 1998, na Refinaria Gabriel Passos (REGAP), em Betim, Minas Gerais, com 6 óbitos, e no Paraná, na Refinaria Presidente Getúlio Vargas. Esses acidentes resultaram em significativos impactos ambientais resultantes da poluição aquática por derramamentos de derivados de petróleo (SOUZA & FREITAS, 2003).

Nas refinarias existem riscos específicos do processamento de compostos químicos inflamáveis e tóxicos, que podem gerar explosões, incêndios e vazamentos/emissões, com conseqüências para as populações vizinhas e para o meio ambiente. Existem também os riscos simples e comuns a uma grande variedade de atividades rotineiras como, por exemplo, pequenos vazamentos.

Normalmente, os acidentes ocorrem devido a falhas mecânicas, eventos externos ou falhas humanas. Por isso, é muito importante a existência de um Programa de Gerenciamento de Riscos e de Planos de Emergência para que a probabilidade de ocorrência e os impactos ambientais sejam minimizados, além de uma rígida disciplina operacional e treinamento adequado da força de trabalho (SILVA, 2003).

4.2.6. Impactos das Unidades de Processamento de Gás Natural

Uma vez extraído, o gás natural passa inicialmente por vasos separadores que são equipamentos projetados para retirar a água, os hidrocarbonetos que estiverem em estado líquido e as partículas sólidas (pó, produtos de corrosão, etc.). Em plataformas marítimas, por exemplo, o gás deve ser desidratado antes de ser enviado para terra, evitando a formação de hidratos, pois são compostos sólidos que podem obstruir os gasodutos (BRASIL, 2008 e). Se houver algum tipo de contaminante como enxofre, o gás é enviado por gasodutos às Unidades de Processamento de Gás Natural (UPGN), onde será desidratado e fracionado, adequando-se para o consumo final. Uma das frações é o Gás Liquefeito de Petróleo - GLP (mistura dos gases propano e butano) e a outra fração é a gasolina (gás) natural (SANTOS, 2008).

A remoção de algumas substâncias tóxicas, principalmente do enxofre que se concentra na forma de ácido sulfídrico (H_2S), é necessária, pois a toxidez deste ácido é duas vezes maior que a do monóxido de carbono (CO) e, em contato com a água, forma o ácido sulfúrico. O CO_2 é também removido, principalmente para evitar a formação de gelo seco nos processos de condensação do gás natural (LOURENÇO, 2003).

O gás natural apresenta riscos de asfixia, incêndio e explosão. Para que não haja esse tipo de risco em ambientes fechados, equipamentos elétricos inadequados, superfícies

superaquecidas ou qualquer outro tipo de fonte de ignição externa devem ser evitados (AMBIENTE BRASIL, 2008 g).

Os principais impactos foram extraídos do Estudo de Impacto Ambiental (EIA/RIMA) da Unidade de Tratamento de Gás de Caraguatatuba/SP (UTGCA) (BIODINÂMICA, 2006) e relacionam a perturbação de habitats, emissões atmosféricas e emissão de ruídos industriais.

Os ambientes terrestres com cobertura vegetal natural e sua fauna associada são os mais atingidos, principalmente, pela poluição atmosférica que provoca efeitos cumulativos sobre a biota. Além disso, a emissão de ruídos provocados pela operação de máquinas e turbinas pode levar ao comprometimento de diversas espécies de vertebrados e afugentar algumas espécies de animais silvestres de regiões próximas, interferindo no comportamento e podendo alterar os padrões normais de reprodução, competição e predação.

Os principais poluentes atmosféricos provenientes da queima das correntes gasosas nas usinas são emitidos, principalmente, pelas turbinas a gás natural. Os gases mais representativos são os óxidos de nitrogênio (NO_x) e dióxido de nitrogênio (NO_2). Em quantidades mais reduzidas, também são gerados o CO, hidrocarbonetos totais, material particulado e SO_2 . Além desses, são emitidos os gases que contribuem para o aumento do efeito estufa - CO_2 , N_2O e CH_4 . Em geral, as emissões de material particulado e SO_2 são muito baixas na queima de gás natural. Além da emissão de gases tóxicos durante o processo de operação das unidades, pode também ocorrer incêndios e explosões se houver liberação de grande quantidade de gás (SILVA, 2003).

As correntes gasosas descartadas nas UPGNs são, normalmente, conduzidas para um *flare* (tocha) onde são queimadas. O *flare* quando operado de maneira adequada atinge uma eficiência de combustão de no mínimo 98%, o que significa que a quantidade de emissão de hidrocarbonetos e CO será menor de 2%. Além da queima em *flare*, outras medidas são recomendadas, como instalação de filtros nas chaminés e monitoramento dos níveis das emissões atmosféricas.

As emissões atmosféricas representam uma fonte potencial de alterações ambientais e as populações da área de influência da UPGN são consideradas como o principal receptor desses poluentes. Esses podem modificar os índices de produtividade primária (crescimento da vegetação), que poderá ser intensificada com o aumento da oferta de carbono. Isso faz com que parte das espécies altere sua taxa de crescimento, sendo que as mais favorecidas seriam aquelas de crescimento rápido que possuem madeiras de menor densidade e qualidade, em detrimento das que crescem mais lentamente e possuem madeiras mais nobres. A consequência dessa

alteração ao longo do tempo pode ser uma transformação da composição e estrutura da floresta, que passará a ser mais dinâmica e frágil. A poluição do ar pode ainda, dependendo de sua intensidade, provocar o desaparecimento de diversos organismos mais sensíveis, como líquenes, musgos, fungos e algumas epífitas.

Durante a fase de operação de uma planta industrial, os impactos mais frequentes nos cursos d'água estão relacionados com a captação de água para abastecimento e o lançamento dos efluentes líquidos. No entanto, esses efluentes normalmente são lançados em redes locais de esgoto sanitário, onde serão conduzidos a uma estação de tratamento. Podem ser produzidos também efluentes oleosos que devem ser coletados por caminhão-vácuo e também transportados para tratamento. Por isso, esses impactos não são muito significativos para com os recursos hídricos, desde que haja uma fiscalização permanente do sistema de coleta, armazenamento, transporte e disposição dos efluentes.

Alguns resíduos também são gerados nessas unidades como embalagens, restos alimentares, óleo lubrificante usado, lixo comum não reciclável, entre outros. Esses resíduos devem seguir um Manual de Gerenciamento de Resíduos (MGR), onde se encontra descritos os procedimentos e orientações a serem adotados para o registro, classificação, manuseio, armazenamento, temporário e disposição final desses produtos.

4.2.7. Discussão

As refinarias de petróleo e unidades de processamento de gás podem provocar impactos expressivos ao meio ambiente, pois seus resíduos podem degradar o ecossistema, alterando o equilíbrio da fauna e flora local, comprometendo os recursos hídricos e, principalmente, poluindo a atmosfera. Por isso, é essencial a prevenção, que pode ser feita com uma boa gestão ambiental direcionada para o cumprimento das exigências dos órgãos governamentais. Com uma gestão operacional correta e o controle interno das emissões de poluentes atmosféricos, efluentes e resíduos, pode-se ter uma redução nos níveis (concentração e volume) de geração e emissão. Tais controles incluem a recuperação de substâncias que não reagiram, podendo ser recicladas, a recuperação de subprodutos dos processos, que podem ter alguma utilidade na própria planta ou mesmo ser vendidos a terceiros, a recirculação das águas e a implantação de equipamentos que diminuam a emissão de poluentes.

4.3. Impactos ambientais do transporte e distribuição

4.3.1. Transporte terrestre (Dutos, Gasodutos, Caminhões e Trens)

4.3.1.1. Impactos da implantação de dutos

A seqüência básica de construção dos dutos envolve os seguintes passos (HABTEC, 2006; RIMA PPD/SP, 2007).

1) Instalação dos canteiros de obras: normalmente são constituídos por instalações básicas, como escritórios, refeitórios, alojamentos, banheiros, dentre outros. Nessas instalações são gerados diversos tipos de efluentes líquidos, os quais devem ser tratados e destinados de forma adequada:

- efluentes sanitários: esgotos provenientes de banheiros que sempre devem estar conectados à rede pública, quando disponível. Normalmente, são usados banheiros químicos ou fossas e seus efluentes devem ser coletados periodicamente por empresas licenciadas e transportados a uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE).
- efluentes gerados nas cozinhas e refeitórios: apresentam gordura na sua composição e, por isso, antes de serem encaminhados para a ETE devem passar por um sistema de separação de gordura.
- efluentes oriundos de testes hidrostáticos: o teste hidrostático utilizado para identificar vazamentos nos dutos é realizado com água a alta pressão. Após o teste, esta água deve receber um tratamento e passar por uma análise de qualidade antes de ser descartada.
- efluentes líquidos oleosos resultantes de limpezas e possíveis vazamentos de máquinas e equipamentos: Esses efluentes devem ser enviados a caixas coletoras para, em seguida, remover com filtros de areia e brita, os óleos e as graxas.
- efluentes provenientes de fluidos de perfuração: os fluidos são utilizados na técnica do furo direcional e devem receber tratamento para que possam ser reutilizados.

São produzidos também diferentes tipos de resíduos sólidos que devem ser classificados quanto ao grau de risco ao meio ambiente e à saúde pública. São gerados nos canteiros e frentes de obras, pátios de estocagem de tubos, equipamentos e veículos e nas áreas de administração e coordenação. Devem ser coletados, separados, devidamente acondicionados e armazenados, para posterior envio à correta destinação final.

Durante a fase das obras são também geradas emissões provenientes da queima de combustíveis utilizados nas máquinas e equipamentos, além de poeiras originadas nas fases construtivas (empréstimos, bota-foras e sedimentos de escavação). Para diminuir a quantidade de gases lançados, as máquinas e equipamentos devem operar dentro das especificações técnicas adequadas, com monitoramento freqüente. Já a quantidade de poeira levantada poderá ser reduzida através da constante umidificação do solo com jatos de água. O intensivo uso de maquinário e equipamentos também provoca a compactação do solo.

2) Limpeza e abertura da faixa: consiste na remoção dos materiais nela existentes (vegetação, tocos de madeira, entulhos, etc.) para posterior escavação e instalação dos dutos. Essa etapa é bastante impactante, já que remove totalmente a vegetação do local.

3) Desfile de Tubos: os tubos são colocados ao lado da faixa, um atrás do outro, formando uma fila.

4) Curvamento, soldagem e inspeção da solda: os tubos enfileirados serão soldados e inspecionados para garantir que não haja nenhum defeito de solda.

5) Abertura e cobertura da vala: após a montagem dos dutos a vala é aberta, separando-se a camada superficial do solo. Os dutos soldados são assentados a uma profundidade mínima de 1,20 m. Alguns pontos ao longo dos trechos dos dutos, como cruzamentos com rodovias, ferrovias e travessias de rios, devem ser considerados especiais. Em seguida, a vala é recoberta aproveitando-se o solo anteriormente retirado durante a escavação. Por último, deverá ser recolocada a camada superficial do solo, previamente separada.

6) Restauração da vegetação e recomposição: após a cobertura da vala, a faixa deverá ser restaurada para que retorne às condições anteriores ao início das obras.

7) Sinalização da faixa: tem a função de informar as pessoas que transitarão pela faixa ou nas áreas ao redor e para evitar danos aos dutos.

A implantação de dutos provoca sérias intervenções diretas e indiretas nos ecossistemas localizados nas áreas de influência. Os principais impactos estão relacionados à redução das

áreas florestais, o que potencializam o processo de fragmentação e do efeito de borda, causando conseqüente perda de habitats e o isolamento de populações (SCARIOT *et al.*, 2005; RIMA PPD/SP, 2007). Normalmente, a faixa de servidão dos dutos é recoberta por gramíneas, para evitar danos aos dutos por raízes e para evitar a exposição do solo e sua erosão. Os distúrbios sonoros dessa atividade também afetam alguns animais.

Ocasionalmente, os dutos passam por zonas de amortecimento ou mesmo pelas Unidades de Conservação (UC's). Porém de acordo com a Resolução CONAMA nº 13/1990, os ecossistemas e a biota presentes no entorno devem ser protegidos e a implantação de qualquer atividade que possa afetá-los deve ser licenciada (BRASIL, 1990 b).

Outro impacto está relacionado à qualidade da água e ao hidrodinamismo dos corpos hídricos próximos ao local da obra. A raspagem da camada superficial do solo e a escavação das valas são atividades potencialmente causadoras de erosão e geradoras de material desagregado (RIMA PPD/SP, 2007). Possíveis chuvas podem provocar o arraste desse material particulado em suspensão para os corpos hídricos, o que aumenta a carga sedimentar, causando o assoreamento dos rios e o aumento da turbidez da água, alterando a produtividade primária local e a atividade de alimentação dos animais bentônicos (GOMES *et al.*, 2000).

Alguns dutos atravessam corpos hídricos superficiais que pode causar interferências no escoamento superficial e subsuperficial, modificando o sistema de drenagem da região. Para minimizar esse dano, nas regiões de grandes rios, por exemplo, a construção pode ser realizada através da técnica de furo direcional, que é a perfuração do solo abaixo do leito do rio sem causar muita interferência no seu ciclo (RIMA PPD/SP, 2007).

Após o fechamento da vala, na fase de operação dos dutos, o escoamento subsuperficial natural deverá ser interceptado pela existência do maciço da tubulação que servirá como uma “barreira submersa” ao escoamento na região, causando a elevação do lençol freático. Com isso, poderá ocorrer a formação de alagadiços e charcos nas depressões existentes em toda a área marginal da dutovia, criando-se um novo hidrodinamismo local (HABTEC, 2006).

O lançamento de esgoto doméstico proveniente do canteiro de obras causa um aumento da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e das concentrações dos compostos nitrogenados e fosfatados, acelerando o processo de eutrofização. Com o aumento dessas concentrações, a estrutura e densidade da comunidade fitoplanctônica é alterada, afetando a cadeia trófica dos corpos d'água.

Algumas atividades podem provocar a instabilidade nas camadas superficiais do terreno, como a retirada da vegetação, implantação de canteiros de obra, escavações de

trincheiras, cortes e construção de aterros. A principal preocupação refere-se às áreas onde a implantação do duto se dará sobre depósitos de solos sujeitos a arraste ou em locais que apresentam características favoráveis a desbarrancamentos.

Para diminuir os impactos ambientais da implantação dos dutos, pode-se destacar a escolha do local mais adequado para a localização do canteiro de obras, de forma a não utilizar áreas que abriguem remanescentes florestais mesmo de mata secundária. Vale ressaltar que a instalação de dutos em áreas com grande densidade populacional também é preocupante, já que existe a probabilidade de acidentes e explosões. Além disso, algumas medidas mitigadoras podem reduzir os impactos ambientais dessa atividade, como a orientação adequada dos trabalhadores seleção de critérios construtivos que otimizem a conservação dos recursos e do ambiente local, adoção de medidas para minimizar a geração de poeira, carreamento de sólidos, resíduos e efluentes, além de uma destinação adequada para esses.

4.3.1.2. Acidentes com Dutos e Gasodutos

Mesmo atendendo padrões máximos de segurança internacional, vazamentos em dutos podem ocorrer decorrentes de erosão, deslizamentos de terra, corrosão, queda de rochas, atos de vandalismo ou ação de terceiros (CETESB, 2008). Para diminuir a ocorrência de vazamentos, algumas medidas devem ser tomadas, principalmente a de substituição da malha de tubulações quando ultrapassada a sua vida útil (MOSCARDI, 2005).

A CETESB, desde 1980, vem atuando nas operações de emergência envolvendo dutos no Estado de São Paulo e até 2006 tinha registrado 178 casos. A maioria destes registros se refere a vazamentos de gás natural na região metropolitana, com risco de incêndio e explosão, bem como certo desconforto respiratório à população. As ocorrências de acidentes que provocam impacto ambiental com contaminação de mananciais, de solos e de áreas litorâneas são bem menos frequentes.

O número de ocorrências envolvendo dutos não é muito grande quando comparado com o transporte rodoviário. No entanto, em caso de rompimento destas tubulações, as ações de resposta para conter ou minimizar os impactos ambientais e sócio-econômicos devem ser rápidas e eficientes, pois a grande maioria da malha dutoviária está presente em áreas urbanas, mananciais e outras regiões de importância sócio-ambiental, como manguezais, praias e unidades de conservação (CETESB, 2008). Um dos acidentes mais dramáticos ocorridos no

Brasil com oleodutos foi o que originou explosão e incêndio na favela de Vila Socó (Cubatão), em 1984. Nesta ocasião, cerca de uma centena de pessoas morreram.

Os impactos negativos aos ambientes naturais causados por vazamentos em dutos e gasodutos provocam a contaminação de solos, subsolos, corpos de água e lençol freático, além dos danos aos vegetais e animais presentes nas proximidades no momento do seu rompimento. Quando os acidentes ocorrem em ambiente urbano, destaca-se o incômodo respiratório e dores de cabeça na população em função dos fortes odores das substâncias liberadas e das características tóxicas do produto. Explosões e incêndios devido às propriedades inflamáveis, principalmente em gasodutos, já foram registrados pela CETESB em onze ocorrências, havendo vítimas com ferimentos leves, queimaduras de primeiro grau e também casos mais sérios com fatalidades (CETESB, 2008 g). Em alguns casos, as tubulações estão dispostas paralelamente às estradas, além de cruzar terras de uso agrícola, causando expressivas perdas econômicas e danos ecológicos (KIRCHHOFF, 2004; BRITO, 2006).

Para que os riscos e os impactos ambientais sejam minimizados, é necessário que medidas de controle sejam tomadas por parte do governo e dos agentes de transporte e distribuição de produtos perigosos, como gás e óleo. Para que essas medidas sejam efetivas, os riscos de acidente precisam ser primeiramente mensurados ou estimados pela Avaliação de Riscos, apresentada anteriormente à construção dos dutos. Essa avaliação busca subsídios para que a tomada de decisões seja imediata e confiável, visando à minimização dos impactos ambientais e sócias (BRITO, 2006).

4.3.1.3. Acidentes no modal ferroviário

O modal ferroviário transporta grandes volumes de cargas perigosas e atravessa diferentes áreas, muitas com relevante importância ecológica ou sócio-econômica. No entanto, a malha ferroviária brasileira é antiga e não recebe manutenções adequadas, criando-se riscos à saúde, ao meio ambiente e ao patrimônio público e privado.

Em geral, quando ocorre um acidente, a área contaminada é extensa devido ao grande volume transportado. No caso de derrames de líquidos, além da percolação do produto entre as britas que assentam os trilhos, outras áreas como pastagens, cursos e corpos d'água podem ser atingidos, comprometendo a qualidade do ambiente e da saúde da população, já que pode contaminar fontes de abastecimento. Além disso, o vazamento de produtos tóxicos, como a

gasolina, pode ocasionar a perda de algumas espécies animais e vegetais, a poluição atmosférica e a ocorrência de incêndios (SCHRUT *et al.*, 2005). O conhecimento das propriedades físico-químicas do produto derramado e a extensão da área contaminada também são de fundamental importância para que o trabalho de contenção do produto e a limpeza do local sejam realizados da melhor maneira possível.

Um levantamento estatístico de acidentes ferroviários realizado pela CETESB mostra que, entre os anos de 1987 e 2004, aconteceram 58 acidentes envolvendo o transporte de cargas perigosas, sendo 76% destes envolvendo líquidos inflamáveis no qual se enquadram os combustíveis. A maioria dos acidentes resultou em vazamento da carga e a maior parte ocorreu por falta de manutenção das vias férreas, provocando o descarrilamento dos vagões.

4.3.1.4. Acidentes no modal rodoviário

A gravidade e a extensão das emissões dependem das propriedades físico-químicas, toxicológicas e ecotoxicológicas das substâncias envolvidas, bem como das condições atmosféricas, geológicas e geográficas. Assim como os incêndios, podem provocar efeitos tanto agudos quanto crônicos, como carcinogenicidade, teratogenicidade, mutagenicidade e danos a órgãos alvos específicos (FREITAS & AMORIM, 2001). Além da poluição atmosférica, o produto vazado pode contaminar o solo e a vegetação próxima ao local do acidente. O produto também pode atingir os cursos d'água, principalmente quando caem nas canaletas de águas pluviais paralelas às rodovias.

Normalmente, o acesso rodoviário ao acidente onde ocorreu o vazamento é restrito, dificultando e retardando as operações de combate. Devido ao grande volume de carga, os recursos empregados são bastante elevados, onerando em tempo e custo o atendimento como um todo. Além disso, é freqüente a geração de grande quantidade de resíduos líquidos e sólidos, provenientes das ações de contenção, remoção e limpeza dos locais atingidos.

4.3.2. Transporte marítimo (navios petroleiros)

A atividade de transporte de petróleo e derivados tem grande potencial poluidor, principalmente devido ao grande volume transportado. Pode atingir grandes proporções, como em acidentes com petroleiros, ou descargas pequenas, porém mais freqüentes, como os acidentes operacionais. Sendo assim, a poluição marinha por hidrocarbonetos pode ocorrer de

forma aguda, resultado de eventuais derrames no meio ambiente em função de grandes acidentes, ou de forma crônica, devido à entrada desses produtos advindas de ações rotineiras de manutenção dos navios e constantes descargas nos portos e terminais (SILVA, 2004).

Além dos impactos gerados por situações catastróficas, à navegação marítima pode-se atribuir uma série de impactos e desafios ambientais tais como emissões atmosféricas, geração de resíduos (IMO, 2008), utilização de tintas tóxicas e transferência de espécies exóticas através da água de lastro (ARAÚJO, 2002; SILVA, 2004) (Figura 4.2 e Quadro 4.3). De acordo com Ball (1999), as estatísticas mostram que 80% dos derrames de hidrocarbonetos ocorrem em águas abrigadas, que são locais de extrema sensibilidade ambiental e de difícil remoção do produto derramado. No entanto, não é só a poluição gerada por navios que merece observação, outras fontes como, por exemplo, efluentes urbanos e industriais devem ser mais investigadas (COMMENDATORE & ESTEVES, 2007).

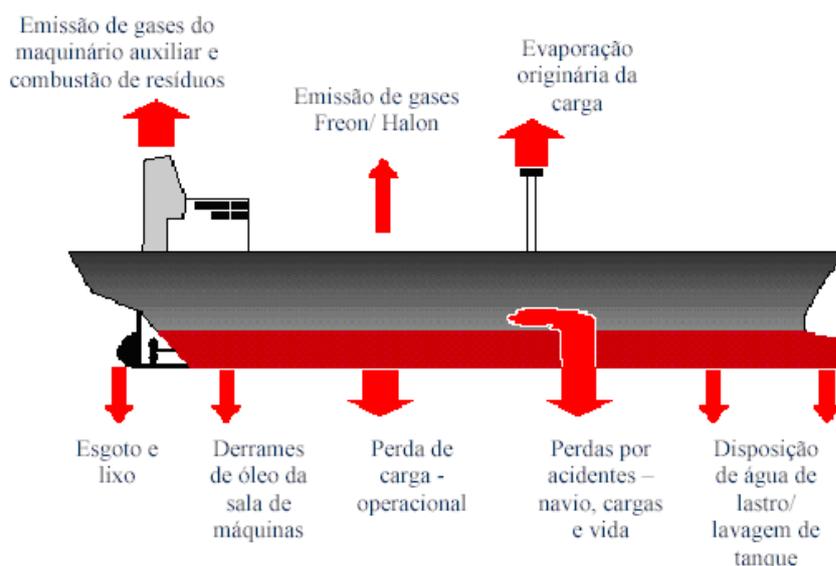


Figura 4.2. Fontes de emissão de um navio para o ar e para o mar. Fonte: ULLRING (1997)⁶ apud SILVA (2004).

⁶ ULLRING, S. *Green ships on a blue ocean*. Paper series DNVR-97-P002, Det Norske Veritas, Seoul, Korea, 1997.

Quadro 4.3. Alguns riscos acidentais que podem ocorrer durante o transporte por navios de petróleo e derivados. Adaptado de Silva (2004).

Causa	Conseqüência	Comentários
Operação de carga de navios de alívio	Reduzida	-
Descarga ilícita no mar	Reduzida	Falha de manobra nos tanques.
Colisões entre navios em áreas próximas ao litoral	Graves a muito graves	Depende se o óleo atinge áreas costeiras e da quantidade derramada. Situação onde há um tempo entre o alarme e a chegada da deriva às áreas sensíveis.
Colisões entre navios em áreas afastadas da costa	Graves	
Encalhe de navios	Média a elevada	Depende da sensibilidade da costa. O encalhe pode levar à ruptura do casco e liberar grandes volumes.
Falhas no casco	Reduzida a muito grave	A falha pode resultar desde uma pequena fissura até a quebra no navio ao meio.
Incêndios e explosões	Média a muito grave	É um dos acidentes mais preocupantes, principalmente quando ocorrer em áreas internas como terminais. Há o risco de vazamentos catastróficos e morte humana.
Carga e descarga de navios em terminais	Média	São os casos mais comuns de incidentes portuários. Acidentes de maiores probabilidades, mas, normalmente, de menores conseqüências.
Operações de abastecimento	Média a reduzida	Os vazamentos durante o abastecimento são geralmente pequenos.
Colisões de navios com estruturas portuárias	Médias	O choque pode abrir rombos no casco do navio, mas esse tipo de acidente tende a ser eliminado com a substituição das frotas com casco duplo.

4.3.2.1 – Vazamento de óleo por acidente com navios petroleiros

Acidentes com petroleiros tendem a chamar atenção pública pela escala do desastre ecológico. Porém, a quantidade de petróleo derramada nesses acidentes esporádicos é considerada pequena quando comparada a soma do que vaza diariamente de petroleiros, oleodutos e postos de gasolina (SILVA *et al.*, 2006). Mundialmente este transporte lança no ambiente cerca de 100.000 toneladas de hidrocarbonetos por ano. Comparando-o a outras fontes de hidrocarbonetos e apenas às fontes antropogênicas, este volume representa 7,7% e 14,3%, respectivamente, do total de hidrocarbonetos lançados anualmente no meio ambiente (WALKER *et al.*, 2003).

Os impactos causados sobre a comunidade marinha por acidentes com vazamento de óleo em ambientes costeiros são variados e vão desde a mortalidade de indivíduos por sufocamento físico até efeitos da contaminação química, que incluem toxicidade, carcinogenicidade, interferência em processos biológicos e bioacumulação. Podem ocorrer também impactos indiretos como a perda do habitat ou de fonte de alimentação.

Além disso, esses impactos causam conseqüências diretas para as atividades sócio-econômicas. Os principais impactos são: impacto visual; interdição de praias; comprometimento da balneabilidade; impossibilidade de realização de atividades recreativas; contaminação de portos, embarcações e outras estruturas; diminuição do turismo; impactos na pesca, maricultura, aqüicultura e carcinocultura; infiltração e contaminação do lençol freático e efeitos na saúde humana; comprometimento de sítios de mineração, sítios arqueológicos, culturais e históricos (ARAÚJO, 2002).

4.3.2.2. Comportamento do óleo no meio ambiente marinho

Os impactos sobre os organismos podem ser físicos ou tóxicos. Os físicos podem levar à morte por asfixia, pois os organismos são recobertos pelo produto derramado, além de alterar a temperatura e prejudicar a locomoção (POFFO, 2000). Já os tóxicos são quando os hidrocarbonetos acumulam no sedimento. Os efeitos tóxicos podem dizimar culturas inteiras de recursos pesqueiros, como no caso do derrame do *Amoco Cadiz*, onde os cultivos de crustáceos, ostras e outros bivalves só puderam ser retomados 3 anos após o acidente (SILVA, 2004).

Os impactos ambientais decorrentes de derrames de petróleo e de derivados também podem ser classificados como agudos ou crônicos e são bem conhecidos em alguns organismos marinhos, tais como peixes, crustáceos e moluscos (HOLDWAY, 2002; COMMENDATORE & ESTEVES, 2007). Impactos agudos causam efeitos letais aos organismos, que ficam expostos ao agente contaminante por um curto período de tempo. Já a poluição crônica é caracterizada pela exposição prolongada ao agente contaminante (ação rotineira de manutenção dos navios e constantes descargas nos portos e terminais) e as frações tóxicas persistem no ambiente, o que dificulta a sua recuperação. Os impactos crônicos geram efeitos subletais, que podem afetar algum estágio do ciclo de vida do organismo como o crescimento, a reprodução e

o desenvolvimento larval. Por isso, esse tipo de poluição é ecologicamente mais grave do que a aguda (RAND, 1995⁷ apud SILVA, 2004).

A magnitude da consequência dos acidentes com petroleiros não leva em consideração apenas o volume e tipo de carga transportada, mas também outros fatores como características do ambiente atingido e sua sensibilidade, condições meteoro-oceanográficas, tempo de permanência do petróleo no meio e métodos de limpeza empregados (IPIECA, 1991). Já a distribuição do poluente no meio ambiente é regida principalmente por correntes marítimas, ventos predominantes, características dos sedimentos, morfologia do litoral e comportamento dos organismos marinhos (COMMENDATORE & ESTEVES, 2007).

As regiões costeiras normalmente são atingidas pelos derramamentos de óleo próximos ao litoral. Elas apresentam riscos mais acentuados pela maior concentração de instalações de operação com petróleo, maior quantidade de dutos e grande volume de tráfego de navios transportando óleo. Esses ambientes apresentam alta produtividade e diversidade biológica e são locais de importância crítica como criadouros, berçários, zonas de alimentação e migração de animais (GESAMP, 2001). Por isso, estudos sobre os efeitos da poluição por petróleo devem ser mais freqüentes e de longa duração para detectar mudanças na estrutura das comunidades e efeitos subletais que possam estar ocorrendo nas populações de locais mais sujeitos à exposição ao petróleo.

4.3.2.3. Poluição em portos e terminais

Os portos e os terminais são locais que sofrem intensa e constante alteração ambiental devido ao lançamento de efluentes tóxicos e emissões atmosféricas, além dos eventuais acidentes e vazamentos de óleo. Por isso, a poluição crônica das águas é sem dúvida a que mais afeta a vida dos organismos próximos a essas instalações. Além da poluição das águas, as manobras de amarração e fundeio do navio nos portos interferem, principalmente, sobre as populações bentônicas do entorno. A turbulência da manobra provoca ressuspensão do sedimento que quando começa a decantar, recobre os organismos bentônicos, podendo matá-los. Essa ressuspensão reduz o teor de oxigênio dissolvido no ambiente que pode chegar a níveis tão baixos que causam a morte da fauna local (SILVA, 2004).

⁷ RAND, G.M. **Fundamentals of aquatic Toxicology: Effects, environmental fate and risk assessment**. 2ed. Florida, EUA, Taylor & Francis, 1995.

A poluição atmosférica em ambientes próximos a terminais e portos foi estudada por Lashkova *et al.* (2007). A concentração desses poluentes no ar depende das características e da quantidade da produção de petróleo, bem como sobre o tipo de produto petrolífero produzido e as condições meteorológicas (temperatura do ar e umidade, pressão atmosférica, direção e velocidade do vento).

4.3.2.4. Resíduos

Dentre os resíduos gerados pela navegação incluem-se o esgoto sanitário, o lixo doméstico, o lixo operacional e a água oleosa. Destes, a água oleosa que é diretamente lançada no ambiente constitui-se em um dos resíduos mais preocupantes em termos ambientais, pois altera a qualidade da água, prejudicando a biota marinha.

4.3.2.5. Tintas anti-incrustantes

As tintas anti-incrustantes inibem a fixação de organismos no casco do navio que, além de evitar a transferência de espécies exóticas, diminui o atrito com a água, o consumo de combustível e a liberação de poluentes para a atmosfera. Essas tintas contêm compostos metálicos que lentamente contaminam a água do mar, matando os organismos aderidos ao casco do navio. No entanto, estudos demonstraram que estes compostos persistem no ambiente prejudicando os organismos marinhos, pois provavelmente entram na cadeia trófica. A nova convenção da IMO de 2001 proíbe a utilização destas tintas em cascos de embarcações. A partir de janeiro de 2003, foi instituída uma proibição global da aplicação de compostos agindo como biocidas em sistemas anti-incrustantes (IMO, 2008).

4.3.2.6. Poluição atmosférica

Como os navios utilizam combustíveis fósseis para navegar, geram emissões atmosféricas que contribuem para o efeito estufa e, principalmente, para a chuva ácida. Em termos de emissões atmosféricas, as maiores contribuições da navegação em relação aos outros meios de transporte são os óxidos de nitrogênio (NO_x), de 7 a 13% do total emitido anualmente, seguido dos óxidos de enxofre (SO_x), de 4 a 7%; dos compostos orgânicos voláteis (COVs), de 2 a 3%; do CO₂, com 1,5%, entre outros (SILVA, 2004).

4.3.2.7. Transferência de espécies exóticas

Além da poluição por óleo devido a vazamentos e/ou eventos acidentais, os petroleiros são também responsáveis pelo transporte de organismos marinhos de uma área para outra. Os navios para manter a estabilidade, balanço e integridade estrutural durante a navegação sem carga, enchem seus tanques de lastro com água do local até chegarem ao seu destino final. Além da água de lastro, as incrustações no casco dos navios também atuam como vetores de espécies exóticas (SILVA *et al.*, 2002). Essa transferência de organismos de um tipo de ambiente a outro pode causar danos irreversíveis na estrutura dos ecossistemas afetados (CARLTON & GELLER, 1993).

Segundo Patin (1999), são conhecidas mais de 3.200 espécies de organismos marinhos suscetíveis a este transporte cuja presença tem o potencial de causar mudanças radicais na estrutura trófica das áreas afetadas, podendo desta forma, afetar o potencial pesqueiro destas regiões. No Brasil, a invasão do mexilhão dourado, um crustáceo oriundo do sudeste da Ásia, é um exemplo deste tipo de problema, pois possui uma grande capacidade adaptativa e reprodutiva, competindo com outras espécies nativas (DARRIGAN & PASTORINO, 1995). De uma maneira geral, os riscos relacionados à introdução de espécies exóticas podem ser ambientais, à saúde humana e à economia (SILVA, 2004).

. Riscos Ambientais: os organismos exóticos podem se adaptar às condições novas ambientais e iniciarem uma competição por alimento, habitat e outros recursos, podendo causar extinção de espécies nativas. Na maioria das vezes, esse impacto é irreversível, sendo que os ambientes mais protegidos são justamente os mais suscetíveis ao estabelecimento de espécies exóticas (SILVA *et al.*, 2002; CARLTON & GELLER, 1993).

. Riscos à saúde humana: alguns organismos presentes na água de lastro podem ser patogênicos e disseminar moléstias onde forem introduzidos. Um exemplo é a epidemia da cólera na América Latina, provavelmente procedente da Ásia (SILVA *et al.*, 2002).

. Riscos às atividades econômicas: as espécies exóticas causam prejuízos para as atividades que utilizam recursos vivos do mar. No Mar Negro, por exemplo, a queda da pesca comercial deve-

se a uma redução do plâncton nativo causada pela introdução de um cnidário filtrador dos EUA (BRASIL, 2002).

4.3.3. Posto comercial de combustível: impactos ambientais de um vazamento de gasolina

Outra fonte de poluição está relacionada com a distribuição de combustível para o consumidor. Após o refino, a gasolina e o gás natural são transportados para os postos de abastecimento onde ficam armazenados em tanques subterrâneos.

A contaminação da água por substâncias químicas pode comprometer sua potabilidade, impossibilitando sua utilização pelo homem. Tratando-se de águas subterrâneas, esse comprometimento tende a ser mais prolongado, pois tais ambientes não contêm microorganismos aeróbios em quantidade suficiente para promover a efetiva biodegradação dos poluentes (CETESB, 2008).

Os postos de combustíveis normalmente estão localizados em área urbana onde o subsolo é entrecortado de galerias com redes de diversos serviços públicos, além de garagens e outras edificações (GOUVEIA, 2004). Os produtos comercializados como gasolina, álcool, diesel e gás natural são inflamáveis e voláteis e, quando liberados, podem resultar em incêndios e explosões com danos graves imediatos à vida e à saúde das pessoas, devido à exposição aos vapores tóxicos, principalmente CO. Dependendo da concentração de substâncias no ar e do tempo de exposição, pode provocar irritação nos olhos e mucosas, irritação do aparelho respiratório e até depressão do sistema nervoso central.

Os vazamentos podem acontecer por vários fatores, como derramamento durante operação de transferência do produto para o tanque, vazamento no sistema por corrosão, falhas estruturais do tanque ou das tubulações e instalação inadequada (BARROS, 2000).

Considerando que a vida útil dos tanques de armazenamento é de aproximadamente 25 anos e na década de 70 houve um grande aumento do número de postos de gasolina no país, é provável que os tanques que não foram regularmente vistoriados e substituídos estejam com o prazo vencido e, conseqüentemente, com sérios riscos de vazamentos.

Geralmente, os vazamentos são percebidos após o afloramento do produto em galerias de esgoto, redes de drenagem de águas pluviais, no subsolo de edifícios, em túneis, escavações e poços de abastecimento d'água (CETESB, 2008 f).

Uma das principais preocupações da contaminação de aquíferos é quando eles são usados como fonte de abastecimento de água para consumo humano. Por ser muito pouco

solúvel em água, a gasolina derramada, em contato com a água subterrânea se dissolve parcialmente e os contaminantes que atingirão primeiramente o lençol freático são os hidrocarbonetos monoaromáticos e o BTEX. Essas substâncias são consideradas perigosas por serem depressantes do sistema nervoso central e por causarem leucemia em exposições crônicas (CORSEUIL, 1992⁸ apud CORSEUIL & MARINS, 1997).

As propriedades físico-químicas dos hidrocarbonetos da gasolina que podem influenciar na sua mobilidade na água e no solo são a densidade, solubilidade, viscosidade, pressão de vapor, entre outros (FERREIRA, 2000). A quantidade de produto que atinge o lençol freático é controlada pela quantidade inicial do produto vazado, a distância vertical do lençol freático e a quantidade residual de produto que fica retido no solo. Para determinar se o produto vai contaminar o lençol é preciso saber a profundidade deste, estimar o volume vazado e conhecer as características de retenção da gasolina no solo (BARROS, 2000).

A princípio, em um vazamento de combustíveis líquidos no subsolo, os hidrocarbonetos da fase líquida livre ficam retidos no solo, sendo uma fonte contínua de contaminação, além de apresentarem risco de explosão e incêndios (FERREIRA, 2000). Quando em contato com a água subterrânea, a gasolina se dissolve parcialmente, espalhando rapidamente a contaminação (TROVÃO, 2006). Por ser imiscível e com densidade menor do que a água, a gasolina aparece como uma camada flutuante sobre o lençol freático.

Mesmo remediando a ação dos contaminantes, vários anos são necessários para que os padrões de qualidade de água adequados sejam restabelecidos. Segundo a National Research Council (1993), os Estados Unidos, país que já investiu bilhões de dólares na recuperação de solos e águas subterrâneas, chegou à conclusão de que a grande maioria dos locais contaminados não foi remediada totalmente para chegar aos níveis de padrões de potabilidade. No entanto, a biorremediação continua sendo amplamente utilizada e pesquisada para a descontaminação de aquíferos contendo compostos tóxicos.

O indicador específico usado para caracterizar contaminação por gasolina é, normalmente, o BTEX ou TPH (Total Petroleum Hydrocarbon). Pela maior volatilidade e solubilidade, o BTEX apresenta maior risco de atingir a água subterrânea (MARQUES, 2007). A gasolina comercializada no Brasil tem entre 20 e 24% de etanol em sua composição. As interações entre o etanol e os compostos BTEX podem causar comportamentos completamente

⁸ CORSEUIL, H.X. **Enhanced degradation of monoaromatic hydrocarbons in Sandy Aquifer materials by inoculation using biologically active carbon reactors.** PhD dissertation, Ann Arbor, MI, EUA, 1992.

diferentes no deslocamento da pluma quando comparado à gasolina pura. Segundo Trovão (2006), o álcool é degradado antes dos BTEX, consumindo assim, o oxigênio que seria utilizado na degradação aeróbia destes compostos. Exemplos dessa diferenciação podem ser citados como a possibilidade do aumento da solubilidade dos BTEX em água, a possibilidade do aumento da mobilidade dos BTEX dissolvidos na água subterrânea e a possibilidade da dificuldade da biodegradação natural dos BTEX aumentando a persistência destes compostos na água subterrânea (CORSEUIL & MARINS, 1997; FERREIRA, 2000; MARQUES, 2007). Segundo Trovão (2006), a contaminação resultante de um vazamento de gasolina pode ser muito pior se junto a ela houver vazamento de álcool combustível.

4.3.4 - Acidentes em posto comercial de combustível: impactos ambientais de um vazamento de gás natural

A frequência de ocorrência de acidentes envolvendo gás natural indica que este combustível é tão seguro quanto os combustíveis líquidos. A implantação de uma rede de abastecimento em grande escala implica no treinamento de pessoal, envolvendo todos os procedimentos de segurança (LOURENÇO, 2003).

Os vazamentos de GNV, na sua maioria, são ocasionados pelo alívio de pressão da válvula de segurança durante a partida do compressor ou por alguma falha mecânica do sistema de compressão. Normalmente, o vazamento causa incômodos devido ao forte odor, mas por ser mais leve que o ar e evaporar mais rápido do que o álcool ou a gasolina, o gás natural não costuma oferecer risco de confinamento de atmosferas inflamáveis, sendo menor o risco de incêndio. No entanto, em ambientes fechados com a presença de oxigênio e de uma fonte de ignição, há o risco de combustão (GOUVEIA, 2004).

4.3.5. Discussão

O transporte e a distribuição do petróleo bruto ou de combustíveis como a gasolina e o gás natural geram impactos ambientais e sócio-econômicos consideráveis. Ocorrem por diversas causas e em diferentes modais de distribuição. Grande parte do escoamento do produto, primeiramente como matéria-prima e depois como combustível, começa com a atividade *offshore*, no transporte do local de extração até os portos e terminais, por navios petroleiros ou dutos subterrâneos. Esse transporte provoca impactos reais ao ecossistema

oceânico e costeiro, principalmente, relacionados à pesca e ao turismo. Posteriormente, esse escoamento segue pelo ecossistema terrestre, principalmente por dutovias, local este que sofre com grande parte dos impactos, não só na etapa de implantação dos dutos ou gasodutos que degradam totalmente a área próxima à instalação e sua área de influência, mas também durante o funcionamento, onde podem acontecer vazamentos intencionais ou por alguma falha do equipamento, afetando o meio físico, biota local e a população humana.

Além dos dutos, a distribuição pode ser realizada através de trens ou caminhões. No entanto, esses tipos de transporte também podem prejudicar o meio ambiente e a saúde humana, pois quando há algum tipo de acidente, o produto vazado pode contaminar o solo e as águas superficiais e subterrâneas, expondo o sistema de abastecimento urbano e a biota do local atingido. Além disso, há o risco de explosões, com probabilidade de vítimas fatais.

Por último, os postos de abastecimento constituem uma das maiores fontes de poluição de águas subterrâneas nos centros urbanos, colocando em risco o abastecimento urbano, além de criar possibilidades de explosão.

A zona costeira é a mais freqüentemente atingida pelos impactos do transporte de petróleo, pois as quantidades derramadas nos acidentes com navios petroleiros e os vazamentos constantes nos portos e terminais geram uma completa desestruturação dos ecossistemas, seja de forma aguda ou crônica.

Devido a essas diversas fontes potenciais de poluição, esforços devem concentrar-se em mais estudos detalhados na poluição causada por essa etapa no ciclo de vida da gasolina e do gás natural. Planejamentos e planos de prevenção à contaminação das áreas sujeitas a esse tipo de poluição devem ser realizados. Exemplos podem ser citados como a adoção de normas específicas relativas às técnicas de combate e de vazamento de óleo no mar, a instrumentação dos órgãos fiscalizadores para uma atuação mais intensa juntamente aos agentes poluidores e o mapeamento dos pontos mais vulneráveis aos impactos decorrentes de vazamento de óleo, com a colaboração de órgãos governamentais.

4.4. Impactos ambientais do consumo final

4.4.1. Uso da gasolina como combustível

O setor de transportes tem grande contribuição para a poluição ambiental principalmente atmosférica. Os derivados do petróleo, além de provir de uma fonte não

renovável de energia, geram a emissão de gases e partículas através da sua combustão. Esse processo, em muitos casos como em grandes centros urbanos, dependendo da topografia e de aspectos climáticos da região, facilitam o acúmulo de poluentes atmosféricos. Isso agrava as condições de qualidade do ar, afetando a saúde das pessoas, as construções, o lazer, e contribuindo também para o aumento do efeito estufa e do aquecimento global (AZUAGA, 2000). Cerca de 85% do enxofre lançado na atmosfera, principal gás responsável pela poluição urbana e pela chuva ácida, advem da queima de carvão e petróleo, assim como 75% das emissões de CO₂ que provoca o efeito estufa (GOLDEMBERG, 2000).

Nas áreas metropolitanas, a poluição do ar é uma das mais graves ameaças à qualidade de vida de seus habitantes, sendo os veículos automotores os principais causadores dessa poluição, representando 50% das emissões (BRASIL, 1990 a; CETESB, 2008 b). A poluição do ar já atingiu níveis alarmantes em diversos países, inclusive no Brasil, onde São Paulo e Cubatão são as cidades em situação mais delicada nesse aspecto (LA ROVERE, 2007).

A gasolina pura (hidrocarbonetos), ao reagir completamente com o oxigênio, forma basicamente H₂O e CO₂. Porém, alguns fatores como tempo e imperfeição no contato dos reagentes, faz com que a reação de combustão no motor não se complete, resultando em hidrocarbonetos não queimados e CO. Além disso, o nitrogênio do ar também reage, produzindo diversos óxidos como por exemplo, óxidos de nitrogênio, representados basicamente por NO e NO₂. Estes três compostos (CO, HC's e NO_x) constituem os principais poluentes veiculares (MONTEIRO, 1998).

Nos veículos leves com motores de ciclo Otto, as emissões são originárias de quatro fontes principais: o carburador, o tanque de combustível, o cárter e o escapamento. Cerca de 80% das emissões totais dos veículos são oriundas dos escapamentos (BAJAY & BERNI, 1994⁹ apud MONTEIRO, 1998).

O Ciclo Otto, usado na maioria dos automóveis movidos a combustíveis leves como a gasolina e o gás natural, é o maior responsável pela emissão de CO₂ e NO_x, seguido do carvão e da geração termoelétrica (RIBEIRO, 1997). Os veículos leves (automóveis) são os maiores responsáveis pelas emissões de monóxido de carbono (CO) e hidrocarbonetos (HC) e de parte do SO₂. Já os veículos pesados (caminhões e ônibus), são responsáveis pelas emissões de

⁹ BAJAY, S. V. & BERNI, M. D. **Otimização da demanda de energia e da emissão de poluentes no transporte urbano:** estudo de caso sobre a cidade de Salvador. In: II CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO, p. 481 – 497, UNICAMP, São Paulo, Dezembro, 1994.

óxidos de nitrogênio (NO_x) e de material particulado (MP) e de parte do SO₂ (MONTEIRO, 1998; CARVALHO, 2007).

Dentre os danos causados pela emissão desses poluentes ao meio ambiente e à saúde humana, destacam-se a acidificação dos rios e florestas, o aumento dos problemas respiratórios e circulatórios da população, principalmente em grandes centros urbanos, o efeito estufa e o aquecimento global. Porém, esses efeitos não se restringem às áreas onde ocorrem as emissões, pois os poluentes são dispersos através das correntes de ar, ultrapassando fronteiras regionais e nacionais (EYRE *et al.*, 1997). Segundo Azuaga (2000), os veículos automotores poluem mais a atmosfera do que qualquer outra atividade humana isolada.

A relação entre poluição do ar e saúde humana é bastante discutida na literatura mundial e um exemplo bastante interessante está relacionado com o aumento de crises asmáticas em áreas com grande concentração de poluentes SO_x, MP e O₃, associados principalmente aos combustíveis fósseis (ENVIRONMENTAL DEFENSE, 2008). Uma pesquisa realizada na Europa, pela Organização Mundial da Saúde, em 2005, mostra que os custos sociais da poluição do ar por material particulado podem atingir até € 190 bilhões por ano, considerando mortes prematuras e doenças associadas. O estudo ressalta a contribuição dos veículos a diesel para o problema, que respondem por cerca de um terço da emissão de MP fino e chumbo na região (MACEDO, 2005).

Devido ao aumento da poluição do ar pela queima de combustíveis fósseis, a CETESB, o órgão técnico conveniado pelo IBAMA para assuntos de homologação de veículos em âmbito nacional, ficou responsável pela implantação e operacionalização do Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE), para que houvesse uma diminuição na emissão de poluentes atmosféricos. Esse programa foi baseado na experiência internacional de países desenvolvidos, sendo considerado um dos mais bem elaborados para o controle de emissão em fontes móveis. Tem como objetivo combater a poluição gerada pelos veículos automotores, exigindo que os veículos e motores novos, nacionais ou internacionais, atendam a limites máximos de emissão. Para isso, são necessárias tecnologias avançadas de combustão, proporcionando a queima completa do combustível, dispositivos de controle de emissão, combustíveis de baixo potencial poluidor e catalisadores (CETESB, 2008 c). Contudo, as medidas tecnológicas adotadas pelo PROCONVE esbarram em algumas limitações diante do crescente aumento populacional, o rápido processo de urbanização e o limitado número de poluentes controlados. Segundo Azuaga (2000), esses problemas só poderão ser resolvidos através de uma legislação mais ampla que contemple a eficiência

energética do veículo baseado em um planejamento de economia de combustível, que está relacionado com melhoras tecnológicas na frota nacional. Além das melhorias nos veículos leves, é importante também buscar novos investimentos para o sistema de transporte coletivo, pois este polui bem menos do que o transporte individual.

Para atender as normas de emissões de gases, a indústria automobilística brasileira precisou eliminar os últimos resquícios do chumbo na gasolina, pois esse poluente envenenava rapidamente o catalisador e provoca efeitos neurológicos aos seres humanos (LA ROVERE, 2007). No sentido de reduzir as emissões de chumbo tetraetila, de compostos aromáticos, hidrocarbonetos, CO e NO_x, o Brasil optou por adicionar 22% de álcool à gasolina. O álcool como antidetonante substituindo o chumbo tetraetila na gasolina tem o grau de toxidez bastante inferior (MONTEIRO, 1998). O país é pioneiro na utilização em larga escala na adição de compostos oxigenados à gasolina e no uso de combustíveis renováveis. O uso do etanol hidratado puro ou misturado à gasolina, trouxe benefícios para o meio ambiente e para a saúde pública, destacando-se a redução drástica das concentrações de chumbo na atmosfera, proibido desde 1991. Além disso, a adição de etanol à gasolina trouxe imediatamente reduções da ordem de 50% na emissão de CO da frota antiga dos veículos (CETESB, 2008 c). A adoção do etanol como antidetonante deve ser implementado nos países onde o chumbo ainda é utilizado, como é o caso de muitos países africanos e alguns países asiáticos e latino-americanos (THOMAS & KWONG, 2001).

Apesar de algumas controvérsias, a utilização da mistura do etanol à gasolina quando comparada a gasolina pura contribui para a redução das emissões de escape de partículas em suspensão, CO (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2004) e hidrocarbonetos totais, principalmente benzeno (NIVEN, 2005). Alguns estudos demonstraram que, no caso da formação de ozônio, na pior das hipóteses o etanol é neutro (WHITTEN & REYES, 2004; NASTARI *et al.*, 2005). Quanto à emissão de nitrogênio, Joseph Jr. (2005) afirma que as emissões antes do uso catalisador para a mistura de etanol e gasolina brasileira (22% etanol) eram 4% mais elevados do que quando usada apenas gasolina. No entanto, após o uso de catalisador as emissões são basicamente as mesmas em ambos os casos (WALTER *et al.*, 2007).

O estudo realizado por Schifter (2006) mediu as concentrações de poluentes ambientais em sete áreas metropolitanas do México e mostrou que ozônio e os poluentes particulados emitidos principalmente pela combustão de combustíveis fósseis são um dos principais motivos de preocupação no país, afetando cerca de 25 milhões de habitantes. Para o autor,

esses episódios de alta poluição estão associados ao aumento de diversas doenças respiratórias, cardíacas ou até a morte (o mais grave efeito agudo). O estudo também cita que o ozônio é um poluente secundário, não tem fontes diretas e é formado na atmosfera a partir de seus precursores: hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio (NO_x). O nível de concentração do ozônio depende da quantidade, localização geográfica das emissões dos poluentes, características, condições meteorológicas e químicas da atmosfera.

Um trabalho realizado por Onal *et al.* (2006) nas Filipinas, relacionou a quantidade de chumbo encontrado no solo para identificar a poluição atmosférica. Foram coletados solos de cidades com alta densidade de tráfego (automóveis, ônibus, caminhões, triciclos, e outros veículos motorizados) e concluiu-se que a elevada concentração de Pb podem ser atribuída à emissões veiculares, principalmente de veículos pesados. As altas taxas de chumbo também podem ser referentes a cinzas vulcânicas, à proximidade de linhas de metrô e à refinarias de petróleo. O estudo recomenda a fitorremediação de locais contaminados para reduzir a concentração Pb no solo. Vários estudos têm confirmado que as plantas são capazes de absorver Pb do solo e que algumas plantas, ervas em particular, podem absorver naturalmente muito mais Pb do que outras espécies.

O estudo de Moon *et al.* (2006) observou o fluxo deposicional de partículas (HPA's) na Coreia. Nos locais de amostragem foram encontradas concentrações mais elevadas no inverno e mais baixas no verão, concordando com a evolução normal sazonal das partículas atmosférica suspensas. O aumento das concentrações no inverno corresponde ao maior consumo per capita de combustível fósseis neste período. O total do consumo de combustíveis fósseis (carvão e petróleo), na cidade de Busan é cerca de 1,4 vezes maior no inverno (de novembro a março) do que no verão (junho a setembro). Entre os parâmetros meteorológicos, a temperatura ambiente está altamente correlacionada com o fluxo deposicional dos HPA.

4.4.2. Uso do gás natural como combustível

Quanto ao uso de gás natural como combustível, as emissões de poluentes são bem menores quando comparado aos outros combustíveis fósseis devido à facilidade de combustão e à inexistência de enxofre, de hidrocarbonetos pesados e de chumbo em sua composição. Além desses poluentes, o gás natural diminui consideravelmente a emissão de CO, por isso é considerado um combustível “limpo” em todo o mundo. Outro fator importante é que o alto

índice de octanagem do gás natural permite uma maior relação de compressão nos motores, elevando o rendimento energético (LOURENÇO, 2003).

Por não conter enxofre, evita a produção de óxidos que na presença de umidade produzem chuvas ácidas (LOURENÇO, 2003). A redução de poluentes chega a 70% em relação a gasolina (GÁS VIRTUAL, 2008). Para Colombo-Filho (2004), no ambiente urbano o uso adequado do gás natural como combustível, se comparado com os combustíveis tradicionais, podem reduzir as emissões de monóxido de carbono (CO) em 76%, de NO_x em 84%, e de hidrocarbonetos pesados em 88%, praticamente eliminando as emissões de benzeno e formaldeídos, que são cancerígenos. Para Schifter et al. (2000), as emissões de ozônio também são menores quando usado gás.

Segundo Rosillo-Calle *et al.* (2005), essa vantagem quando comparada à gasolina não é tão evidente, pois para os autores o gás natural tem maior potencial de emissão de NO₂, além de apresentar pequena vantagem em relação ao efeito estufa. Outra desvantagem, está relacionada ao rendimento limitado do motor, parecido com o do etanol. Além disso, há a necessidade de tanques maiores para o armazenamento do combustível nos automóveis, proporcionando custos maiores e espaço reduzido.

De acordo com o estudo de Chelani & Devotta (2007), em Delhi, na Índia, a poluição veicular contribui 67% do total da poluição do ar, que é de cerca de 3.000 toneladas métricas por dia. É estimado que os veículos sejam responsáveis por cerca de 97% do total de hidrocarbonetos (HC), 48% dos NO_x, 76% das emissões de CO, 10% da SPM e 6% de SO₂. Algumas das recentes iniciativas tomadas pelo governo indiano incluem a conversão de motores diesel à GNC (gás natural comprimido) nos transportes públicos e ônibus. Outro estudo, realizado por Goyal & Sidhartha (2003), também apontou redução significativa de impactos na qualidade do ar com a aplicação do GNC em Delhi, durante o período de 1995 a 2001, mostrando que a conversão resultou na diminuição de partículas em suspensão, de partículas em suspensão de tamanho inferior a 10 µm e de SO₂. No entanto, houve um aumento dos níveis de NO₂, que parece estar relacionada com o aumento significativo do número total de veículos por ano.

Outro estudo também em Delhi comparou a média anual de concentração dos gases CO, SO₂ e HPA_s, antes e após a execução do CNG, resultando na redução de cerca de 50% destes poluentes no ar, com exceção de NO_x (RAVINDRA *et al.*, 2006).

Oliveira-Filho & Fagá (2005) realizaram um trabalho onde observaram os impactos da substituição do diesel pelo gás natural no transporte público urbano do Brasil. Segundo os

autores, o uso de gás natural nos ônibus urbanos brasileiros é potencialmente capaz de reduzir 80% a importação de petróleo, de incrementar o consumo de gás natural em 40% e de reduzir também em 40% as emissões de poluentes dos ônibus. As experiências brasileiras não foram muito boas, devido a impasses tecnológicos e redes de distribuição, mas praticamente todas as experiências internacionais apontam que o uso do gás natural tem como principais vantagens a redução das emissões atmosféricas e a diversificação da matriz energética, proporcionando o aumento da segurança energética em nível nacional e local.

Em um relatório da Cetesb (2004)¹⁰ citado por Oliveira-Filho & Fagá (2005), há a estimativa que em 2003 os veículos a diesel foram causadores de aproximadamente um terço das emissões totais na Região Metropolitana de São Paulo, lançando diariamente na atmosfera 2,5 mil toneladas de poluentes, entre material particulado, NO_x, SO_x, CO e hidrocarbonetos.

4.4.3. Discussão

O setor de transportes é um dos principais contribuintes para a poluição atmosférica. Os derivados do petróleo, além de provir de uma fonte não-renovável de energia, geram a emissão de gases e partículas através da sua combustão. A queima da gasolina emite diversas substâncias tóxicas, como o CO, NO_x, hidrocarbonetos, SO_x, material particulado, compostos orgânicos voláteis, ozônio troposférico e, quando usado, chumbo. Todos esses poluentes, além de agredir gravemente os ecossistemas, aumentam o efeito estufa e, conseqüentemente, o aquecimento global. Também prejudicam a saúde humana, provocando problemas respiratórios e circulatórios, principalmente em grandes centros urbanos.

A queima de combustíveis fósseis é um dos fatores que mais contribui para o aumento do efeito estufa, por isso sua substituição por outro combustível menos poluidor está sendo muito discutida atualmente. Considerando que todo o ciclo da gasolina emite gases do efeito estufa, Delucchi (1991) estimou que a grande maioria é emitida no uso final do combustível (68%), seguido pelos 21% da produção e distribuição e 11% do processo de fabricação do veículo além dos materiais usados para esse fim.

Para melhorar a qualidade do ar, algumas recomendações estão sendo implantadas no setor de transporte como, uma fiscalização mais rígida, tecnologias avançadas de combustão (proporcionando a queima completa do combustível), dispositivos de controle de emissão,

¹⁰ CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Vantagens Ambientais na Substituição dos Ônibus Urbanos Diesel por GNV**. São Paulo, 2004.

combustíveis de baixo potencial poluidor, uso de catalisadores, troca das frotas de veículos antigos, incentivos na utilização, melhorias no transporte público e diminuição dos congestionamentos.

O gás natural como substituto da gasolina parece ser uma das soluções para a diminuição da poluição atmosférica. De um modo geral, é um combustível mais limpo, mesmo que considerado uma energia não-renovável. Mesmo sem um valor preciso para a redução dos poluentes, estudos demonstram que ela existe e que a qualidade do ar em muitos centros urbanos melhorou depois da sua implantação. Por esse motivo, muitos autores defendem a idéia de substituir o diesel e a gasolina das frotas do transportes públicos para o gás natural.

5 – PRINCIPAIS IMPACTOS AMBIENTAIS E ALGUNS SÓCIO-ECONÔMICOS DO SETOR SUCROALCOOLEIRO (ETANOL)

A agroindústria canavieira, apesar de ser considerada como uma alternativa para os problemas ambientais causados pela queima dos combustíveis fósseis, apresenta inúmeros riscos ambientais como as emissões atmosféricas devido à queimada da cana, contaminação das águas, degradação dos solos e desmatamento. Além disso, a cultura e a produção do álcool e do açúcar geram outros impactos negativos, principalmente sociais, como a concentração de renda e de terras, competição com outros cultivos alimentares e desemprego.

As principais externalidades positivas ambientais relacionadas à utilização de álcool combustível referem-se à redução da emissão de CO₂ e a não utilização de *Methyl Tertiary Butyl Ether* (MTBE) na gasolina, cujo efeito é a contaminação do subsolo e dos lençóis freáticos. O MTBE é um oxigenante que corrige a octanagem e diminui a emissão de poluentes como o O₃ e o CO. No Brasil, esse papel é desempenhado pelo etanol na forma de anidro na proporção de 25% e novos mercados mundiais estão se abrindo para a essa tecnologia (FIGUEIRA, 2005).

Para estudar os impactos ambientais decorrentes da produção do etanol, são realizados EIAs-RIMAs.

5.1. Impactos ambientais gerados na produção (fase agrícola)

A produção agrícola da cana, hoje no Brasil, apresenta aspectos ambientalmente muito interessantes como o baixo nível de defensivos, programa de controle biológico de pragas, menor índice de erosão do solo da agricultura brasileira, além de reciclar a maior parte dos seus resíduos (subprodutos) (MACEDO, 2005). No entanto, esses aspectos não são aceitos por todos os pesquisadores. Segundo Pimentel (2007), a cultura da cana é uma das que mais degrada o solo e polui as águas devido ao alto uso de agrotóxicos.

As etapas que incluem a fase agrícola são o preparo do solo, plantio, tratos culturais e colheita. Os principais impactos ambientais estão listados abaixo:

- Redução da biodiversidade causada pelo desmatamento e pela implantação da monocultura canavieira;

A ocupação contínua de extensas áreas para a prática da monocultura, além de promover a extinção de vegetações nativas importantes, afetando o habitat natural de algumas espécies, também compete com outras atividades agrícolas, principalmente para a produção alimentos (ROSILLO-CALLE *et al.*, 2005). Além disso, a produtividade e a fertilidade natural do solo vão sendo reduzidas, acarretando a necessidade de serem recuperadas (BOLOGNINI, 1996).

- Contaminação das águas superficiais (ecotoxicidade hídrica) pelas atividades de preparo do solo e tratos culturais;

Essas atividades têm o maior potencial de impacto na fase agrícola devido ao uso intensivo de agrotóxicos (adubos, corretivos minerais e aplicação de herbicidas) que apresentam grande capacidade de percolação ou lixiviação para os corpos hídricos (PRADO, 2007). Esse tipo de contaminação tem forte potencial de acúmulo de substâncias tóxicas na cadeia alimentar. Os nutrientes escoados podem acelerar o crescimento da flora aquática, levando à eutrofização dos corpos d'água.

A atividade agrícola de produção da cana pode ser realizada sem grandes danos às águas superficiais, desde que sejam feitos procedimentos de manejo do solo e de aplicação de defensivos e fertilizantes que tenham suas ações bem conhecidas (MELLO, 1997).

- Destruição do potencial hídrico;

O corte da cana-de-açúcar inicia-se no final do período chuvoso e com a renovação da lavoura, a rebrota só acontece com a ajuda da irrigação do solo. No período da estiagem, o volume de água dos rios sofre uma diminuição natural, reduzindo muito seu potencial hídrico. A água lançada na irrigação é absorvida em sua totalidade pelo solo não retornando para os rios. Para agravar o problema, ocorre o desmatamento das matas ciliares, causando freqüentes erosões nas margens dos rios, bem como seu assoreamento (BARBOSA, 2006).

- Assoreamento de corpos d'água devido a erosão do solo em áreas de renovação de lavoura;

A entrada de sedimentos nos rios ocorre pelo escoamento superficial, principalmente em épocas de chuvas fortes após o revolvimento do solo para o plantio. Os efeitos dessa alteração são muitos, como a diminuição da velocidade da água, aumento do substrato inorgânico, diminuição do oxigênio dissolvido, alteração da biota aquática, aumento no custo de tratamento da água para abastecimento, perda de vazão e da capacidade de uso para irrigação, entre outros (MELLO, 1997). A sedimentação dos corpos hídricos pode destruir áreas de alimentação e procriação de peixes, além de soterrar os organismos bentônicos.

- Poluição térmica dos ribeirões causada pelo desmatamento das matas ciliares;

A supressão da vegetação ciliar expõe os cursos d'água de menor porte à insolação direta, aumentando a temperatura da água. Este efeito pode causar diminuição da concentração de oxigênio dissolvido e alterar a estrutura da comunidade aquática (OTA, 1990; ROSILLO *et al.*, 2005).

- Erosão do solo;

O preparo para o plantio da cana é feito por meio de aração e gradagem. Esse tipo de atividade quebra a estrutura do solo e o expõe à insolação direta e ao impacto físico das chuvas, o que aumenta o processo erosivo e a lixiviação, além de poder beneficiar a instalação de plantas daninhas. Essa exposição danifica a comunidade microbiana no solo e altera a quantidade de matéria orgânica, diminuindo o rendimento da cultura (OMETTO, 2000). Uma alternativa que pode evitar esse tipo de problema é o plantio direto sobre a palha (DUARTE, 2003). Segundo dados da World Resources (2000)¹¹, nos últimos 50 anos, cerca de 66% do solo agrícola mundial foi degradado por erosão, salinização, compactação, perdas de nutrientes, degradação biológica ou poluição (OMETTO & SOUZA, 2001). No Estado de São Paulo, 4 dos 18 milhões de hectares de terras utilizáveis estão em estágio de degradação. Essas terras, cada vez mais, precisam do uso de fertilizantes e, conseqüentemente, de agrotóxicos

¹¹ WORLD RESOURCES. World Resources 2000-2001. People and Ecosystems: **The fraying web of life harbound**. United Nations Environment Programme, World Bank World Resource. Institute in <http://www.elsevier.com/homepages/sag/worldresources/agro.html>.

para recuperar um pouco de sua qualidade, criando assim um círculo vicioso extremamente perigoso (GONÇALVES, 2005).

- Contaminação dos solos (ecotoxicidade crônica do solo) pelas atividades de tratos culturais, plantio da cana e preparo do solo;

A aplicação de agrotóxicos no solo compromete a biota que forma a base da sustentação da atividade agrícola, dos processos biológicos e bioquímicos responsáveis pela formação e manutenção da estrutura física e da fertilidade do solo. Os microorganismos também desempenham funções importantes de interação benéfica com as plantas como a fixação do nitrogênio e solubilização do fósforo (OMETTO, 2000).

- Eutrofização do solo pelas atividades de tratos culturais, fertilização do solo e plantio devido ao acréscimo de nutrientes no solo (OMETTO, 2005; PRADO, 2007);

- Compactação do solo através do tráfego de maquinaria pesada, grades e arados durante o plantio, os tratos culturais e a colheita;

O preparo do solo, plantio, adubação, pulverização e colheita, têm como prática a mecanização intensiva, que nem sempre é feita de maneira adequada. Observa-se a compactação do solo pela circulação de veículos, danificando a sua bioestrutura, sufocando a microfauna, propiciando a erosão e dificultando a adequada penetração das raízes. Além disso, a compactação reduz drasticamente a infiltração da água no solo, o que gera um aumento no escoamento superficial, podendo comprometer a qualidade dos corpos d'água e dos aquíferos (OMETTO, 2000). A estrutura compactada do solo pode ser modificada pelas práticas de manejo, como o trabalho mecânico, a incorporação de matéria orgânica, a drenagem e a rotação de culturas, principalmente aquelas com raízes profundas (SANTI *et al.*, 2006).

Essa questão traz preocupações aos produtores, pois implica na redução de produtividade, aumento nos custos com operações mecanizadas e na diminuição da ciclagem de nutrientes (MELLO, 1997; GONÇALVES, 2005). Existem inúmeros relatos de perdas no potencial produtivo das culturas em virtude desse processo dinâmico e gradual, em que a porosidade e a permeabilidade são reduzidas, a resistência é aumentada devido não só ao tráfego intenso de máquinas e equipamentos, como também ao pisoteio humano na colheita.

Atualmente, em grandes usinas, o preparo do solo vem sendo realizado por máquinas que integram todas as operações necessárias de uma só vez, diminuindo a compactação do solo e melhorando a produtividade da cana (GONÇALVES, 2005).

- Acidificação do solo devido aos gases liberados durante a queimada (NO_x);

As queimadas emitem na atmosfera ácidos e compostos que, quando depositados na água e solo, aumentam a acidez do meio (PRADO, 2007). Essa acidificação apresenta consequências como declínio das populações florestais, mortalidade de peixes, corrosão de metais e desintegração de revestimento de superfícies metálicas e de materiais minerais de construção (RODRIGUES & ORTIZ, 2006).

- Degradação do solo e redução da fertilidade da terra;

Para melhorar a fertilidade do solo é necessário fazer um rodízio a cada seis meses, alternado a plantação com a cultura de leguminosas como feijão, amendoim e soja (FRANÇA, 2008).

- Utilização de recursos não-renováveis (principalmente combustíveis fósseis) nas atividades de tratos culturais, preparo do solo e de colheita da cana, devido ao uso de agroquímicos e do consumo de diesel nas máquinas agrícolas, caminhões e ônibus (OMETTO, 2005).

- Pressão sobre outras atividades agrícolas;

Segundo Torquato & Perez (2007), a expansão da cana-de-açúcar na safra 2005/2006 no Estado de São Paulo foi 15,9% superior a área total plantada na safra anterior (4,25 milhões de hectares). São 585 mil ha a mais em relação à safra de 2004/2005. A expansão da área de cultivo da cana tem absorvido áreas de pastagens ou de outras culturas tradicionais como feijão e milho (PRADO, 2007).

- Poluição atmosférica;

A fase agrícola envolve uma série de situações onde há liberação de gases poluentes na atmosfera. Exemplos são a queima na limpeza do terreno para o plantio (comprometendo a qualidade do ar com material em suspensão e gases tóxicos), a queima da cana na colheita (emissão de gases do efeito estufa) e a utilização de equipamentos agrícolas e veículos automotores pesados no transporte do produto (OMETTO, 2000; PRADO, 2007).

As maiores quantidades de substâncias atmosféricas emitidas durante a produção do álcool estão distribuídas durante as fases colheita da cana, geração de vapor e de energia elétrica, além do consumo final do combustível.

- Poluição sonora pelo uso de maquinários.

5.1.1. Queima da cana-de-açúcar

A queimada é uma prática antiga utilizada na agricultura com o objetivo de controlar pragas, plantas daninhas, doenças e animais venenosos (cobras, escorpiões e aranhas), além de acelerar a rebrota de pastagens e a limpeza de terrenos recém desmatados (BARROCAS, 2001).

No Brasil, a queimada da cana é largamente utilizada como facilitadora do processo de colheita. Trata-se de uma técnica que permite o aumento da produtividade do trabalhador rural durante a colheita, reduz o custo de carregamento da cana de açúcar do campo até a usina e, conseqüentemente, aumenta a eficiência e o rendimento das moendas durante o processo inicial de processamento na indústria (PIACENTE, 2005). Além disso, Zancul (1998) e Lima *et al.* (1999) destacam que a queima da cana reduz os acidentes de trabalho envolvendo cortadores de cana, como cortes e picadas de animais peçonhentos, melhora a qualidade tecnológica da matéria-prima e favorece os tratos culturais.

No entanto, segundo Szmrecsány (1994), a queima anual dos canaviais às vésperas da colheita provoca a destruição e a degradação de ecossistemas, tanto nas lavouras como próximas a elas, além de liberar poluentes atmosféricos altamente prejudiciais à saúde afetando toda a região do entorno.

No país, e principalmente no Estado de São Paulo, a queimada da cana começou a ser amplamente utilizada após os incentivos do Proálcool (Programa Nacional do Álcool) (ZANCUL, 1998). Todavia, essa prática é residual ou mesmo inexistente em outros países como a Austrália, que também usa a cana como matéria prima (GONÇALVES, 2002).

Para GONÇALVES (2003) o problema das queimadas originou-se de uma solução reducionista, na qual se desconsiderou os problemas que esta prática traria ao meio ambiente e ao ser humano em prol unicamente de se aumentar a produtividade do trabalho na cultura, e desta forma, aumentar o lucro dos produtores e empresários do setor, o que é característico do capitalismo.

Os impactos da queima envolvem o meio físico, biológico e antrópico e traz várias conseqüências ao ser humano, como riscos de acidentes durante a queimada, depreciação do panorama visual, incômodo pela liberação de fumaça e riscos à saúde causados pela fuligem (PIACENTE, 2005).

Em relação às características físicas do solo, a queima causa alteração da concentração de gases, diminuição da fertilidade e umidade do solo que leva à maior compactação e menor porosidade (GONÇALVES, 2002; BARROCAS, 2001), perda de nutrientes voláteis e exposição do terreno aos efeitos erosivos e de ressecamento por ação dos raios solares. A queimada também tem efeitos significativos sobre o aumento da chuva ácida (LARA *et al.*, 2001).

No meio biótico, destaca-se a redução de populações de espécies de vertebrados e insetos pela eliminação de habitats ou morte pelo fogo (DUARTE, 2003). Durante a queimada, a temperatura se eleva a 700/800°C até dois centímetros de profundidade do solo, destruindo a microflora e a microfauna da região (BARROCAS, 2001). A queima é prejudicial também aos inimigos naturais da “broca-da-cana-de-açúcar”, resultando em um desequilíbrio biológico com aumento da população da praga e, conseqüentemente, demandando o uso de pesticidas.

Há também o problema de incêndios em reservas e áreas de preservação próximas aos canaviais (GONÇALVES, 2002). Segundo Gonçalves (2005), é comum encontrar animais mortos totalmente queimados nas áreas onde a cana é colhida. Isso ocorre porque muitos animais transitam pelo canavial. A queimada acontece normalmente à noite e é nesse período que a maioria das aves permanece em seus ninhos e que os grandes predadores circulam pelos canaviais a procura de alimento.

Por outro lado, o fim da prática da queima nos canaviais antes da colheita pode trazer conseqüências ainda desconhecidas do ponto de vista biológico como, por exemplo, a entomofauna dos canaviais, que envolve tanto os insetos nocivos (pragas) como benéficos (parasitóides, predadores e decompositores) e por isso devem ser mais estudadas.

O resultado da queimada é a fuligem, material gerado pela combustão incompleta da biomassa que se espalha não só pelas áreas rurais adjacentes, mas também nas regiões urbanas próximas à área de cultivo. Os estudos de Bohm (1998) e Cançado *et al.* (2006) mostram que durante o período de safra, as incidências de problemas respiratórios decorrentes da eliminação dessa fuligem aumentam consideravelmente.

Segundo estudos realizados no Brasil e citados por Paoliello (2006), o particulado da fuligem possui pelo menos 40 tipos de HPAs, dentre os quais 16 são considerados

contaminantes ambientais prioritários pela Environmental Protection Agency (EPA), dos Estados Unidos. Esses compostos possuem propriedades mutagênicas e cancerígenas e quando são encontrados na forma gasosa ou absorvidos em partículas, sofrem reações atmosféricas com outros gases, originando derivados aromáticos ainda mais tóxicos. Esses compostos são formados por partículas submicrométricas (10^{-6} mm) e, por isso, são passíveis de serem inaladas e atingirem os alvéolos pulmonares. Seu tempo de permanência no ar pode ser de 100 a 1000 horas, podendo atingir locais distantes do foco da queimada. Além da inalação, os HPAs podem ser absorvidos pela pele humana, o que preocupa os trabalhadores rurais que ficam expostos a essas partículas. Afetam também o ecossistema e a biosfera, pois interferem nos processos de fotossíntese e respiração das plantas (MATTOS, 2002; PIACENTE, 2005). Além dos HPAs, outros gases cancerígenos são encontrados na fumaça da queimada como dioxinas, furanos e bifelinas policloradas (PCBs) (OMETTO & SOUZA, 2001).

Muitos estudos estão sendo realizados envolvendo as conseqüências da fuligem na qualidade saúde das pessoas que convivem próximas a locais de queima, mas para Sih (1998) ainda pouco se sabe sobre esses efeitos. Para analisar as conseqüências à saúde humana pela poluição ambiental principalmente provocada pelas queimadas da cana, alguns autores relacionam o período de ocorrência com o aumento da procura por ambulatórios, clínicas e prontos-socorros. Estudos citados por Barrocas (2001), constataram que o número de pessoas que procuraram atendimento hospitalar em decorrência de problemas respiratórios aumentou 20% nas épocas de queimada. De acordo com Bohn (1998), a inalação da fuligem e dos gases produzidos pelas queimadas pode provocar diversas alterações patológicas, como inflamação das vias aéreas. Cançado *et al.* (2003) mostram que os gases resultantes da queima dos canaviais como o CO, agem sobre a hemoglobina do sangue, reduzindo sua capacidade de ação, deixando o ser humano mais propenso a ficar doente. Alguns estudos indicam que os óxidos de nitrogênio aumentam a susceptibilidade a infecções bacterianas nos pulmões. O efeito principal do NO é como precursor do peróxido de nitrogênio NO₂, que é insolúvel e penetra até as profundezas do sistema respiratório. O NO₂ atua sobre os alvéolos pulmonares, podendo chegar a provocar enfisema, inibe as defesas pulmonares e possui um efeito fitotóxico (SILVA, 2000).

Segundo o estudo realizado por Cançado *et al.* (2006), na região de Piracicaba (SP), os idosos e as crianças são os mais afetados por esse tipo de poluição, sendo que durante as queimadas a concentração de PM₁₀ (partículas inaláveis grossas) supera o limite padrão que é de 50mg/m³. O estudo também frisou que a magnitude dos resultados foi ligeiramente superior

do que os encontrados na região metropolitana de São Paulo, a maior e mais poluída cidade do país.

A CETESB realizou um estudo com a Universidade de Tübingen (Alemanha), relacionado com a concentração de dioxinas e furanos (PCDDs e PCDFs), bifenilos policlorados (PCBs) e compostos policíclicos aromáticos (HPAs) na fumaça da queima de cana e no ar de cidades vizinhas à Araraquara (SP). Para todos os compostos medidos, observam-se concentrações muito maiores que as típicas no ar em épocas sem queimada (SILVA, 2000).

Além de emitir CO₂ e CO, CH₄ e NO_x, a queima da cana libera O₃, um gás altamente poluente que não se dissipa facilmente e que, em baixas altitudes, prejudica o crescimento de plantas, o desenvolvimento de seres vivos (SZMRECSÁNYI, 1994) e desencadeia problemas respiratórios em seres humanos (RODRIGUES & ORTIZ, 2006). A principal camada da atmosfera atingida por esses gases é a troposfera (MELLO, 2002). Para Szmrecsányi (1994), o volume de gás ozônio lançado na troposfera durante o período de queimada chega a duplicar, atingindo padrões inadequados de concentração, agravando o efeito estufa. Segundo estudos citados por Paoliello (2006), no período da safra, o teor de O₃ aumenta de 30 ppb (parte por bilhão) para 80ppb, e o de CO aumenta de 100 ppb para 600 ppb. De acordo com Barrocas (2001), no Estado de São Paulo, as queimadas liberam para atmosfera 350.000 toneladas de carbono na forma de CO, que é um dos principais geradores de ozônio na baixa atmosfera, através de reações fotoquímicas.

Segundo um trabalho da Embrapa desenvolvido em 1997 (LIMA *et al.*, 1999), dentro de uma estimativa global da queima de biomassa, a queima da palha da cana brasileira contribuiu em 0,8% de CO, 0,3% de CH₄, 0,8% de NO₂ e 0,8% de NO_x, no período de 1986 a 1996. De todas as atividades, a colheita da cana é a que apresenta maiores emissões atmosféricas durante o ciclo de vida do álcool.

No entanto, para alguns autores, do ponto de vista ecológico, a emissão de gás carbônico no período de queimada, fermentação do álcool, queima do bagaço e utilização do álcool, tem o dano atmosférico suprido com o tempo, uma vez que, no período de rebrota e crescimento do canavial essa cultura demanda absorver CO₂ na fotossíntese (LIMA *et al.*, 1999; PIACENTE, 2005; LEME, 2005; SMITH *et al.*, 2007). Esse argumento também é descrito por Ribeiro (1997), enfatizando que o álcool não contribui para aumentar o efeito estufa durante a queimada, pois ao crescer a cana absorve todo o carbono emitido. Silva

(2000), citando o estudo de Rozeff (1995)¹² indica que durante a queima libera-se somente 18,2 % do CO₂ fixado durante o crescimento. A Tabela 5.1 mostra, de acordo com dados de DATAGRO (1995)¹³, o balanço na emissão e absorção dos gases CO₂ e O₂ no cultivo de 1 ha de cana-de-açúcar em um ano.

Vieira-Junior *et al.* (2008) afirmam que a cana é uma planta com produção crescente ao aumento de radiação, é extremamente eficiente na fixação do CO₂ e no uso de água e de nutrientes. Portanto, indicada para regiões tropicais e por isso contribui muito para a fixação do CO₂ atmosférico e para a redução do aquecimento global.

Tabela 5.1. Impacto na absorção e emissão de CO₂ e O₂ do cultivo de um hectare de cana-de-açúcar (em toneladas métricas por ano). “-”: absorção de gases; “+”: emissão de gases. Fonte: DATAGRO (1995) apud BOLOGNINI (1996).

Etapas	CO ₂	O ₂
Crescimento da cana	- 220,0	+ 140,0
Queima da cana	+ 3,5	-2,5
Balanço	216,5	137,5

Com a eliminação das queimadas, o carbono que anteriormente ficava na forma gasosa na atmosfera, se liga à matéria orgânica do solo, ficando em uma forma mais estável (GALDOS, 2007). Porém, de acordo com Daniel (1996) e Ometto *et al.* (2003), a hipótese de que o CO₂ seja absorvido pela fotossíntese é “absurda”, pois não se considera a diferença temporal entre a emissão dos poluentes (realizada em poucos minutos) e a absorção pela planta (realizada durante todo o ano de crescimento). Isso significa que a concentração dos gases durante a emissão das queimadas é muito maior que a reabsorvida, causando um desequilíbrio da concentração dos poluentes e um impacto de saturação no ar atmosférico local.

Na tabela 5.2 observa-se os valores de carbono que são liberados para o meio ambiente nos sistemas com queima e sem queima. Essa diferença pode atuar de maneira significativa no seqüestro de carbono, aumentando a eficiência do agrossistema da cana. Na verdade, o estudo realizado por Campos (2003) chega à conclusão que a quantidade de CO₂ emitida na área sem

¹² ROZEFF, N. Biomassa y quema de la cana de azucar: un esquema empírico para el Valle del Bajo Rio Grande de Tejas. **International Sugar Journal**, Vol. 97, N° 1156 S, p. 184-187, 1995.

¹³ DATAGRO. Aumenta o nível de informação sobre o impacto ambiental da cana-de-açúcar. **Cana, Açúcar e Alcool**, São Paulo, n° 10, p. 6, 1995.

queima é um pouco maior do que na área com a queima. No entanto, a emissão total de gases é muito maior nas áreas com queima pela influência da liberação de 180 equivalentes de C-CO₂ para o CH₄ e de 4,369 equivalentes de C-CO₂ para o N₂O. O autor também realizou o balanço das entradas e saídas de carbono no ambiente e, de um modo geral, o sistema sem queimada deixa de liberar para a atmosfera cerca de 5.000 kg de equivalentes de C-CO₂ ha⁻¹ ano⁻¹ (Tabela 5.3).

Tabela 5.2. Liberação de carbono para o ambiente em equivalente de C-CO₂ nos sistemas com queima (C/Q) e sem queima (S/Q). Fonte: CAMPOS (2003).

Gás	C/Q	S/Q	(S/Q – C/Q)
CO ₂	4.700	4.527	-173
CH ₄	180	0	-180
N ₂ O	4.369	0	-4.369
Soma	9.249	4.527	-4.722

Tabela 5.3. Balanço anual do C (kg ha⁻¹ ano⁻¹) em equivalentes de C-CO₂ nos sistemas nos sistemas com queima (C/Q) e sem queima (S/Q). Fonte: CAMPOS (2003),

Balanço	kg ha ⁻¹		
	C/Q	S/Q	(S/Q – C/Q)
Retirada do C	5.838	7.129	1.291
Liberação de C	20.877,6	17.242	3.635,6
Total	15.039,6	10.113	4.926,6

Devido à pressão ambiental para diminuir a poluição atmosférica, o processo de colheita vem sofrendo algumas modificações, passando da queima prévia do canavial para um processo mecanizado. No princípio a abordagem era apenas de ordem técnica, mas agora é também de ordem sanitária e ecológica, pois garante um ar “mais respirável” e menos gases geradores do efeito estufa (MATTOS, 2002). O principal objetivo da eliminação das queimadas é evitar a emissão de poluentes como o CO₂; entretanto, as queimadas também resultam em perdas na produção de sacarose pela exsudação que podem ser na faixa de 59 a 135 litros por hectare (ROSILLO-CALLE *et al.*, 2005).

A colheita da cana crua gera uma maior quantidade de biomassa proveniente das pontas e da palha da cana no campo, também contribuindo para reduzir a temperatura e manter a umidade do solo (GONÇALVES, 2002). Para Furlani-Neto (1995), o sistema da colheita da cana crua é muito viável, pois apresenta como vantagens a qualidade tecnológica da matéria-prima para a indústria, a diminuição nas impurezas minerais e a conservação do resíduo pós-colheita sobre o solo, o que evita considerável perda energética gerada pela queima dos canaviais. Porém, a mecanização traz alguns impactos negativos como a compactação do solo pelos maquinários e o aumento do desemprego, mesmo este sendo de péssima qualidade para os trabalhadores (PRADO, 2007). De acordo com Paraguassu (1988)¹⁴ citado por Mello (1997), o maior problema da cultura mecanizada é a grande redução da capacidade de infiltração das águas pluviais, com a formação de um substrato compacto e praticamente impermeável abaixo do horizonte arado.

No caso da monocultura em canaviais que não sofrem com as queimadas, há possibilidade de ocorrência do aumento de pragas devido ao efeito da palha no solo. Isso ocorre porque em ambientes desequilibrados pode haver maior disponibilidade de elementos favoráveis como alimento e abrigo, o que leva à proliferação de determinadas espécies de insetos e/ou doenças (GONÇALVES, 2002).

O uso da queimada pré-colheita só é justificado pelo custo financeiro menor que o da cana crua, pois quem arca com o custo ambiental prejudicial é a sociedade, enquanto que o produtor rural obtém maiores lucros (MELLO, 1997). Ao mesmo tempo em que o álcool é importante por ser menos poluente que a gasolina, a atividade da queimada da cana pré-colheita é excessivamente criticada, já que prejudica a qualidade de vida humana e o meio ambiente. Essa prática só deixará de ser usada quando ficar evidente para os usineiros que é economicamente viável, semelhante ao que aconteceu com o vinhoto, que só foi deixado de ser jogado nos rios depois de tornar-se economicamente útil para a fertirrigação.

¹⁴ PARAGUASSU, A. B.; NILSON, G.; LANDIM, P. M. B.; FÚLFARO, V. J. Considerações sobre o assoreamento no Reservatório Álvaro S. Lima (Bariri). In: TUNDISI, J. G. (ed.). **Limnologia e manejo de represas**. São Carlos: EESC/ Universidade de São Paulo. p. 139 – 164, 1988.

5.1.1.1. Outros impactos da queima da cana-de-açúcar

- a queimada aumenta a sujeira urbana e, conseqüentemente, o consumo de água pela população, uma vez que esta é obrigada a lavar mais vezes as áreas externas;
- o número de acidentes nas rodovias também aumenta em decorrência da falta de visibilidade causada pelo expressivo volume de fumaça gerada na queima (OMETTO, 2000; PAOLIELLO, 2006);
- problemas com as redes elétricas, pois o fogo aquece demais o ar entre os fios tornando-os menos isolantes, podendo também causar um curto circuito ou até a queima de postes e equipamentos da rede elétrica (BARROCAS, 2001);
- maior incidência de chuva ácida nas regiões canavieiras por causa dos gases emitidos durante as queimadas (OMETTO & SOUZA, 2001).

5.1.1.2. Legislação sobre queima de cana

A discussão quanto aos impactos gerados pela prática da queima é uma questão antiga e polêmica. A primeira proibição da queimada da cana ao ar livre foi dada pela Política Nacional do Meio Ambiente, Lei nº 6.938/81. Depois, no Estado de São Paulo, o Decreto Estadual nº 28.848/88 proibiu a queima dentro de um raio de 1 km da área urbana. Apesar desse recurso legislativo, os plantadores de cana continuaram a praticá-la também nas áreas proibidas e foi o Decreto-Lei do governo do Estado de São Paulo, nº 42.056/97, que realmente deu início à substituição gradual dessa prática, fixando um prazo para a eliminação das queimadas. O decreto também previa que a mecanização da colheita fosse feita de forma gradual para que não causasse um imediato problema social de desemprego em massa (GOLÇALVES, 2002). Esse decreto foi substituído e complementado pelo Decreto do Governo Federal nº 2.661/98 e posteriormente pela Lei Estadual 11.241/02. Em março de 2003, a Assembléia Legislativa aprovou o Decreto Lei Estadual nº 47.700, que regulamentou a referida lei (Quadro 5.1). Ambos estabeleceram novos cronogramas para a eliminação da queima e determinaram áreas de proibição, como faixas de proteção nas proximidades de perímetros urbanos, rodovias, ferrovias, aeroportos, reservas florestais e unidades de conservação, com o intuito de diminuir os incômodos causados para a população e os riscos para a saúde humana e para o meio ambiente. Todavia, além de não respeitarem essas áreas restritas, a nova lei representou um retrocesso no que podia ter sido conquistado em termos ambientais, pois prorrogou o prazo

para a eliminação das queimadas no país, aliviando os problemas enfrentados pelos produtores rurais no Estado de São Paulo, mas causando grande indignação social.

Em 2007, visando a proteção ambiental, a Secretaria de Meio Ambiente, Agricultura e Abastecimento e a União da Indústria da Cana-de-Açúcar (UNICA) firmaram o Protocolo Agro-Ambiental, de adesão voluntária, que reduziu os prazos para a eliminação da queima, estabelecidos na legislação. O término da queima foi antecipado para 2014 e 2017 em áreas mecanizáveis e não-mecanizáveis, respectivamente. Áreas mecanizáveis são as plantações em terrenos acima de 150 ha, com declividade igual ou superior a 12%, em solos que permitam a adoção de técnicas usuais de mecanização da atividade do corte da cana. As usinas que aderirem ao protocolo e cumprirem as regras estabelecidas serão beneficiadas com um certificado ou selo ambiental, que contribuirá para facilitar a comercialização do etanol (FREDO *et al.*, 2008).

Quadro 5.1. Cronograma de eliminação da queima da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, segundo a Lei 11.241/2002. Fonte: FREDO *et al.* (2008).

Ano	Área mecanizável onde não se pode efetuar a queima da cana-de-açúcar (% de eliminação)	Área não-mecanizável, declividade superior a 12% e/ou da queima menor de 150 ha (% de eliminação)
1º Ano (2002)	20% da queima eliminada	10% da queima eliminada
5º Ano (2006)	30% da queima eliminada	20% da queima eliminada
10º Ano (2011)	50% da queima eliminada	30% da queima eliminada
15º Ano (2016)	80% da queima eliminada	50% da queima eliminada
20º Ano (2021)	Eliminação total da queima	Eliminação total da queima

5.1.2. Uso de agrotóxicos e agroquímicos na plantação da cana

A agricultura moderna provém de técnicas agrícolas que perturbam cada vez mais o ciclo da matéria e o fluxo de energia dentro do agrossistema. Os adubos químicos e os pesticidas aumentam o rendimento agrícola, mas provocam a poluição dos solos por apresentarem características tóxicas e muitas vezes não biodegradáveis (BOLOGNINI, 1996).

O consumo de agrotóxicos no Brasil considerando todas as culturas agrícolas, cresceu mais de 276% entre 1960 e 1991 e o uso de pesticidas por área plantada, cresceu 21,59 % entre 1997 e 2000 (CAMARGO *et al.*, 2004).

Para maximizar a produtividade da cana-de-açúcar utilizam-se fertilizantes químicos no solo com a finalidade de devolver à terra alguns elementos retirados pelo uso intensivo do solo,

tais como nitratos, fosfatos e sais de potássio. No entanto, os fertilizantes carregam metais e metalóides tóxicos que causam danos ao meio ambiente. A maior parte do fósforo contida nos adubos é imobilizado no solo por causa da presença de cálcio, alumínio e ferro e parte do excesso é levado para as águas, tendo papel importante na eutrofização (BOLOGNINI, 1996). O nitrogênio é muito consumido no agrossistema da cana, por isso alguns produtores usam a rotação de cultura com o cultivo de leguminosas para suprir a necessidade dessa substância. No entanto, alguns produtores usam fertilizantes nitrogenados que não são totalmente absorvidos pelas plantas. Esse restante fica incorporado no solo agindo como um potencial poluidor de águas superficiais e subterrâneas (MELLO, 1997).

O controle de pragas, doenças e ervas invasoras através de agrotóxicos leva à eliminação não só dos organismos indesejáveis para a cultura, mas também aos inimigos naturais, o que acentua o caráter simplificador da monocultura. Os agrotóxicos podem ser divididos em herbicidas e inseticidas.

Os inseticidas são tóxicos por contato ou ingestão, provocando o envenenamento rápido dos insetos atingidos. Há diversos tipos de inseticidas, alguns deles chamados sistêmicos, que passam para a seiva da planta, tornando-a tóxica para os artrópodes que dela se alimentam. Praticamente insolúveis em água, são compostos estáveis e podem demorar anos para serem decompostos. Por isso apresentam a capacidade de bioacumulação nas cadeias tróficas (BOLOGNINI, 1996). O fato de apenas uma planta estar sendo cultivada propicia condições favoráveis a insetos nematóides e fungos, que encontram alimento, facilidade de propagação e inexistência de predadores (MELLO, 1997).

Os herbicidas são usados, principalmente, para destruir plantas invasoras. São compostos que quando aplicados às plantas, reagem na sua morfologia ou interferem nos seus sistemas bioquímicos, promovendo efeitos negativos morfológicos ou fisiológicos, como a inibição da fotossíntese ou do crescimento da planta (BOLOGNINI, 1996). As plantas invasoras competem por recursos de solo e fertilizantes, pela água e pela luz, promovendo menor desenvolvimento da cana e conseqüentemente menor produtividade (MELLO, 1997).

O uso exacerbado de agrotóxicos pode contaminar o solo e seus resíduos permanecer no local de 12 a 15 meses, dependendo da dose utilizada, das características do solo e do clima local (OMETTO & SOUZA, 2001). Além do solo, os agrotóxicos podem contaminar as águas subterrâneas e superficiais. As principais causas estão relacionadas com o escoamento pluvial dos terrenos de cultura e com a manipulação inadequada de produtos agrotóxicos pelos agricultores, seja pelo abandono de embalagens do produto ou pela lavagem dos equipamentos

utilizados para a pulverização. Além da água e do solo, esses produtos contaminam animais, alimentos e, conseqüentemente, o homem. Muitas substâncias usadas na agricultura têm efeito carcinogênico, mutagênico e teratogênico (GONÇALVES, 2005).

A utilização em grande escala e de maneira intensiva de agroquímicos e agrotóxicos pode ser considerada uma grave fonte de poluição, induzindo lentamente ao desequilíbrio ecológico. Por isso é necessária muita atenção e avaliações cuidadosas no uso dessas substâncias tóxicas e nos impactos que elas causam ao meio ambiente. No entanto, alguns autores relatam que o uso de pesticidas e herbicidas na plantação da cana é relativamente baixo, em função dos programas de controle biológico do principal predador da cana, que é a broca (MACEDO, 2002; LEME, 2005). O uso de fertilizantes minerais é pequeno quando comparado a outras culturas como a soja, e o melhor gerenciamento da reciclagem de resíduos praticada hoje em dia (torta de filtro, vinhoto e palha) pode levar ainda a uma substancial redução (PIACENTE, 2004).

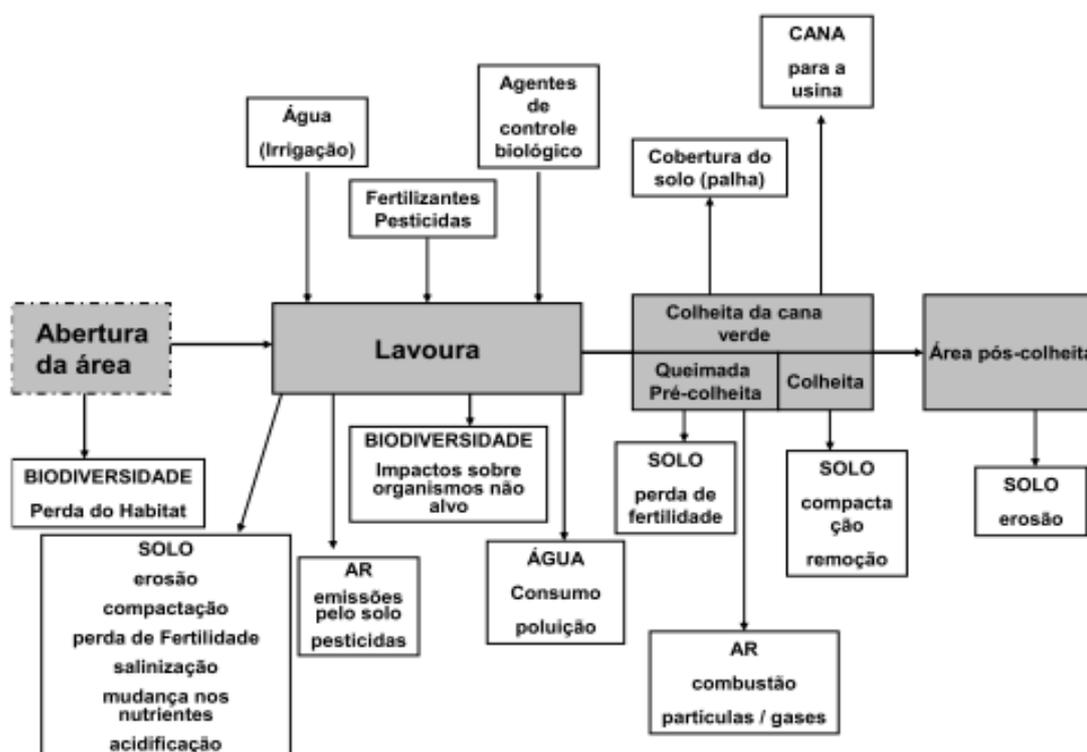


Figura 5.1. Fontes de impactos ambientais relativos ao cultivo da cana-de-açúcar.
Fonte: WWF - BRASIL (2008 b).

5.2. Impactos gerados no processamento (fase industrial)

A fase industrial é aquela relacionada à fabricação do álcool. Começa com a entrada da cana na usina e, para chegar ao produto final, provoca diversos impactos ambientais como os citados a seguir:

- Geração e disposição de resíduos potencialmente poluidores, como a vinhaça e a torta de filtro;
- Utilização intensiva de água para o processamento industrial da cana-de-açúcar;
- Forte odor gerado na fase de fermentação e destilação do caldo para a produção de álcool (PIACENTE, 2005), além do odor gerado no armazenamento da vinhaça em grandes tanques (OMETTO, 2000).
- Emissão de poluentes atmosféricos na geração de vapor e de energia elétrica na queima do bagaço nas caldeiras.
- Poluição hídrica;

As destilarias também são fontes de emissões atmosféricas. A queima do bagaço da cana e do óleo combustível em caldeiras emite material particulado que deve ser controlado por filtros de óxidos de nitrogênio (NO_x), que pode ser controlado pela manutenção e regulagem adequada das caldeiras ou, nos casos mais críticos, por filtros de lavagem de gases (COELHO, 2005; RODRIGUES & ORTIZ, 2006), além dos gases CH_4 , CO , N_2O e SO_2 (LEME, 2005).

A atividade industrial de cana é a fonte de maior poluição hídrica da bacia do Piracicaba, sendo responsável por 83% do total da carga orgânica gerada pelo setor industrial em 1991, equivalente à carga produzida diariamente por uma população de 23,7 milhões de habitantes (OMETTO & SOUZA, 2001).

5.2.1. Principais resíduos do processamento e suas possíveis disposições

A Figura 5.2 ilustra um fluxograma do ciclo de produção do álcool e os principais resíduos de cada fase.

- Bagaço:

É um dos principais subprodutos devido ao seu reaproveitamento energético. O bagaço é queimado em caldeiras na própria usina e convertido em vapor e em energia elétrica pelo processo chamado cogeração. Conforme Cortez & Magalhães (1992) e UNICA (2008), a quantidade de 1 tonelada de cana moída gera aproximadamente 250 kg de bagaço. A queima desse produto é mais limpa e gera menos impacto ambiental do que a queima de combustíveis fósseis, pois praticamente não libera compostos com bases de enxofre (SO_2 ou SO_3). Além disso, sua queima é lenta com uma baixa temperatura de chama, proporcionando pouca formação de óxido nitroso (PIACENTE, 2005). No entanto, essa atividade também contribui para as emissões dos gases de efeito estufa, além de material particulado e óxido de nitrogênio (RIBEIRO, 1997). O armazenamento do bagaço, quando feito ao ar livre, libera particulados que também poluem a atmosfera, além de favorecer a fermentação, o apodrecimento e a perda de seu valor como combustível. Para evitar estas perdas, o ideal é armazená-lo em um galpão (PAOLIELLO, 2006).

A queima do bagaço gera o vapor que move as turbinas e essa energia produzida, principalmente em grandes usinas, é superior à consumida, sendo que cerca de 30% do excedente é vendido (UNICA, 2008). A geração de eletricidade a partir do bagaço da cana vem se mostrando viável e, por isso, são necessários investimentos para tornar essa tecnologia comercialmente competitiva, otimizando o parque industrial e maximizando o aproveitamento do bagaço, não só das grandes usinas, mas também das médias e pequenas (PAOLIELLO, 2006). As maiores usinas já têm potencial para gerar 1.800 megawatts médios em excedentes de eletricidade, equivalente a 3% do total necessário para abastecer o Brasil. Para os representantes da UNICA, com a intensificação do uso do bagaço para esse fim, estima-se o setor pode atingir até 15.000 megawatts médios até 2020, que seria suficiente para fornecer até 15% das necessidades do país (JANK, 2008 b).

Segundo Mattos (2002) e Leme (2005), o bagaço vem se tornando cada vez mais caro como combustível para as caldeiras, devido à expansão do seu uso como matéria-prima para a fabricação de papel, papelão, conglomerados, ração de gado, entre outros.

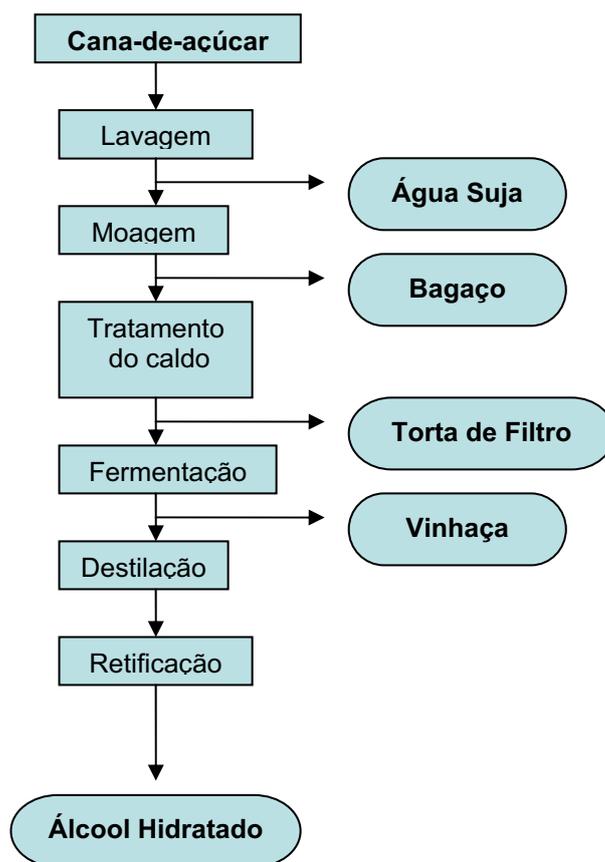


Figura 5.2. Fluxograma do processo industrial do álcool etílico hidratado. Fonte: Adaptado de OMETTO (2005) e PRADO (2007).

- Torta de filtro:

É um resíduo composto da mistura de bagaço moído e lodo da decantação. É um subproduto quase todo orgânico, rico em cálcio, nitrogênio e potássio, com diferentes composições, dependendo da variedade da cana e da sua maturação. Para cada tonelada de cana moída são produzidos de 30 a 40 kg de torta. A aplicação do produto é testada de diferentes formas nas unidades de produção (canaviais), desde a aplicação da área total até nos sulcos de plantio (CORTEZ & MAGALHÃES, 1992). Porém, a prática de aplicação da torta de filtro e a sua estocagem devem ser severamente controladas, pois esse produto possui elevada DBO, fonte potencialmente poluidora e causadora de danos ambientais graves, como a contaminação de cursos d'água e do solo (PIACENTE, 2005). Eventualmente, a torta pode ser aproveitada para a extração de cera como combustível e na alimentação de animais (PAOLIELLO, 2006).

Ramalho (2001) aponta um aumento na concentração dos teores de metais pesados (Cd, Pb, Co, Cr, Cu e Ni) em solos que tradicionalmente recebem tratamentos culturais a base de torta de filtro. Isso possibilita a contaminação do lençol freático, uma vez que esses metais encontram-se como fração residual e, portanto, não são absorvidos pelas plantas. O autor recomenda a utilização de rodízio, evitando a concentração desse resíduo durante safras seguidas na mesma área e reforça a necessidade de monitoramento nas áreas de aplicação de torta de filtro a fim de controlar e evitar o crescimento de níveis tóxicos de metais pesados no solo.

- Vinhaça:

É um efluente altamente poluidor e apresenta grande volume de geração (1 litro de álcool produz de 10 a 15 litros de vinhaça), o que dificulta seu transporte e eliminação. É um resíduo ácido resultante da destilação e fermentação da cana na fabricação de álcool e do açúcar. Em geral, a vinhaça é rica em matéria orgânica e em nutrientes minerais como o potássio, cálcio, magnésio e enxofre, e possui pH variando entre 3,7 e 5,0 (LUDOVICE, 1996; PIACENTE, 2005). Uma aparente solução para o descarte racional da vinhaça é a fertirrigação, ou seja, a utilização desse produto *in natura* em áreas de plantio de cana (PIACENTE, 2005). A fertirrigação esbarra, porém, em algumas dificuldades práticas, como o elevado volume da vinhaça e as suas características corrosivas, que dificultam seu transporte (CRUZ, 1991), além do odor que provoca seu armazenamento (SILVA, 2000).

Nos primeiros anos do Proálcool, a vinhaça era despejada *in natura* em corpos hídricos, tornando-os impróprios para a utilização humana e provocando a morte da fauna e flora aquática, devido às altas taxas de DBO e DQO e às altas temperaturas do efluente. Esse tipo de resíduo também pode aumentar a população de insetos transmissores de doenças endêmicas, como a malária (CRUZ, 1991; PRADO, 2007). Porém, com o aumento do controle ambiental, o lançamento direto ou indireto da vinhaça em qualquer corpo hídrico foi proibido. Foi desse modo que a fertirrigação foi intensificada. Além de ser uma solução para a eliminação rápida de grandes quantidades de vinhaça, também requer pouco investimento, baixo custo de manutenção, tecnologia pouco complexa e redução nos custos com fertilizantes (CORTEZ & MAGALHÃES, 1992).

Estudos indicam a ação benéfica dessa prática em relação à recomposição de algumas propriedades químicas do solo, pois favorece o desenvolvimento de microorganismos que atuam sobre os diversos processos biológicos, tais como mineralização, nitrificação, desnitrificação e fixação biológica. A fertirrigação também facilita, de maneira indireta, a

estruturção do solo devido à ação dos microorganismos na aglutinação das partículas (DUARTE, 2003). Para Bolognini (1996), o uso da vinhaça como fertilizante aumenta a produtividade agrícola por hectare, pois melhora a fertilidade do solo, eleva o pH, aumenta a disponibilidade de nutrientes, atua como material cimentante (que beneficia a reestruturação do solo e a capacidade de retenção da água) e ainda possibilita o desenvolvimento da microflora e microfauna. Porém, Szmrecsányi (1994) assevera que essa prática não pode ser excessiva ou indiscriminada, uma vez que seu potencial poluidor compromete o meio ambiente, desde as características físicas e químicas do solo, até as águas subterrâneas a partir da sua percolação. Segundo Hassuda (1989)¹⁵ apud Piacente (2005), a infiltração da vinhaça na água subterrânea compromete sua potabilidade, pois transfere para o lençol freático altas concentrações de magnésio, alumínio, ferro, manganês, cloreto, matéria orgânica e, principalmente, amônia. Por isso, o uso da fertirrigação só deve ser feita após uma avaliação cuidadosa das condições do solo (tipo e topografia), visando também, a conservação deste e das águas subterrâneas. Em um estudo de caso realizado por Santos (2000) em uma usina no Estado de São Paulo, observou-se que 36,5% da área analisada apresentavam dosagens de vinhaça acima do permitido pela CETESB, comprovando assim o uso incorreto do produto.

A vinhaça, atualmente, tem tido outra função na indústria canavieira. Segundo Paoliello (2006), há um grande potencial de produção de energia elétrica a partir da queima de biogás gerado no processo de biodigestão anaeróbica. Granato (2003) relata que a viabilidade técnica da digestão anaeróbica vem sendo provada por vários estudos, sendo considerada uma “tecnologia limpa”. O biogás produzido pode substituir o óleo diesel nos caminhões responsáveis pelo transporte da cana e abastecer os carros de serviço usados pelas usinas (ROSILLO-CALLE *et al.*, 2005).

- Palha da cana:

Atualmente, a palha ou palhiço, é quase totalmente queimada antes da colheita. No entanto, existe um balanço energético negativo decorrente dessa queima, já que, segundo Zancul (1998), a perda energética é bastante significativa, sendo que 1 hectare de palhiço equivale a um potencial energético de 29 barris de petróleo ou 9.600 litros de álcool.

¹⁵ HASSUDA, S. **Impactos da infiltração da vinhaça de cana no Aquífero Bauru**. Dissertação de Mestrado - Instituto de Geociência, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

Somente nas usinas que colhem cana crua é que a palha começa a ser usada para a geração de energia nas caldeiras. Esse subproduto gera muito mais calor que o bagaço, mas ainda existem limitações para seu uso (WWF-BRASIL, 2008 b). A queima da palha nas caldeiras contribui para a redução das emissões de óxidos de nitrogênio e material particulado (LEME, 2005), além de reduzir o uso de fertilizantes à base de nitrogênio e contribuir para a sustentabilidade financeira da indústria canavieira (ROSILLO-CALLE *et al.*, 2005).

Quando a cana é colhida crua, a palha é deixada na lavoura onde se acumula como matéria orgânica, o que favorece o estabelecimento de uma comunidade biológica que atuará na decomposição, permitindo o reaproveitamento dos nutrientes (CAMPOS, 2003). A palha no solo melhora suas características agronômicas, mas ainda não se sabe qual a quantidade certa e nem seu efeito em longo prazo (GALDOS, 2007), pois tanto a remoção excessiva quanto a quantidade insuficiente podem causar impactos no solo, na água e no crescimento da cana. As melhorias agronômicas seriam a manutenção da umidade do solo (que possibilita um melhor desenvolvimento radicular da planta), controle de ervas daninhas (que diminui o uso de herbicidas) proteção do solo contra a chuva e o vento controlando a erosão, diminuição da insolação sobre o solo descoberto, aumento da quantidade de matéria orgânica no solo, redução da população de nematóides (MATTOS, 2002; GONÇALVES, 2005).

5.2.2. Utilização intensiva de água no processo de lavagem

As atividades dos processos industriais do álcool são as maiores consumidoras de água, principalmente, na lavagem da cana. Após o corte, a cana é submetida à lavagem para a eliminação das impurezas minerais aderidas. Essa água residual possui alto potencial poluidor; assim, a indústria deve ter sistemas de tratamento de água prévios que possibilitem que grande parte da água consumida seja reciclada na própria usina (BARROCAS, 2001; PRADO, 2007). A quantidade de água usada para cada tonelada de cana processada é de 5.000 a 10.000 litros (PAOLIELLO, 2006), sendo recomendável a utilização de 6.000 litros de água por tonelada de cana processada (UNICA, 2008).

Dependendo do sistema de lavagem de cada usina, o grande volume de água produzida pode conter altos níveis de DBO, principalmente devido ao arraste de sacarose exsudada pela cana durante a queimada (BOLOGNINI, 1996). Com a colheita da cana crua, a lavagem é dispensada, representando ganhos para as usinas, já que soluciona o problema do tratamento de água.

5.2.3. Discussões (fase agrícola e industrial) e algumas medidas minimizadoras

O modelo de produção do setor sucroalcooleiro baseia-se no latifúndio monocultor, com utilização intensiva de agrotóxicos, queimadas, recursos hídricos, entre outros. Esse tipo de atividade degrada muito o meio ambiente, provocando a contaminação dos solos e das águas, poluição do ar, efeito estufa, chuvas ácidas, diminuição da biodiversidade, entre outros. Nos parágrafos a seguir, estão citadas as principais etapas dos ciclos agrícola e industrial, seus principais impactos e algumas medidas mitigadoras sugeridas por Prado (2007).

O preparo do solo, o plantio e os tratos culturais apresentam maior potencial de impacto pela desestruturação, compactação e contaminação do solo, poluição e eutrofização das águas. O manejo do solo deve contemplar práticas agrícolas que minimizem perdas de solo e a erosão e, particularmente neste ponto, destaca-se a importância de reconstituição das áreas de preservação permanente, especialmente as matas ciliares. Para a redução desses impactos deve-se ter um plano de monitoramento e controle das emissões utilizando maquinários regulados, além de um plano de controle do uso racional de agrotóxicos e monitoramento da qualidade da água e do solo.

A atividade de queima pré-colheita da cana apresenta maior potencial de impacto para o consumo de recursos renováveis, aquecimento global, formação fotoquímica de ozônio, acidificação do solo e toxicidade humana. Os efeitos adversos à saúde humana dependem do nível de exposição às emissões, podendo ser mortalidade por ataque cardíaco, doenças cardio-pulmonares, bronquite crônica, tosse, efeitos pronunciados em crianças e redução na produtividade. Além desses impactos, a queimada atua negativamente sobre a fauna local. Para minimizar esse impacto é necessário realizá-la de forma unidirecional e no sentido das áreas florestadas, visando a fuga dos animais para as mesmas. A queimada é uma das principais causas de impactos ambientais no setor canavieiro e sua regulamentação representa um avanço na relação produção agrícola e meio ambiente.

A produção industrial do álcool etílico hidratado combustível apresenta alto consumo de energia (térmica e elétrica) e alto consumo de água para a lavagem da cana. Para que isso diminua, deve-se racionalizar o uso da água mantendo-a em um circuito fechado, além de controlar o uso de resíduos como a vinhaça e o bagaço.

A geração de vapor e energia elétrica é realizada pela queima do bagaço da cana em caldeiras. Consome alta quantidade de recursos, mas produz energia excedente ao processo. Tem alto potencial de toxicidade devido aos gases provenientes da queima do bagaço da cana.

Para minimizar esses impactos, pode-se lavar os gases provenientes da caldeira diminuindo as emissões atmosféricas, construir um sistema de decantação em piscinas de lavagem de cinza e aplicar uma boa gestão de controle de risco dos resíduos sólidos.

Quanto ao principal subproduto da produção de etanol, a vinhaça, os processos de biodigestão e fertirrigação não eliminam o problema da grande quantidade gerada durante a produção de álcool. Esse subproduto é um fertilizante limitado ao tipo e à necessidade do solo e quando usado de modo incorreto pode contaminá-lo. Por isso, novos usos e destinações são necessários.

A reutilização dos subprodutos gerados na fase industrial da produção de etanol, deixando de ser resíduos para serem insumos (bagaço como combustível e vinhaça e torta de filtro como fertilizantes) tem diminuído drasticamente a poluição provocada pelas usinas. Mesmo assim, ainda é necessária uma fiscalização para que esses produtos sejam usados corretamente, além da realização de estudos em que sejam apresentadas novas alternativas para o melhor aproveitamento.

5.3. Impactos ambientais no transporte e distribuição

Depois que a cana é colhida há, normalmente, uma etapa de transbordo em que a cana é carregada nos caminhões e levada até as usinas. O transbordo evita a entrada dos caminhões no canavial, que compactam o solo, além de otimizar as etapas de colheita e transporte. A cana é transportada para as usinas e destilarias em caminhões a diesel de capacidades diversas, dependendo das condições de tráfego e das distâncias a serem percorridas. Podem ser usados caminhões de 15, 28 ou até 45 toneladas de capacidade de carga, que percorrem distância média de 20 km até as usinas e destilarias (MACEDO, LEAL & SILVA, 2004).

Depois de produzido nas usinas o etanol é transportado para os postos de distribuição ao consumidor também por caminhões a diesel, fase esta onde podem ocorrer graves impactos ambientais decorrentes de acidentes, como o derramamento do produto nas rodovias.

Um aspecto interessante da indústria canavieira é que o seu produto, um biocombustível, é majoritariamente transportado por veículos que utilizam combustíveis fósseis. A emissão de gases tóxicos pela indústria sucroalcooleira, principalmente CO₂, poderia ser reduzida se, ao invés de diesel, fossem usados o etanol produzido ou outro tipo de biocombustíveis como o biodiesel.

5.3.1. Impactos do transporte da cana até as usinas

Os efeitos da compactação do solo já foram citados acima, mas ela também ocorre no transporte da cana às usinas decorrente do uso de caminhões. Outro impacto gerado pelo setor de transporte da indústria canavieira é a sobrecarga nas estradas, uma das principais responsáveis pela deterioração das rodovias. Esse tipo de desgaste gera a necessidade de restauração muito antes do prazo previsto. O excesso de peso deforma a estrutura e causa trincas, comprometendo a qualidade da via (AGRO CARGILL, 2005).

Devido ao intenso tráfego de caminhões articulados (treminhões), pode-se aumentar o número de acidentes nas rodovias. Em conversa com o jornalista Paulo Lyra, em uma entrevista para o Jornal Regional de Ilha Solteira, um motorista confirmou que os treminhões chegam a atingir até mais de 130 km/h nos declives e que devido ao peso da carga às vezes excessivo, “é quase impossível segurar ‘o pesado’ nas descidas” (JORNAL DIÁRIO DE FATO, 2008).

5.3.2. Impactos na distribuição do etanol das usinas aos postos de abastecimento

O transporte rodoviário do etanol, assim como o da gasolina, também tem grande potencial para causar danos ambientais em caso de acidentes. Mais da metade da produção de álcool é transportada por via rodoviária (VIANNA, 2008). O produto vazado pode cair nas canaletas de águas pluviais paralelas às rodovias e atingir os corpos hídricos da região, além de contaminar o solo e a vegetação próxima ao vazamento.

Segundo Jorge Gouveia (com. pess.), gerente do setor de emergência da CETESB/São Paulo, os impactos do vazamento de álcool combustível são menores do que a gasolina. Segundo ele, por ser mais biodegradável, ter maior miscibilidade e evaporar rapidamente, não há muitas ações indicadas quando há um derramamento de álcool. O maior problema é quando o produto atinge os corpos d'água para abastecimento humano. Quanto à contaminação do solo, diferentemente da gasolina, não se remove o local contaminado, já que o álcool é menos tóxico e evapora muito rápido.

5.3.3. Impacto de vazamentos de álcool em postos de combustíveis

Alguns acidentes de derramamento de álcool em postos de abastecimento já foram registrados pela CETESB. O álcool é mais corrosivo e pode perfurar o tanque de armazenamento em um intervalo de tempo muito menor do que a gasolina (TROVÃO, 2006). Há também a possibilidade de ocorrer vazamentos no descarregamento do produto dos caminhões para os tanques de armazenamento ou no abastecimento do automóvel. No entanto, em razão de suas características físicas e químicas como a miscibilidade total em água, alta degradabilidade e volatilidade, é um produto de difícil percepção pela população do entorno (GOUVEIA, 2004). O vazamento de álcool, normalmente, só é detectado quando associado a um vazamento de gasolina ou diesel.

Quanto aos impactos ambientais, o produto fica retido no solo, mas não se distancia muito do local próximo ao vazamento. Por isso, é mais difícil atingir as águas subterrâneas e, mesmo se atingir, não será percebido (GOUVEIA com. pess., 2008). Durante o levantamento da bibliografia para elaboração do presente trabalho, não foram encontrados estudos que detalhem os prejuízos ambientais do álcool combustível sobre a qualidade da água e sobre a biota atingida.

5.4. Impactos do consumo final

5.4.1. Impacto do uso do álcool combustível

Na fase do consumo do combustível, dados demonstrados pela CETESB (1997) demonstram que o uso do etanol (puro ou como mistura) em grandes centros urbanos tem melhorado consideravelmente a qualidade do ar (Tabela 5.4). Isso ocorre devido à eliminação dos compostos de chumbo e do enxofre na gasolina, das reduções nas emissões de CO e da menor reatividade e toxicidade de compostos orgânicos emitidos (MACEDO, 2005; UNICA, 2008).

Tabela 5.4. Variações relativas na emissão de poluentes por veículos, em função da porcentagem de álcool anidro na mistura com a gasolina. Fonte: CETESB (1997).

Poluentes	Porcentagem de álcool anidro na mistura			
	22	18	12	0
CO	100	120	150	200-250
HC	100	105	110	140

Grandes quantidades de compostos orgânicos voláteis (COVs) são liberadas na atmosfera por diversas fontes industriais a cada ano. Muitos destes COVs são classificados como poluentes perigosos do ar (HPAs) pela EPA (Agência USEP, 2002), que reconheceu a produção do etanol como uma das principais fontes potenciais de emissões desses compostos. A tecnologia atual para tratar a emissão desses poluentes das empresas que produzem etanol é limitada à oxidação térmica. Essa técnica requer alto consumo de energia e produz grande quantidade de gases estufa, NO_x e CO₂ (PIRNIE-FISCHER *et al.*, 2007)

Existem vantagens e desvantagens ambientais quanto à poluição atmosférica no uso do etanol veicular. Ele tende a emitir de 30 a 50% menos de ozônio quando comparado à gasolina, incluindo reduções significativas em emissões de CO (YACOBUCCI, 2005). Além disso, o etanol tende a ter muito menos teor de compostos tóxicos, como benzeno e tolueno. No entanto, o etanol veicular emite aldeídos, formaldeídos, acetaldeídos (GELLER, 1985) e peroxinitrato, além de também modificar a composição dos combustíveis queimados (CETESB, 1999). De acordo com Machado (1996), a emissão de aldeídos é quatro vezes maior e segundo Ribeiro (1997), a emissão de acetaldeídos é cerca de três vezes maior em veículos a álcool quando comparados aos veículos à gasolina.

Esses compostos liberados na queima do etanol são considerados cancerígenos pela EPA e causam incômodo pelos fortes odores e pelos efeitos na saúde, que muitas vezes passam despercebidos. A emissão de formaldeídos e acetaldeídos pode irritar os tecidos e as membranas da mucosa humana. Todavia, essas emissões podem ser controladas em grande parte através da utilização de catalisadores avançados (YACOBUCCI, 2005; DIAS DE OLIVEIRA *et al.*, 2005).

Hodge (2002, 2003) e Jacobson (2007) concordam que o etanol aumenta os níveis de acetaldeídos, mas discordam quanto à redução da emissão de ozônio. Segundo eles, o etanol norte-americano, produzido a partir do milho, não está à altura das expectativas ambientais, pois aumenta consideravelmente a quantidade de ozônio na atmosfera quando misturado à

gasolina, o que leva a um alto potencial cancerígeno. O ozônio é formado quando compostos orgânicos voláteis (COVs) e óxidos de nitrogênio (NO_x) reagem na atmosfera na presença da luz solar. Quanto maior a formação desses compostos, maior a quantidade de ozônio formada. Para os autores, as pesquisas mostram que os benefícios trazidos pelo etanol são exagerados e que sua produção deveria ser banida, contrariamente ao que se vê atualmente. Jacobson (2007) afirma que a mistura usada nos EUA (E85, 85% de etanol e 18% de gasolina) pode ser um grande risco global para a saúde pública, sendo mais perigoso do que a gasolina.

Outro estudo elaborado pela CETESB (1990)¹⁶ citado por Dias de Oliveira *et al.* (2005), comparou o uso do etanol puro e misturado à gasolina e concluiu que a mistura reduziu os níveis de acetaldéidos, mas aumentou o de NO_x , posteriormente confirmando as evidências citadas por Hogde (2002), de que a quantidade de ozônio tem aumentado com o uso do etanol misturado com a gasolina.

Segundo Macedo (2005), a emissão de aldeídos (R-CHO) acontece na combustão de qualquer combustível automotivo. Porém, os combustíveis fósseis geram uma variedade de aldeídos com elevada toxidez e alta reatividade fotoquímica na atmosfera, como o formaldeído e a acroleína, enquanto que a combustão do etanol gera principalmente o acetaldéido, produto com menor toxidez e impacto ambiental.

Segundo Ribeiro (1997), o aldeído proveniente do álcool pode ser mais ou menos danoso do que a gasolina. Em um engarrafamento dentro de um túnel, por exemplo, as emissões de aldeídos dos motores a álcool são mais perigosas por ser emitido o acetaldéido. Mas em um engarrafamento a céu aberto, as emissões de veículos a gasolina são piores, pois, em contato com outros componentes na atmosfera, forma-se o formaldeído.

O relatório da CETESB (2005) mostra que houve uma redução significativa da emissão de poluentes (Tabela 5.5) emitidos pelos veículos movidos a etanol até 1994. São comparados os níveis médios de emissão de veículos novos movidos com gasolina pura, gasolina C de referência (78% de gasolina e 22% de etanol anidro) e etanol hidratado.

¹⁶ CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Impacto ambiental da mistura combustível etanol-metanol-gasolina. São Paulo (Brazil):** Departamento de Tecnologia de Emissões de Veículos, 1990.

Tabela 5.5. Emissão média de gás de escapamento de veículos novos (g/km). Fonte: CETESB (2005).

Ano modelo	Combustível	CO	HC	NO _x	R-CHO
Pré -1980	Gasolina Pura	54,0	4,7	1,2	0,05
1980-1983	Gas. C	33,0	3,0	1,4	0,05
	A	18,0	1,6	1,0	0,16
1984-1985	Gas. C	28,0	2,4	1,6	0,05
	A	16,9	1,6	1,2	0,18
1986-1987	Gas. C	22,0	2,0	1,9	0,04
	A	16	1,6	1,8	0,11
1988	Gas. C	18,5	1,7	1,8	0,04
	A	13,3	1,6	1,4	0,11
1989	Gas. C	15,2	1,6	1,6	0,04
	A	12,8	1,4	1,1	0,11
1990	Gas. C	13,3	1,3	1,4	0,04
	A	10,5	1,3	1,2	0,11
1991	Gas. C	11,5	1,1	1,3	0,04
	A	8,4	0,6	1,0	0,11
1992	Gas. C	6,2	0,6	0,6	0,13
	A	3,6	0,6	0,5	0,035
1993	Gas. C	6,3	0,6	0,8	0,022
	A	4,2	0,7	0,6	0,04
1994	Gas. C	6,0	0,6	0,7	0,036
	A	4,6	0,7	0,7	0,042

Gas. C (Gasolina C) = 78% gasolina e 22% etanol anidro, em volume.

A = 100% etanol hidratado.

R-CHO = aldeído.

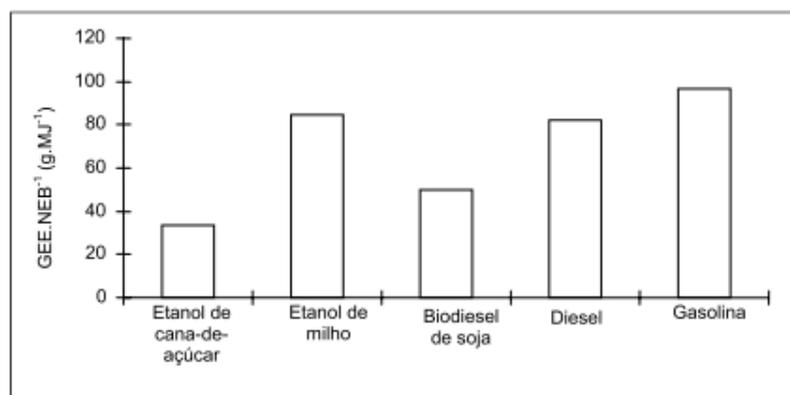
Os veículos flex que utilizam o etanol como combustível apresentam valores menores de emissão média de CO. A emissão de SO_x e de MP é praticamente nula e há uma redução da emissão de CO₂, (Figura 5.1) (MACEDO, 2005).

Segundo Gonçalves (2002), os veículos movidos a álcool têm contribuído para a redução de 75% da emissão de chumbo tetraetila, em 57% a CO e em 64% a de HC na saída dos escapamentos. Para Colombo Filho (2004), na Região Metropolitana de São Paulo os veículos movidos à gasolina são responsáveis pela emissão anual de 790,2 mil ton de CO, 84,2 ton de HCs e 51,8 mil ton de NO_x. Já os veículos a álcool, respondem por 211,5 mil ton de CO, 22,9 mil ton de HCs e 12,6 mil ton de NO_x.

Pelos dados acima e pela comparação feita pela Cetesb (1997) (Tabela 5.6), acredita-se que o etanol tenha contribuído significativamente para a redução da poluição nas áreas urbanas no Brasil.

Tabela 5.6. Comparação das emissões de veículos leves no Brasil. Fonte: CETESB, 1997.

Tipo de combustível	Emissões (g/km)				
	CO	HC	NO _x	SO _x	Particulados
Gasolina (com 22% de etanol)	19,9	1,7	1,1	0,16	0,08
Álcool	16,3	1,9	1,2	-	-
Diesel	17,8	2,9	13,0	1,13	0,81

**Figura 5.1.** Emissões de gases-estufa (eq. a CO₂ g MJ⁻¹) por biocombustíveis comparados com a gasolina e o diesel. Fonte: ANDREOLI & SOUZA (2007).

5.4.2. Discussões

O uso de etanol a partir da cana, além da boa relação custo/benefício dos pontos de vista energético e econômico, é também mais competitivo ambientalmente, pois pode trazer benefícios importantes na redução da poluição em centros urbanos, eliminação de compostos de chumbo na gasolina, redução das emissões de enxofre, material particulado e CO, diminuindo assim algumas doenças respiratórias e o efeito estufa. Sob esse ponto de vista, são amplamente reconhecidas as vantagens do álcool, seja quando empregado isoladamente sob a forma de álcool hidratado, seja quando misturado à gasolina sob forma de álcool anidro. Além disso, não se deve considerar apenas a etapa do consumo final para concluir que o etanol é a melhor saída para a substituição dos combustíveis fósseis, pois o ciclo de vida do etanol combustível só se tornará ambientalmente correto se houver a eliminação da queimada da palha da cana, redução do uso de agrotóxicos e de combustíveis fósseis nos equipamentos e no transporte da cana e dos trabalhadores.

5.5. Emissões Atmosféricas do ciclo do etanol

Na indústria canavieira, a emissão de CO₂, CO, HCs e NO_x ocorrem pela utilização de diesel nas máquinas agrícolas, caminhões e ônibus, na queima da cana e seus subprodutos, na geração de energia e no consumo final do combustível pelo veículos (Tabela 5.7). De todos os gases emitidos pela queima de combustíveis, o CO₂ é o mais importante, pois intensifica o efeito estufa, sendo este o principal motivo para essa crescente discussão sobre os combustíveis alternativos.

Tabela 5.7. Porcentagem das maiores emissões atmosféricas do ciclo de vida do álcool considerando o CO₂ da queimada da cana e do uso do bagaço. Fonte: OMETTO (2005).

Substância emitida	%
CO ₂	93,18
CO	5,58
HC	0,86
NO _x	0,26
CH ₄	0,06
Ca	0,02
Mg	0,01
S	0,01
K	0,01

5.5.1. O efeito estufa e a redução da emissão de CO₂

No Brasil, o aumento da emissão de CO₂ ocorre devido às queimadas de resíduos agrícolas, ao desmatamento da Amazônia e à queima de combustíveis fósseis. Deve-se levar em consideração que as eficiências dos gases em provocar o efeito estufa são diferentes. Por exemplo, uma molécula de CH₄ é 32 vezes mais efetiva na retenção da radiação de onda longa (radiação térmica) do que o CO₂, já o NO₂ é 150 vezes mais efetivo (BOWDEN *et al.*, 1990¹⁷ apud CAMPOS, 2003). Segundo Macedo *et al.* (2004) o potencial intensificador do efeito

¹⁷ BOWDEN, R. D.; STEUDLER, P. A.; MELILLO, J. M. Annual nitrous oxide fluxes from temperate forest soil in the northeastern United States. **Journal of Geophysical Research**, v.95, p. 13997-14005, 1990.

estufa do NO_2 é 296 vezes maior do que o do CO.

Nesse sentido, os participantes da ECO-92 decidiram prevenir os riscos do efeito estufa, preocupando-se com as possíveis alterações climáticas conseqüentes. Dessa decisão, no Japão, elaborou-se em 1997 o Protocolo de Quioto, que estabeleceu metas de redução e estabilização das emissões dos gases estufa. Estudos comprovam que o teor atmosférico de CO_2 passou de 280 ppm, antes da Revolução Industrial, para 340 ppm em 1980. Nesse ritmo, estima-se que na década de 2030 venha-se a atingir a marca de 560 ppm (LA ROVERE, 2007). Segundo Rosillo-Calle *et al.* (2005), a redução dos níveis de emissões consideradas pelo Protocolo de Quioto pode não ser suficiente para eliminar o risco de danos causados pela mudança climática. Para que os níveis atuais sejam reduzidos deveria haver uma queda de 50 a 60% em todo o mundo.

Quando se fala em gases provenientes da atividade agrícola açucareira, ainda existe muita incerteza nas estimativas das emissões. Isso se deve a vários fatores, um deles é o potencial de absorção desses gases nos agrossistemas (LIMA *et al.*, 1999). Além disso, cada autor descreve o balanço de carbono de uma maneira diferente, abordando ou não alguns aspectos.

Para Ribeiro (1997), na avaliação da emissão líquida de CO_2 deve-se incluir toda a agroindústria, considerando a parcela de combustíveis fósseis utilizados na agricultura e na indústria. Do ponto de vista do ciclo de vida do etanol, Macedo, Leal & Silva (2004) afirmam que o consumo de óleo diesel representa cerca de 32% de toda a energia consumida. Na agricultura, essas emissões ocorrem devido ao uso de fertilizantes e pesticidas, além das queimadas e da geração de energia elétrica na indústria (principalmente quando não se utiliza o bagaço da cana), para a queima do bagaço e para o funcionamento das máquinas e do sistema de transporte que abastece as usinas.

Na produção, processamento e utilização do etanol são lançados outros importantes gases estufa, como o CH_4 advindo da queimada da cana e do uso de fertilizantes. Outros gases como CO e HCs também são liberados, mas segundo Macedo (1998) eles também são reabsorvidos pelo ciclo da cana em seu crescimento.

No setor sucroalcooleiro, a redução da emissão de CO_2 está relacionada não só à substituição da gasolina pelo álcool combustível, como também com o uso do bagaço gerado na produção como fonte de energia. Nesse sentido, Macedo (1998) analisou o balanço das emissões de CO_2 gerado nesses dois casos. Numa primeira análise, o autor comparou somente a substituição da gasolina pelo álcool, tanto anidro como hidratado e observou uma redução de

9,13 x 10⁶ ton/ano de carbono, que corresponde a 32,931 x 10⁶ ton/ano de CO₂ (Tabela 5.8).

Tabela 5.8. Redução da emissão de CO₂ pela utilização do etanol. Fonte: MACEDO (1998).

Tipos de álcool	Produção, 1996 (10 ⁶ m ³ /ano)	Gasolina substituída (10 ⁶ m ³ /ano)	Redução da emissão de C (10 ⁶ m ³ /ano)
Etanol anidro	4,27	4,44	3,37
Etanol hidratado	9,47	7,58	5,76
Total	13,74		9,13

Na segunda análise, além da substituição da gasolina pelo álcool, o autor considerou outros parâmetros, como o aumento de combustíveis e insumos de origem fóssil utilizado na produção agrícola e industrial, as emissões de outros gases poluentes (CH₄ e N₂O) e a substituição do óleo combustível pelo bagaço da cana. Com isso, observou-se uma redução de 12,74 x 10⁶ ton/ano de carbono, o equivalente a 46,7931 x 10⁶ ton/ano de CO₂, o que significa que a atividade da cana-de-açúcar no Brasil foi responsável pela fixação anual de 12,74 Mt de carbono (ROSILLO-CALLE *et al.*, 2005) (Tabela 5.9).

Tabela 5.9. Balanço das emissões líquidas de CO₂ devido a produção de cana-de-açúcar e utilização do etanol no ano de 1996, no Brasil. Fonte: MACEDO (1998).

Atividades	Balanço: 10 ⁶ t/C (equiv.)/ano
Uso de combustível fóssil na agroindústria	+1,28
Emissão de metano (queimada da cana)	+0,06
Emissão de N ₂ O	+0,24
Substituição da gasolina pelo etanol	-9,13
Substituição do óleo combustível pelo bagaço da cana (indústria de alimentos e química)	-5,20
Contribuição líquida	-12,74

No ano de 1996, essa relação saída/entrada de energia (renovável/fóssil) é de aproximadamente 20% de toda emissão de CO₂ advinda de combustíveis fósseis no Brasil, ou seja, o país deixou de emitir 20% de CO₂ usando o etanol como combustível alternativo à gasolina (MACEDO, 1998; FIGUEIRA, 2005).

De acordo com a UNICA (2008), a produção do etanol é responsável, no Brasil, pelo seqüestro de 25% das emissões totais de CO₂. Para Sheehan *et al.* (2004), a redução da emissão de CO₂ pode chegar a 106% por km quando usado o etanol de milho no lugar da gasolina.

Um recente relatório da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) – “Avaliação Econômica das Políticas de Apoio aos Biocombustíveis”, publicado em 16/07/2008 em Paris, afirma que o etanol brasileiro tem menores custos de produção e permite a redução de até 90% das emissões de gases estufa, sendo que os biocombustíveis produzidos a partir do milho, nos Estados Unidos, reduzem entre 20 e 50% essas emissões. Todavia, o estudo conclui que apesar de reduzir as emissões de CO₂, as políticas públicas de promoção de biocombustíveis têm um impacto limitado, pois se o EUA, Canadá e União Européia mantiverem inalteradas suas políticas atuais, a redução dos gases será de somente 0,5 a 0,8% das emissões do setor de transporte em 2015. O relatório ainda enfatiza que a viabilidade dos biocombustíveis só é possível devido aos subsídios dados à sua produção. Os subsídios atribuídos fazem com que cada tonelada de carbono evitada pelos biocombustíveis custe entre 600 € e 1070 €. Para melhorar a eficiência econômica, ambiental e social, a OECD recomenda a eliminação de barreiras alfandegárias sobre o produto e sobre a matéria-prima utilizada para sua produção e reforços para pesquisas tecnológicas (FERNANDES, 2007 a; FERNANDES, 2008 b)

Macedo *et al.* (2004) novamente avaliaram os fluxos de energia. Para isso foram considerados dois cenários para a produção de 2002: Cenário 1 - baseado nas médias de consumo de energia, nos insumos e nos investimentos; e o Cenário 2 - baseado nos melhores valores praticados (valores mínimos de consumo, com o uso da melhor tecnologia existente e praticada na região). Para os autores, o Cenário 1 é mais representativo na situação atual. Os resultados obtidos tendo como referência o consumo de cerca de 12 milhões de m³ por ano de etanol, sendo aproximadamente a metade em anidro, levam à conclusão que o etanol é responsável pela redução de cerca de 25,8 milhões ton CO₂ eq. ou 7 milhões ton de carbono equivalente por ano. A tabela 5.10 mostra que o valor líquido das emissões de CO₂ evitadas no ciclo de vida do etanol é de 220,5 kg CO₂ eq./TC (tonelada de cana-de-açúcar) para o etanol anidro e 147,4 kg CO₂ eq./TC para o etanol hidratado. Esse valor é referente à subtração do total de emissões evitadas pelas emissões realmente lançadas na atmosfera. Esse total, no ciclo de vida do etanol, é 34,5 kg CO₂ eq./TC, sendo recompensada pelos 12,5 kg CO₂ eq./TC evitados pelo uso do bagaço excedente e pelos 242,5 kg CO₂ eq./TC (etanol anidro) e 169,4 kg CO₂ eq./TC (etanol hidratado) das emissões totais da gasolina substituída pelo etanol (Tabela 5.10).

Tabela 5.10. Emissão no ciclo de vida do etanol. Fonte: MACEDO *et al.*. (2004).

Emissões no ciclo de vida do etanol		
(kg CO ₂ eq./TC)		
Emissões	Cenário 1 (média)	Cenário 2 (melhores valores)
Combustíveis fósseis	19,2	17,7
CH ₄ e N ₂ O, queima da palha	9,0	9,0
N ₂ O do solo	6,3	6,3
Total de emissões	34,5	33,0
Emissões evitadas		
Uso do bagaço excedente	12,5	23,3
Uso do etanol	242,5 (A); 169,4 (H)	259 (A); 180,8 (H)
Total das emissões evitadas	255,0 (A); 181,9 (H)	282,3 (A); 204,2 (H)
Emissões evitadas (valor líquido)	220,5 (A); 147,4 (H)	249,3 (A); 171,1 (H)

(A): etanol anidro

(H): etanol hidratado

Outro fator que influencia o balanço das emissões de CO₂ é a queimada da cana-de-açúcar, já citada. Os cálculos acima não contam com esse tipo de emissão, pois o CO₂ emitido é, por premissa, reabsorvido pelo crescimento da planta. Sem a queima, o cultivo da cana representaria um grande potencial mitigador das emissões de gases formadores do efeito estufa, pois o carbono que seria eliminado com a queimada ficaria retido na palha e no solo (CAMPOS, 2003).

Segundo Nogueira, em uma entrevista para a Revista Veja (2008), o balanço da emissão de carbono não é positivo, mas emite para a atmosfera apenas 309 kg de CO₂. Já para fornecer a mesma quantidade de energia, o ciclo de produção e uso da gasolina liberam 3.368 kg de CO₂. Há uma diferença de 3.059 kg de CO₂ a mais lançado na atmosfera. A tabela 15 mostra esse balanço para 1000 litros de etanol produzidos (FRANÇA, 2008) (Tabela 5.11).

Tabela 5.11. Balanço de CO₂ para a produção de 1000 litros de etanol. Fonte:

Luiz Augusto Horta Nogueira (FRANÇA, 2008)

Ciclo do etanol	kg CO₂/1000L
Produção da cana - uso de combustíveis fósseis (maquinário e adubos)	- 173
Crescimento da cana	+ 7.464
Colheita (queima do canavial) e transporte	- 2.940
Fabricação do álcool (insumos e queima do bagaço)	- 3.140
Motor dos carros	- 1.520
Total	- 309 Kg de CO₂

Cálculos com base nos dados da região Centro-Sul do Brasil

A cana no Brasil, em 1994, foi responsável por cerca de 98% das emissões de gases provenientes da queima de resíduos agrícolas, sendo que houve um aumento de 15% nas emissões estimadas de gases CO, CH₄ e de 14% nas emissões de N₂O, em relação a 1990 (LIMA *et al.*, 1999). Com a adoção da colheita sem a queima prévia, o balanço de carbono se tornará ainda mais positivo (RIBEIRO, 1997).

A previsão para o total de emissões de CO₂ chega a 42,88 bilhões de toneladas em 2030, com crescimento anual médio de 1,8% no período de 2004 a 2030, apresentando projeção de taxa de crescimento igual ao crescimento na demanda de energia (1,8%), representando maior esforço na redução da utilização de fontes fósseis na matriz energética mundial. Para o Brasil, a taxa de crescimento projetada de 2,3% é superior à mundial, sendo o valor previsto para 2030 igual a 597 milhões de toneladas de CO₂ (contra 334 Mt CO₂ em 2004). Mesmo assim, o Brasil ainda continuaria com um indicador favorável em relação ao restante do mundo com 1,39 ton CO₂/tep (toneladas equivalentes de petróleo) em 2030, enquanto a média mundial seria de 2,43 ton CO₂/tep. O conjunto dos países não-OECD emitiria em 2030, uma média de 2,58 ton CO₂/tep. O Brasil deverá chegar em 2030 consumindo 2,4% da energia mundial, mas com apenas 1,4% das emissões totais de CO₂.

O resultado fortemente positivo do balanço de carbono é capaz de explicar o interesse nacional e internacional sobre os biocombustíveis. Além do mais, enquanto na indústria do petróleo se gasta praticamente uma unidade de energia para cada unidade de energia produzida, para o etanol de cana-de-açúcar obtêm-se cerca de 10 unidades de energia para cada unidade de energia fóssil utilizada (RODRIGUES & ORTIZ, 2006).

Outro mercado tem atraído o setor sucroalcooleiro é a comercialização de créditos de carbono. É neste contexto que se insere o chamado MDL (Mecanismo de Desenvolvimento Limpo), que dá base ao mercado de carbono, permitindo que os países desenvolvidos, caso não consigam ou não desejem cumprir suas metas de redução de emissão de gases do efeito estufa, possam comprar dos demais países títulos conhecidos como créditos de carbono (CAVALCANTE, 2008). Na indústria sucroalcooleira, esses créditos podem ser obtidos através da cogeração de energia a partir do bagaço e da palha. A mensuração dos créditos é realizada contabilizando o quanto a usina deixou de emitir ao ter investido em um sistema mais limpo de geração (MELLO, 2002). Segundo o relatório da IEA-Bionergy da UNICAMP, 2,7 kg de CO₂ equivalente são evitados por litro de etanol anidro. Sendo assim, os biocombustíveis poderão representar adicional de renda de US\$ 0,02 a US\$ 0,05 por litro (com créditos na faixa US\$ 7,00 a US\$ 20,00 por tonelada de CO₂ equivalente) (WALTER *et al.*, 2007).

5.5.2. Discussões

Como visto, o balanço das emissões de CO₂ no ciclo de vida do etanol é muito discutido e controverso, pois cada autor apresenta uma abordagem diferente, principalmente relacionada à queimada e à absorção dos gases emitidos por ela pelas plantas na fase de crescimento. Porém, a maioria dos autores frisa que esse balanço é positivo, deixando claro que o uso do etanol ajuda na redução do efeito estufa, além de contribuir para a melhor qualidade atmosférica. No entanto, a simples substituição da gasolina pelo álcool não é suficiente para acabar com os problemas de poluição urbana e das mudanças climáticas.

Com o grande argumento de diminuir as emissões do efeito estufa, a agroindústria da cana tem encontrado um grande mercado nacional e internacional, já que promove uma visão positiva frente ao meio ambiente. No entanto, como já foi discutido, existem outros aspectos que condenam o uso da cana como fonte energética e por isso, devemos ficar atentos a esse tipo de enfoque dado pelas empresas do ramo.

5.6. Impactos sócio-econômicos

O aumento da produção da cana provoca diversos tipos de impactos sócio-econômicos. Um deles é movimento migratório que pode ser de dois tipos: o processo de redução da população que utiliza a agricultura familiar para a subsistência e movimento migratório de trabalhadores na época de plantio e colheita. No primeiro tipo, a população que deixou as terras para a expansão da cana migrará para a periferia das cidades, gerando um grave problema social. O segundo tipo cria um movimento pendular, sendo que após o término da colheita, muitos trabalhadores ficam desempregados (WWF-BRASIL, 2008 b). Uma parcela desses trabalhadores desempregados busca sobreviver no mercado informal dos municípios canavieiros, provocando lotação nos sistemas de assistência e promovendo ocupações desordenadas no espaço urbano (GONÇALVES, 2002).

A cana, ao mesmo tempo em que emprega muitos trabalhadores nas regiões de plantio, reduz a qualidade desses empregos, pois remunera mal seus trabalhadores. Grande parte dos empregados nas atividades agrícolas é considerada “diarista”, um tipo de trabalho caracterizado pela sazonalidade na contratação de serviços em que, normalmente, são demitidos durante a entressafra. Esses trabalhadores não possuem garantia alguma de serviço e muito menos recebem os direitos trabalhistas (GOLÇALVES, 2005). O corte da cana sempre

foi marcado por denúncias de trabalho infantil e escravo e fraudes trabalhistas. Esse trabalho muitas vezes é classificado como penoso e miserável, pois apresenta condições subumanas (GONÇALVES, 2005, RODRIGUES & ORTIZ, 2006).

O diário britânico de negócios *Financial Times*, publicou uma matéria, “Práticas empobrecedoras mancham a indústria brasileira de etanol” (21/05/2008), criticando principalmente as práticas trabalhistas aplicadas na colheita da cana. Como resposta à essa publicação, o presidente da UNICA, Marcos Jank, alegou que os trabalhadores do setor sucroalcooleiro recebem o maior salário médio da agricultura brasileira para trabalho não-mecanizado e que 96% dos trabalhadores têm registro em carteira de trabalho e recebem benefícios sociais e de saúde. Com objetivo de mostrar ser um setor responsável, a UNICA assinou um protocolo com a Federação dos Empregados Rurais Assalariados do Estado de São Paulo (Feraesp) e montou uma área de responsabilidade sócio-ambiental com o apoio do Banco Mundial para auxiliar esses trabalhadores (JANK, 2008 a). Não se sabe até onde essas informações coincidem com a realidade; mas o que se sabe é que a situação desses trabalhadores é dramática. Muitas vezes trabalham sem equipamentos de proteção individual, são expostos à fuligem da queimada da cana e aos agrotóxicos, não recebem condições sanitárias adequadas, além do grande esforço físico e das altas temperaturas enfrentadas durante a colheita (ALESSI & NAVARRO, 1997). O jornal *Los Angeles Times* também enfatizou as condições primitivas de trabalho a que são submetidos os cortadores de cana. Fontes do Ministério Público ouvidas pelo jornal afirmam que “pelo menos 18 cortadores de cana morreram nos últimos anos, vítimas de desidratação, ataques cardíacos ou outros fatores ligados à exaustão em regiões onde a floresta passou a dar lugar à agricultura” (PORTAL IMPRENSA UOL, 2008).

5.6.1. Riscos de acidentes com os trabalhadores na agroindústria canavieira

Os principais riscos de acidentes que os trabalhadores rurais na lavoura da cana são a exposição a animais peçonhentos, insegurança e improvisação do transporte utilizado nos deslocamentos, manuseio de instrumentos de trabalho cortantes e do trato com agrotóxicos. Os trabalhadores são transportados em caminhões preparados para o carregamento da cana. Não existe lugar para sentar-se nem para colocar os facões e enxadas, podendo provocar acidentes. Mais comuns, no entanto, são os acidentes durante o corte da cana, as queimaduras e a asfíxia dos trabalhadores envolvidos nas queimadas.

A queimada da cana libera HPAs que sedimentam nos caules da cana a serem colhidos posteriormente, representando risco de intoxicação dos trabalhadores, tanto por inalação quanto por via dérmica. Isso significa uma maior probabilidade da incidência de cânceres de pulmão, bexiga e de pele (MATTOS, 2002).

O risco de intoxicação por agrotóxicos também é muito discutido, considerando-se que não há preparação adequada dos aplicadores, os equipamentos de aplicação como os de proteção individual se danificam e não são reparados, além da prática freqüente do uso de água dos rios e açudes para a lavagem dos equipamentos que contaminam as fontes de água de uso coletivo (MOREIRA *et al.*, 1999). Sabe-se que a maioria dos adubos sintéticos utilizados na lavoura canavieira contém uma gama de impurezas como arsênio, cádmio, cromo, cobalto e cobre. O acúmulo desses elementos de pouca mobilidade no solo, face ao seu peso, é um risco para a saúde da população trabalhadora que, normalmente, não utiliza nenhum sistema de proteção para a sua aplicação (TAVARES DE MELO, 1984 apud MOREIRA *et al.*, 1999). Além disso, a acumulação desses metais nos lençóis freáticos, por longo tempo, pode contaminá-los e provocar doenças nas populações que utilizam essas águas.

5.6.2. Mecanização x Desemprego

Desde a década de 60, a produção de cana tem sofrido um intenso processo de mecanização, inicialmente no preparo do solo e carregamento e, posteriormente, já na década de 80, na colheita. Essa mecanização tem como objetivo o aumento da produtividade do trabalho. Porém, esse processo encontra algumas restrições devido ao alto custo dos maquinários e das elevadas declividades das áreas plantadas.

Uma opção para a colheita da cana crua em áreas não-mecanizáveis é o corte manual. Segundo Gonçalves (2002) e Paoliello (2006), a colheita manual da cana crua representaria maior custo do corte (17,75% a mais), menor produtividade (7 ton/homem/dia x 3 ton/homem/dia da cana crua), menor segurança devido ao risco de ataque de animais peçonhentos e maior desgaste físico do trabalhador, o que não seria viável economicamente. O corte manual só é justificado sob de linhas de alta tensão e em locais onde as máquinas não atingem ou têm dificuldade de manobra e operação (MELLO, 1997).

A evolução tecnológica dos equipamentos, as pressões ambientais, as novas legislações e a pressão mercadológica que, cada vez mais, visa importar produtos com condutas ambientalmente aceitáveis (PAOLIELLO, 2006), motivaram o aumento da colheita mecânica

da cana sem que seja necessária a queima. Atualmente, no Estado de São Paulo, segundo uma pesquisa realizada pelo Instituto de Economia Agrícola (IEA) juntamente com o levantamento “Previsão e Estimativas de Safras do Estado de São Paulo”, em parceria com a Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI), aproximadamente 40% da cana foi colhida mecanicamente em junho de 2007 (FREDO *et al.*, 2008).

A colheita mecanizada está sendo mais rapidamente implantada no Estado de São Paulo, devido a diversos fatores como a topografia pouco acidentada, melhor rede rodoviária e maior disponibilidade de mão-de-obra qualificada para operar o maquinário (ROSILLO-CALLE *et al.*, 2005).

A colheita de cana crua, sem a queima prévia, tem como vantagens evitar as emissões dos gases do efeito estufa, possibilitar maior flexibilidade da colheita, aumentar as atividades microbianas e das minhocas, melhorar a estrutura do solo, diminuir os custos dos tratamentos culturais, aumentar a quantidade da cobertura vegetal do solo nas soqueiras (termo usado para definir o que sobra do pé de cana, no solo, após o corte) diminuindo assim erosão e a radiação no solo, além de manter a umidade do solo e o controle de plantas daninhas provenientes da massa vegetal que permanece no terreno após a colheita (LIMA *et al.*, 1999; BARROCAS, 2001).

Já as desvantagens, segundo Barrocas (2001) são o maior risco de fogo (palha seca), a necessidade de drenagem superficial do solo, o aumento do custo de transporte e das impurezas minerais, o aumento de pragas e o atraso da brotação da soqueira. Além disso, o aumento do corte mecânico provoca maior uso do diesel no sistema para movimentar as máquinas e os equipamentos. Outro problema é a redução do ciclo de vida da cana quando cortada mecanicamente. Por ser uma planta semi-perene, que dura em média 5 safras, pode haver redução do seu ciclo de vida, obrigando a realização de novo plantio antes desse período, o que encarece bastante o custo de produção (WWF-BRASIL, 2008 b). Segundo Gonçalves (2002), a presença da palha sobre o solo, quando não é queimada, pode retardar a brotação das soqueiras de algumas variedades. Esse é um dos principais entraves biológicos para as regiões de clima frio. No entanto, a palha residual forma uma barreira que evita a matoinfestação, pois não permite a entrada de luz e libera aleloquímicos que inibem a germinação de plantas infestantes.

A mecanização total ou parcial se apresenta atualmente como a melhor opção para a colheita da cana sob todos os pontos de vista: ergonômico, econômico, legal e ambiental. Para isso, novas propostas estão sendo desenvolvidas para que as máquinas coletoras operem com

novas tecnologias, em terrenos declivosos, possibilitando à colheita crua maior viabilidade econômica do que a colheita queimada (BRAUNBECK *et al.*, 2006). No entanto, a mecanização tem gerado um sério problema social e econômico devido a redução de empregos diretos. Estima-se que indústria atualmente empregue diretamente cerca de um milhão de pessoas, sendo aproximadamente 80% na área agrícola. A cana-de-açúcar é uma das culturas que gera mais emprego por unidade de área cultivada. No Estado de São Paulo representa cerca de 35% da mão-de-obra agrícola, totalizando 400 mil trabalhadores.

A demanda de mão-de-obra na produção de cana-de-açúcar deverá ser reduzida pelo aumento da mecanização da colheita e plantio e esta redução será apenas parcialmente compensada pela provável introdução de processos de recolhimento da palha no campo para geração de energia (MACEDO, 2005). Segundo estudo realizado por Gonçalves & Souza (1998), a indústria da cana dificilmente permitirá a reinserção dessa mão-de-obra desqualificada, a não ser por um intenso programa de retreinamento.

A UNICA estima que existam 190 mil trabalhadores envolvidos com a colheita manual da cana no Estado de São Paulo e mais 70 mil ocupam posições na colheita mecânica e na indústria. É previsto que em 2015 toda a cana seja colhida mecanicamente no Estado de São Paulo, reduzindo portanto, 190 mil desempregos. Segundo a mesma fonte, esse impacto será parcialmente amenizado pela criação de 60 mil novos empregos nos setores de colheita mecânica e industrial da própria indústria canavieira. Nesse sentido, o balanço negativo em 2015 será de 130 mil postos de trabalho. Por isso, é importante que o governo elabore políticas públicas que possibilitem atenuar esse impacto e que promova um respaldo educacional e profissionalizante para atender essa mão-de-obra desqualificada.

A transição para a colheita mecanizada precisa ser feita gradualmente, para que os trabalhadores possam ser empregados em outros setores econômicos que lhes dêem melhores condições de trabalho (ROSSILO-CALLE *et al.*, 2005). Um estudo de uma equipe de pesquisadores do Instituto de Economia Agrícola (IEA-APTA) e da Secretaria de Agricultura e Abastecimento estimou que a introdução de máquinas na colheita da cana-de-açúcar desemprega cerca de 2.700 pessoas por safra para cada 1% de área mecanizada (IEA, 2008)

Segundo Gonçalves (2002), a questão do desemprego requer mais estudos, para que uma estimativa real possa ser dada. De acordo com o autor, por um lado alguns pesquisadores

como Veiga Filho *et al.* (1994)¹⁸, afirmam que a colheita mecanizada substitui cerca de 50% o corte manual nas áreas aptas à mecanização. Mas por outro, autores como Furlani (1995) colocam que o corte manual nos 50% das terras restantes dobraria o número de trabalhadores, pois o rendimento no corte é bem menor. A colheita mecanizada só pode ser realizada em áreas com declive menor do que 12%, o que significa que o restante terá que ser cortada manualmente até haverem máquinas adaptadas a maiores declividades. O corte manual da cana crua necessita de 2,63 vezes mais trabalhadores que o corte de cana queimada para apresentar o mesmo rendimento. Portanto, prevê-se a geração de novos empregos (OMETTO & SOUZA, 2001).

A colheita mecanizada tem como exemplo a Usina São Francisco. Foram colhidas na safra 91/92, cerca de 250.000 toneladas de cana sem queima prévia, o que possibilitou uma economia de 25% nos custos industriais da usina, pois a cana chegou mais limpa. Além disso, a palha deixada no campo reduziu o desenvolvimento de ervas daninhas e a usina economizou cerca 10% com herbicidas (GONÇALVES, 2002).

O sistema de colheita totalmente mecanizado pode empregar máquinas cortadoras junto com máquinas carregadoras, que realizam o corte, o fracionamento, a limpeza parcial e o carregamento dos colmos diretamente em unidades de transporte, reduzindo significativamente seus custos. Um exemplo dessa mecanização integrada da lavoura (preparo do solo, plantio, tratamentos culturais, colheita e transporte) foi estudada pela Usina Luciana, de Lagoa da Prata (MG), que conseguiu reduzir seus custos em 50% (GOLÇALVES, 2005).

5.6.3. Concentração fundiária e de renda

A agricultura brasileira, em geral, é marcada pela concentração fundiária que, conseqüentemente, leva à concentração de renda. Um por cento dos proprietários de terra que possuem mais de 1.000 ha detêm 45,1% da área agrícola, enquanto que 89,3% dos pequenos e médios proprietários, que detêm menos de 100 ha, controlam somente 20% da área agrícola (CAMARGO *et al.*, 2004). O Brasil apresenta um dos maiores níveis de concentração fundiária do mundo, com apenas 1,7% dos imóveis ocupando 43,8% do total da área cadastrada pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) (RODRIGUES & ORTIZ, 2006).

¹⁸ VEIGA FILHO, A de A *et al.* Análise da mecanização do corte da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 24, n.10, p. 43-58, out. 1994.

A concentração fundiária está diretamente relacionada ao problema da monocultura, o que permite a concentração de riqueza e renda e, conseqüentemente, a concentração de poder político na região onde o a agroindústria canavieira é dominante. Esse tipo de concentração está vinculada historicamente ao poder político e econômico-patrimonial dos grandes proprietários de terra (GONÇALVES, 2002).

O Proálcool foi também concentrador de renda ao privilegiar a produção em destilarias cada vez maiores, transferindo recursos públicos altamente subsidiados a pequeno número de usineiros. Além disso, a escala de produção da cana não permite a existência independente de pequenas propriedades produtoras do produto, que devido às dificuldades econômicas encontradas arrendam suas terras para os grandes produtores, causando impactos sócio-ambientais expressivos (BARBOSA, 2006).

A indústria canavieira é responsável por grande parte da má distribuição da renda das regiões próximas às usinas e o crescimento acelerado da produção acentuou as desigualdades sociais, os movimentos migratórios em busca de empregos, a urbanização favelada dos centros urbanos e a expulsão dos pequenos produtores e posseiros de terra.

A concentração de terras atinge os pequenos produtores, pois estes não conseguem acompanhar as novas tecnologias e a forte concorrência (GONÇALVES, 2005). As próprias características das plantações da cana não permitem a existência de produtores com sistemas de cultivo diversificados, levando as populações a se alojarem nas cidades somente trabalhando como empregados das empresas maiores (MELLO, 1997).

Segundo Mello (1997), o governo brasileiro vem subsidiando a agricultura da cana, mas na verdade o que mais cresceu com esses subsídios foram as fortunas dos produtores e a miséria dos trabalhadores. Por isso, é necessária a construção de um processo de revisão ou elaboração dos planos diretores para que sejam construídos mecanismos de gestão territorial que impeçam a monopolização por uma cultura única de municípios inteiros.

5.6.4. Discussões

Os trabalhadores, principalmente cortadores de cana, enfrentam condições de trabalho miseráveis além de sofrerem com o aumento crescente do desemprego. A população rural próxima aos canaviais se vê obrigada a arrendarem suas terras aos grandes proprietários, o que provoca cada vez mais concentração de renda e de terras. Os trabalhadores desempregados ou aqueles que sofrem com o emprego sazonal mudam para a periferia das cidades mais próximas,

umentando o crescimento urbano desordenado e contribuindo para a lotação dos sistemas de assistência pública.

A questão do desemprego deve realmente compor a pauta de preocupações dos empresários, pois atualmente é o problema social mais grave enfrentado pelo setor sucroalcooleiro. No entanto, o desemprego gerado pelo avanço tecnológico não é uma realidade apenas do setor canavieiro nacional, mas sim um fenômeno mundial do final do século XX.

Face ao exposto, mesmo com a questão do desemprego, fica claro que a colheita da cana crua merece atenção das usinas e do governo, pois sua adoção irá beneficiar economicamente a agroindústria canavieira e diminuirá os impactos ambientais decorrentes das queimadas (MATTOS, 2002).

No caso da cana-de-açúcar para a produção de etanol, o desemprego não deve ser considerado apenas como consequência da modernização, mas também como o preço pago pela solução de um problema ambiental (GONÇALVES, 2002).

Empresas com gestão moderna que pretendem participar do mercado internacional, precisam manter um desenvolvimento sustentável e, com isso, devem começar a cuidar melhor das condições de trabalho e introduzir programas especiais para a educação, alimentação e preparação física dos trabalhadores (RODRIGUES & ORTIZ, 2006).

5.7. Biocombustíveis x Preço de alimentos: comparação com o etanol americano

A atual discussão do aumento dos preços dos alimentos devido à plantação de culturas para a produção de biocombustíveis tem um ator principal, os EUA. Os norte-americanos são os maiores produtores e exportadores de milho e o aumento da produção interna de álcool no país para atender suas próprias demandas deverá elevar os preços internacionais do grão (WWF-BRASIL, 2008b). Segundo o diário americano *The Wall Street Journal* (14/05/2008), os produtores americanos de etanol estão sendo pressionados por essa elevação nos preços. Com isso, os produtores brasileiros têm a possibilidade de aumentar suas exportações, já que a safra brasileira bateu recordes ultrapassando 500 milhões de toneladas, produzindo estimados 20 bilhões de litros de etanol, contra 24,2 bilhões dos EUA. Esse aumento na safra tende a baixar os preços do etanol brasileiro, que quando comparado aos preços americanos, fica na faixa de US\$ 1,64 por galão, enquanto que americano é vendido por US\$ 2,55 o galão. O

produto produzido no país, mesmo com a tarifa de importação (US\$ 0,54), ainda é mais barato que o americano (US\$ 2,18 o galão) (AMBIENTE BRASIL, 2008 a).

Alguns economistas estão preocupados com o direcionamento do milho americano para o fabrico de álcool, pois este poderá aumentar o desequilíbrio na oferta afetando negativamente a pecuária e a indústria de rações (VIEIRA JUNIOR *et al.*, 2008). O preço do milho nos EUA já ultrapassa os US\$ 160 por tonelada e, em circunstâncias normais, não superaria US\$ 80 (BERTELLI, 2007). Por esses motivos e pelo melhor balanço energético, a cana é a principal alternativa para a produção de biocombustível.

Fazendo uma comparação do etanol brasileiro com o americano, nota-se que o primeiro é bem mais rentável. Essa maior rentabilidade já era confirmada no trabalho de Geller (1985). Os EUA gastam menos energia por hectare para produzir o etanol do que o Brasil (Tabela 5.12), mas o etanol da cana produz muito mais energia do que o do milho (Tabela 5.13). O balanço de energia para converter o milho em etanol é negativo (1,29:1), ou seja, para cada 1 kcal de energia fornecida pelo etanol, são gastos 29% a mais de energia fóssil (PIMENTEL & PATZEK, 2005). Já o balanço energético da cana é positivo, para cada 1 kcal de energia consumida para produção de etanol, há um ganho de 3,24 kcal pelo etanol produzido. Além disso, se produz três vezes mais álcool por área com a cana do que com o milho (ANDREOLI & SOUZA, 2007) (Tabela 5.14).

Tabela 5.12 Energia usada na produção da cana-de-açúcar no Brasil e do milho nos EUA por hectare. Fonte: DIAS DE OLIVEIRA (2005).

Constituinte	Quantidade por ha	Energia equi. (GJ)	Energia por ha (GJ)
Cana-de-açúcar			
Nitrogênio	65,0 Kg	57,50 Mg	3,74
Fosfato (P ₂ O ₅)	52,0 Kg	7,03 Mg	0,36
Oxido de Potássio (K ₂ O)	100,0 Kg	6,85 Mg	0,68
Cal	616,0 Kg	1,71 Mg	1,05
Sementes	215,0 Kg	15,60 Mg	3,35
Herbicidas	3,0 Kg	266,56 Mg	0,80
Inseticidas	0,5 Kg	284,82 Mg	0,14
Trabalho	26 trabalhadores	0,11 trabalhadores	2,86
Diesel combustível	600 l	38,30 m ³	23,00
Total			35,98
Milho (E.U.A)			
Nitrogênio	146 Kg	57,50 Mg	8,4
P ₂ O ₅	64 Kg	7,03 Mg	0,45
K ₂ O	88 Kg	6,85 Mg	0,60

Continua na próxima página

Continuação da Tabela 5.12

Milho (E.U.A)	Quantidade por ha	Energia equi. (GJ)	Energia por ha (GJ)
Cal	275 Kg	1,71 Mg	0,47
Semente	21 Kg	103,00 Mg	2,16
Herbicidas	3 Kg	266,56 Mg	0,80
Inseticidas	1 Kg	284,82 Mg	0,28
Diesel combustível	80 l	38,30 m ³	3,06
Gasolina	29 l	34,90 m ³	1,01
Gás Liquefeito	59 l	28,5 m ³	1,68
Eletricidade	191 KWh	3,60 KWh	0,69
Gás Natural	14 m ³	0,04 m ³	0,56
Total			20,16

Tabela 5.13. Balanço energético da produção do etanol produzido da cana-de-açúcar no Brasil e do milho nos EUA. Fonte: DIAS DE OLIVEIRA (2005).

	Energia usada (GJ)	Energia gerada (GJ)
Cana-de-açúcar		
- fase agrícola	35,98	-
- fase industrial	3,63	155,57
- distribuição	2,82	-
Total	42,43	155,57
Milho		
- fase agrícola	22,08	-
- fase industrial	41,60	71,44
- distribuição	1,34	-
Total	65,02	71,44

Nota: valores correspondentes à produção de etanol por 1 hectare plantado.

Tabela 5.14. Comparação energética entre a produção de álcool de milho nos E.U.A e de cana-de-açúcar no Brasil. Fonte: ANDREOLI & SOUZA (2007).

Parâmetro	Unidade	Cana-de-açúcar (Brasil)	Milho (E.U.A)
Rendimento de matéria-prima	t.ha ⁻¹	90	8,1
Energia requerida	103 Kcal	10.509	8.115
Energia entrada:saída	Kcal	1:4,60	1:3,84
Produção de álcool	Litros.ha ⁻¹	8.100	3000
Produção de álcool	Litros.t ⁻¹	90	371
Taxa de conversão	Kg.1000l ⁻¹	11.110	2.690
Gasto de energia total	Kcal.1000l ⁻¹	1.518.000	6.597.000
Balanço de energia	Kcal entrada:saída	1:3,24	1:1,29

Um dos mais importantes fatores para a utilização de biocombustível é a relação entre a energia consumida no processo de produção e a energia disponibilizada pelo combustível produzido. Por exemplo, no caso do etanol produzido a partir da cana-de-açúcar, essa relação é de 8,3 : 1. Comparativamente, nos EUA, o etanol tem uma relação de apenas 1,3 : 1 (AMBIENTE BRASIL, 2008 d). O produto brasileiro emite menos CO₂ para a atmosfera na queima do combustível, sendo que essa emissão é maior somente na atividade agrícola; já os americanos emitem grande quantidade desse gás na conversão do etanol para a mistura E85 (85%etanol e 15% gasolina) (DIAS DE OLIVEIRA *et al.*, 2005) (Tabela 5.15 e 5.16).

Tabela 5.15. Emissão de CO₂ na produção da cana-de-açúcar no Brasil.

Fonte: DIAS DE OLIVEIRA (2005).

Processos	Emissões de CO₂ equivalente (Kg/ha)
Agricultura	2.269
CH ₄	161
N ₂ O	465
Distribuição do etanol	227
Total	3.122

Tabela 5.16. Balanço de CO₂ a produção da mistura E85 (milho). Fonte: DIAS DE OLIVEIRA (2005) baseado em WEST & POST (2002)¹⁹.

Processos	Total de CO₂ emitido (Kg/ha)
Agricultura	1.237
Aumento do carbono orgânico no solo	-660
Transporte do milho	154
Conversão do etanol	2.721
Distribuição	108
Produção de gasolina e distribuição	203
Combustão da gasolina	1.267
Balanço	5.030

Nota: Valor negativo representa redução na emissão de CO₂.

O relator especial da ONU para o Direito à Alimentação, Jean Ziegler, em entrevista a uma rádio alemã dia 14/05/2008, declarou que a produção em massa de biocombustíveis representará um crime contra a humanidade. Os críticos dessa tecnologia argumentam que o uso de terras férteis para cultivos de biomassa para fabricar biocombustíveis reduz as

¹⁹ WEST, T. O.; POST, W. M. Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation: A global data analysis. *Soil Science Society of America Journal*, v. 66, p. 1930-1946, 2002.

superfícies destinadas aos alimentos e contribui para o aumento dos preços dos mantimentos (AMBIENTE BRASIL, 2008 e). Já as autoridades da União Européia (UE) defendem o uso de biocombustíveis e propõem que cada um de seus 27 países membros adote o uso de 10% no combustível destinado ao transporte até 2020. Para eles “a melhoria da produtividade agrícola permitirá satisfazer a crescente demanda por culturas que servem de matéria-prima para a produção de biocombustíveis sem prejudicar a oferta de alimentos” (AMBIENTE BRASIL, 2008 c). Na opinião de Marcos Sawaya Jank, presidente da UNICA, “renasce as previsões neomalthusianas que antevêm a falta de alimentos, inflação e fome. Se o mundo rico abra espaço para plantas tropicais energética e ambientalmente mais eficientes, como a cana-de-açúcar, em vez de subsidiar matérias-primas nobres, como milho e canola, os impactos sobre os alimentos seriam irrelevantes”. Segundo ele, a cana é muito mais produtiva que as outras culturas utilizadas para a produção de etanol, pois produz 7 mil litros de etanol por hectare, sendo que nos anos 70 era de 3 mil litros por hectare. Com novas tecnologias estima-se atingir pelo menos 12 mil litros por hectare e exportar 10 vezes mais energia para o sistema elétrico, com o aproveitamento da biomassa da cana (JANK, 2008 c).

Levando-se em conta que no mundo são produzidas cerca de 10^{11} ton de biomassa por ano e que a produção no Brasil é da ordem de $21 \cdot 10^9$ ton de biomassa por ano, seria necessário somente 1% da biomassa produzida anualmente no Brasil para substituir o petróleo, o que não afetaria a produção de alimentos, nem significaria devastação ou qualquer outra forma de agressão às florestas (SCHUCHARDT, 2001).

Segundo Goldemberg (2007), a cana cobre apenas 1% do total de terras disponíveis para a agricultura e um simples cálculo mostra que a expansão de 30 milhões de hectares de cana no Brasil e em outros países seria suficiente para substituir 10% da gasolina utilizada no mundo e não prejudicaria a produção de alimentos.

O relatório publicado pela OECD – “Avaliação Econômica das Políticas de Apoio aos Biocombustíveis” (07/2008) afirma que o desenvolvimento dos combustíveis alternativos ainda deve continuar a pressionar a alta dos preços dos alimentos, agravando a insegurança alimentar para as populações mais pobres dos países em desenvolvimento (FERNANDES, 2008 a). Porém, segundo IEA/SP (2006), no Brasil, principalmente no Estado de São Paulo, as estimativas de produção agrícola na safra de 2005/06, apontaram a redução dos cultivos de tomate, amendoim das águas e laranja, que estão sendo substituídos por cana-de-açúcar. Com isso, percebe-se que o constante aumento no cultivo de cana influi diretamente e impõe

restrições à produção de gêneros alimentícios nas regiões por ela extensivamente ocupadas (RODRIGUES & ORTIZ, 2006).

5.8. Biocombustíveis x Desmatamento

Ao longo de séculos, o crescimento da produção canavieira gerou um histórico de problemas na área ambiental. Grandes áreas de Mata Atlântica foram destruídas pela expansão da pecuária e de diversas atividades agrícolas, principalmente a cana. Até o final do século XIX, os engenhos utilizavam a queima de árvores para servir de lenha, ao invés de alimentar as caldeiras com o bagaço da cana, prática rotineira no Caribe. A Mata Atlântica foi o primeiro bioma a ser afetado. Mais recentemente, a expansão da tem ocorrido em áreas do Cerrado (WWF-BRASIL, 2008 b), no Pantanal Matogrossense e em áreas do Maranhão (RODRIGUES & ORTIZ, 2006).

Em relação ao desmatamento de áreas ainda conservadas da Amazônia, os produtores de etanol alegam que mesmo o solo sendo favorável, a plantação da cana não suportaria o regime de chuvas da região. Para França (2008) e Vieira Junior *et al.* (2008), isso não elimina o risco de que a expansão da lavoura de cana pressione a Floresta Amazônia e o Cerrado. O fato é que, principalmente em São Paulo, o crescimento do cultivo da cana-de-açúcar contribuiu para a redução da cobertura de mata nativa e a redução da mata ciliar causando impactos ambientais na região (WWF-BRASIL, 2008 a). Além disso, no Estado de São Paulo, a plantação da cana vem ocupando o espaço das pastagens, sendo este um dos argumentos dados pelos produtores de cana contra o desmatamento de áreas conservadas (UNICA, 2008). O que resta saber é se a produção de carne bovina não será ou está sendo afetada por essa situação.

Segundo o site da WWF-BRASIL e seu relatório “Análise da Expansão do Complexo agroindustrial canavieiro no Brasil – Maio/2008”, a produção de etanol, embora seja apontada como uma alternativa limpa aos combustíveis fósseis reduzindo o efeito estufa, também provoca riscos sócio-ambientais relacionados à sua expansão acelerada, incluindo o desmatamento de áreas ainda preservadas. Por isso, o relatório destaca a necessidade de um grande debate envolvendo produtores, governos, meio acadêmico e compradores, em torno de mecanismos para evitar os danos ambientais e sociais para uma expansão sustentável do setor. Luís Fernando Laranja, coordenador do Programa Agricultura e Meio Ambiente do WWF-Brasil, lembrou a importância de se discutir o zoneamento ecológico-econômico das regiões

produtivas e a criação de novas unidades de conservação, principalmente no Cerrado, um dos biomas mais sensíveis à expansão da cultura da cana. O relatório também ressalta a importância de planejamentos e incentivos para a fiscalização desses itens, além de um severo monitoramento das novas áreas de expansão da cana.

Certamente a oferta da cana de cana-de-açúcar e álcool no Brasil aumentará consideravelmente, assim como a expansão da área cultivada, cerca de 3 milhões de hectares de novas áreas. Porém, para Vieira Junior *et al.* (2008), esse não é o maior problema, uma vez que a cana-de-açúcar ocupa menos de 10% da área agrícola disponível. Os principais motivos de preocupação são o deslocamento da fronteira agrícola para a região amazônica e a concentração espacial da produção de cana-de-açúcar. Para o autor, uma alternativa para conter esse avanço de fronteira agrícola é a intensificação da fiscalização e a mitigação dos efeitos negativos dessa dinâmica pela abordagem de agroecossistema, a exemplo da integração lavoura-pecuária, semelhante ao sistema de rotação de cultura. Para Marcos Sawaya Jank, presidente da UNICA, essa preocupação não é relevante, já que afirma que com apenas 1% de área agricultável do País, o etanol substituiu 50% das necessidades brasileiras de combustíveis para veículos leves, superando o consumo de gasolina (JANK, 2008 c). A fragmentação florestal é um dos fenômenos mais marcantes e graves da expansão canavieira. As Áreas de Preservação Permanente (APPs) que compreendem o conjunto de matas ciliares, matas de encosta, cabeceiras dos rios e nascentes, foram extremamente devastadas, sendo hoje lentamente recuperadas devido a pressões da legislação e das fiscalizações ambientais. As Áreas de Reserva Legal (ARLs), que são áreas localizadas no interior de uma propriedade rural sob conservação permanente, necessária apenas ao uso sustentável, também deveriam ser respeitadas pelos agricultores, mas não é isso que acontece, sendo os proprietários na maioria das vezes, contra a existência desse tipo de área. A falta de fiscalização, de um zoneamento agrícola-ambiental e de um plano diretor para o desenvolvimento rural, permite o crescimento desordenado das áreas de plantação de cana e o não cumprimento da lei quanto às áreas naturais que deveriam ser preservadas (GOLÇALVES, 2005).

Considerando esse desrespeito do sistema canavieiro ao Código Florestal Brasileiro, Rodrigues & Ortiz (2006) frisam que as autoridades ambientais estaduais devem implantar processos de licenciamento de novas destilarias e usinas que obriguem a apresentação da averbação das reservas legais e APPs das propriedades envolvidas na produção da cana-de-açúcar para o empreendimento.

5.9. Melhoramento genético da cana-de-açúcar

A indústria genética é uma das mais importantes aliadas à produção da cana-de-açúcar, pois dela pode sair a solução para os atuais problemas de mecanização, desmatamento e alta de alimentos. As novas variedades de mudas podem tornar o sistema muito mais produtivo do que ele já é possibilitando a expansão desta cultura.

O melhoramento genético proporciona às novas variedades da planta resistentes a patógenos e adequadas a regimes hídricos, tipos de solos, temperaturas, umidade do ar, aumento nos teores de sacarose, diminuição do teor de celulose e facilitação na colheita (MELLO, 2002) e desenvolvimento de tecnologias para a produção em larga escala de mudas sadias (RODRIGUES & ORTIZ, 2006). Isso possibilita o crescimento da produtividade e aumento na concentração de açúcar nas variedades cultivadas.

Segundo Gonçalves (2002), os responsáveis pelo melhoramento genético devem buscar variedades de porte mais ereto, com despalha mais fácil e menos joçal para facilitar o corte. Além desse melhoramento, as inovações no campo da agronomia e engenharia agrícola da produção de cana também são muito importantes, pois produzem tecnologias de agricultura de precisão; novos sistemas de irrigação, zoneamento pedoclimático e previsão de safra, melhorias nas máquinas e implementos agrícolas para redução de perdas, melhorias e integração de sistemas (softwares) para planejamento e gerenciamento técnico (RODRIGUES & ORTIZ, 2006).

5.10. Discussões

Os três últimos tópicos abordados (preço dos alimentos, desmatamento e melhoramento genético) são de extrema importância para o setor sucroalcooleiro e estão entrelaçados, já que o aumento da produção do etanol pode levar ao crescente preço nos alimentos e ao desmatamento, mas esses impactos podem ser aliviados pelo melhoramento genético da cultura.

Os produtores de etanol e de açúcar alegam que o aumento na plantação da cana não aumentará o desmatamento, pois essa expansão está ocorrendo em áreas já desmatadas pela pecuária. No entanto, a maior preocupação é que a plantação de outras culturas sejam “empurradas” para regiões mais preservadas.

Quanto à comparação do etanol brasileiro e americano, fica claro o melhor desempenho do biocombustível brasileiro, seja pela maior rentabilidade, melhores preços, balanço energético positivo e menores emissões de CO₂. Por isso, o etanol proveniente da cana-de-açúcar está sendo tão cobiçado internacionalmente.

6. COMPARAÇÃO DOS PRINCIPAIS IMPACTOS AMBIENTAIS E ALGUNS SÓCIO-ECONÔMICOS EM CADA FASE DO CICLO DE VIDA DOS COMBUSTÍVEIS

A matriz do quadro 6.1 mostra que na etapa de produção, o etanol apresenta maior número de impactos ambientais e sócio-econômicos. Isso ocorre devido a diversos fatores como o desmatamento, o uso de agrotóxicos e, principalmente, às queimadas, que além de degradarem o meio ambiente, também prejudicam a saúde dos trabalhadores e da população das cidades vizinhas. Quanto aos impactos sócio-econômicos, o crescente desemprego decorrente da mecanização agrícola é o que mais preocupa atualmente os órgãos responsáveis pelo setor.

A quantidade de impactos na fase agrícola da cana-de-açúcar é maior do que a do petróleo em todos os aspectos (água, solo, ar, biota e social), menos no que diz respeito à poluição sonora. A pesquisa sísmica é um dos fatores mais agressivos à biota marinha na etapa de produção (exploração) e afeta principalmente os cetáceos pela emissão de ondas e vibrações, por isso merecem muita atenção das entidades fiscalizadoras.

Essa discrepância no número de impactos pode ter como causa a maior quantidade de dados para a fase agrícola da cana do que para a fase de produção (exploração e exploração) do petróleo e também pela maior duração da etapa. Todavia, se considerarmos a possibilidade de ocorrer um vazamento de petróleo nessa etapa, com certeza a intensidade dos impactos seria muito maior do que a do etanol, devido aos prejuízos que o produto causaria aos ecossistemas atingidos (marinho e costeiro).

Observando-se a matriz do quadro 6.2, conclui-se que a quantidade de impactos gerados na fase de refino ou processamento dos combustíveis (gasolina/gás natural comparado ao etanol) não é tão discrepante quanto na etapa de produção. Mesmo assim, a indústria petrolífera apresenta o maior número de impactos ambientais. Os impactos no meio físico (água, solo e ar) para os três produtos são decorrentes do uso excessivo de água nos processos, da geração de efluentes e resíduos, além das emissões de poluentes produzidos na queima de

combustíveis fósseis para a geração de energia. Essas emissões, além de provocar a poluição atmosférica, também contribuem para o aumento do efeito estufa, aquecimento global e chuva ácida.

Para o refino e processamento do petróleo e gás natural, deve-se levar em consideração a probabilidade de vazamentos e explosões, já que, além de impactar o ambiente, pode provocar vítimas fatais. Esses impactos são intensificados quando essas instalações ficam próximas a centros urbanos, a corpos hídricos ou envoltas por mata nativa, como é o caso da UPGN de Caraguatatuba (SP).

Quanto à fabricação do etanol, a maior preocupação está relacionada à geração de resíduos ou subprodutos devido, principalmente, ao uso ilegal ou incorreto. Os principais subprodutos usados como fertilizantes no cultivo da cana-de-açúcar são a torta de filtro e a vinhaça. Entretanto, quando essas substâncias são lançadas ilegalmente em corpos hídricos, podem causar a eutrofização da águas e a alteração da sua qualidade, prejudicando o uso para conservação ambiental e abastecimento público.

A reutilização de alguns subprodutos, como o bagaço da cana para a geração de energia, proporciona impactos positivos para as usinas, já que podem gerar energia excedente, gerando outra fonte de lucro para os usineiros, além de reduzir as emissões provocadas pela queima de combustíveis fósseis. Quanto à poluição sonora, as duas indústrias produzem ruídos que podem afugentar os animais e causar danos aos trabalhadores.

Para que a maioria dos impactos citados acima seja minimizada, tanto na produção de petróleo quanto na de etanol, é preciso encontrar formas de compatibilizar o desenvolvimento da indústria com a preservação do meio ambiente de maneira sustentável. Para isso, são importantes o uso racional e a conservação dos recursos disponíveis, sem que se polua ou se danifique irreversivelmente os recursos naturais. É necessário também que as atividades potencialmente poluidoras sejam conduzidas com instrumentos que garantirão uma gestão ambiental segura. No caso da fase agrícola da cana, por exemplo, essa gestão deve ser baseada no controle da aplicação de herbicidas e agrotóxicos, na preservação das matas, na redução do desmatamento e, principalmente, na eliminação das queimadas, encontrando soluções adequadas para o efeito social que isso pode causar.

Empresas potencialmente poluidoras como as do setor petrolífero devem dispor de planos de controle de poluição e de contenção dos possíveis vazamentos e de medidas e estudos que minimizem os impactos gerados por elas tanto no meio físico, quanto biótico e social. O gerenciamento ambiental de uma indústria pode ser conceituado como a integração

de sistemas e programas organizacionais que permitem o controle e a redução dos impactos ao meio ambiente, cumprindo as leis e normas ambientais e eliminando e/ou reduzindo os riscos ao meio ambiente e ao homem.

Além disso, ambas as indústrias devem dispor de licenças ambientais para exercer suas atividades, já que esta é uma ferramenta do setor público que tem como objetivo proteger os recursos naturais e conservar os ecossistemas, apresentando ao empreendedor suas obrigações quanto ao adequado controle ambiental de suas atividades.

A matriz do quadro 6.3 permite, de forma clara, dizer que o transporte do petróleo e do gás natural e a distribuição da gasolina e do GNV são bem mais poluidoras do que o transporte/distribuição do etanol. Isso acontece porque essa cadeia é muito mais longa e complexa, interligando diversos modais. Além disso, a bibliografia referente a essa etapa para o etanol é escassa, o que dificulta a discriminação da real intensidade e quantidade dos impactos. Porém, considerando os dados obtidos, o transporte/distribuição dos produtos derivados do petróleo impactam de forma agressiva o meio ambiente. Os motivos para tantos impactos começam com a instalação dos dutos que degradam o meio físico e o biótico, pois a abertura da faixa de servidão e do canteiro de obras altera os ecossistemas, polui as águas e o solo e fragmenta a mata, o que desequilibra todos os processos ecológicos do ambiente atingido. Os outros motivos estão relacionados aos possíveis vazamentos em dutos, gasodutos, trens, caminhões, navios petroleiros, portos, terminais e postos de abastecimento. Acidentes em qualquer um desses modais podem impactar o meio ambiente em todos os níveis estudados. No entanto, esses impactos são de intensidades diferentes; por exemplo, um vazamento de um caminhão pode no máximo atingir corpos d'água que abastecem uma região. Mas um acidente com grande volume de óleo transportado por um navio petroleiro pode atingir diversos ecossistemas sensíveis e de grande importância ecológica, além de interferir na pesca e no turismo regionais.

Quanto ao transporte/distribuição do etanol, poucas informações foram obtidas. Todavia, seus impactos se limitam aos vazamentos decorrentes de acidentes rodoviários ou em postos de combustíveis, compactação do solo e uso de combustíveis fósseis pelos caminhões no transporte da cana para as usinas e da distribuição do etanol para os postos de abastecimento.

Conforme os dados da matriz do quadro 6.4, a gasolina é o combustível que mais polui o meio ambiente devido, principalmente, à poluição atmosférica, intensificação do efeito estufa e aumento da chuva ácida.

As emissões de poluentes lançados pela queima de combustíveis fósseis nos automóveis prejudicam muito a qualidade do ar dos centros urbanos, causando sérios problemas de saúde pública. Por outro lado, como o gás natural emite menos gases poluentes do que a gasolina, seu uso é bastante estimulado na tentativa de reduzir a poluição atmosférica urbana e os efeitos dos gases estufa.

Como a gasolina ainda é o principal combustível utilizado mundialmente, é necessário que medidas de redução das emissões de gases poluidores sejam obedecidas e melhor fiscalizadas, a fim de melhorar a qualidade de vida nos grandes centros populacionais e reduzir os impactos relacionados ao aquecimento global. Essas medidas devem contemplar entre outros, o uso de equipamentos catalisadores que filtram os gases poluentes, o incentivo para a utilização de transportes públicos e, principalmente, o uso de energias mais limpas.

Com esse propósito, o uso de combustíveis alternativos como o etanol, está sendo demasiadamente discutido e implantado em alguns países como o Brasil e os EUA. No entanto, esse combustível de energia renovável discutível também emite alguns gases poluentes, como aldeídos, que, dependendo da situação, podem ser mais prejudiciais à população do que o formaldeído emitido pela queima da gasolina. Por isso, seu uso e seus impactos devem ser mais estudados, nunca esquecendo de considerar os efeitos negativos causados ao meio ambiente e à sociedade, principalmente, na fase agrícola da produção desse biocombustível.

Analisando todos os impactos apresentados por essas matrizes comparativas, pode-se destacar que a única etapa do ciclo de vida do etanol que é mais poluidora do que a gasolina e o gás natural é a de produção ou fase agrícola devido aos impactos já citados acima. Nas outras três etapas (refino/processamento, transporte/distribuição e consumo final), o petróleo como matéria-prima ou a gasolina e o gás natural como combustíveis, impactam bem mais o meio ambiente, além de interferirem em algumas atividades econômicas e na saúde humana.

Produção	Etanol
<p>Petróleo/Gás natural</p> <p>rações sísmicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • variação da qualidade da água devido a partículas sólidas na geração das ondas e por eventuais vazamentos de óleo. <p>uração e produção: suspensão do sedimento e descarte de fluidos de perfuração, cascalhos, águas de produção e efluentes sanitários;</p> <ul style="list-style-type: none"> • aumenta a turbidez e altera a qualidade (propriedades físico-químicas) da água marinha; • impacto térmico das águas superficiais: descarte das águas de refrigeração. <p>comissionamento da plataforma</p> <ul style="list-style-type: none"> • contaminação da água oceânica. <p>coragem da plataforma e instalação dos dutos submarinos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Revolvimento do solo marinho e alteração da qualidade. <p>arte de efluentes tóxicos e resíduos sólidos</p> <ul style="list-style-type: none"> • alteração da qualidade do sedimento marinho. <p>rações sísmicas</p> <ul style="list-style-type: none"> • aumento na quantidade de lixo depositado na orla marítima. <p>aração da qualidade do ar</p> <ul style="list-style-type: none"> • emissões atmosféricas (NOx, CO, SO₂, CO₂, CH₄ e COVs); • contribuição para o efeito estufa e a chuva ácida; • emissão de O₃ estratosférico. <p>rações sísmicas: poluição do ar (navios).</p> <p>dos e vibrações da broca de perfuração interferência na biota marinha.</p> <p>ruído sísmica (ruídos, vibrações de luz e ondas).</p> <p>na na próxima página</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Uso de herbicidas e fertilizantes (agrotóxicos e agroquímicos) <ul style="list-style-type: none"> • contaminação dos lençóis freáticos e das águas superficiais; • eutrofização dos corpos hídricos. - Desmatamento das matas ciliares e revolvimento do solo para o plantio <ul style="list-style-type: none"> • erosão do solo • assoreamento dos corpos hídricos; • poluição térmica dos riberões. - Água para irrigação: interferência no potencial hídrico regional. - Compactação do solo (maquinários e queimada): diminuição da infiltração da água no solo (aumento do escoamento superficial). - Queimadas: aumento da ocorrência de chuvas ácidas. - Contaminação das águas devido à limpeza dos aplicadores de agrotóxicos em rios e açudes.
	<ul style="list-style-type: none"> - Plantio da cana: erosão do solo (redução da produtividade agrícola). - Preparo do solo, tratos culturais e plantio <ul style="list-style-type: none"> • contaminação crônica (agrotóxicos); • redução da fertilidade; • compactação do solo (maquinários, grades e arados): aumenta a erosão, diminui a produtividade da cultura e a produtividade dos corpos hídricos. - Eutrofização dos corpos hídricos. - Queimada <ul style="list-style-type: none"> • acidificação da atmosfera (NOx); • diminuição da fertilidade e umidade, concentração de gases e perda de nutrientes voláteis; • aumenta os processos erosivos; • compactação do solo. - Pressão sobre outras atividades agrícolas
	<ul style="list-style-type: none"> - Uso de produtos oriundos de recursos naturais fósseis (agrotóxicos e diesel): emissão de CO₂ e outros gases tóxicos. - Poluição atmosférica <ul style="list-style-type: none"> • limpeza do terreno para o plantio; • equipamentos agrícolas; • queimadas. - Queimadas <ul style="list-style-type: none"> • emissão de CO₂, CO, NO, O₃ e CH₄; • emissão de fuligem (material particulado); • contribuição muito para o efeito estufa e para chuva ácida; • diminuição da visibilidade nas estradas.
	<ul style="list-style-type: none"> - Uso de maquinários e equipamentos no campo.

<p>- Contaminação do solo por agrotóxicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • comprometimento da biota presente no solo; • desequilíbrio ecológico: eliminação de inimigos naturais (competidores, predadores e/ou parasitas); bioacumulação na rede trófica. <p>- Compactação do solo</p> <ul style="list-style-type: none"> • sufocamento da microfauna; • dificuldade da penetração das raízes. <p>- Acidificação do solo e das águas</p> <ul style="list-style-type: none"> • declínio florestal; • mortandade de peixes. <p>- Queimadas</p> <ul style="list-style-type: none"> • redução de populações de espécies pela eliminação de habitats; • destruição da microfauna e microflora; • incêndios em áreas de preservação próximas aos canaviais: destruição de habitats; • desequilíbrio ecológico: eliminação de inimigos naturais (competidores, predadores e/ou parasitas); • poluentes tóxicos como os HPA's interferem nos processos de fotossíntese e respiração das plantas. <p>- Desmatamento: plantação da cana</p> <p>- Perda de biodiversidade (monocultura)</p>	<p>- Contaminação do solo</p> <ul style="list-style-type: none"> • diminuição da produtividade da lavoura; • aumento nos custos com operações mecanizadas. <p>- Uso de agrotóxicos no campo e lavagem dos aplicadores de agrotóxicos: contaminação das águas e comprometimento humano e conservação ambiental.</p> <p>- Pressões sobre outras atividades agrícolas: aumento dos preços dos alimentos.</p> <p>- Queimadas</p> <ul style="list-style-type: none"> • toxicidade a humanos: riscos à saúde dos trabalhadores e à população adjacente ao canal (problemas respiratórios); • riscos de acidentes aos trabalhadores (cortes, queimaduras e picadas de animais peçonhentos); • depreciação do panorama visual; • incômodo pela liberação da fumaça da queimada; • aquecimento das redes elétricas, podendo causar curto circuito; • exsudação da cana (perda de sacarose); • aumento do consumo de água nos centros urbanos; • aumento do número de acidentes nas estradas; • maior incidência de chuva ácida nas proximidades das usinas. <p>- Movimento migratório devido à expansão da cana</p> <ul style="list-style-type: none"> • desestímulo à agricultura familiar (população sai de suas terras e vai para a periferia da zona urbana); • descontinuidade do trabalho (época de plantio e colheita); • lotação nos sistemas de assistência das cidades que recebem essa população migratória; • crescimento desordenado do município. <p>- condições miseráveis dos cortadores de cana</p> <ul style="list-style-type: none"> • não atendimento aos direitos trabalhistas; • ocorrência de trabalho infantil e escravo; • exposição à fuligem da cana: doenças degenerativas; • ausência ou inadequação de equipamentos de proteção; • realização de esforço físico extenuante; • insegurança e improvisação dos transportes utilizados no deslocamento dos trabalhadores; • falta de instruções para a aplicação de agrotóxicos: intoxicação; • perigo no manuseio dos equipamentos cortantes. <p>- desemprego devido à mecanização da colheita</p>
<p>- Contaminação do solo por agrotóxicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • comprometimento da biota presente no solo; • desequilíbrio ecológico: eliminação de inimigos naturais (competidores, predadores e/ou parasitas); bioacumulação na rede trófica. <p>- Compactação do solo</p> <ul style="list-style-type: none"> • sufocamento da microfauna; • dificuldade da penetração das raízes. <p>- Acidificação do solo e das águas</p> <ul style="list-style-type: none"> • declínio florestal; • mortandade de peixes. <p>- Queimadas</p> <ul style="list-style-type: none"> • redução de populações de espécies pela eliminação de habitats; • destruição da microfauna e microflora; • incêndios em áreas de preservação próximas aos canaviais: destruição de habitats; • desequilíbrio ecológico: eliminação de inimigos naturais (competidores, predadores e/ou parasitas); • poluentes tóxicos como os HPA's interferem nos processos de fotossíntese e respiração das plantas. <p>- Desmatamento: plantação da cana</p> <p>- Perda de biodiversidade (monocultura)</p>	<p>- Contaminação do solo</p> <ul style="list-style-type: none"> • diminuição da produtividade da lavoura; • aumento nos custos com operações mecanizadas. <p>- Uso de agrotóxicos no campo e lavagem dos aplicadores de agrotóxicos: contaminação das águas e comprometimento humano e conservação ambiental.</p> <p>- Pressões sobre outras atividades agrícolas: aumento dos preços dos alimentos.</p> <p>- Queimadas</p> <ul style="list-style-type: none"> • toxicidade a humanos: riscos à saúde dos trabalhadores e à população adjacente ao canal (problemas respiratórios); • riscos de acidentes aos trabalhadores (cortes, queimaduras e picadas de animais peçonhentos); • depreciação do panorama visual; • incômodo pela liberação da fumaça da queimada; • aquecimento das redes elétricas, podendo causar curto circuito; • exsudação da cana (perda de sacarose); • aumento do consumo de água nos centros urbanos; • aumento do número de acidentes nas estradas; • maior incidência de chuva ácida nas proximidades das usinas. <p>- Movimento migratório devido à expansão da cana</p> <ul style="list-style-type: none"> • desestímulo à agricultura familiar (população sai de suas terras e vai para a periferia da zona urbana); • descontinuidade do trabalho (época de plantio e colheita); • lotação nos sistemas de assistência das cidades que recebem essa população migratória; • crescimento desordenado do município. <p>- condições miseráveis dos cortadores de cana</p> <ul style="list-style-type: none"> • não atendimento aos direitos trabalhistas; • ocorrência de trabalho infantil e escravo; • exposição à fuligem da cana: doenças degenerativas; • ausência ou inadequação de equipamentos de proteção; • realização de esforço físico extenuante; • insegurança e improvisação dos transportes utilizados no deslocamento dos trabalhadores; • falta de instruções para a aplicação de agrotóxicos: intoxicação; • perigo no manuseio dos equipamentos cortantes. <p>- desemprego devido à mecanização da colheita</p>
<p>- Contaminação do solo por agrotóxicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • comprometimento da biota presente no solo; • desequilíbrio ecológico: eliminação de inimigos naturais (competidores, predadores e/ou parasitas); bioacumulação na rede trófica. <p>- Compactação do solo</p> <ul style="list-style-type: none"> • sufocamento da microfauna; • dificuldade da penetração das raízes. <p>- Acidificação do solo e das águas</p> <ul style="list-style-type: none"> • declínio florestal; • mortandade de peixes. <p>- Queimadas</p> <ul style="list-style-type: none"> • redução de populações de espécies pela eliminação de habitats; • destruição da microfauna e microflora; • incêndios em áreas de preservação próximas aos canaviais: destruição de habitats; • desequilíbrio ecológico: eliminação de inimigos naturais (competidores, predadores e/ou parasitas); • poluentes tóxicos como os HPA's interferem nos processos de fotossíntese e respiração das plantas. <p>- Desmatamento: plantação da cana</p> <p>- Perda de biodiversidade (monocultura)</p>	<p>- Contaminação do solo</p> <ul style="list-style-type: none"> • diminuição da produtividade da lavoura; • aumento nos custos com operações mecanizadas. <p>- Uso de agrotóxicos no campo e lavagem dos aplicadores de agrotóxicos: contaminação das águas e comprometimento humano e conservação ambiental.</p> <p>- Pressões sobre outras atividades agrícolas: aumento dos preços dos alimentos.</p> <p>- Queimadas</p> <ul style="list-style-type: none"> • toxicidade a humanos: riscos à saúde dos trabalhadores e à população adjacente ao canal (problemas respiratórios); • riscos de acidentes aos trabalhadores (cortes, queimaduras e picadas de animais peçonhentos); • depreciação do panorama visual; • incômodo pela liberação da fumaça da queimada; • aquecimento das redes elétricas, podendo causar curto circuito; • exsudação da cana (perda de sacarose); • aumento do consumo de água nos centros urbanos; • aumento do número de acidentes nas estradas; • maior incidência de chuva ácida nas proximidades das usinas. <p>- Movimento migratório devido à expansão da cana</p> <ul style="list-style-type: none"> • desestímulo à agricultura familiar (população sai de suas terras e vai para a periferia da zona urbana); • descontinuidade do trabalho (época de plantio e colheita); • lotação nos sistemas de assistência das cidades que recebem essa população migratória; • crescimento desordenado do município. <p>- condições miseráveis dos cortadores de cana</p> <ul style="list-style-type: none"> • não atendimento aos direitos trabalhistas; • ocorrência de trabalho infantil e escravo; • exposição à fuligem da cana: doenças degenerativas; • ausência ou inadequação de equipamentos de proteção; • realização de esforço físico extenuante; • insegurança e improvisação dos transportes utilizados no deslocamento dos trabalhadores; • falta de instruções para a aplicação de agrotóxicos: intoxicação; • perigo no manuseio dos equipamentos cortantes. <p>- desemprego devido à mecanização da colheita</p>

Petróleo	Gás natural	Etanol
<p>Contaminação hídrica: geração de grande quantidade de efluentes líquidos (óleo, graxa, fenóis, amônias).</p> <p>Contaminação da água superficiais e subterrâneas: liberação de resíduos sólidos no solo (escoamento superficial e infiltração).</p> <p>Contaminação do lençol freático e degradação da sua qualidade</p> <p>Contaminação do extenso de água, produzindo grande quantidade de efluentes líquidos</p> <p>Incêndios e explosões: poluição aquática por óleo.</p> <p>Contaminação dos solos: disposição inadequada de resíduos sólidos, efluentes líquidos e gasosos.</p> <p>Polluição atmosférica:</p> <ul style="list-style-type: none"> emissão de gases tóxicos como SO₂, NO_x, CO, CO₂, HC, VOC's, BTEX, amônia e MP; aumento da chuva ácida e do efeito estufa; efeito sobre a visibilidade. <p>Condições: emissões de gases poluentes.</p> <p>Equipamentos e operações: ruídos elevados podem prejudicar a biota local (afugentamento) e a saúde humana.</p> <p>Operações:</p> <ul style="list-style-type: none"> emissão de gases tóxicos na queima do bagaço para produção de energia: menos poluente que a queima de combustíveis fósseis); MP, NO_x, N₂O e SO₂. 	<p>Equipamentos e operações: ruídos elevados podem prejudicar a biota local (afugentamento) e a saúde humana.</p> <p>Operações:</p> <ul style="list-style-type: none"> emissão de gases tóxicos na queima do bagaço para produção de energia: menos poluente que a queima de combustíveis fósseis); MP, NO_x, N₂O e SO₂. <p>Equipamentos e motores dentro da usina</p>	<p>Utilização intensiva da água para lavagem da cana: alto potencial poluidor.</p> <p>Contaminação dos recursos hídricos pelo lançamento de efluentes (carga orgânica).</p> <p>Contaminação dos corpos d'água e do lençol freático pelo uso da torta de filtro e da vinhaça como fertilizante para o solo.</p> <p>Geração de resíduos, como vinhaça e torta de filtro: contaminação do solo devido a disposição inadequada e eutrofização.</p> <p>Emissão de forte odor na fermentação e destilação da cana.</p> <p>Emissão de fortes odores no armazenamento da vinhaça.</p> <p>Emissão de gases estufa.</p> <p>Emissão de gases tóxicos na queima do bagaço para produção de energia: menos poluente que a queima de combustíveis fósseis); MP, NO_x, N₂O e SO₂.</p> <p>Polluição atmosférica no armazenamento do bagaço ao ar livre.</p> <p>Emissão de poluentes atmosféricos na geração de vapor e energia elétrica (queima de combustíveis fósseis): MP, NO_x, N₂O e SO₂.</p> <p>Equipamentos e motores dentro da usina</p>
<p>Equipamentos e operações: ruídos elevados podem prejudicar a biota local (afugentamento) e a saúde humana.</p> <p>Operações:</p> <ul style="list-style-type: none"> emissão de gases tóxicos na queima do bagaço para produção de energia: menos poluente que a queima de combustíveis fósseis); MP, NO_x, N₂O e SO₂. <p>Equipamentos e motores dentro da usina</p>	<p>Equipamentos e operações: ruídos elevados podem prejudicar a biota local (afugentamento) e a saúde humana.</p> <p>Operações:</p> <ul style="list-style-type: none"> emissão de gases tóxicos na queima do bagaço para produção de energia: menos poluente que a queima de combustíveis fósseis); MP, NO_x, N₂O e SO₂. <p>Equipamentos e motores dentro da usina</p>	<p>Equipamentos e motores dentro da usina</p> <p>Lançamento da vinhaça (ilegal) em corpos hídricos:</p> <ul style="list-style-type: none"> eliminação da fauna e flora associada; aumento da população de insetos transmissores de doenças endêmicas. <p>Produção de energia excedente pela queima do bagaço, da vinhaça (biogás) e da palha da cana.</p> <p>Uso do bagaço para a fabricação de papelão, ração de gado, etc.</p> <p>Lançamento da vinhaça ilegal nos corpos hídricos: prejudica a qualidade para consumo humano.</p>
<p>Equipamentos e operações: ruídos elevados podem prejudicar a biota local (afugentamento) e a saúde humana.</p> <p>Operações:</p> <ul style="list-style-type: none"> emissão de gases tóxicos na queima do bagaço para produção de energia: menos poluente que a queima de combustíveis fósseis); MP, NO_x, N₂O e SO₂. <p>Equipamentos e motores dentro da usina</p>	<p>Equipamentos e operações: ruídos elevados podem prejudicar a biota local (afugentamento) e a saúde humana.</p> <p>Operações:</p> <ul style="list-style-type: none"> emissão de gases tóxicos na queima do bagaço para produção de energia: menos poluente que a queima de combustíveis fósseis); MP, NO_x, N₂O e SO₂. <p>Equipamentos e motores dentro da usina</p>	<p>Equipamentos e motores dentro da usina</p> <p>Lançamento da vinhaça (ilegal) em corpos hídricos:</p> <ul style="list-style-type: none"> eliminação da fauna e flora associada; aumento da população de insetos transmissores de doenças endêmicas. <p>Produção de energia excedente pela queima do bagaço, da vinhaça (biogás) e da palha da cana.</p> <p>Uso do bagaço para a fabricação de papelão, ração de gado, etc.</p> <p>Lançamento da vinhaça ilegal nos corpos hídricos: prejudica a qualidade para consumo humano.</p>

<p>alacção dos dutos</p> <ul style="list-style-type: none"> • produção de efluentes líquidos: sanitários, oleosos, entre outros, alterando a qualidade da água; • alteração do hidrodinamismo dos corpos d' água e assoreamento devido à erosão do solo e escavação das valas; • alteração do escoamento superficial e subsuperficial modificando o sistema de drenagem da região e elevando o lençol freático. <p>amentos em dutos, gasodutos, trens e caminhões</p> <ul style="list-style-type: none"> • poluição dos corpos hídricos superficiais e subterrâneos; • geração de resíduos líquidos nas ações de contenção, remoção e limpeza. <p>amento de óleo por navios petroleiros e lançamento ilícito de esgoto, água de lavagem dos tanques e resíduos oleosos</p> <ul style="list-style-type: none"> • contaminação e alteração das águas oceânicas e costeiras; • infiltração do óleo e contaminação do lençol freático. <p>taminação das águas por compostos metálicos liberados pelas tintas antiincrustantes dos navios petroleiros.</p> <p>uição crônica das águas próximas aos portos e terminais</p> <p>os de abastecimento: contaminação do lençol freático.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Vazamentos (acidentes rodovias): contaminação das corpos hídricos (álcool biodegradável em água). - Vazamentos em postos de abastecimento: contaminação do lençol freático (difícil percepção).
<p>alacção dos dutos</p> <ul style="list-style-type: none"> • produção de resíduos sólidos; • compactação do solo por máquinas e equipamentos; • erosão; • instabilidade das camadas superficiais do terreno. <p>amentos em dutos, gasodutos, trens e caminhões</p> <ul style="list-style-type: none"> • poluição de solos e subsolos: percolação do produto; • geração de resíduos sólidos nas ações de contenção, remoção e limpeza. <p>amento de óleo por navios petroleiros</p> <ul style="list-style-type: none"> • contaminação das praias, costões rochosos; • geração de resíduos sólidos que serão despejados em terra. <p>amento em postos de abastecimento: poluição do solo e subsolo próximo do local.</p> <p>de dutos e gasodutos: diminuição do tráfego de caminhões que compacta o solo e degrada as estradas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Compactação do solo por caminhões (canavial/usina) - Vazamentos (acidentes rodovias): contaminação do solo. - Vazamentos em postos de abastecimento : contaminação do solo (efeitos desconhecidos).
<p>alacção dos dutos: emissão de poluentes atmosféricos por maquinários.</p> <p>amentos em dutos, gasodutos, trens, caminhões e navios petroleiros: poluição atmosférica por emissão de gases estufa e chuvas ácidas.</p> <p>tribuição (trens, caminhões e navios): emissão de gases poluentes (queima de combustíveis fósseis).</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Consumo de combustíveis fósseis: contribuição para o efeito estufa, aquecimento global e chuvas ácidas.
<p>alacção dos dutos: emissão de ruídos que prejudiciais à biota e à saúde humana.</p> <p>na na próxima página</p>	<p>-</p>

atuação do quadro 6.1

Alaiação dos dutos

- remoção da vegetação para a implantação do canteiro de obra e para a faixa de servidão;
- redução da área florestada provoca a fragmentação e aumenta o efeito de borda: perda de habitat, isolamento de populações e alterações de comportamento e reprodução;
- cobertura da faixa de servidão por plantas exóticas;
- assoreamento dos rios e aumento da turbidez da água altera a produtividade primária local e a alimentação dos organismos betônicos;
- eutrofização das águas altera a composição e a estrutura da comunidade fitoplancônica afetando a cadeia trófica dos corpos d'água.

zamento em dutos, gasodutos, trens e caminhões:

- contaminação dos ecossistemas "cortados" pelos dutos, que vão desde regiões sensíveis, praias, unidades de conservação, plantações agrícolas e áreas urbanas, comprometendo o equilíbrio ecológico da região;
- contaminação da biota local: efeitos agudos e crônicos, perda da biodiversidade.

amento de óleo por navios petroleiros

- mortalidade da biota por sufocamento físico, contaminação química, bioacumulação, carcinogenicidade, perda de habitat e de fontes de alimentação;
- contaminação dos ecossistemas oceânicos e costeiros que normalmente são os mais sensíveis.

cos e água de lastro dos navios petroleiros:

- transferência de espécies exóticas: alteração na cadeia trófica e desequilíbrio do ecossistema.

os e terminais

- poluição crônica das águas, manobras dos navios e redução do teor de oxigênio afetam a biota local, principalmente os organismos bentônicos.

amento em dutos, gasodutos, trens e caminhões

- risco de incêndio e explosão;
- desconforto respiratório e dores de cabeça;
- influência na pesca e no turismo da região;
- contaminação das fontes de abastecimento público.

amento de óleo por navios petroleiros: impacto visual, interdição das praias, diminuição do turismo, impacto na pesca e comprometimento de sítios de mineração e arqueológicos.

iferência de espécies exóticas pode causar riscos para a saúde humana (organismos patogênicos) e para a atividade pesqueira.

cos de abastecimento de gasolina e gás natural

- poluição da água para abastecimento público;
- risco de incêndios e explosões em ambientes urbanos: danos a saúde pública devido aos gases tóxicos liberados.

- Vazamentos (acidentes rodovias)

- Contaminação da biota aquática (impactos menos severos, pois o álcool se dissolve na água);
- Contaminação da biota terrestre (efeitos desconhecidos).

- Deteriorização das rodovias (treminhões)

- Aumento no número de acidentes nas estradas (treminhões)

- Vazamentos (acidentes rodovias)

- contaminação das águas para abastecimento público;
- risco de explosão.

- Vazamento em postos de abastecimento: contaminação de águas para o abastecimento público.

Consumo Final

Gasolina	Gás Natural Veicular	Etanol
<p>Contaminação dos recursos hídricos: chuva ácida e acidificação dos rios.</p> <p>Contaminação do solo por chumbo quando usado (aditivo da gasolina por emissões de chumbo) e outros poluentes.</p> <p>Contaminação dos solos: deposição de alguns poluentes com HPA's</p>	<p>- Diminuição da poluição dos recursos hídricos, pois emite menos poluentes.</p>	<p>- Diminuição da poluição das águas quando comparado à gasolina e ao gás natural.</p>
<p>Acúmulo de poluentes atmosféricos e particulados como o CO₂, ozônio, SO_x, CO, MP, HAPs, NO_x, SO_x, COV's, HC, entre outros.</p> <p>Emissão de grandes quantidades de formaldeído: cancerígeno</p> <p>Aquecimento para o efeito estufa, poluição atmosférica, aquecimento global e chuva ácida</p>	<p>- Menor emissão de poluentes (NO_x, benzeno e formaldeídos, SO_x, hidrocarbonetos pesados e O₃) (contraditório).</p> <p>- Menor emissão de CO.</p> <p>- Menor produção de óxidos que gera as chuvas ácidas.</p>	<p>- Redução da poluição urbana: melhora a qualidade do ar;</p> <p>- Redução nas emissões de CO, CO₂, SO_x, MP;</p> <p>- Emissão de poluentes menos reativos e tóxicos;</p> <p>- Quando misturado a gasolina emite mais NO_x que provoca a formação de O₃ (canceroso);</p> <p>- Diminui as emissões de HPA's (benzeno e tolueno);</p> <p>- Redução na emissão de formaldeído;</p> <p>- Emissão de aldeído, formaldeído (em menor escala), acetaldeído e peroxinitrato;</p> <p>- Redução de efeito estufa.</p>
<p>Poluentes oxidantes fotoquímicos emitidos trazem danos à vegetação e às culturas agrícolas.</p> <p>Chuva ácida degrada a paisagem local: acidificação das florestas.</p> <p>Poluição atmosférica: diminui o processo fotossintético das plantas e prejudica o crescimento das mesmas.</p>	<p>- Menor impacto, já que o gás emite menos poluentes atmosféricos.</p>	<p>- Sofrem com os efeitos das emissões dos gases tóxicos.</p>
<p>Contaminação da visibilidade em estradas devido à emissão de poluentes pelos motores.</p> <p>Emissões de poluentes atmosféricos causam doenças respiratórias e cardíacas, além de outros problemas de saúde.</p> <p>Aumento nos gastos públicos na área da saúde.</p> <p>Contaminação do ar: risco à saúde humana devido à toxicidade do formaldeído.</p>	<p>- Maior rendimento energético do que a gasolina (controverso)</p> <p>- Limitações no armazenamento em veículos</p> <p>- Menores investimentos em armazenamento/uso de espaço (gasodutos).</p> <p>- Reduz a importação de petróleo: diversificação da matriz energética.</p> <p>- Gás natural é mais seguro do que a gasolina quanto a acidentes, pois evapora mais rapidamente em contato com o ar.</p>	<p>- Em casos de engarrafamento em ambientes fechados o acetaldeído é mais perigoso (gasolina).</p> <p>- Melhora a qualidade do ar nos centros urbanos.</p>

7 – CONCLUSÕES

Motivado pela instabilidade do setor petrolífero, pelas preocupações ambientais e pela atual discussão sobre combustíveis alternativos, principalmente o etanol, esse trabalho concentrou-se na tentativa de avaliar os impactos potenciais dos principais combustíveis de veículos leves no Brasil: a gasolina e gás natural (energia não-renovável) e etanol (energia renovável proveniente da biomassa da cana-de-açúcar). Para isso, foram citados os principais impactos ambientais e alguns sócio-econômicos, que possibilitaram uma visão geral sobre o emprego dos três combustíveis. Com a discriminação desses impactos, constatou-se que os três combustíveis causam prejuízos sociais, econômicos e ambientais. Entretanto, esses efeitos agem de maneira e intensidade completamente diferentes no meio atingido.

Atualmente, a preocupação com os impactos ambientais e sociais deve fazer parte de todas as etapas do setor energético (políticas, planejamento, programas), a fim de garantir o desenvolvimento sustentável. Como comentado ao longo do trabalho, a inserção da variável ambiental e social nos processos produtivos tem sido um sério e importante desafio para a indústria. Tal compromisso já é um fator limitante para a sobrevivência da empresa nos mercados. As que adotam mecanismos de preservação do meio ambiente estão valorizando as suas marcas frente à sociedade e podem favorecer a expansão da empresa no comércio internacional, o qual é cercado de grandes exigências ambientais.

Essa sustentabilidade ambiental é a principal imagem que o setor sucroalcooleiro tenta passar para a sociedade e para os novos mercados, já que o etanol é uma energia renovável que reduz as emissões dos gases estufa e a poluição do ar dos grandes centros urbanos. No entanto, de acordo com o conteúdo exposto, fica claro que nos atuais moldes o etanol ainda não é uma alternativa sócio e ambientalmente sustentável, devido principalmente aos problemas gerados pela monocultura da cana-de-açúcar. Esses impactos são atribuídos ao desmatamento, aplicação de fertilizantes químicos e agrotóxicos, primitivo processo de colheita que obriga a queima da cana, técnicas de disposição das águas residuais e da vinhaça, condição social e

trabalhista da mão-de-obra empregada e, também, pela dependência de combustíveis fósseis ao longo de sua cadeia produtiva.

A melhora da qualidade do ar nos centros urbanos com o uso do etanol como combustível está na pauta de grandes discussões, mas ao mesmo tempo em que isso acontece, as queimadas de palha da cana no campo, em uma escala muito diferente, causam problemas parecidos como a dispersão de particulados e riscos com os gases tóxicos emitidos. No entanto, como o setor canavieiro continuará sendo importante para a economia brasileira por muito tempo, é preciso que este se adapte as novas realidades e juntamente com outros setores busquem soluções economicamente viáveis, socialmente benéficas e ambientalmente adequadas. Além disso, o conceito de energia renovável deve ser discutido a partir de uma visão mais ampla que considere todos os efeitos negativos dessa fonte bioenergética. A energia renovável quando produzida de forma eficiente e sustentável pode trazer diversos benefícios ambientais quando comparado aos combustíveis fósseis. Porém, esses benefícios dependem de alguns fatores como a disponibilidade de terras, a produtividade da espécie e suas variedades, a sustentabilidade ambiental, fatores sociais, viabilidade econômica, entre outros.

Por outro lado, a indústria do petróleo é uma das que mais sofrem com as enormes penalidades por danos causados ao meio ambiente, principalmente nos setores de exploração e transporte. Além disso, a gasolina é um dos maiores causadores da poluição atmosférica e forte contribuinte para a intensificação do efeito estufa e das chuvas ácidas. Os impactos ambientais e sócio-econômicos dessa indústria são evidentes e podem destruir grandes áreas ambientais e causar severos danos à saúde humana, além de prejudicar gravemente as atividades turísticas e pesqueiras da região atingida.

Quando se estuda dois setores com grandes forças políticas, fica difícil analisar os dados obtidos e tirar uma conclusão mais precisa destes, já que a produção de um combustível alternativo como o etanol tende a ser supervalorizada pelo setor sucroalcooleiro e criticada pelo petroleiro, e vice-versa. Por um lado, forças ligadas ao setor petrolífero tendem a ressaltar alguns aspectos negativos do etanol, como agressões ao meio ambiente, balanço energético negativo, danos aos equipamentos automotivos e logística de distribuição precária. Do outro lado, o setor sucroalcooleiro tende a transmitir uma imagem sustentável que não é verdadeira, além de criticar o uso e os impactos ambientais dos combustíveis fósseis para a produção energia automotiva. Por isso, a tentativa de indicar um combustível menos poluidor dentre os três estudados deve levar em consideração esse tipo de jogo político.

Limitando-se à quantidade dos impactos em todas as etapas estudadas, a indústria

petrolífera para a produção de gasolina é sem dúvida, muito mais impactante do que a o setor sucroalcooleiro para a produção de etanol. No entanto, sabendo de todos os impactos que a última causa ao meio ambiente em sua fase agrícola, fica impossível afirmar que o etanol é o combustível menos poluidor. Os impactos nas duas indústrias são completamente diferentes, mas não seria correto dizer que a monocultura da cana-de-açúcar, provocando o desmatamento que pode “empurrar” outras culturas para regiões ainda preservadas, o uso intensivo do solo, a poluição gerada pelas queimadas e o grave problema social gerado pela precária condição de trabalho e pelo crescente desemprego, sejam impactos menores do que os causados em toda a etapa do ciclo de vida da gasolina e do gás natural.

A única etapa estudada em que realmente é possível comparar os impactos dos três combustíveis e dizer qual é o menos poluidor, é a do consumo final. Os impactos se limitam à poluição atmosférica e o etanol consegue reduzir bastante os níveis desses poluentes, principalmente do CO₂, que intensifica o efeito estufa e, conseqüentemente, o aquecimento global. Quando se compara a gasolina ao gás natural, é clara a vantagem do uso de gás natural veicular para a diminuição da poluição do ar.

No contexto de dúvidas quanto ao fornecimento futuro de combustíveis fósseis e seus custos, as alternativas que substituam seu uso exercem papel relevante na matriz energética brasileira nacional e mundial. Para tal, é importante que os órgãos governamentais responsáveis, abandonando interesses individuais, fixem objetivos de médio e longo prazo para encontrar combustíveis alternativos que realmente possam diminuir os impactos ambientais e o grave problema do efeito estufa. É necessário melhorar a eficiência de utilização dos combustíveis fósseis, o que reduziria seu uso; investir em estudos para aumentar as fontes renováveis de energia, sobretudo fontes modernas (eólica, células fotovoltaicas e células de combustão baseadas no uso de hidrogênio); melhorar o setor de transportes, na eficiência dos motores, aumentando o desempenho com o qual a energia do combustível é convertida em trabalho útil; melhorar o transporte coletivo (metrô, ônibus e trens), entre outros. É preciso também, que a sociedade seja ecologicamente mais correta, usando fontes de energia menos poluentes e modificando o sistema econômico, de modo que ele seja mais sustentável, podendo satisfazer nossas necessidades atuais e futuras.

8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRO CARGILL. Excesso de carga e seus impactos nas rodovias brasileiras. **Revista Agro Cargill**. Ano VIII - nº 31 agosto/setembro/outubro, 2005. Disponível em <http://www.cargill.com.br/uploads/t9iyulbcbf9.pdf>. Acessado em Setembro/2008.

ALESSI, N. P.; NAVARRO, V. L. Saúde e trabalho rural: o caso dos trabalhadores da cultura canavieira na região de Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil. **Caderno Saúde Pública**, v.13, suppl.2, Rio de Janeiro, 1997.

AMBIENTE BRASIL. **Aumento do milho pode elevar demanda por etanol brasileiro, diz 'WSJ'**. Publicado em 15 de abril de 2008. 2008a. Disponível em <http://www.ambientebrasil.com.br/>. Acessado em 05/2008.

AMBIENTE BRASIL. **Etanol: O que é; Origem; Etanol e Meio Ambiente; Impactos e Problemas; Perspectivas Futuras**. 2008b. Disponível em <http://www.ambientebrasil.com.br/>. Acessado em 05/2008.

AMBIENTE BRASIL. **UE defende mistura de biocombustíveis no combustível**. Publicado em 15 de Abril de 2008. 2008c Disponível em <http://www.ambientebrasil.com.br/>. Acessado em 05/2008.

AMBIENTE BRASIL. **Biocombustível**. 2008d. Disponível em <http://www.ambientebrasil.com.br/>. Acessado em 05/2008.

AMBIENTE BRASIL. **Relator da ONU diz que biocombustíveis são um crime contra a humanidade**. Publicado em 15 de Abril de 2008. 2008e. Disponível em <http://www.ambientebrasil.com.br/>. Acessado em 05/2008.

AMBIENTE BRASIL. **Petróleo: O que é; Resíduos e Meio Ambiente; Utilidades**. 2008f. Disponível em <http://www.ambientebrasil.com.br/>. Acessado em 05/2008.

AMBIENTE BRASIL. **Gás Natural**. 2008g. Disponível em <http://www.ambientebrasil.com.br/>. Acessado em 05/2008.

ANDREOLI, C.; SOUZA S. P. Cana-de-açúcar: a melhor alternativa para conversão da energia solar e fóssil em etanol. **Economia & Energia**. Ano X, Nº 59, Dezembro 2006/Janeiro 2007. Texto para Discussão.

ANTUNES, P. B. **Proteção ambiental nas atividades de exploração e produção de petróleo: aspectos jurídicos**. Rio de Janeiro: Ed.Lumenjuris, 2003.

ARAÚJO, S.I.; SILVA, G. H.; MUEHE, D.C.E.H. **Manual básico para elaboração de mapas de sensibilidade ambiental a derrames de óleo no sistema Petrobrás: Ambientes costeiros e estuarinos**. Petrobrás. Rio de Janeiro, 2002.

ATHANASSOPOULOS, J. D. A.; DALTON, J. S.; FISCHER, A. P. **Offshore oil platform decommissioning: a comparative study of strategies and the ecological, regulatory, political and economic issues involved in decommissioning planning**. University of California, Santa Barbara, 1999. 101 p

AZUAGA, D. **Danos Ambientais Causados por Veículos Leves no Brasil**. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético - COPPE/UFRJ) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000.

BALL, I. (1999) Port waste reception facilities in UK ports. **Marine Policy**, v. 23, Issues 4-5, p. 307–327, July 1999.

BARBOSA, M. A. L. V. **Os impactos ambientais causados pela monocultura da cana-de-açúcar no município de Americana do Brasil**. Monografia apresentada ao curso de Geografia - Faculdade de Educação e Ciências Humanas de Anicuns – FECHA. Anicuns, Goiás, Março/2006.

BARLOW, M. J. & KINGSTON, P. F. Observations on the effects of barite on the gill tissues of the suspension feeder *Cerastoderma edule* (Linné) and the deposit feeder *Macoma balthica* (Linné). **Marine Pollution Bulletin**, v.. 42, n° 1, pp. 71-76, 2001.

BARROCAS, R. **Estudo da queimada da cana-de-açúcar em Iracemápolis, SP: espacialidade, percepção e cognição ambientais**. Dissertação (Mestrado em Geografia – Área de Concentração em Geografia Física) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

BARROS, R. M. **Estudos de risco de poluição das águas subterrâneas causada por vazamentos em postos de combustível no município de Ribeirão Preto/SP**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo São Carlos, 2000.

BERNIER, F.; LI, X. L.; VERSTRICHT, J.; BARNICHON, J. D.; LABIOUSE, V.; BASTIAENS, W.; PALUT, J. M.; BEN SLIMANE, J. K.; GHOREYCHI, M.; GAOMBALET, J.; HUERTAS, F.; GALERA, J. M.; MERRIEN, K.; ELORZA, F.J.; DAVIES, C. Clay Instrumentation Programme for the Extension of an underground research laboratory. **Final Report EC contract FI4W-CT96-0028**, Luxembourg: European Commission. 2003.

BERTELLI, L. G. **Bush e a produção de álcool**. Publicada em 02 de março de 2007. Site Eco & Ação: energias alternativas. Disponível em <http://www.ecoeacao.com.br/index.php>. Acessado em Junho/2008.

BIAGI-FILHO, M. **A visão atualizada da questão do etanol.** Apresentação Power Point. União da Indústria da Cana-de-Açúcar do Estado de São Paulo. Disponível em http://www.fiesp.com.br/irs/cosema/pdf/transparencias_reuniao_cosema_27_05_08_unica_ma_urilio.pdf. Acessado em setembro/2008.

BIODINÂMICA - Biodinâmica Engenharia e Meio Ambiente. **Estudo de Impacto Ambiental da Unidade de Transformação de Gás de Caraguatatuba (EIA – UTGCA).** Petrobrás e Biodinâmica Engenharia e Meio Ambiente. Vol.1/3. Abril de 2006.

BOHM, G. M. **Queima da cana-de-açúcar e saúde humana.** STAB, v. 16, n° 4, p. 40-41, 1998.

BOLOGNINI, M. F. **Externalidades na Produção de Álcool Combustível no Estado de São Paulo.** Dissertação (Mestrado em Energia) – Programa Interunidades em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

BORELLI, A.B.; NAKA, H.K.; OLIVEIRA, V.C. **Gás Natural - Transporte e Distribuição,** Universidade de São Paulo – Instituto de Eletrotécnica e Energia – PIPGE-IEE/USP, 2001. Disponível em: http://br.geocities.com/jbonds_0072001/pagina02.htm. Acessado em Junho/2008.

BRASIL, 1986. **Resolução CONANA n° 001 de 23 de Janeiro de 1986.** Dispõe sobre a Avaliação de Impactos Ambientais. Esta resolução estabelece os critérios básicos e as diretrizes gerais para a elaboração do RIMA – Relatório de Impacto Ambiental (Art. 1°). Disponível em <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf>. Acessado em Abril/2008.

BRASIL, 1997. **LEI N° 9.478, de 06.08.1997** - Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo e dá outras providências. Disponível em <http://nxt.anp.gov.br>. Acessado em Agosto/2008.

BRASIL, 1990a. **Resolução CONAMA N° 03, de 28.06.90** – Dispõe sobre os padrões de qualidade do ar as concentrações de poluentes atmosféricos que, quando ultrapassadas, podem afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, bem como ocasionar danos à flora e à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral. Disponível em www.mma.gov.br/port/conama/res/res90/res0390.html. Acessado em Setembro/2008.

BRASIL, 1990b. **Resolução CONANA N° 13, de 06.12.1990** – Dispõe sobre a necessidade de estabelecer-se, com urgência normas referentes ao entorno das Unidades de Conservação visando a proteção dos ecossistemas ali existentes. Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res90/res1390.html>. Acessado em Outubro de 2008.

BRASIL. 2002. Ministério do Meio Ambiente e secretaria de Biodiversidade. **Avaliação e Ações Prioritárias para a Conservação da Biodiversidade das Zonas Costeira e Marinha:** mapa, projeto de conservação e utilização sustentável da diversidade biológica brasileira – PROBIO. MMA, Brasília, 2002.

BRASIL. 2006. Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDCI). **Senadores dos EUA conhecem produção brasileira de etanol**. Publicado em 06 de Abril de 2006 por Maruska Freitas. Disponível em <http://www.desenvolvimento.gov.br/sitio/interna/noticia.php?area=1¬icia=6945>. Acessado em Junho 2008.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2007: Ano base 2006**: Resultados Preliminares. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: EPE, 2007a, 48 p.

BRASIL. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). **Anuário Estatístico Brasileiro de Petróleo e Gás Natural 2007**, Rio de Janeiro/RJ, Brasil, 2007b. 190p. Disponível em <http://www.anp.gov.br/doc/conheca/Anuario%20Estatistico%202007.pdf>. Acessado em Junho/2008.

BRASIL. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). **Petróleo e Derivados**. 2008a. Disponível em http://www.anp.gov.br/petro/petroleo_brasil.asp. Acessado em Maio/2008.

BRASIL. Secretaria Especial de Portos. **Sistema Portuário Nacional**. 2008b. Disponível em <http://www.portosdobrasil.gov.br/>. Acessado em Agosto/2008.

BRASIL. Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT). Ministério dos Transportes. **Transporte de Carga: transporte ferroviário**. Brasília, DF, 2008c. Disponível em <http://www.antt.gov.br/carga/ferroviario/ferroviario.asp>. Acessado em Agosto/2008.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Em 2008, safra de grãos deverá crescer 2,1%**. Publicado em 08 de janeiro de 2008. 2008d. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia>. Acessado em Setembro/2008.

BRASIL. Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) - **Acompanhamento da safra brasileira Cana-de-açúcar Safra 2008 / Primeiro Levantamento / Abril 2008**, Brasília, 2008e. Disponível em <http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/cana.pdf>. Acessado em Junho/2008.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia (MME). 2008e. Disponível em <http://www.mme.gov.br>. Acessado em Abril/2008.

BRASIL ESCOLA. 2008. Disponível em <http://www.brasilescola.com/quimica/combustivel.htm>. Acessado em Maio/2008.

BRAUNBECK, O. A.; OLIVEIRA, J. T. A. Colheita de Cana-de-Açúcar com Auxílio Mecânico. **Engenharia Agrícola**, v. 26, p. 300 - 308, 2006.

BRITO, A. J. M. **Modelo multicritério para classificação de trechos de gasodutos quanto a riscos de acidentes decorrentes de vazamentos de gás natural**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife/PE, 2006.

BURKE, C. J. & VEIL, J. A. Potential Environmental Benefits from Regulatory Consideration of Synthetic Drilling Muds. **Argonne National Laboratory Technical Memorandum ANL/EAD/TM-43**. Prepared for: U.S. Department of Energy, Office of Policy, Under Contract No. W-31-109-Eng-38, February, 1995.

CALDAS, S. Biocombustíveis: uma chance para o Brasil. **O Estado de São Paulo**. Publicada em 11 de Fevereiro de 2007. Disponível em <http://textospra.blogspot.com>. Acessado em Abril/2008.

CAMARGO, A.; CAPOBIANCO, J. P. R.; OLIVEIRA, J. P. R. (Orgs). **Meio Ambiente Brasil: avanços e obstáculos pós-Rio-92**. 2ed. rev. São Paulo: Estação Liberdade, 2004.

CAMPOS, D. C. **Potencialidade do sistema de colheita sem queima da cana-de-açúcar para o seqüestro de carbono**. Tese de Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba/SP, 2003.

CANÇADO, J. E. D. A. **A poluição atmosférica e a sua relação com a saúde humana na região de canavieira de Piracicaba**. Tese de Doutorado - Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, São Paulo/SP, 2003.

CANÇADO J. E.D.; SALDINA, P.H.N.; PEREIRA, L.A.A.; LARA, L.B.L.S.; ARTAXO, P.; MARTINELLI, L.A; ARBEX, M.A.; ZANOBETTI, A.; BRAGA, A.L.F. The Impact of Sugar Cane-Burning Emissions on the Respiratory System of Children and the Elderly. **Environmental Health Perspectives**, v.114, nº 5, p. 725 - 729, May 2006.

CARLTON, J. T. & GELLER, J.B. Ecological Roulette: The Global Transport of Nonindigenous Marine Organisms. **Science**, v. 261, nº 5117, p. 78 - 82, July, 1993.

CARVALHO, H. **Influência da poluição veicular na saúde humana**. In: MOVIMENTO NOSSA SÃO PAULO, 12 de Setembro de 2007. Ato Público Pela Melhoria da Qualidade do Diesel, 2007.

CAVALCANTE, D. **O setor sucroalcooleiro e a gestão ambiental**. VG Blog: Sustentabilidade empresarial. Publicado em 08 de Abril de 2008, 2008. Disponível em www.sgivirtual.blogspot.com. Acessado em Junho/2008.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório anual sobre a qualidade do ar – 1996**, São Paulo, 1997.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo – 1998**, São Paulo, 1999.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Derrames de Óleo no Mar e os Ecossistemas Costeiros**. Apostila de Curso, São Paulo, 2002. 270 p.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Relatório de qualidade do ar no estado de São Paulo, Governo de Estado de São Paulo e Secretaria de Estado do Meio

Ambiente, 2005. Disponível em <http://www.cetesb.sp.gov.br/Ar/publicacoes.asp>. Acessado em Setembro/2008.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Preparação para resposta: Planos de Contingência**. São Paulo, 2006. Disponível em < <http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acessado em Dez/2006.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 2008. Disponível em < <http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acessado em Abril/2008.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Emergências Químicas - Tipos de Acidentes – Rodovias**. São Paulo, 2008a. Disponível em < <http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acessado em Maio/2008.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Ar – Emissão veicular**. São Paulo, 2008b. Disponível em < <http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acessado em Junho/2008.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Ar – Emissão veicular - PROCONVE**. São Paulo, 2008c. Disponível em < <http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acessado em Junho/2008.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Emergências Químicas - Tipos de Acidentes – Ferrovias**. São Paulo, 2008d. Disponível em: < <http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acessado em Junho/2008.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Ar – Qualidade do ar - Poluentes**. São Paulo, 2008e. Disponível em: < <http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acessado em Junho/2008.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Gerenciamento de Risco - Emergências Químicas - Tipos de acidentes - Postos de combustíveis – A Questão Ambiental**. São Paulo, 2008f. Disponível em < <http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acessado em Junho/2008.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Gerenciamento de Risco - Emergências Químicas - Tipos de acidentes – Dutos**. São Paulo, 2008g. Disponível em < <http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acessado em Junho/2008.

CHELANI, A. B. & DEVOTTA, S. Air quality assessment in Delhi: before and after CNG as fuel. **Environmental Monitoring and Assessment**, v.125, p.257 – 263, 2007.

COELHO, S. T. **A cana e a questão ambiental: aspectos sócio-ambientais da nova modalidade de energia**. Apresentação da CETESB ao INEE. Disponível em http://www.inee.org.br/down_loads/eventos/BNDES%20-%202025.11.ppt. Acessado em Julho/2008.

COLLARES, S. **Avaliação do uso de recursos hídricos em refinarias de petróleo: um estudo de caso na Petrobrás**. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, 2004.

COLOMBO FILHO, O. (Diretor Executivo Associação Brasileira do Gás Natural Veicular – Abgnv). **A relevância do Gás Natural na Matriz de Combustíveis Veiculares**. Artigos. Dezembro/2004. Disponível em <http://www.gasvirtual.com.br/Artigos.htm>. Acessado em Agosto/2008.

COMMENDATORE, M. G.; ESTEVES, J. L. An Assessment of Oil Pollution in the Coastal Zone of Patagonia. **Argentina Environmental Manage**, v. 40 (5), p. 814 – 821, 2007.

CORSEUIL, H. X. & MARINS M. D. M. Contaminação de águas subterrâneas por derramamentos de gasolina: O problema é grave? **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.2, n.2, p. 50 - 54, 1997.

CORTEZ, L. & MAGALHÃES, P. Principais subprodutos da agroindústria canavieira e sua valorização. **Revista Brasileira de Energia**, v.2, nº 2, p.111 - 146, 1992.

CRUZ, R. L. **Efeitos da aplicação da vinhaça sobre o solo e água subterrânea**. Tese de Doutorado - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1991.

CUNHA Jr. N. P.; SILVA, G. H. R.; CUNHA, P. E. V; CUNHA, P.W.S.; DUARTE, R. G. Impactos da industria petrolífera no meio ambiente. In: **IX CONGRESSO BRASILEIRO DE ECOTOXOLOGIA** – Resumos, Junho/2006a. São Pedro/SP, 2006.

CUNHA, P. E. V; CUNHA, P.W.S.; CUNHA, E. M. S.; SILVA, G. H. R.; DUARTE, R. G. Transporte: Oleoduto e gasoduto. In: **IX CONGRESSO BRASILEIRO DE ECOTOXOLOGIA** – Resumos, Junho/2006b. São Pedro/SP, 2006.

CUNHA, P. E. V; GALHARTE, C. A.; SILVA, G. H. R.; SALIM, J.; DUARTE, R. G. Extração marítima e em terra firme. In: **IX CONGRESSO BRASILEIRO DE ECOTOXOLOGIA** – Resumos, Junho/2006c. São Pedro/SP, 2006.

DANIEL, L. D. **A queimada de palha de cana-de-açúcar no município de Matão, SP**, 1996. (Parecer técnico).

DARRIGAN, G. & PASTORINO, G. The recent introduction of Asiatic Bivalve, *Limnoperna fortunei* (Mytilidae) into South America. **The Veliger**, Berkeley, v.38 (2); 183 - 187, 1995.

DELUCCHI, M. A. **Emissions of greenhouse gases from the use of transportation fuels and electricity**. Report ANL/ESD/TM22, Argonne, IL: Argonne National Laboratory, Center of Transportation Research, 1991.

DIAS DE OLIVEIRA, M. E.; VAUGHAN B. E.; RYKIEL JR E. J. Ethanol as Fuel: Energy, Carbon Dioxide Balances, and Ecological Footprint. **BioScience**, v. 55, nº. 7, p.593 - 602, July 2005.

DUARTE, N. F. **Potenciais impactos ambientais da monocultura da cana-de-açúcar.** Análise Integrada do Meio Ambiente – Lagoa da Prata/MG, Belo Horizonte, MG, 2003.

EPA – Environmental Protection Agency. Office of compliance: **Profile of The Petroleum Refining Industry** – EPA, Washington, 1995.

EPA - Environmental Protection Agency. **Profile of the Oil and Gas Extraction Industry** – Sector Notebook Project, Office of Compliance – EPA, Washington, 2000.

ENVIRONMENTAL DEFENSE. **Motor vehicle air pollution and public health: asthma and other respiratory effects:** asthma in the United States. 2008. Disponível em http://www.edf.org/documents/2655_MotorAirPollutionAsthma.pdf. Acessado em Agosto/2008.

EYRE, N.J.; OZDEMIROGLU, E.; PEARCE, D.W.; STEELE, P. Fuel and Location Effects on the Damage Costs of Transportation Emission, **Journal of Transport Economics and Policy**, v. 31, n° 1, p. 5 - 24, Jan/1997.

FECOMBUSTÍVEIS - Federação Nacional do Comércio de Combustíveis e Lubrificantes. **Consumo de álcool bate o da gasolina.** Publicado em 11 de Abril de 2008. Disponível em http://www.fecombustiveis.org.br/index.php?option=com_clipping&task=nota¬aid=2534. Acessado em Junho/2008.

FERNADES. A. **Viabilidade dos biocombustíveis só é possível devido aos apoios públicos.** A era dos biocombustíveis. Publicado em 16 de Julho de 2008 pelo site PÚBLICO.PT. 2008a. Disponível em <http://dossiers.publico.pt/noticia.aspx?idCanal=2131&id=1335595>. Acessado em Julho/2008.

FERNANDES, D. **Etanol brasileiro é o que mais reduz emissões, diz OCDE.** Publicado em 16 de Julho de 2008 pelo BBC – BRASIL.com. 2008b. Disponível em http://noticias.br.msn.com/artigo_bbc.aspx?cp-documentid=8654012. Acessado em Julho/2008.

FEROLLA, S.X.; METRI, P. Nem todo o petróleo é nosso. Ed. Paz e Terra, São Paulo, 2006. 267 p.

FERREIRA, S. B. Estudos laboratoriais para avaliação do potencial de contaminação de água e do solo por gasolina oxigenada. Tese de Doutorado - Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

FIGUEIRA, S. R. Os programas de álcool combustíveis nos EUA, Japão e UE e as possibilidades de exportação do Brasil. Tese (Doutorado em Ciências e Economia Aplicada) - Universidade de São Paulo, ESALQ, Piracicaba, São Paulo, 2005.

FRANÇA, R. Questões para entender o etanol. **Revista Veja:** Energia. Ed. Abril, ed. 2052, ano 41, n° 11, 19 de Março, 2008, pp. 105 – 114.

FREDO, C.E.; VICENTE, M.C.M.; BAPTISTELA, M.S.L.; VEIGA, J.E.R. Índice de Mecanização na Colheita da Cana-de-Açúcar no Estado de São Paulo e nas Regiões Produtoras

Paulistas, Junho de 2007. **Análises e Indicadores do Agronegócio**, v. 3, n. 3, 2008. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br/out/analises.php>.

FREITAS, C. M. & AMORIM, A. E. Vigilância ambiental em saúde de acidentes químicos ampliados no transporte rodoviário de cargas perigosas. **Informe Epidemiológico do Sus**. v. 2001, nº.1, p. 31 – 42, Brasília, Mar. 2001.

FURLANI NETO, V. L. **Colhedora de cana-de-açúcar (Saccharum spp.): avaliação em canaviais com e sem queima prévia**. Tese de Doutorado – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

GALDOS, M. V. **Dinâmica do carbono do solo no agrossistema cana-de-açúcar**. Tese de Doutorado - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

GÁS VIRTUAL. **O portal Gás Virtual**. Disponível em <http://www.gasvirtual.com.br>. Acessado em Junho/2008.

GELLER, H. S. Ethanol fuel from sugar cane in Brazil. **Annual Reviews of Energy**, v. 10, p.135 - 164, 1985.

GESAMP - Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environment Protection. Impact of Oil and Related Chemicals and Wastes on the Marine Environment. In: IMO/FAO/UNESCO/WMO/IAEA/UN/UNEP. **Report and Studies**, nº 50, London, 1993.

GESAMP - Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environment Protection. In: IMO/FAO/UNESCO-IOC/WMO/WHO/IEAE/UN/UNEP and Advisory Committee on the Protection of the Sea. **A Sea of Troubles. Reports and Studies**, nº 70, Londres, 2001. 35 p.

GOLDEMBERG, J. Pesquisa e desenvolvimento na área de energia. São Paulo em Perspectiva. **Ciência e Tecnologia / Fundação SEADE**, v. 14 (3), p. 91 – 97, 2000.

GOLDEMBERG, J. Ethanol for a Sustainable Energy Future. **Science**, São Paulo, v. 315, p. 808 - 810, 9 de Fev. 2007.

GOMES, A. S.; PALMA, J. J. C.; SILVA, G. S. Causas e conseqüências do impacto ambiental da exploração dos recursos minerais marinhos. **Revista Brasileira de Geofísica**. v.18, nº.3, p. 447 - 454, São Paulo, 2000.

GONÇALVES, D. B. **A regulamentação das queimadas e as mudanças nos canaviais paulistas**. São Carlos: RiMA, 2002.

GONÇALVES, D. B. **Mar de cana, deserto verde? Dilemas do desenvolvimento sustentável na produção canavieira paulista**. Tese de Doutorado - Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2005.

GONÇALVES, D. B. & ALVES, F. C. A Legislação Ambiental e o Desenvolvimento Sustentável no Complexo Agroindustrial Canavieiro da Bacia Hidrográfica do Rio Moguiguaçu. **IN: III SEMINÁRIO DE ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE – REGULAÇÃO ESTATAL E AUTO REGULAMENTAÇÃO EMPRESARIAL PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**, Campinas-SP, IE/UNICAMP, Maio de 2003. Disponível em <http://www.freewebs.com/danielbertoli/textos/texto08.pdf>. Acessado em Maio/2008.

GONÇALVES, J. S. & SOUZA, S. A. M. Proibição da queima de cana no estado de São Paulo: simulações dos efeitos na área cultivada e na demanda pela força de trabalho. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 28, nº 3, p. 21 - 40, mar.1998.

GOUVEIA, J. L. N. **Atuação de equipes de atendimento emergencial em vazamentos de combustíveis em postos e sistemas retalhistas**. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) – Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública, São Paulo, 2004.

GOUVEIA, J. Gerente do setor de emergência da CETESB, (com. pess.).

GOYAL, P. & SIDHARTHA (2003). Present scenario of air quality in Delhi: A case study of CNG implementation. **Atmospheric Environment.**, v. 37, p. 5423 – 543, December/2003.

GRANATO, E. F. **Geração de energia através da biodigestão anaeróbica da vinhaça**. Dissertação de Mestrado - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Bauru/SP, 2003.

GRANT/ENSR-BR. **Relatório de Impacto Ambiental para a Atividade de Levantamento de Dados Sísmicos Marítimos 3-D, não exclusivos na Bacia de Camamu-Almada**, Rio de Janeiro, 2003.

HABTEC. Estudo de Impacto Ambiental (EIA-RIMA/Petrobrás). **Atividade de Produção de Gás e Condensado no Campo de Mexilhão**, Bacia de Santos, 2006.

HILGEMBERG, E. M. & GUILHOTO, J. J. M. Uso de combustíveis e emissões de CO₂ no Brasil: um modelo inter-regional de insumo-produto. **Revista Nova Economia - Economia e Sociedade Brasileiras**, v.16, nº 1, Belo Horizonte, 2006.

HODGE, C. Ethanol use in US gasoline should be banned, not expanded. **Oil & Gas Journal**, Week of Sept. 9, 2002. 8 p.

HODGE, C. Comment: More evidence mounts for banning, not expanding, use of ethanol in US gasoline. **Oil & Gas Journal**, Week of Oct. 6, 2003. 4 p.

HOLDWAY, D. A. The acute and chronic effects of wastes associated with offshore oil and gas production on temperate and tropical marine ecological processes. **Marine Pollution Bulletin**, v. 4, p. 185–203, 2002.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA/SP (IEA/SP). **Previsões e Estimativas das Safras Agrícolas no Estado de São Paulo, Safra 2005/06**. IEA/4º. Levantamento, 2006. 2006. Disponível em <http://www.iea.sp.gov.br>. Acessado em Julho/2008.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA (IEA). Colheita da cana desemprega 2.700 pessoas a cada um por cento de área mecanizada. Notícia publicada em 18 de setembro de 2008. Disponível em <http://www.iea.sp.gov.br/>. Acessado em Agosto/2008.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Biofuels for Transport – An International Perspective**. Paris, França, 2004. 216 p. Disponível em: <http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2004/biofuels2004.pdf>. Acessado em Setembro/2008.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Key World Energy Statistics (2007)**. OECD/IEA. Paris, França, 82 p., 2007. Disponível em: www.iea.org/textbase/nppdf/free/2007/Key_Stats_2007.pdf. Acessado em Junho/2008.

IMO - International Maritime Organization. **Marine environment: Introduction**. Disponível em <http://www.imo.org/>. Acessado em Setembro/2008.

IPIECA. International Petroleum Industry Environmental Conservation Association. **Guidelines on Biological Impacts of Oil Pollution**. IPIECA Reports Series, Vol. 1. 20 p. Disponível em http://www.ipieca.org/activities/oilspill/oil_publications.php#4. Acessado em Outubro/2008.

JACOBSON, M. Z. Effects of Ethanol (E85) Versus Gasoline Vehicles on Cancer and Mortality in the United States. **Environmental Science and Technology**, in press Aug. 30, 2006, Revised Jan. 25, Feb. 19, 2007. 24 p.

JANK, M. S. (Presidente da UNICA - União da Indústria da Cana-de-Açúcar do Estado de São Paulo). **O progresso do setor de etanol do Brasil**. 2008a. Disponível em <http://www.unica.com.br/>. Acessado em Junho/2008.

JANK, M. S. (Presidente da UNICA - União da Indústria da Cana-de-Açúcar do Estado de São Paulo) **A cana de açúcar, de etanol e de eletricidade: uma commodity global**. Publicado em 02 de Abril de 2008. 2008b. Disponível em <http://www.unica.com.br/>. Acessado em Junho/2008.

JANK, M. S. (Presidente da UNICA - União da Indústria da Cana-de-Açúcar do Estado de São Paulo). **Etanol - reagindo ao tiroteio global**. Publicado em 18 de Abril de 2008. 2008c. Disponível em <http://www.unica.com.br/>. Acessado em Junho/2008.

JORNAL DIÁRIO DE FATO. **Transporte de cana: O perigo corre ao lado**. 2008. Publicada em 07 de julho de 2008. Disponível em <http://www.ilhasolteira.com.br/noticias/index.php?id=1215457396>. Acessado em setembro, 2008.

JOSEPH Jr., H. Long term experience from long term experience from dedicated & flex fuel ethanol vehicles in Brazil. **Clean Vehicles and Fuels Symposium**. Stockholm, 2005.

KIRCHHOFF, D. **Avaliação de risco ambiental e o processo de licenciamento: o caso do gasoduto de distribuição Gás Brasileiro Trecho São Carlos – Porto Ferreira**. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo/USP), São Carlos, 2004.

KOCHINSKI, V. Barril de petróleo tem preço novo recorde em Nova York. **Agência Brasil**. Publicado em 6 de Junho de 2008. Disponível em: <http://www.agenciabrasil.gov.br/noticias/2008/06/06/materia.2008-06-06.5165279155/view>. Acessado em Junho de 2008.

LACERDA, D. L.; MARINS, R. V. Geoquímica de sedimentos e o monitoramento de metais na Plataforma Continental Nordeste Oriental do Brasil. **Geochemica Brasiliensis**, v. 20(1), p. 123 - 135, 2006.

LANDIM, R. **Petróleo pode ser déficit de US\$ 8 Bi em 2008**. Valor Econômico. Publicado em 11 de Abril de 2008. Federação Nacional do Comércio de Combustíveis e Lubrificantes (FECOMBUSTÍVEIS). Disponível em <http://www.fecombustiveis.org.br>. Acessado em Junho/2008.

LARA L. B. L. S.; ARTAXO, P.; MARTINELLI, L. A.; VICTORIA, R. L.; CAMARGO, P. B.; KRUSCHE, A. Chemical composition of rainwater and anthropogenic influences in the Piracicaba River Basin, Southeast Brazil. **Atmospheric Environment**. Vol. 35, Issue 29, p.4937–4945, 2001.

LA ROVERE, E. L. **Política ambiental e Planejamento Energético**. Programa de Planejamento Energético, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2002. Revisado em Fev. de 2007.

LASHKOVA T.; ZABUKAS V.; BALTRENASP.; VAITIEKUNAS P. Air pollution near a port oil terminal. **Chemical and Petroleum Engineering, Industrial Ecology**, v. 43, p.5 –6, 2007.

LEME, R. M. **Estimativa das emissões de poluentes atmosféricos e uso de água na produção de eletricidade com biomassa de cana-de-açúcar**. Dissertação de Mestrado - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas/SP, 2005.

LIMA, M. A.; LIGO, M. A.; CABRAL, M. R.; BOEIRA, R. C.; PESSOA, M. C. P. Y.; NEVES, M.C. **Emissão de gases do efeito estufa provenientes da queimada de resíduos agrícolas no Brasil**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente; 1999.

LOURENÇO, S. R. **Gás natural: perspectivas e utilização**. Dissertação de Mestrado - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas/SP, 2003.

LUDOVICE, M. T. **Estudo do efeito poluente da vinhaça infiltrada em canal condutor de terra sobre o lençol freático**. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1996.

MACEDO, I. C. Greenhouse gas emissions and energy balance in bio-ethanol production and utilization in Brazil (1996). **Biomass and Bioenergy**. v. 14, n° 1, p. 77 - 81, 1998.

MACEDO, I. C. Energia da cana-de-açúcar no Brasil. **In: Sustentabilidade na geração de energia no Brasil: os próximos 20 anos**, Unicamp, Campinas, 2002.

MACEDO, I. C.; LEAL, M. R. L. V.; SILVA, J. E. A. R. **Balanco das emissões de gases do efeito estufa na produção e no uso do etanol**. Governo do Estado de São Paulo e Secretaria de Meio Ambiente, 2004. 32p.

MACEDO, I. C. “**A energia da Cana-de-açúcar**”. Doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e a sua sustentabilidade. UNICA – União da Agroindústria Canavieira do Estado de São Paulo, São Paulo, 2005.

MACHADO, F. T. H. F. **A utilização do ônibus a gás natural comprimido na frota de ônibus urbanos como alternativa para a redução de poluição atmosférica na região metropolitana de São Paulo**. Dissertação de Mestrado - (EP/FEA/IEE/IF), Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

MARCOCCIA, R. **A participação do etanol brasileiro em uma nova perspectiva na matriz energética mundial**. Dissertação (Mestrado em Energia) – EP / FEA / IEE / IF, Universidade de São Paulo - USP, São Paulo, 2007.

MARIANO, J. B. **Impactos ambientais do refino do petróleo**. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético COPPE/UFRJ) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

MARIANO, J. B. **Proposta de Metodologia de Avaliação Integrada de Riscos e Impactos Ambientais para Estudos de Avaliação Ambiental Estratégica do setor de Petróleo e Gás Natural em áreas Offshore**. Tese (Doutorado em Planejamento Energético - COPPE/UFRJ) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

MARQUES, S. G. **Metodologia geofísica para contaminação por hidrocarbonetos – estudo de caso em posto de combustível**. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia, Universidade de São Paulo, 2007.

MATTOS, K. M. G. **Valoração econômica dos impactos causados pela queima da cana-de-açúcar no meio ambiente**. Tese de Doutorado - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

MCFARLANE, K. & NGUYEN, V. T. The deposition of Drill Cuttings on Seabed. In: 1st INTERNACIONAL CONFERENCE ON HEALTH, SAFETY AND ENVIRONMENTAL. **Society of Petroleum Engineers**, N° SPE 23372, p.10-14, The Hague, Netherlands, November 1991. Resumo.

MELLO, R. **Custos ambientais de agrossistemas da cana-de-açúcar**. Tese de Doutorado - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1997.

MIDUGNO, R.; ROISENBERG, A. VIERO, A. P.; SANBERG, E. MIRLEAN N. Utilização de solos locais para tratamento de efluentes do refino de petróleo contendo metais. **Química Nova**, v.30, n° 5, São Paulo, Sept./Oct. 2007.

MONTEIRO, A. G. **Estratégia de redução de emissões de poluentes no setor de transportes por meio de substituição modal na região Metropolitana de São Paulo**. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético - COPPE/UFRJ), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1998.

MOON, H. B.; KANNAN, K.; LEE, S. J.; OK, G. Atmospheric Deposition of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in an Urban and a Suburban Area of Korea from 2002 to 2004. **Arch. Environ. Contam. Toxicol.**, v. 51, p.494–502, 2006.

MOREIRA, E. R. F.; IENO G.; TARGINO, I.; MITSUNAGA, T. **Espaço agrário, condições de vida, trabalho e saúde**. In: VI ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS DO TRABALHO, Abet, 1999.

MOSCARDI, J. P. **Impactos ambientais decorrentes de um vazamento de gás natural de baixa e média pressão, na área urbana central do Município de São Paulo**. Dissertação de Mestrado – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho/UNESP, Rio Claro, SP, 2005.

NASTARI, P. M.; MACEDO, I.C.; SWARC, A. Observation on the draft document entitled “Potencial for biofuel for transport in developing countries. **Presented at the World Bank**. Washington, Junho 2005.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. In Situ Bioremediation: When does it work? Executive Summary. **National Academic Press**, Washington, D.C, 1993, 250 p.

NIVEN, R. K. Ethanol in gasoline: environmental impacts and sustainability review article. **Renewable & Sustainable Energy Reviews**, v. 9, p. 535 - 555, 2005.

NYLUND, N. O. & LAWSON, A. Exhaust emissions from natural gas vehicles. **IANGV Emission Report**. A report prepared for the IANGV Technical Committee. Helsinki: International Association of Natural Gas Vehicles, VTT Energy, 2000.

ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro, Ed. Guanabara, 1988. 434p.

OLIVEIRA FILHO, A.D. & FAGÁ, M.T.W. **Impactos da substituição de diesel por gás natural no transporte público urbano**. In: 3º CONGRESSO BRASILEIRO DE PRODUÇÃO E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS, Salvador/BA, 2005.

OMETTO, A. R. Discussão sobre os fatores ambientais impactados pelo setor sucroalcooleiro e a certificação ambiental. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), São Carlos, 2000.

OMETTO, A. R. & SOUZA, M. P. **A sustentabilidade do setor sucroalcooleiro: um objetivo a ser alcançado.** In: XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS E V SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES DE LÍNGUA PORTUGUESA: GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS O DESAFIO DA PÁTRIA, Aracajú/SE, 2001.

OMETTO, A. R.; WOODROW, N. L. R.; SOUZA, M. P. **Environmental management of fuel alcohol coupled with energy production, based on a life cycle impact analysis.** ECOS 2003. Bridge to our energy future. In: 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON EFFICIENCY, COST, OPTIMIZATION, SIMULATION AND ENVIRONMENTAL IMPACTS OF ENERGY SYSTEMS, Copenhagen, Denmark, vol.1, 2003.

OMETTO, A. R. **Avaliação do ciclo de vida do álcool etílico hidratado combustível pelos métodos EDIP, Exergia e Emergia.** Tese (Doutorado EM Engenharia Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

ONAL, L. F.; ALBERTO, A. M. P.; PRUDENTE, J. A., SIGUA G. C. Levels of Lead in Urban Soils from Selected Cities in a Central Region of the Philippines. **ESPR – Environ Sci & Pollut Res, Levels of Lead in Urban Soils**, v. 13 (3), p. 177 – 183, 2006.

OTA – OFFICE OF TECHNOLOGY ASSESSMENT - U. S. CONGRESS. **Fueling development: energy technologies for developing countries, OTA-E-516.** Washington D. C.: U. S. Government Printing Office, 1990. Disponível em <http://www.energycommunity.org/documents/FuelingDevelopment.PDF>. Acessado em Abril/2008.

PAOLIELLO, J. M. M. **Aspectos ambientais e potencial energético no aproveitamento de resíduos da indústria sucroalcooleira.** Dissertação de Mestrado - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Bauru/SP, 2006.

PATIN, S. **Environmental Impact of the Offshore Oil and Gas Industry.** 1 Ed. New York Ecomonitor Pub, 1999. 448 p.

PERRY, C. A review of the impact of anthropogenic noise on cetaceans. **Paper presented to the Scientific Committee.** In: 50th MEETING OF THE INTERNATIONAL WHALING COMMISSION, IWC, IWC51SC/50/E9, 1998.

PIACENTE, E. A.; PIACENTE, F. J. Agricultura para um Desenvolvimento Sustentável: cana-de-açúcar. In: 1^o SEMINÁRIO INTERNACIONAL CIÊNCIA E TECNOLOGIA NA AMÉRICA LATINA. **Anais...** Campinas: UNICAMP, 2004. p.10. (Caderno de resumos).

PIACENTE, F. J. **Agroindústria Canvieira e o Sistema de Gestão Ambiental: o Caso das Usinas Localizadas nas Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá.** Dissertação de Mestrado – Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas/SP, Novembro de 2005.

PIMENTEL, D. Ethanol Fuels: Energy Balance, Economics, and Environmental Impacts are Negative. **Natural Resources Research**, v. 12, n° 2, p. 127- 134, June 2003.

PIMENTEL, D.; PATZEK, P. Ethanol production using corn, switchgrass, and wood; Biodiesel production using soybean and sunflower. **Natural Resources Research**. v. 14, n° 1, p. 65 - 76, 2005.

PIMENTEL, D. & PATZEK, T. Ethanol Production: Energy and Economic Issues related to U.S. and Brazilian Sugarcane. **Natural Resources Research**, v.16, n° 3, p. 357 - 371, September 2007.

PIRNIE-FISKER. E. F.; WOERTZ. J. R. Degradation of ethanol plant by-products by *Exophiala lecanii-corni* and *Saccharomyces cerevisiae* in batch studies. **Applied Microbiology Biotechnology**, v.. 74, n° 4, p. 902 – 910, 2007.

POFFO, I. R. F. **Vazamentos de óleo no litoral norte do estado de São Paulo: análise histórica (1974 a 1999)**. Dissertação de Mestrado – PROCAM: Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

PORTAL IMPRENSA UOL. **Jornal americano critica produção de etanol no Brasil**. Publicado em 16 de Junho de 2008. Disponível em http://portalimprensa.uol.com.br/portal/ultimas_noticias/2008/06/16/imprensa20204.shtml. Acessado em Junho/2008.

POZEBON, D.; LIMA, E. C.; MAIA, S. M.; FACHEL, J. M. G. Heavy metals contribution of non-aqueous fluids used in offshore oil drilling. **Fuel**, v. 84, n° 1, p. 53 - 61, 2005.

PRADO, T. G. F. **Externalidades no ciclo produtivo da cana-de-açúcar com ênfase na geração de energia elétrica**. Dissertação de Mestrado – EP / FEA / IEE / IF, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

VIEIRA JUNIOR, P. A.; VIEIRA, A.C.P.; BUAINAIN, A. M; LIMA, F.; SILVEIRA, J.M.F.J. Produção Brasileira de cana-de-açúcar e deslocamento da fronteira agrícola no Estado do Mato Grosso. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 38, n. 4, abr. 2008. 20p

RAMALHO, J. F. & AMARAL SOBRINHO, N. M. Metais pesados em solos cultivados com cana de açúcar pelo uso de resíduos agroindustriais. **Revista Floresta e Ambiente**, v. 8, n° 1, p. 120 – 129, jan./dez.de 2001.

RAVINDRA, K.; WAUTERS E.; TYAGI S. K.; MOR S.; GRIEKEN R. V. Assessment of air quality after the implementation of compressed natural gas (CNG) as fuel in public transport in Delhi, Índia. **Environmental Monitoring and Assessment**, n.115, p. 405 – 417, 2006.

REID, S. M. & ANDERSON, P. G. Effects of sediment released during open-cut pipeline water crossings. **Canadian Water Resources Journal**, v. 24, p. 23-39, 1999.

RELINI, G.; TIXI, F.; RELINI, M.; TORCHIA, G. The macrofouling on offshore platforms at Ravenna. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 41, p. 41 - 55, 1997.

RIBEIRO, S. K. **O álcool e o aquecimento global**. CNI, COINFRA: COOPERSUCAR, Rio de Janeiro, 1997. 80p

RIMA PPD/SP. **Relatório de Impactos Ambiental – Plano Diretos de Dutos do São Paulo – Setembro/2007**. 2007. Disponível em http://www2.petrobras.com.br/meio_ambiente/portugues/pdf/RIMA-sp2.pdf. Acessado em Setembro/2008.

RODRIGUES, D. & ORTIZ, L. **Em direção à sustentabilidade da produção de etanol de cana de açúcar no Brasil**. Parceria com Núcleo Amigos da Terra / Brasil (NAT) e Instituto Vitae Civilis [Brasil], Outubro 2006.

ROSILLO-CALLE, F.; BAJAY, S.V.; ROTHMAN, H. **Uso da biomassa para produção de energia na indústria brasileira**. Editora da Unicamp, Campinas /SP, 2005.

ROSILLO-CALLE, F. & WALTER, A. Global market for bioethanol: historical trends and future prospects. **Energy for Sustainable Development**. Volume X, Issue nº 1, p. 20-32, March 2006.

ROUSSEL, E. Disturbance to mediterranean cetaceans caused by noise. In: G. NOTABARTOLO DI SCIARA (Ed.), **Cetaceans of the Mediterranean and Black Sea: state of knowledge and conservation strategies**. A report to the ACCOBAMS Secretariat, Monaco, February 2002, Section 13, 2002. 18 p.

SANTI, A. L.; FLORA, L. P. D.; BUAES, G.; ALBUQUERQUE, M.; MARTINS, F. R. A. M.; MACHADO, F. C. Monitoramento da compactação solo através do mapeamento de resistência à penetração. **Revista Plantio Direto**, nº 96, nov/dez. 2006.

SANTOS, M dos S. **Proposta metodológica para o planejamento do uso da vinhaça, considerando os seus aspectos ambientais, por meio de Sistema de Informações Geográficas**. Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

SANTOS, U. J. (Foi Consultor do Sindcomb e do Sindestado-RJ). **Histórico GVN - Introdução**. 2008. Disponível em <http://www.gasvirtual.com.br/historico.htm>. Acessado em Agosto/2008.

SCANDIFFIO, M. I. G. **A competitividade do gás natural no segmento de revestimento cerâmico brasileiro**. Dissertação de Mestrado – Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2001.

SCARIOT, A.; FREITAS, S. R.; NASCIMENTO, M. T.; SANAIOTTI, T.; SEVILLA, A. C. & VILLELA, D.M. Vegetação e flora. In: RAMBALDI, D. M & D.A.S., (Oliveira, Org.). **Fragmentação de Ecossistemas – Causas, efeitos sobre a biodiversidade e recomendações de políticas públicas**. MMA, Brasília, DF, p. 103-123, 2005.

SCHAFFEL, S. B. **A Questão Ambiental na Etapa da Perfuração de Poços Marítimos de Óleo e Gás no Brasil [Rio de Janeiro]**. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Rio de Janeiro/COPPE, Rio de Janeiro, 2002.

SCHIFTER, I.; DIAZ, L.; LOÁPEZ - SALINAS, E.; AVALOS, S. Potential Impacts of Compressed Natural Gas in the Vehicular Fleet of Mexico City. **Environmental Science Technology**, v. 34, n° 11, p. 2100-2104, 2000.

SCHIFTER, I.; DIAZ L.; LOAPEZ-SALINAS E. L. Assessment of new vehicles emissions certification standards in the metropolitan area of Mexico City. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 114, n° 1 - 3, p. 419 – 432, 2006.

SCHRUT, A. M. F.; ADAMOWICZ, L.; V. F. PRIMOR. **Legislação ambiental aplicada a estudo de caso real de degradação ambiental**. Monografia apresentada para obtenção de título de especialista na Universidade Estadual de Ponta Grossa na área de Engenharia de Segurança do Trabalho, Ponta Grossa, 2005.

SCHUCHARDT, U.; RIBEIRO, M. L.; GONÇALVES, A. R. A Indústria Petroquímica no Próximo Século: Como Substituir o Petróleo como Matéria-Prima? **Revista Química Nova**, v. 24, n° 2, p. 247 - 251, 2001.

SHEEHAN, J.; ADEN, A.; PAUSTIAN, K.; KILLIAN, K.; BRENNER, J.; WALSH M.; NELSON, R. Energy and Environmental Aspects of Using Corn Stover for Fuel Ethanol. **Journal Industrial Ecology**, v.7, n.3 - 4, p.117-146, 2004.

SIH, T. M. Queimada da cana deixa crianças doentes. **Diário do Rio Claro**, Rio Claro, Gerais, 28 Julho/1998, p. 9.

SILVA, E. Controle da Poluição do Ar na Indústria Açucareira. Escola Federal de Engenharia de Itajubá. **STAB**, 2000.

SILVA, G. H. **Percepção ambiental da indústria de petróleo no litoral brasileiro**. Tese de Doutorado - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1996.

SILVA, G. H. R. ARAÚJO, H. S.; SALIM, J.; PEIXOTO, M.A.; DUARTE, R. G. Petroleiros. In: IX CONGRESSO BRASILEIRO DE ECOTOXICOLOGIA, Junho/2006 – **Resumos**, São Pedro/SP, 2006.

SILVA, J. S. V.; FERNANDES, F. C.; LARSEN, K. T. S.; SOUZA, R. C. C. L. Água de lastro, **Revista Ciência Hoje**, v. 32, n° 188, p.38 - 43, 2002.

SILVA, P. R. **Transporte Marítimo de Petróleo e Derivados na Costa Brasileira: Estrutura e Implicações Ambientais**. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético COPPE/UFRJ), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

SILVA, V. A. **O planejamento de emergência em refinarias brasileiras: um estudo dos planos de refinarias brasileiras e uma análise de acidentes em refinarias no mundo e a**

apresentação de uma proposta de relação de cenários acidentais para planejamento. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2003.

SMITH, P.; MARTINO, D. **Mitigation of Climate Change, Chapter 8 (Agriculture)**, by the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report, Working Group III, 2007. Disponível em <http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg3.htm>. Acessado em Julho 2008.

SIMMONDS, M.; DOLMAN, S.; WEILAGRT, L. **Oceans of noise. A WDCS Science report.** Whale and Dolphin Conservation Society, 2003. 164 p.

SOUZA, C. A. V. & FREITAS, C. M. Análise de causas de acidentes e ocorrências anormais, relacionados ao trabalho, em uma refinaria de petróleo, Rio de Janeiro. **Caderno de Saúde Pública**, v.19, nº 5, Rio de Janeiro, Sept./Oct. 2003.

SZKLO, A. & SCHAEFFER, R. Fuel specification, energy consumption and CO₂ emission in oil refineries. **Energy**, v. 32, p. 1075 – 1092, 2007.

SZMRECSÁNYI, T. Tecnologia e degradação ambiental: o caso da agroindústria canavieira no Estado de São Paulo. **Revista Informações Econômicas**, São Paulo, v.. 24, nº 10, Outubro 1994.

SZWARC, A. Key issues for the world biofuels market. In: HAT'S REFINING FUEL CONFERENCE: AMERICAS, 2006, Rio de Janeiro. **Apresentação oral em 02 de Agosto.** Rio de Janeiro: UNICA (União da Indústria da Cana-de-Açúcar do Estado de São Paulo), 2006.

THOMAS, V. & KWONG, A. Ethanol as a lead replacement: phasing out leaded gasoline in Africa. **Energy Policy.**, v. 29, p. 1133–1143, 2001.

TORQUATO, S. A. & PEREZ, L. H. Álcool Brasileiro: Exportações Versus Mercado Interno. Instituto de Economia Agrícola (IEA). **Análises e Indicadores do Agronegócio**, v. 1, nº 3, 2007.

TROVÃO, R. S. **Análise ambiental de solos e águas subterrâneas contaminadas com gasolina: estudo de caso no município de Guarulhos – SP.** Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

UNICA - União da Indústria da Cana-de-Açúcar do Estado de São Paulo. 2008. Disponível em <http://www.unica.com.br/>. Acessado em Junho/2008.

UNICA - União da Indústria da Cana-de-Açúcar do Estado de São Paulo. **Safra 2008/2009 da UNICA aponta para predomínio da produção de álcool.** Publicado em 30 de Maio de 2008. 2008b. Disponível em <http://www.unica.com.br/>. Acessado em Junho/2008.

UNICA - União da Indústria da Cana-de-Açúcar do Estado de São Paulo. **Fórum na Califórnia reconhece sustentabilidade do etanol de cana-de-açúcar.** Publicado em 28 de Maio de 2008. 2008c. Disponível em <http://www.unica.com.br/>. Acessado em Junho/2008.

UNIVERSO ON LINE (UOL). **Crescem consumo e produção de gás natural no Brasil.** Publicado em 11 de maio de 2006. Disponível em: <http://noticias.uol.com.br/economia/ultnot/2006/05/11/ult1767u67030.jhtm>. Acessado em Maio/2008.

UNIVERSO ON LINE (UOL). **Opep: consumo de petróleo na América Latina será impulsionado pelo Brasil,** Economia, Últimas Notícias. Publicado em 14 de Dezembro de 2007. Disponível em <http://noticias.uol.com.br/ultnot/economia/2007>. Acessado em Junho/2008.

VAN VUUREN, D.; DEN ELZEN, M.; BERK, M. An evaluation of the level of ambition and implications of the Bush Climate Change Initiative. **Climate Policy**, v. 2, p. 293-301, 2002.

VIANNA, J. N. de S. Energia e Meio Ambiente: Energia renovável. **Cap. 3.3 – Biomassa. Os Graduação em Ciências Mecânicas – ENM – UNB.** Apresentação em Slides. Disponível em http://200.130.0.16/jnildo/pub/arquivo_ver.cfm?arquivo=100908_4CEB7702.pdf. Acessado em Outubro/2008.

VIEIRA JUNIOR, P. A.; VIEIRA, A. C. P.; BUAINAIN, A. M; LIMA, F.; SILVEIRA, J. M. F. J. Produção Brasileira de cana-de-açúcar e deslocamento da fronteira agrícola no Estado do Mato Grosso. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 38, n. 4, p. 58 – 77, Abr. 2008.

WAKE, H. Oil refineries: a review of their ecological impacts on the aquatic environment. Estuarine. **Coastal and Shelf Science**. v. 62, p. 131–140, 2005.

WALKER, D.; MICHEL, K.; COLEMAN, J. C.; MICHEL, J. **Oil in the sea: changes in the nature of sources and inputs since 1985.** In: INTERNATIONAL OIL SPILL CONFERENCE, British Columbia, Canadá, Abril 2003. Disponível em <http://www.iosc.org/papers/IOSC%202003%20a334.pdf>. Acessado em Setembro/2008.

WALTER, A.; ROSILLO-CALLE, F.; DOLZAN P.B.; PIACENTE, E. Task 40 Sustainable International Bio-energy Trade: securing Supply and Demand. Deliverable 8. **Market Evaluation: Fuel Ethanol.** IEA – Bioenergy, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007. 9 p.

WHITTEN, G. Z, REYS, S. **Air quality and ethanol in gasoline.** In: 9th ANNUAL NATIONAL ETHANOL CONFERENCE, **Policy & Marketing**; 2004. Disponível em <http://www.ethanol-gec.org/information/briefing/13.pdf>. Acessado em Setembro/2008.

WWF- BRASIL. Notícia: **País está na vanguarda da produção de biocombustíveis, mas WWF-Brasil recomenda cuidado o com meio ambiente.** Publicado em 28 de Maio de 2008. 2008a. Disponível em <http://www.wwf.org.br>. Acessado em Junho/2008.

WWF-BRASIL. **Relatório: Análise da Expansão do Complexo Agroindustrial Canavieiro no Brasil.** Programa de Agricultura e Meio Ambiente, Maio/2008. 2008b. Disponível em http://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/meio_ambiente_brasil/clima/clima_news/index.cfm?uNewsID=14200. Acessado em Junho/2008.

YACOBUCCI, B. D. Alternative Transportation Fuels and Vehicles: Energy, Environment, and Development Issues. **Congressional Research Service** - The Library of Congress CRS Report for Congress, 2005.

ZANCUL, A. **O efeito da queimada da cana-de-açúcar na qualidade do ar de Araraquara.** Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos - Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.