

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PROGRAMA INTERUNIDADES EM ENERGIA

ESCOLA POLITÉCNICA

FACULDADE DE ECONOMIA E ADMINISTRAÇÃO

INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA

INSTITUTO DE FÍSICA

Marly Fré Bolognini

EXTERNALIDADES NA PRODUÇÃO DE ÁLCOOL
COMBUSTÍVEL NO ESTADO DE SÃO PAULO

Dissertação apresentada ao Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Energia.

Orientador:

Prof. Dr. Antonio Evaldo Comune

São Paulo

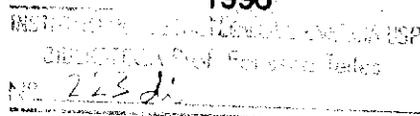
1996

620.92:661.72

B693e

D-PIPGE/USP

e.2



Agradecimentos

Agradeço a todos que de alguma forma me incentivaram a prosseguir nesta árdua tarefa de elaborar esta dissertação, e de maneira especial

Ao meu orientador Professor Antonio Evaldo Comune

Ao amigo e primeiro orientador José Juliano de Carvalho Filho

Ao Professor David Zylbersztajn

Ao Professor Adnei Melges de Andrade

Ao Professor Célio Berman

Ao Professor Ildo Sauer

Às amigas da Pós-graduação Suani T. Coelho e Eliana Fernandes

À amiga e colega Maria Isaura Le Sueur

Aos amigos da CESP e em especial

Dércia Maria Antunes

Pedro Roberto Cauvilla,

Edison da Silva

Silvana Marisa Rossi

Aos amigos do CED e do IEE

À Érika Martta Lima Elsner

Ao Sérgio, Zeca e Marcos



Sumário

Lista de figuras

Lista de tabelas

Resumo

Abstract

1 Introdução	1
2 Externalidades : aspectos conceituais	3
2.1 Origem das externalidades	4
2.2 O direito de propriedade. Bens privados e bens públicos	6
2.3 O papel do estado	9
2.4 A teoria do bem-estar e as externalidades	10
2.5 Normas ambientais e imposto	19
3 Valor econômico do meio ambiente	22
3.1 Técnicas e métodos para a medição de impactos ambientais	23
3.1.1 Conceito de produção sacrificada	25
3.1.2 Valor presente e valor futuro. Taxa de desconto	26
3.2 Mercado real ou convencional	28
3.2.1 Função dose-resposta	28
3.2.1.1 Efeitos na produção ou função produção	29
3.2.1.2 Avaliação de custos. Análise custo-benefício	29
3.2.1.2.1 Custo econômico de oportunidade	31
3.2.1.2.2 Despesas de defesa e custos de prevenção	33
3.2.1.2.3 Custo de reposição e projeto substituto	34
3.2.1.2.4 Custo efetivo	35
3.2.1.3 Efeitos na saúde	35
3.3 Mercado substituto	36

3.3.1 Técnica do preço de propriedade	37
3.3.2 Técnica do valor do salário	37
3.3.3 Técnica do custo de viagem	38
3.4 Mercado hipotético	39
3.4.1 Disposição a pagar e disposição a receber	39
3.4.2 Técnica da avaliação contingente	39
3.4.3 Técnica Delphi	41
4 A produção e o uso de energia. Álcool combustível. Identificação de alterações ambientais e sociais decorrentes de sua produção	42
4.1 Breve histórico do álcool combustível no Brasil: o Proálcool	44
4.2 Participação da agroindústria alcooleira na redução da taxa de carbono atmosférico	48
4.3 A agroindústria canavieira - Uso do solo, das águas e do ar atmosférico	56
4.3.1 Evolução histórica da agricultura	56
4.3.2 A cultura da cana-de-açúcar	58
4.3.2.1 Monocultura e mecanização agrícola	60
4.3.2.2 Agroquímicos. Adubos químicos	61
4.3.2.3 Agrotóxicos: inseticidas e herbicidas	61
4.3.2.4 Riscos para os ecossistemas aquáticos	64
4.3.2.5 Agrotóxicos nos ecossistemas aquáticos. Bacias dos Rios Mogi Guaçu e Pardo	66
4.3.2.6 Questões ecológicas ligadas ao uso de agrotóxicos	68
4.3.2.7 Emprego de agrotóxicos. Legislação	70
4.3.3 Águas residuárias	73
4.3.3.1 Águas de lavagem de cana	73
4.3.3.2 Águas das colunas barométricas	74
4.3.3.3 Vinhaça, composição e utilização	74

4.3.3.3.1	Fertirrigação com vinhaça	83
4.3.3.3.1.1	Sistemas de aplicação e transporte	90
4.3.3.3.2	Concentração da vinhaça	92
4.3.3.3.2.1	Usos da vinhaça concentrada	93
4.3.3.3.3	Digestão anaeróbia da vinhaça	95
4.3.3.3.3.1	Biodigestão da vinhaça	97
4.3.3.3.3.2	Utilizações de biogás e do efluente do biodigestor	104
4.3.3.3.4	Fermentação aeróbia da vinhaça	109
4.3.3.3.4.1	Processo de produção de proteína unicelular (puc) por fermentação aeróbia da vinhaça: vantagens e desvantagens	112
4.3.3.3.5	Avaliação do uso da vinhaça e atuação do órgão fiscalizador	114
4.3.3.3.6	Situação atual da destinação final da vinhaça no Estado de São Paulo	115
4.3.3.3.7	Comparação entre as cargas orgânicas da vinhaça e dos esgotos domésticos	118
4.3.3.3.8	Contaminação de aquíferos subterrâneos	120
4.3.3.3.9	Conclusões quanto ao uso da vinhaça	122
4.3.4	Bagaço de cana	122
4.3.4.1	Secagem e armazenamento	123
4.3.4.1.1	Enfardamento	124
4.3.4.1.2	Peletização e briquetagem	125
4.3.4.1.3	Empilhamento	126
4.3.4.2	Insumo energético	126
4.3.4.2.1	Utilização em caldeiras	127
4.3.4.2.2	Gaseificação	130
4.3.4.3	Matéria prima industrial	131
4.3.5	Queimadas	132

4.3.6	Uso da terra agrícola - substituição de culturas	136
4.3.6.1	O Programa Nacional do Alcool e a substituição de culturas	139
4.3.6.2	Regiões de Campinas, Ribeirão Preto e Bauru	144
5	Identificação e avaliação das externalidades: Técnicas a serem utilizadas para avaliação	146
5.1	Técnicas referentes à monocultura e mecanização	147
5.1.1	Custos decorrentes da monocultura	148
5.1.2	Custos decorrentes dos danos da mecanização no manejo do solo	149
5.2.1	Técnicas para avaliação das externalidades referentes ao uso de agrotóxicos	150
5.2.1.1	Efeitos atuais	150
5.2.1.2	Efeitos de longo prazo - Aspectos demoecológicos e biocenóticos	151
5.2.2	Custos decorrentes da contaminação de cursos d'água por carregamento de agrotóxicos pela chuva	152
5.2.3	Custos decorrentes dos efeitos diretos dos agrotóxicos sobre a mão de obra rural e indiretos sobre a população em geral	152
5.2.3.1	Mão de obra rural	152
5.2.3.2	Custos indiretos sobre a população em geral	153
5.3	Técnicas para avaliação das externalidades referentes à destinação da vinhaça	154
5.3.1	Custos decorrentes da descarga eventual da vinhaça em cursos d'água	154
5.3.2	Custos decorrentes da contaminação dos aquíferos pela lixiviação e percolação da vinhaça	154

5.3.3 Benefícios decorrentes da disposição da vinhaça sob a forma de fertirrigação	155
5.4 Técnicas para avaliação das externalidades referentes ao uso do bagaço - Redução na emissão de poluentes	157
5.4.1 Benefícios decorrentes do uso do bagaço nas caldeiras	157
5.4.2 Poluição por caldeiras a bagaço no Estado de São Paulo	159
5.5 Técnicas para avaliação das externalidades referentes à queima da cana antes do corte	161
5.6 Técnicas para avaliação das externalidades referentes aos benefícios do CO ₂ - dióxido de carbono evitado	162
5.7 Técnicas para avaliação das externalidades referentes aos efeitos macroeconômicos	163
5.7.1 Custos decorrentes da substituição de outras culturas pela cana-de-açúcar	163
5.7.2 Custos decorrentes da queima e do corte mecanizado da cana	164
6 Conclusões e recomendações	168
6.1 Conclusões relativas à agroindústria alcooleira	168
6.2 Conclusões e recomendações relativas à aplicação das técnicas de avaliação de custos e benefícios	169
7 Bibliografia e Comunicações pessoais	170
8 Anexo - Emissões de gases de queimadas na região canavieira - Assoc. das Ind. de Açúcar e de Alcool E.S.P. - AIAA	

Lista de figuras

Figura 2.1 - Custo Marginal Social e Custo Marginal Privado	12
Figura 2.2 - Custo Marginal Externo	17
Figura 4.1 - Fluxograma Simplificado da Produção da Vinhaça	76
Figura 4.2 - Distribuição das Empresas Segundo a Produção Específica de Vinhaça	77
Fig. 4.3 - Variação da Produção Específica de Vinhaça em Função do Teor Alcolóico do Vinho	78
Figura 4.4 - Distribuição das Empresas Segundo o Tipo de Utilização da Vinhaça	82
Figura 4.5 - Esquema de 4 Estágios para a Degradação pelos Microrganismos da Digestão Anaeróbia	97
Figura 4.6 - Representação Esquemática do Biodigestor	101
Figura 4.7 - Esquema Básico de Processo	104
Figura 4.8 - Exemplo de Instalação Industrial de Biodigestão de Vinhaça	107
Figura 4.9 - Produção de Proteína Unicelular (puc) por Fermentação Aeróbia da Vinhaça	113

Lista de tabelas

Tabela 4.1 - Consumo Final de Energia por Fontes	45
Tabela 4.2 - Impacto Ambiental do Cultivo de Um Hectare de Cana-de-açúcar (em toneladas métricas por ano)	56
Tabela 4.3 - Características da Vinhaça Resultante de Mostos de Diferentes Origens	79
Tabela 4.4 - Estudo de Caso - Usina da Barra	87
Tabela 4.5 - Resultados Obtidos em 1982 no Biodigestor de Fluxo Ascendente para Vinhaça, (PAISA)	103
Tabela 4.6 - Equivalência de 1 m ³ de Biogás	105
Tabela 4.7 - Quadro Comparativo das Características do Biogás	106
Tabela 4.8 - Fermentação Aeróbia da Vinhaça "in natura". Rendimento e Composição	110
Tabela 4.9 - Cultura de Proteína Unicelular (puc) em Vinhaça de Melaço de Cana	111
Tabela 4.10 - Cargas Orgânicas Potenciais e Remanescentes de Origem na Indústria Sucroalcooleira e Doméstica por Bacia	119
Tabela 4.11 - Fatores de Emissão para Queima de Cana-de-açúcar no Campo	
Tabela 4.12 - Importância Relativa dos Produtos Exportáveis para o Est.de São Paulo	137
Tabela 4.13 - Área Ocupada das Atividades Agropecuárias no Est. de São Paulo - Período 83/93	141

Tabela 4.14 - Efeito Substituição Atribuído aos Produtos que Incorporaram Área no Est. de São Paulo	142
Tabela 4.15 - Taxas de Ocupação da Cana-de-açúcar para Indústria por Divisão Regional da Agricultura - DIRA	144
Tabela 5.1 - Emissões de Material Particulado de Caldeiras a Bagaço de cana	160
Tabela 5.2 - Projeção das Estimativas de Emprego a Ser Substituído no Corte de Cana e Desemprego - Est. S. Paulo	166
Tabela 5.3 - Projeção das Estimativas de Emprego a Ser Substituído no Corte de Cana e Desemprego - Ribeirão Preto	167

RESUMO

Externalidades são custos ou benefícios que não estão incluídos nos preços. Os conceitos e as técnicas da Economia do Bem-estar são usados na identificação e avaliação das externalidades com a finalidade de atingir o uso ótimo dos recursos ambientais. Existe um considerável número de externalidades na cultura de cana-de-açúcar e na industrialização do álcool como as queimadas que precedem o corte, a destinação da vinhaça e do bagaço, e o padrão de uso dos recursos naturais. Este trabalho estuda estas externalidades e dá sugestões sobre as técnicas que podem ser usadas para identificá-las e avaliá-las.

ABSTRACT

Externalities are costs or benefits not included in the prices. The concepts and the techniques of Welfare Economics are used in the identification and evaluation of externalities in order to reach an optimal use of the environment. There is a considerable amount of externalities in sugar cane plantation and in the alcohol industry such as the burnings carried out before the harvest as well as in vinasse and bagasse destination and the pattern of the use of natural resources. This work studies these externalities and gives suggestions on the techniques that can be used to identify and evaluate them.

1 Introdução

Os impactos da ação do homem sobre o Meio Ambiente assume nos tempos modernos, uma grande importância, face à globalidade dos efeitos danosos, que colocam em risco a sustentabilidade da vida humana no planeta.

Frente a essa realidade, o homem se vê na contingência de repensar seus conceitos de crescimento econômico, seu comportamento em relação à natureza.

Neste contexto, a energia têm importância crucial, pois não existe forma de produção ou consumo de energia, que seja isenta de impactos ambientais.

Estes impactos, de maneira geral, estiveram ausentes do cálculo econômico, como se a natureza fosse indestrutível e seus recursos inesgotáveis. A própria ideologia corrente a respeito de crescimento e desenvolvimento econômico, implica uma contínua externalização de custos.

O objetivo desta dissertação é a conceituação e identificação dos custos externos ou externalidades na produção e uso de uma energia proveniente de biomassa que é o álcool combustível.

O capítulo 2 trata dos aspectos conceituais da economia do bem estar, que são aplicados à economia ambiental visando chegar a uma otimização econômica com a internalização dos custos e benefícios externos. É analisada a questão das externalidades face à propriedade dos bens, e o papel do Estado como agente da sociedade na imposição de normas e leis ambientais.

O capítulo 3 trata do valor econômico do meio ambiente, e das técnicas e métodos que podem ser utilizados para se proceder à sua avaliação, distinguindo as técnicas diretas que envolvem a consulta à sociedade para identificar suas opções e o valor que atribuem aos bens ambientais, das técnicas indiretas que medem os custos dos danos e os benefícios através de funções de causa e efeito no mercado real.

O capítulo 4 aborda os problemas ligados à produção e uso da energia, traz um breve histórico do uso do álcool combustível no Brasil, e sua participação

na matriz energética. Passa em seguida ao diagnóstico do padrão de utilização dos recursos naturais e ambientais na produção do álcool combustível, identificando danos e benefícios.

A produção envolve as duas fases, a agrícola e a industrial. Na fase agrícola é analisada a cultura da cana-de-açúcar, e são identificados impactos sobre o solo, as águas e a atmosfera; e é abordada a questão do uso do solo agrícola, concorrente com outras culturas e de forma breve a questão do emprego e do corte de cana mecanizado. Na fase industrial são identificados os principais resíduos e efluentes do processo de fabricação do álcool, tais como a vinhaça, as águas residuárias, o bagaço e a torta de filtro, e seus impactos sobre o meio ambiente.

O capítulo 5 trata especificamente das externalidades identificadas e sugere técnicas de avaliação para exprimir os danos ou benefícios físicos e sua monetização. Apresenta também sugestão sobre a sistematização e disponibilidade de informações desse teor, inclusive internacionais, para auxiliar no planejamento e decisão quanto às alternativas de produção e uso de energia.

O capítulo 6 traz as principais conclusões e recomendações do trabalho.

2 Externalidades - Aspectos Conceituais

Na discussão do presente tema, contido dentro do objeto de análise da economia ambiental, os economistas de maneira geral têm considerado a degradação do meio ambiente como um caso excepcional de falha do mercado, no qual se verifica uma tendência a um uso não ótimo, ou no qual não se faz o melhor uso de suas funções. Estas funções consistiriam na provisão de bens naturais (ex. uma bela paisagem), na provisão de recursos naturais (para produzir bens econômicos), e na provisão de local para descarte dos subprodutos inevitáveis da atividade econômica.

Tendo por objeto esta problemática, a economia ambiental enquadrar-se-ia dentro dos contornos da economia do bem estar, pois esta trata de avaliar a configuração ótima de uma economia em termos de preços e quantidades de produtos e insumos.

As funções e serviços do meio ambiente seriam bens que teriam preços ótimos ou não ótimos, ou não os teriam porque não estão sendo ofertados ou demandados no mercado, ou não são escassos. Representariam pois casos de determinação não ótima dos preços, encaixando-se no objeto da economia do bem estar.

Essa conceituação, tem sido considerada demasiado estreita por muitos estudiosos que vêem o meio ambiente como "um sistema integrado e muito sensível, que provê meios para a sustentação de todas as formas de vida" (PEARCE, 1976, p. 11).

Para adequar o objeto da economia ambiental a esta visão mais ampla e integrada da ciência e do homem, muitas investigações têm sido realizadas em direção a conceituações mais completas. Essa tendência vem se estendendo ao estudo das externalidades.

2.1 Origem das Externalidades

Embora a Teoria Econômica diga respeito a bens e serviços cujos preços são estabelecidos dentro do sistema de mercado, os preços de determinados bens e serviços não o são, por uma errônea avaliação dos agentes econômicos quanto a sua oferta e, por decorrência, do seu valor.

Essas falhas na atribuição de valor a determinados tipos de bens, dos quais os ambientais são os melhores exemplos, são chamadas por vários autores (mormente os conservacionistas), de falhas de mercado. MEISTER (1977) apud Ely (1988) as chama "deficiências de mercado", que ocorrem quando as operações do sistema de mercado não direcionam a alocação dos recursos para seu melhor uso alternativo, por omissão desses custos ou benefícios externos. Essas falhas seriam:

- a não contabilização dos custos e benefícios resultantes de uma atividade econômica;
- os conflitos de atribuição de valor aos bens coletivos por parte dos indivíduos e portanto do mercado;
- a dificuldade de atribuição de valor aos direitos atuais e futuros, às necessidades da geração presente em confronto com as necessidades das futuras gerações.

Já em 75 os conservacionistas canadenses assim expressavam essa questão:

"As medidas econômicas tomadas atualmente não levam em conta, de modo adequado, as futuras consequências que delas advirão. Estamos plenamente cômicos de que muitos recursos cruciais são finitos e, por isso, questionamos a continuação de seu consumo irrestrito. Além disso como proponentes da Sociedade Conservacionista, acreditamos que certas decisões tomadas hoje com tanta frequência, visando a consecução a curto prazo, de

determinados objetivos, podem resultar em sérios e talvez inaceitáveis ônus sociais futuros, os quais devem ser avaliados antes de serem aceitos tacitamente." SHEPHERD (1975) apud MCFETRIDGE et alii, (1992).

E:

"As medidas econômicas tomadas atualmente não levam em conta, de modo adequado, os efeitos secundários lesivos ao meio ambiente.

"O crescimento econômico, como é convencionalmente mensurado, tem de envolver ao longo do tempo, uma contínua externalização dos custos. A ação dos empresários não é maléfica. Simplesmente os métodos contábeis tradicionais têm uma orientação própria e somente consideram certos aspectos do comportamento comercial... Na maioria dos casos, a poluição é causada pela externalização dos custos" (CORDELL 1977 apud MCFETRIDGE et alii 1992).

FREEMAN III et alii (1973) apud Ely (1988), afirmam que existem duas principais fontes das falhas de mercado relevantes aos problemas da poluição ambiental. A primeira diz respeito à lacuna existente na exata definição dos direitos privados de propriedade. A segunda fonte é a característica de bens coletivos que a maioria dos serviços ambientais possui.

Essas duas questões relevantes serão utilizadas inicialmente para discussão do tema.

2.2 O Direito de Propriedade - Bens Privados e Bens Públicos

As leis que regulam a propriedade, ao mesmo tempo em que garantem os direitos do indivíduo, também regulam o uso, a posse e a reprodução dos bens para assegurar a permanência e duração desses bens que são de todos, em todas as gerações.

Esses conceitos são apropriados para o direito de propriedade individual, da empresa, do Governo. Assim a definição clara do direito de propriedade, sua forma de exercício, suas restrições possibilitam a defesa desses direitos, e o amparo legal e institucional para sua defesa. O dono de um bem pode restringir o uso para si mesmo; pode excluir os outros dos benefícios de seu uso, e protegê-lo de quem queira danificá-lo, tendo para tanto amparo legal. No entanto, determinados usos que queira fazer, podem afetar terceiros, criar prejuízos ou benefícios que não foram levados em consideração pelo proprietário. São efeitos externos às decisões econômicas do dono, efeitos que não têm uma representação econômica dentro do cálculo que realiza para a tomada de decisão. Considera-se portanto uma externalidade, em face da qual a alocação do recurso, ou do bem deixou de ser feita segundo o melhor uso alternativo.

Aqueles custos ou benefícios não internalizados, influíram certamente na decisão econômica do indivíduo. E pode-se dizer que esse comportamento teve origem em uma falha de mercado que não atribuiu valor àquela externalidade.

Mas, se terceiros prejudicados viessem a demandar contra esse indivíduo que os prejudicou no uso de bem de sua propriedade, demonstrando tal fato em juízo, poderia tal externalidade ser convertida em uma indenização por perdas e danos. Mas o indivíduo dificilmente obteria ressarcimento se no uso legal de seus bens, promovesse uma melhoria, um benefício ao bem comum.

Então, de quem depende a atribuição ou o reconhecimento do valor de uma externalidade, e sua internalização no cálculo econômico?

Do próprio mercado, ou seja dos agentes econômicos que nele atuam; e face aos conflitos de interesse, depende em última análise do Estado, enquanto representante do conjunto dos cidadãos, exercendo o papel de árbitro, e principalmente estabelecendo regras claras e imparciais sobre o direito de propriedade, dentro do princípio universal de igualdade entre os cidadãos.

Até aqui vimos nos referindo a bens de propriedade privada. E quanto aos bens públicos também chamados coletivos ou bens de uso comum, aplicar-se-ão os mesmos princípios?

Aqui mais do que nos bens privados, os efeitos provocados são externos às decisões dos agentes econômicos, que não recebem qualquer sinalização (custos ou preços) para considerá-los em sua decisões. Não sendo proprietários dos bens e não percebendo efeitos prejudiciais imediatos sobre si, não assumem responsabilidade com relação aos mesmos.

Assim os ribeirinhos que se utilizam de um curso d'água para finalidades variadas, não se sentem responsáveis pelos efeitos de seu uso em relação à sociedade em geral. Para cada um deles o bem é de uso ilimitado, e não resulta em custos. Não internalizam em seus cálculos o benefício do uso do rio, e muito menos realizam despesas para não o sujar com seu uso. Sendo os bens de propriedade comum e não estando definidas claramente em lei as condições de uso, os efeitos são desconsiderados.

Realizado um descarte de produtos tóxicos no rio, por uma empresa por exemplo, outros que necessitem da água serão prejudicados, pois para utilizá-la terão o ônus de torná-la novamente apropriada, pagando caro pelo processo de limpeza. Mas o prejudicado não conseguirá ressarcir-se pois não tem direito de propriedade sobre o rio, que é de uso comum. Esse custo adicional para poder usar a água é uma externalidade, é um custo em que o poluidor deveria ter incorrido, através de algum instrumento coercitivo. O poluidor deveria ser compelido a pagar pelo uso predatório do curso d'água, ou repô-lo nas condições anteriores, internalizando esse custo entre os demais custos de produção.

Caso o poluidor procedesse a um tratamento da água que a devolvesse em condições melhores que as encontradas, ocorreria também uma externalidade representada por um benefício ao rio, pelo qual ele poderia ser ressarcido neutralizando parte de seus custos.

A verdade é que ao usar um bem de uso comum, ninguém pensa em incorporar em seu cálculo as vantagens ou desvantagens disso advindas. FREEMAN et alii (1973) apud Ely (1988) afirmam que enquanto o preço desse serviço for zero, os poluidores expandirão seu uso até o limite onde o valor marginal do serviço seja zero, mesmo que o custo marginal social possa exceder expressivamente esse valor. Nessas condições, o uso do meio ambiente para o descarte de resíduos será excessivo e abusivo.

Isso resulta do fato de os bens ambientais não pertencerem a ninguém de forma particular; são bens coletivos, bens de todos, e daí não são objeto de negociação, não têm preços que se estabelecem por livre negociação de mercado. Em decorrência, mesmo que se tratem de bens indispensáveis à vida, não se produzem sinalizações sobre seu valor, visto que se supõe ser sua oferta ilimitada ao longo do tempo.

Os recursos ambientais são considerados como que dádivas da natureza, ofertados por esta, de forma ilimitada e permanente.

Assim acabam entrando nos cálculos econômicos com valor zero, o que introduz um grande viés no preço dos produtos nos quais eles entram como insumos, ou condição indispensável de produção, ou descarte.

Face às chamadas falhas de mercado decorrentes da existência dos bens coletivos e mesmo da dificuldade de valorar externalidades nas relações de direito privado, deve-se discutir a própria falha do Estado.

2.3 O Papel do Estado

Dada a dificuldade de harmonização espontânea entre os indivíduos, e os interesses conflitantes do indivíduo e da sociedade, o Estado é chamado a intervir, como representante do conjunto dos cidadãos, na tentativa de impor regras justas e impessoais, que protejam os interesses coletivos, garantam a manutenção dos bens indispensáveis à vida humana, no presente e no futuro.

Embora haja grande diversidade de ideologias quanto ao papel a ser desempenhado pelo Estado, há um certo consenso de que o Estado tem o papel de harmonizar os interesses conflitantes dos cidadãos. Nesse papel regulador e harmonizador, o Estado estabelecerá as fronteiras entre o direito individual de propriedade de um lado, e a responsabilidade individual pelos bens coletivos, bem como fixará regras acerca de sua atuação como agente econômico, atuando lado a lado com cidadãos e empresas. Através do Estado cria-se um arcabouço institucional e legal que interfere na vida política social e econômica dos cidadãos por meio de leis, posturas, regulamentos, decisões judiciais limitadoras do comportamento dos indivíduos, e da propriedade e uso dos bens.

Refere-se aqui um Estado hipotético, infenso às influências do poder. Mas é de notório conhecimento que tal não ocorre. A própria maneira como exercerá esse papel depende das pressões das classes sociais.

Economistas canadenses (MCFETRIDGE et alii 1992) observam:

"Na realidade, é claro, não sabemos de nenhuma sociedade onde a riqueza e o poder político não estejam correlacionados. Na maioria das vezes um reforça o outro."

Também THUROW (1988) apud MCFETRIDGE (1992), conservacionista, afirmava que quando o governo é bom na distribuição de favores e excedentes de mercado, não o é na divisão das perdas.

Por força desta realidade o mercado se move lentamente para dar guarida aos novos desejos, às reivindicações dos grupos emergentes, às novas necessidades, a instrumentos novos de atuação. Assim é que, para que o mercado incorpore aperfeiçoamentos no cálculo econômico, fortes pressões são exercidas para que se mantenha o "status quo" por parte dos que detém os benefícios atuais, contra os que clamam por inovações, ou mesmo por uma situação mais justa. Não é demais lembrar que nas democracias representativas, mesmo as mais modernas, por vezes maiorias ocasionais obtém vantagens incompatíveis através de "lobbies" e meios modernos de comunicação de massas.

Mas, em tese, o Estado através da regulação, das políticas e taxações, pode realizar o objetivo de internalização dos vários custos e benefícios externos ao processo de formação de preços.

2.4 A Teoria do Bem-estar e as Externalidades

O objetivo da economia do bem-estar é a alocação ótima dos recursos escassos, o que significa aquela alocação que maximize o bem-estar de consumidores e produtores.

Este critério de maximização só pode ser satisfeito em uma economia perfeitamente competitiva, na qual o próprio funcionamento do mercado, através do equilíbrio entre oferta e demanda, conduz à alocação ótima dos recursos disponíveis.

Nessa condição de concorrência perfeita, cada agente econômico maximiza seu bem-estar, e como resultado é maximizado o bem-estar social. Esse ponto no qual ninguém poderá melhorar sua situação sem que alguém seja prejudicado é chamado ótimo social ou ótimo de Pareto.¹

¹ Vilfredo Pareto, economista (1848/1923).

Quando as mercadorias e serviços de uma economia são transacionadas por preços ótimos, segundo o conceito paretiano, esses preços representam uma boa medida de valor para todos os agentes econômicos.

Ocorre que as economias quase nunca funcionam em concorrência perfeita, sendo mais frequentes formas oligopolistas (poucos produtores) ou oligopsônicas (poucos compradores), monopolistas (um só produtor) ou monopsônicas (um só comprador). Em todos esses casos, o preço de equilíbrio não é o ótimo social, pois algum ou alguns dos agentes econômicos farão prevalecer sua condição dominante e imporão preços ou quantidades que maximizam seu bem-estar privado, diferentes daqueles que maximizariam o bem-estar de todos os agentes.

Além dessas formas de mercado, outras imperfeições como as externalidades, poderão levar a um desvio do ótimo social, podendo ser avaliados os benefícios e perdas de bem-estar social que são representados pela diferença de valor entre custos e benefícios privados e custos e benefícios sociais.

As lições de PEARCE (1985), em sua obra *Economia Ambiental*, no que se refere às externalidades, seguem os princípios da Teoria do Bem-estar, conforme abaixo:

O fluxo de serviços do meio ambiente é prejudicado ou diminuído pelos danos a ele causados. Para voltar a existir o mesmo fluxo de serviços, ou fluxo próximo daquele, incorrer-se-á em um aumento nos custos totais, que serão acrescidos dos custos corretivos e de controle da poluição. Com essa alteração na curva de custos do sistema, uma nova situação de maximização dos benefícios deve ser buscada, a qual minimize a soma dos custos totais de controle mais custos totais de dano.

Consideremos uma empresa em um mercado de concorrência perfeita

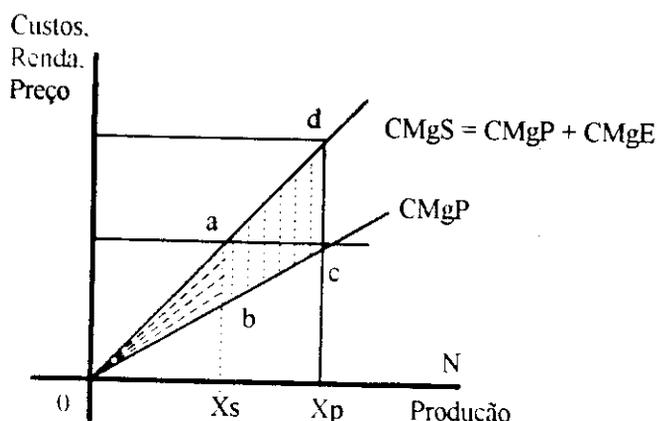


Figura 2.1 - Custo Marginal Social e Custo Marginal Privado

A curva $CMgP$ representa os custos marginais privados. Acima desta, temos a curva $CMgS$ (custos marginais sociais) que representa a soma dos custos marginais privados acrescidos de um delta que representa os custos marginais decorrentes de externalidades, externalidades estas que podem ser as contaminações de um curso d'água, a poluição ambiental, e outras.

No ponto ótimo de produção X_p , que do ponto de vista da empresa maximiza o resultado, estará está impondo ao meio ambiente e a sociedade, danos iguais à área sombreada Ocd .

O ponto em que o preço do produto iguala o custo marginal social, seria o ponto ótimo de produção do ponto de vista social, digamos o ótimo social, onde a curva de $CMgS$ cruza a linha do preço, e onde o dano é menor que o benefício. Dessa forma, a área Oab representa a quantidade ótima de externalidade, considerando o ponto de vista da economia do bem estar (ótimo de Pareto).

Como proceder então para induzir a redução da externalidade?

Gravar com um imposto o gerador da externalidade, de modo a induzi-lo a diminuir a produção até o limite em que a externalidade seja menor que o custo do controle. Esse tipo de imposto é chamado

“pigouviano”, referindo-se a Pigou, um dos primeiros a desenvolver a economia do bem estar.²

O ótimo de Pareto consiste na maximização dos benefícios sociais (B), de forma que

$$B = R(X) - C(X) - E(X) \quad \text{sendo: B-benefícios}$$

R-renda da produção

C-custos privados

E-custos externos

condição que ocorre quando não se logra alcançar qualquer aumento dos benefícios, aumentando ou diminuindo a produção, ou seja quando:

$$\Delta B/\Delta X = 0$$

Podemos dizer então que:

$$\Delta B/\Delta X = \Delta R/\Delta X - \Delta C/\Delta X - \Delta E/\Delta X = 0 \quad ^3$$

ou

$$\Delta R/\Delta X = \Delta C/\Delta X + \Delta E/\Delta X$$

ou

$$RMg = CMgP + CMgE$$

onde RMg - renda marginal da produção

² Pigou, A.C.(1932). The Economic of Welfare.

³ condição de primeira ordem para a maximização do benefício social.

CMgP - custo marginal privado

CMgE - custo marginal das externalidades

Se houver a imposição de um imposto $T=CMgE$ teremos que

$$RMg = CMgP + T$$

o que equivale a dizer que a maximização do benefício social dar-se-á quando se estabelecer uma taxa igual aos custos marginais externos (da poluição) ao nível de produção ótimo. A empresa então suportará tais custos externos sob a forma de um imposto. Portanto esse imposto interiorizou os custos externos, englobando-os dentro de seus custos privados.

E a nova condição de ótimo para a empresa será ao nível de produção X_s (figura 2.1), ponto em que ela maximiza seu benefício. E nesse ponto o benefício social suplanta o custo social, embora este ainda permaneça (área Oab no gráfico), mas indenizado pelo valor do imposto.

Se se passar agora a um mercado de concorrência imperfeita, quais serão os resultados ao ser aplicado um imposto?

Há casos em que o ótimo seria atingido com um aumento da produção, mas o aumento de custos provocado pelo imposto leva a empresa a buscar seu ótimo reduzindo a produção. Isso leva a uma redução dos excedentes combinados.

Assim embora a idéia de um imposto "pigouviano" não possa ser completamente excluída na concorrência imperfeita, pode-se esperar ajustes na direção errada por parte dos agentes econômicos, principalmente quando os custos marginais externos são muito grandes.

Pode-se considerar ainda que o imposto induziria uma empresa a alterar sua tecnologia ou processo de produção para algo menos

contaminante, se os custos dessa alteração pudessem ser compensados por uma diminuição do imposto maior que esses custos.

Além dos problemas das imperfeições do mercado, há outros problemas na fixação do imposto. Um deles é a estimativa correta dos custos externos, pois ela servirá de base econômica e legal para o estabelecimento da taxa.

Os custos de controle são de modo geral função dos danos, mas precisa-se ter uma amostra razoável de danos e custos de controle para estabelecer essa função que servirá de base para a imposição do imposto.

Tais requisitos supõem claramente a assunção pelo Governo, das responsabilidades de avaliar, administrar e finalmente estabelecer o imposto. Tudo isso pode representar custos maiores do que o imposto arrecadado, dependendo da eficiência dos órgãos públicos.

Existem por isso muitos que estigmatizam o aumento das funções do Estado sob a afirmação de que haverá mais burocracia, mais custo, e intervenção desmedida, e em contrapartida propalam as vantagens das soluções negociais .

Mas a negociação direta entre agentes econômicos parecem ser pouco aplicáveis na ocorrência de externalidades provocadas, por exemplo, pela poluição ambiental decorrente de emissões automotivas, ou do tipo que provoca a destruição da camada de ozônio, com incontáveis fontes poluidoras e incontáveis prejudicados. São danos extensos que se transferem até entre países e continentes, afetando mesmo a continuidade da vida no planeta, com por exemplo o aquecimento global decorrente do excesso de dióxido de carbono.

O próprio PEARCE no ano de 1974 na obra antes citada já expressava essa dificuldade (op.cit., p.117):

“Otro problema de la solución de negociación es que tiende a presuponer una situación bien definida en la que hay uno o dos contaminados y uno o dos contaminadores. En estas circunstancias, puede concebirse la negociación. En efecto, resulta quizá significativo el hecho de que gran parte de la literatura que se ocupa de los

problemas de las exterioridades utiliza casos que deben considerarse bastante triviales: querellas sobre el ruido de la segadora de césped, lumbres en el jardín, etc. Se sugiere así que tales casos podrían someterse a alguna clase de negociación, pero no las formas importantes de la contaminación”.

Se esta assertiva correspondia a realidade há vinte anos atrás, o que dizer dos dias de hoje? Com muito mais razão pode-se afirmar que no contexto geral dos males da poluição, são cada vez mais restritos e inexpressivos os casos que podem ser solucionados diretamente entre contaminado e contaminador, a nível de negociação particular, pois mesmo nesses casos busca-se dirimir os conflitos através do Poder Judiciário, órgão do Estado.

A par disso encontrar soluções a partir de negociação, depende muito dos direitos de propriedade, e ao tratar-se de bens ambientais ou bens públicos torna-se mais complexo.

O direito de propriedade introduz uma dicotomia: embora o dono possa cuidar melhor de sua propriedade, também sentir-se-á no direito de usá-la segundo sua conveniência, mesmo que isso prejudique o ambiente causando danos a terceiros. Se a poluição é um custo externo, quem sofre seus efeitos poderia negociá-la diretamente com quem a causa, para chegar a um acordo, da mesma forma que ocorre a venda de um bem no mercado. Mas é evidente que um poluidor interessado em maximizar seus benefícios privados, não oferecerá nenhuma compensação aos prejudicados, mas estes poderão oferecer um pagamento ao poluidor para que ele se abstenha de poluir, se for muito grande o incômodo na ausência de normas contra a poluição.

Tal situação parece bastante injusta, mas ele pode alegar que o dano decorre de uma atividade legítima de produção de bens para o consumo, e está utilizando bem de sua propriedade para o descarte. Como se vê torna-se difícil a negociação quando existem direitos a preservar dos dois lados. Implica em juízos de valor vigentes na sociedade.

Imagine-se que os prejudicados sejam os donos dos bens ambientais. Terão o direito de interromper a produção para evitar o dano, o que

pode não ser o melhor do ponto de vista social, porque diminuirá a oferta de bens no mercado. Então trata-se de encontrar o ótimo do ponto de vista da economia do bem estar, que é o ponto em que a curva de benefício marginal (BMg) do contaminante cruza a curva de perda marginal (CMgE) de quem sofre a contaminação, que é o ponto X_s (figura 2.2).

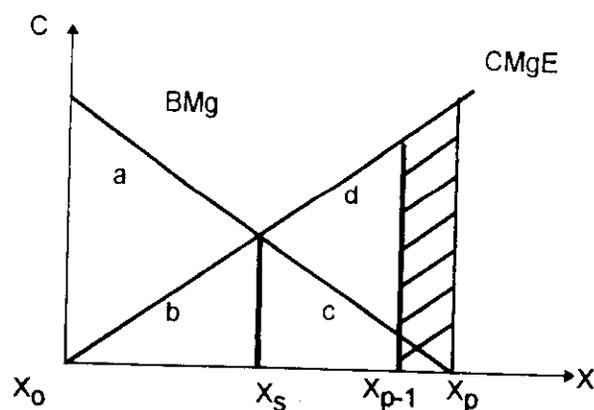


Figura 2.2 - Custo Marginal Externo

Estas curvas CMgE e BMg são as curvas de negociação: em tese o poluidor concordaria em aceitar qualquer quantia maior que BMg por uma redução unitária de sua produção; e os prejudicados aceitariam fazer qualquer pagamento menor que o valor do incômodo que seriam obrigados a suportar. Mas o ótimo social se encontra no ponto de produção X_s , onde se maximizam os benefícios sociais de todos os agentes econômicos, e onde seria mais justo ocorrer a negociação. Mas isso depende do poder relativo dos negociadores e dos direitos legais de cada um, quais sejam direitos de propriedade, direitos de vizinhança, etc.

Assim se o poluidor é dono do bem ambiental e conseguir uma indenização para renunciar à parte de sua produção, maior do que a renda que obteria com a própria produção, configurar-se-á uma transferência de renda dos prejudicados para este, que será considerada de caráter extremamente regressivo caso os prejudicados pertençam à classe de renda mais baixa.

Há portanto algumas evidências de que as soluções negociais tendem a não ser justas, e a reforçar as diferenças sociais existentes.

Uma classe especial de negociações ocorre nos tempos modernos tendo por conteúdo graves problemas entre os quais se destacam os da poluição universal: são as negociações entre países, blocos de países, regiões. Para desenvolvê-las e arbitrá-las existem organizações internacionais como a Organização das Nações Unidas - ONU, a United Nations Environmental Protection - UNEP, e outras, que conduzem programas de financiamento de projetos visando a conservação de energia, proteção à camada de ozônio, proteção às florestas naturais contra as queimadas etc.

Esses programas contemplam alterações de processos produtivos, substituição de insumos poluentes, etc., em muitas empresas para que nem cheguem a desenvolver seu potencial poluidor, ou o abandonem, lançando mão desde logo, das melhores técnicas e dos produtos mais seguros.

Com relação às excessivas emissões de dióxido de carbono - CO_2 , que têm contribuído para o aquecimento da Terra redundando em grandes desastres ambientais, existem estudos para a adoção de algum tipo de imposto, ou venda de certificados para os responsáveis pela sua produção. Em contrapartida aquelas atividades que apresentam um balanço positivo, isto é com absorção igual ou superior a produção poderiam receber incentivos, ou certificados de poluição negociáveis no mercado. Nesse caso o álcool combustível, produzido a partir da cana de açúcar, cuja cultura absorve CO_2 poderia contar com RMgE - Receitas Marginais Externas, que resultem em um balanço mais favorável entre custos e receitas, capaz de concorrer com a gasolina no abastecimento da frota de veículos leves. E mais ainda se for considerada sua vantagem relativa como combustível automotivo, na produção de monóxido de carbono - CO e hidrocarbonetos - HC, em taxas menores que na gasolina, além de ter a vantagem de ser uma fonte renovável de energia,

2.5 Normas ambientais e Imposto

As normas, consistem em padrões de qualidade do meio ambiente, que devem ser mantidos ou atingidos, e devem conter a discriminação das ações consideradas lesivas ao mesmo. Devem ainda prever sanções em caso de descumprimento, sem o que serão consideradas simples recomendações e não terão força coercitiva. Os padrões referem-se comumente aos efluentes e fontes, bem como ao meio ambiente propriamente dito, mas não são fixados de forma determinística, pois podemos tê-los mais rígidos ou mais flexíveis dependendo dos princípios ou idéias vigentes na sociedade, a respeito de poluição, insalubridade, enfim qualidade de vida. De qualquer maneira dependem para sua imposição de um aparato técnico, jurídico e fiscalizador bastante dispendioso.

Em geral as políticas ambientais utilizam-se mais das normas do que do imposto, principalmente porque a imposição de um imposto implica em uma avaliação objetiva de custos e benefícios, a qual nem sempre existe. O imposto é um instrumento econômico que visa a maximização dos benefícios sociais, através de uma ação direta de internalização dos custos sociais. Ele age como se fora um preço do serviço ou do bem ambiental.

As normas procuram, através dos padrões, evitar a ocorrência de danos ou custos sociais. Seu cumprimento também imporá acréscimo de custos, e de forma indireta também induzirá uma internalização dos custos externos.

Em geral os economistas preferem os impostos, por dar um sinal de preço mais direto, de mercado, e por exigir mais que a norma, a estimativa de custos e benefícios como mencionado acima.

Na prática utilizam-se ambos os instrumentos, impostos e normas que se complementam e tornam claros os requisitos de conservação do ambiente. Importa trabalhar com o melhor nível de informação possível na estimação de custos e benefícios, com o fim de evitar erros graves, quer na fixação de impostos, quer de normas, e analisar

com critério as vantagens e desvantagens de aplicação de cada um deles. Sobre o assunto, vários argumentos são expostos na literatura específica, os quais apresentamos a seguir resumidamente:

- Os sinais de preços, no caso os impostos, constituem o método mais barato de obtenção de alterações no comportamento econômico dos agentes.
- Tanto a tributação quanto as normas têm aspectos distributivos, específicos a serem considerados, pois obrigam a uma alteração nos custos com a internalização dos danos, e portanto nos preços relativos dos produtos. Mas seus efeitos distributivos são diferentes, pois enquanto o imposto internaliza nas empresas poluidoras o preço de um serviço ambiental, que de outro modo seria gratuito, as normas atingem de forma igual a todos, com suas restrições e padrões. Existe pois uma assimetria distributiva entre imposto e normas.
- Os impostos deixam o poluidor mais livre para escolher o mecanismo que mais lhe agrade para diminuir a poluição, podendo mudar seu nível de produção (pagando o imposto), ou passar para uma tecnologia mais limpa (livrando-se do seu pagamento).
- Os impostos representam um incentivo para que o poluidor passe a utilizar técnicas mais limpas ao colocar um preço nos bens ambientais que utiliza.
- A imposição das normas exige maiores informações sobre o meio receptor da poluição e dos efluentes de cada poluidor. O imposto pode prescindir da informação particular, e basear-se em estimativas globais do custo de correção do dano.
- As normas parecem exigir maior aparato institucional para serem cumpridas, portanto é um processo mais oneroso e muito mais complexo de fiscalização face às grandes diferenças de situações, fontes, processos, etc.

Em suma cada um dos instrumentos considerados tem vantagens e desvantagens, mas os impostos, desde que bem administrados

parecem ter o mérito de internalizar os custos externos de maneira mais ágil e mais efetiva para a recomposição do meio ambiente.

3 Valor Econômico do Meio Ambiente

Os bens ambientais podem ser avaliados sob três enfoques: o valor de uso, o valor de opção, e o valor de existência (PEARCE et alii, 1989).

O valor de uso refere-se ao valor atribuído a um bem ambiental pelos usuários. Um indivíduo que pesca ou nada em um rio ou lago atribui a este bem um valor de uso.

Para outros indivíduos que, por qualquer motivo não o usam, este bem poderá ter um valor de opção, ou seja o valor que atribuem à possibilidade permanente de usá-lo, à certeza que o bem estará à disposição para uso próprio ou de seus descendentes, o que representa um valor intertemporal.

E o valor de existência, que exprime o valor atribuído à própria existência do bem ambiental, independente da expectativa de uso atual ou futuro. Talvez esse valor de existência represente a consciência não muito clara, de que o meio ambiente não representa apenas um conjunto de produtos a serem consumidos, mas realmente um sistema integrado e muito sensível que provê meios para a sustentação de todas as formas de vida.

A idéia do valor de existência estaria ligada a um temor quanto à impossibilidade de reverter os danos causados por ações humanas, que podem conduzir à destruição da vida no planeta.

Embora se tenha conceituado separadamente esses valores para fins didáticos, eles são em geral, percebidos de forma holística e é difícil separá-los para efeito de contabilização.

Pelas suas características, os bens ambientais tem um potencial maior de geração de externalidades, o que gera para o planejador e os decisores a obrigação de tentar valorar e incorporar essas externalidades aos custos de mercado, com a finalidade de proteger o meio ambiente.

Técnicas variadas são utilizadas para fins de estabelecimento dos valores, tais como a apuração do valor da produção sacrificada, e da disposição para pagar por determinado serviço ou bem ambiental (MOTTA, 1990).

3.1 Técnicas e Métodos para a Medição de Impactos Ambientais

“Define-se impacto ambiental como uma alteração, favorável ou desfavorável, no meio ambiente ou em algum de seus componentes, produzida por uma determinada ação ou atividade (BOLEA, 1984 apud LA ROVERE, 1990).

“Os impactos ambientais podem ser diretos ou indiretos, manifestar-se a curto ou a longo prazo, ser de curta ou longa duração, reversíveis ou irreversíveis, de natureza cumulativa ou sinérgicos. Estas características dificultam até mesmo a simples identificação dos impactos de um grande projeto sobre o meio ambiente, pois certos efeitos podem ser observados a curto prazo, desaparecerem em seguida e depois voltarem a se produzir (dinamismo dos impactos); alguns fatores produzem conjuntamente um efeito resultante que é diferente da soma das contribuições de cada fator isolado (sinergismo) etc. As dificuldades de quantificação dos impactos ambientais, no atual estágio do conhecimento são ainda maiores: apenas em alguns poucos casos é possível avaliar quantitativamente com precisão, os impactos ambientais, porém isto não deve nos fazer esquecer daqueles impactos que só se consegue avaliar qualitativamente. Enfim, a valorização dos impactos ambientais é geralmente afetada por uma subjetividade intrínseca: determinados efeitos podem ser avaliados diferentemente pelos diversos grupos de interesse afetados por um projeto, chegando-se mesmo a verificar casos em que um mesmo impacto pode ser considerado benéfico por alguns e prejudicial por outros” (LA ROVERE, 1990).

Qualquer que seja o instrumento escolhido para atuar sobre impactos ambientais ressalta a importância da sua avaliação econômica, da identificação clara de quais são efetivamente

ambientais, pois de sua mensuração e monetização dependem as decisões a serem adotadas a nível de ressarcimento da sociedade (procedimentos compensatórios), e as decisões de evitar o dano (procedimentos de prevenção).

Ao considerar a economia ambiental, dentro do quadro teórico e conceitual da economia do bem-estar, passou-se a utilizar seu instrumental e métodos de análise. A economia do bem-estar, ramo da microeconomia, tem por objeto a alocação ótima de recurso, que maximiza o bem-estar dos agentes econômicos. A economia ambiental ao adotar esse instrumental, objetiva a melhor alocação dos recursos ambientais, avalia os danos e benefícios decorrentes do seu uso e os monetiza e internaliza no cálculo econômico dos agentes.

Muitas técnicas e métodos vêm sendo utilizados, diferenciando-se por conduzir a investigação sobre o comportamento real ou potencial dos agentes dentro de um mercado real ou hipotético, MUNASHINGE (1993) apud BORGER (1995).

A apresentação das técnicas visa identificar as que se adaptam à análise das questões de impactos ambientais derivados da produção, transporte e uso da energia, e no caso específico desta dissertação, os impactos resultantes da produção do álcool combustível no Estado de São Paulo.

Podemos distinguir as técnicas que usam dados do mercado real daquele bem ou de um mercado substituto, daquelas que usam pesquisas do comportamento dos agentes econômicos em um mercado hipotético.

As técnicas que investigam as preferências, a opinião ou o desejo das pessoas ou grupo social através de pesquisas, questionários ou entrevistas são denominadas diretas. Através delas podemos conhecer as avaliações que as pessoas atribuem a bens ambientais não comercializados.

As técnicas que estimam as relações de causa e efeito através de medições diretas dos preços ou valores de mercado dos bens, sem entrar em contato direto com os indivíduos para pesquisar suas opiniões, são técnicas indiretas.

É preciso ressaltar que determinadas técnicas, embora criadas para um tipo determinado de avaliação, podem se mostrar adequadas para diferentes casos, diferentes mercados, ou ser usadas como auxiliares de uma correlação estatística, ou de uma função dose-resposta, para referendá-las. Como exemplo pode-se citar a técnica de avaliação da produção sacrificada, que embora se aplique primordialmente a efeitos sobre a saúde humana, pode e tem sido aplicada à produção sacrificada na agricultura, na indústria etc. Outro exemplo refere-se à taxa de desconto, utilizada em geral na análise custo-benefício e que permite a comparação de valores presentes e futuros, sem a qual não se pode agregar perdas futuras decorrentes de determinado impacto ambiental, às presentes.

Apenas há que se tomar cuidado para não agregar valores que não são de mesma natureza, pois isso poderia desacreditar a aplicação das técnicas de avaliação, e da própria ciência ambiental.

3.1.1 Conceito de Produção Sacrificada

A produção de bens e sua produtividade podem ser afetadas por alterações ambientais, de forma negativa ou positiva. Quando essas alterações são específicas e localizadas, e claramente identificáveis os seus efeitos, pode-se medir os impactos negativos em termos de produção perdida ou sacrificada, e os impactos positivos em termos de ganhos de produção ou produtividade.

Se por exemplo um derramamento de vinhoto causa a perda da produção pesqueira, ou impede o uso da água para abastecimento da cidade, a soma desses valores representa o valor do dano ambiental, a ser considerado como externalidade. Ou em termos econômicos representa o custo de oportunidade atual do uso do recurso ambiental. E se este recurso fosse não renovável, teriam de ser avaliados os impactos ambientais futuros através de uma taxa de descontos que os trouxesse a valores presentes, para serem somados aos valores atuais.

3.1.2 Valor Presente e Valor Futuro - Taxa de Desconto

A taxa de desconto configura-se como um ferramental de grande valia nos cálculos econômicos onde se trabalha com capitais, custos, taxas de juros, projeções para diversos momentos do tempo.

Poder-se-ia calcular o valor de uma represa como fonte para o abastecimento público, para a pesca, para as atividades esportivas e de lazer compatíveis e ainda seu valor para usos futuros, através de uma taxa de desconto. Todos esses usos que podem ocorrer concomitantemente devem ser avaliados e somados, representando o custo de oportunidade do uso do rio.

Os valores estão localizados em um momento no tempo. Para comparar valores de tempos diferentes ou agregá-los em momento determinado é necessário utilizar uma técnica que os tornem equivalentes, e isso é feito através de uma taxa de desconto.

Por exemplo, para poder fazer a avaliação de um uso futuro, deve-se calcular o valor presente desse uso futuro através de uma taxa de desconto, cuja fixação também envolve critérios de valor das gerações atuais face às futuras gerações. Assim, se temos um valor de uma externalidade V_0 no tempo 0 e queremos seu valor num tempo t adotando uma taxa de desconto d , o valor no tempo t será relacionado com o valor no tempo 0 através do seguinte cálculo:

$$V_t = V_0 (1+d)^t$$

Portanto para trazer todos os custos e benefícios de um programa que foi executado durante vários anos, para os valores atuais ou de um determinado período, deve-se transformá-los em valores de hoje ou do período escolhido, através de uma taxa de desconto, e calcular a diferença entre a soma dos custos e a soma dos benefícios.

Se a economia é perfeitamente competitiva, a taxa de desconto do consumo é igual à taxa de retorno do capital. Isso significa que o nível de investimento poderá acompanhar as necessidades da sociedade, e o próprio mercado será capaz de equacionar as questões de distribuição de renda entre classes e entre diferentes épocas.

O nível da taxa de desconto do consumo depende da importância que a sociedade dá ao consumo presente e da forma como esse consumo se encontra estratificado entre as classes. Se a população deseja ampliar o consumo atual, para incorporar os excluídos do mercado, a taxa será mais alta para o presente. Ressalte-se contudo que taxas altas de desconto do consumo podem resultar em planos de desenvolvimento não sustentáveis se incidirem em um uso tão intensivo do meio ambiente que conduza à exaustão dos recursos naturais.

Quanto à taxa de retorno do capital, seu nível também depende muito do estágio de desenvolvimento em que se encontra a economia do país. Em geral as análises de custo benefício se valem das seguintes regras (MOTTA, 1990):

- capitais próprios ou capitais financiados por empréstimos, juros, dividendos ou benefícios a serem reinvestidos devem ser descontados a uma taxa que leve em conta o custo de oportunidade do capital, por terem uso alternativo em outros investimentos.
- benefícios consumidos ou custos de capital providos por subsídios, devem ser descontados à taxa de desconto do consumo, pois os subsídios provêm da arrecadação de impostos que já é consumo sacrificado.

3.2 Mercado Real ou Convencional

3.2.1 Função Dose-Resposta

As técnicas que usam o mercado real ou convencional e medem os custos e benefícios ambientais, usando preços de mercado, estimam uma função de causa e efeito, também chamada função dose-resposta que relaciona o uso ou a ação do agente com seus efeitos danosos ou benéficos sobre a natureza e o homem, e a proporção em que tal causa provocou o efeito estudado PEARCE; MARKANDYA (1987) apud BORGER (1995).

Podemos citar por exemplo, o efeito da chuva ácida resultante da poluição sobre monumentos e obras de arte; o efeito de efluentes tóxicos lançados em rios sobre a produção pesqueira; efeitos de técnicas agrícolas conservacionistas sobre o aumento de produção agrícola e sobre a vida do solo.

Para a estimativa da função física ou monetária do dano ou benefício, necessita-se de informações físicas e medições sobre o montante do dano e de suas causas. A partir de dados temporais sobre o fenômeno lança-se mão de métodos estatísticos e econométricos, para estabelecer a significância da relação proposta.

$$R=f(P, \text{outras variáveis})$$

onde R é o dano físico ou monetário resultante de P que é a poluição e de outras causas como por ex. causas de variáveis da natureza.

Através de análise de regressão e dos incrementos de R e das variáveis ($\Delta R/\Delta P$), calcula-se os coeficientes que servirão para projetar o dano ou o dano evitado.

As técnicas utilizadas são :

- efeitos na produção ou função produção;
- avaliação dos custos: a análise custo-benefício, o custo de oportunidade e a taxa de desconto; e
- efeitos na saúde.

3.2.1.1 Efeitos na Produção ou Função Produção

A técnica função produção é utilizada quando é possível estimar os efeitos ambientais a preços de mercado. Por incorporar os ativos ambientais como suporte da produção, facilita a internalização de danos ou de benefícios propiciados a estes ativos pela atuação humana.

Foi utilizada a técnica da função produção na avaliação econômica do Projeto Baía Bacuit nas Filipinas, e no Projeto de Desenvolvimento Florestal do Nepal, in PEARCE e WARFORD (1993) apud BORGER (1995).

3.2.1.2 Avaliação dos Custos - Análise Custo-Benefício.

A avaliação ou medição dos custos e benefícios sociais não é feita da mesma forma que os custos e benefícios privados, dada a complexidade das relações econômicas resultantes do uso do meio ambiente, mas têm havido adaptações, e também o desenvolvimento de novas técnicas de mensuração dos impactos ambientais e das externalidades.

Como visto anteriormente, as imperfeições de mercado impedem que os preços de equilíbrio sejam preços ótimos. Nesse caso o benefício marginal social - **BMgS** de uma unidade adicional de um bem ou serviço não é igual ao seu custo marginal social - **CMgS**, vale dizer que o custo social do bem difere de seu preço de mercado ou preço privado. A curva de custo marginal social difere da curva de custo marginal privado, e o preço social difere do preço privado, por causa da externalidade ou imperfeição do mercado, que resulta em diferentes pontos de equilíbrio ou pontos de ótimo (figura 2.1). A divergência entre as curvas privadas e sociais mostra a importância da análise custo-benefício social como apoio a uma decisão de investimento com recursos públicos, com vistas a garantir a otimização dos benefícios para toda a sociedade.

Até mesmo questões de distribuição de renda podem ser levadas em conta, mediante a atribuição de diferentes ponderações para corrigir distorções distributivas.

Esta técnica usa os preços do mercado real e adota o enfoque de considerar o custo do dano evitado como um benefício, e custo propriamente dito a ocorrência do dano. Incluem-se aqui as seguintes técnicas de avaliação:

- pelos custos de oportunidade;
- pelas despesas de defesa e custo de prevenção;
- pelos custos de reposição e projeto substituto; e
- pelo custo efetivo.

3.2.1.2.1 Custo Econômico de Oportunidade

Uma ferramenta de grande aplicação nos cálculos econômicos e que vem em auxílio do planejamento e do controle, é a determinação dos custos de oportunidade.

Custo de oportunidade de um recurso é definido como o valor dos usos alternativos deste recurso, que tiveram de ser sacrificados para que este uso específico fosse realizado.

Em concorrência perfeita os preços de mercado dos bens e serviços, são aproximadamente os mesmos dos custos de oportunidade, pois os preços de mercado são por hipótese, preços ótimos também do ponto de vista social, e por conseguinte representam o melhor uso alternativo do recurso.

Quanto mais imperfeita a concorrência, maior a diferença entre os preços de mercado e o custo econômico de oportunidade.

Custos de oportunidade ou preços sociais dos insumos de produção, do trabalho, da terra e do meio ambiente, têm sido objeto de diferentes métodos de avaliação em análises de projetos, e poderiam ser aplicados na avaliação de externalidades.

Considerando que frequentemente tais bens não tem preços de mercado pois não são normalmente objeto de transações, utilizam-se os "shadow prices" ou preços sombra como preços substitutos ou de estimativa.

Quanto a mão-de-obra, ao ser empregada uma quantidade de trabalhadores numa atividade agrícola intensiva em trabalho, seu custo de oportunidade é em geral menor que o salário pago por essa atividade, se se tratar de culturas de exportação, ou energéticas, que podem pagar mais que as culturas tradicionais, ou as de subsistência. Nesse caso ocorre um benefício social do ponto de vista do trabalho, pois essa mão de obra passa a auferir renda maior.

Se esses trabalhadores estavam antes desempregados, então seu custo de oportunidade era zero, do ponto de vista de renda monetária auferida pelo trabalho. E o benefício social é ainda maior, pois passam a ter uma renda, e participar do mercado de bens e serviços.

No caso da cultura de cana de açúcar esse aspecto é relevante, sendo reconhecida sua capacidade de geração de emprego para mão de obra não qualificada. Assim embora as condições de trabalho do “bóia fria” não sejam das melhores, a opção é o desemprego, face a grande oferta de mão de obra.

O benefício social representado por salários maiores que seu custo de oportunidade não representa uma externalidade pois está contida dentro da função produção, não é um custo externo.

Mas do ponto de vista da produção agrícola, se os trabalhadores foram deslocados de uma cultura na qual estavam produzindo, caracteriza-se um sacrifício daquela produção, representando um custo social e também uma externalidade, pois não entra na contabilidade nem de trabalhadores, nem das empresas a diminuição da produção de alimentos ou produtos de exportação, por exemplo, para em contrapartida, produzir produtos energéticos.

Aqui estaria refletido o custo de oportunidade do uso da terra, e esse custo poderia servir de base para o cálculo das externalidades, se se verificar que as terras utilizadas na cultura da cana foram totalmente desgastadas por causa do tipo de manejo agrícola, e se tornaram desertificadas, não se prestando mais a qualquer outro tipo de cultura. No caso específico da terra, embora seja abundante num país como o Brasil, predomina o caráter especulativo dos preços, por ser um ativo muito cobiçado dado o caráter patrimonialista da cultura brasileira, e também por causa dos contingentes de população a serem assentados. Então o preço de mercado da terra, poderá ser bastante superior ao seu custo de oportunidade.

No caso dos bens ambientais não abrangidos pelo direito de propriedade, e que não têm preços estabelecidos no mercado, torna-se imprescindível identificar seus custos de oportunidade, pois através deles pode-se valorar as externalidades decorrentes dos danos que os afetam. Se uma indústria polui um rio com despejos industriais,

tornando-o impróprio, através do cálculo do custo de oportunidade, isto é dos benefícios decorrentes dos usos alternativos, pode-se valorar o custo a ser internalizado à indústria sob a forma de sanção (proibição ou multa), ou imposto, ou pagamento pelo uso do bem.

A técnica do custo de oportunidade foi aplicada no estudo de viabilidade econômica do Programa de Saneamento Ambiental da Bacia do Guarapiranga, que estimou o custo de oportunidade se o projeto não fosse implantado. Considerou-se que o manancial estaria irrecuperável em 5 anos se determinadas intervenções previstas para sua recuperação não fossem adotadas, e nesse caso ocorreria a perda de vazão atual de 10,5 m³/s e 2,7 m³/s da vazão adicional futura do sistema. O custo de oportunidade do manancial foi comparado com as intervenções de recuperação previstas (custos de investimento e de operação e manutenção), descontados a uma taxa de 12%, chegando a uma taxa de retorno de 22%a.a., conforme COBRAPE (1991) apud BORGER (1995).

3.2.1.2.2 Despesas de Defesa e Custos de Prevenção

Despesas ou custos de defesa são os gastos realizados pelos agentes econômicos, de forma voluntária e às suas expensas, visando mitigar os efeitos dos impactos ambientais negativos. Por exemplo, filtros purificadores ou tratamentos com produtos químicos para tornar a água potável.

Esses custos podem servir como uma aproximação do valor dos danos. O pressuposto é que os benefícios de evitar o dano são maiores que os custos de defesa. Estimar um impacto ambiental a partir de tais custos pode redundar em subestimação de seu valor, porque tais gastos serão proporcionais à capacidade econômica da população atingida. A vantagem é a facilidade de obtenção dos valores das despesas de defesa ou prevenção.

Como exemplo concreto do uso da técnica podemos citar novamente o Programa de Saneamento Ambiental da Guarapiranga, que adotou a

economia de produtos químicos para tratamento da água, como uma das receitas sob a rubrica "Recuperação dos Custos do Projeto".

3.2.1.2.3 Custo de Reposição e Projeto Substituto

Esta técnica estima o impacto ambiental a partir do custo de reposição do bem danificado.

Utiliza-se esta técnica quando há a convicção de que determinada ação provocará um impacto negativo. Suponha-se que há dados conclusivos sobre a contaminação de um aquífero subterrâneo por causa do depósito de vinhaça em lagoas de sacrifício. Os custos de reposição da qualidade do aquífero devem ser comparadas com o custo de prevenção da contaminação.

Ou quando se deseja manter intactos determinados ativos ambientais, por exemplo uma floresta, para o fim de proteção ao clima, ou a espécies raras da fauna ou da flora.

Nesses casos os custos de reposição devem ser comparados aos custos de prevenção do dano.

Variação desta técnica é a do Projeto Substituto, que consiste na elaboração de um projeto para estimar os custos de substituição do bem ou serviço ambiental perdido. Esse valor representa uma avaliação aproximada do ativo ambiental a repor. Por exemplo, projeto substituto de adução de água de um novo manancial, que possa substituir o aquífero contaminado.

3.2.1.2.4 Custo Efetivo

Baseia-se em metas e objetivos (padrões, regulamentação, políticas públicas), levantando-se os custos de diversas alternativas para atingí-los. Por exemplo, estabelecida a meta em termos de um nível de qualidade das águas de um rio, analisa-se os meios para atingi-la e os custos envolvidos em diversas alternativas, escolhendo-se a de menor custo.

3.2.1.3 Efeitos Na Saúde

Pode-se utilizar a função dose-resposta para estabelecer a relação entre o impacto ambiental e os efeitos na saúde humana, utilizando-se um conjunto de padrões nacionais e internacionais, tais como indicadores de mortalidade e morbidez, mortalidade infantil, padrões de crescimento e de desenvolvimento físico e mental, etc.

Considerando que o nível de saúde depende de muitas variáveis tais como, as condições sócio-econômicas, o tipo de alimentação, o saneamento básico será necessário relacionar os problemas de saúde com a ocorrência dos impactos ambientais, quer sejam positivos ou negativos, isto é, através de um coeficiente mede-se a correlação entre o nível de saúde e o impacto ambiental.

Os danos ou benefícios podem então ser avaliados, de forma direta, através dos gastos com hospitais e serviços médicos por exemplo, ou gastos evitados; e de forma indireta calculando a perda ou diminuição da capacidade de trabalho, através da produção sacrificada, ou os ganhos decorrentes da aplicação de programas de saúde; também podem ser utilizadas as tabelas de valores associados a riscos de vida usados pela previdência social e companhias seguradoras.

Essas avaliações não são simples quando se referem ao valor atribuível a mudanças de probabilidade estatística da ocorrência de determinado dano como resultado da implantação de um projeto.

Para exemplificar este tipo de avaliação pode-se citar trabalho de MOTTA (1995) apud BORGER (1995) que analisou o impacto do saneamento sobre as enfermidades transmitidas pela água no Brasil.

3.3 Mercado Substituto

Bens e serviços ambientais não são normalmente negociados no mercado. Por isso para avaliá-los utilizam-se técnicas que medem o comportamento do mercado de outros bens ou serviços que têm como atributos bens e serviços ambientais. Seja por exemplo uma chácara para lazer que se encontre nas imediações de canaviais. O valor dessa propriedade será muito menor do que uma similar localizada longe desse tipo de cultura, pois a poluição das queimadas, o odor da aplicação da vinhaça no solo, ou as lagoas de sacrifício, ou seja a poluição do meio ambiente representam atributos negativos para essa chácara. E a diferença de valor entre as duas propriedades pode servir de indicação sobre o valor do bem ambiental danificado.

As técnicas mais utilizadas para este tipo de avaliação que leva em conta mercados substitutos são:

- técnica do preço de propriedade
- técnica do valor do salário; e
- técnica do custo de viagem.

3.3.1 Técnica do Preço de Propriedade

A poluição que ocorre sob várias formas nas grandes cidades, vem sendo reconhecida como uma das principais causas de problemas de saúde urbanos, tais como, distúrbios respiratórios, problemas alérgicos, "stress" etc.

"No caso da poluição sonora e do ar, o diferencial de preços entre as casas situadas nos lugares onde não existem tais poluições e aquelas localizadas em lugares poluídos pode permitir estimar o valor associado à redução destas poluições. Este método consiste, então, em utilizar um mercado de recorrência⁴ - no caso o mercado de imóveis - para mensurar os custos de uso associados à poluição. Estes procedimentos são denominados de modelo de preços de propriedade e consistem no emprego de técnicas econométricas com o objetivo de isolar das variações de preços dos imóveis, aquele efeito resultante do nível de poluição .

"Como é facilmente observável, esta técnica pode ser de difícil utilização, dados os diversos aspectos que afetam os preços dos imóveis como as facilidades de comércio, de transporte e de escolas, por exemplo. Além do mais o próprio desconhecimento dos compradores de imóveis quanto aos distúrbios causados pela poluição pode prejudicar sensivelmente as estimativas resultantes. De toda forma, esta técnica consegue oferecer algum tipo de valoração que reflita um indicador do benefício de não haver poluição ou a disposição para pagar pelo controle dela." (MOTTA, 1990).

3.3.2 Técnica do Valor do Salário

Visa estimar a qualidade ambiental associada ao mercado de trabalho. Se temos um dano ambiental implícito a determinados

⁴ Em inglês *surrogate market*.

postos de trabalho (poluição, contaminações, etc.), o valor atribuído a esses postos pelo mercado de mão de obra, pode ser uma indicação do valor do dano que atinge o bem ambiental.

Essa avaliação exige o conhecimento da relação entre poluição e risco de vida, por parte de empregados e empregadores, para poder refletir um valor próximo ao valor do dano. Como quase sempre a proporção entre causa e efeito é desconhecida ou subavaliada, corre-se o risco de subavaliar também o dano. Cumpre ressaltar que nos países subdesenvolvidos a oferta abundante de mão de obra, impõe um custo de oportunidade muito baixo para o trabalho, descaracterizando a possibilidade de avaliar postos de trabalho pelo dano ambiental ou atributos negativos a que estão sujeitos. Os adicionais de periculosidade e insalubridade embora não reflitam o dano efetivo à saúde dos empregados, podem servir de avaliação indicativa do dano.

3.3.3 Técnica do Custo de Viagem

Estima o valor de bens ou serviços ambientais a partir dos custos de viagem ou transporte para se utilizar deles ou contemplá-los.

“Ou seja, o valor de uso atribuído aos benefícios recreativos ou turísticos daquele local devem ser, pelo menos, iguais ao dispêndio da viagem que se realiza para desfrutar do lugar. Tais estimativas podem apresentar certa dificuldade, pois é imprescindível separar dos custos de viagem, as parcelas relativas a outros benefícios que se possa auferir no local em análise, como, por exemplo, visitar locais históricos ou fazer compras”(MOTTA, 1990).

3.4 Mercado Hipotético

3.4.1 Disposição a Pagar e Disposição a Receber

Reflete a utilidade, ou valor que o consumidor está disposto a pagar para obter determinado bem ou serviço, ou disposto a receber pelo fato de suportar um dano.

Os valores assim estimados podem não refletir o valor social dos bens, face às imperfeições do mercado, à distribuição de renda, e à desinformação do consumidor, mas representam de certa maneira o valor subjetivo do bem.

A técnica de avaliação da disposição a pagar ou a receber pode se apresentar sob vários enfoques.

3.4.2 Técnica da Avaliação Contingente

Certas atividades econômicas podem afetar a sensibilidade e a beleza natural de um parque nacional, de um rio, de um lago ou de uma reserva florestal por causa do despejo de poluentes, inundações ou explorações intensivas. Nestes casos, é possível empregar a técnica de avaliação contingente (TAC) ou do mercado hipotético também conhecida como técnica do valor associado. Esta técnica se vale de pesquisas que procuram identificar o valor de uso ou mesmo de existência, que as pessoas associam à melhoria hipotética do meio ambiente. Assim o valor de uso de um local poderia ser medido por uma pesquisa que indicasse quanto as pessoas estariam dispostas a pagar pela entrada ou licença para usar um local livre de poluição, sabendo que o recurso arrecadado serviria para garantir a

preservação deste ativo ambiental. O valor econômico total pode também ser medido se, na pesquisa, for indagado quanto estas pessoas estariam dispostas a pagar em imposto, ou pela via do aumento de preços dos combustíveis poluentes, para que, por exemplo, parques, lagos ou rios jamais fiquem expostos à poluição ou para que a vida animal ali seja preservada. A mesma técnica pode ser aplicada à estimativa destes valores para programas de despoluição que permitam o uso específico do rio ou lago, para pescaria, natação ou outra finalidade qualquer MOTTA, (1990).

É compreensível que vieses possam influir nos resultados de pesquisas desse tipo, tanto pelas imprecisões das perguntas e do instrumento de coleta quanto pela desinformação dos que a elas respondem e suas expectativas quanto ao que está sendo pesquisado. É provável que os entrevistados que já se beneficiam destes serviços ambientais procurem estrategicamente subavaliar sua disposição a pagar. Da mesma forma, a formulação das perguntas pode induzir respostas diferentes caso explicitem ou não os valores ou a forma pela qual os valores pesquisados serão transacionados (tributação, cobrança de entradas, aumento de preços, etc.) MOTTA, (1990).

Essa técnica (TAC) pode ser aplicada juntamente com as técnicas do custo de viagem ou do preço de propriedade, pesquisando-se o comportamento potencial do consumidor - disposição a pagar - face a mercados hipotéticos. A combinação de diversas técnicas provê um número maior de informações propiciando uma maior consistência de análise, que servirá para mostrar a importância dos recursos naturais, e em consequência promover uma melhor alocação de recursos, não restrito à esfera puramente econômica.

Um dos mais controversos temas da economia do meio ambiente diz respeito a valores da vida (conceito da vida estatística). Esta valoração às vezes se faz necessária quando os efeitos ambientais negativos colocam em risco a vida humana, que sem dúvida não tem preço de mercado. Mas, pode-se usar o conceito de vida estatística, e empregá-lo para mensurar o valor de salvar-se uma vida quando isto tem que ser decidido socialmente. As técnicas adotadas podem ser as mesmas acima discutidas, com ajustes para o caso específico.

Através da TAC, mede-se quanto as pessoas estariam dispostas a pagar com despesas de manutenção e sinalização, para reduzir por exemplo, o número de mortos em acidentes numa estrada. Suponha-se que a população de um município pesquisado indique que, no total, estaria decidida a gastar X reais para que as mortes por acidentes na rodovia caíssem de 100 para uma por ano. Poder-se-ia então admitir que o valor da "vida estatística" seria de $X/99$. O mesmo procedimento pode ser adotado no que diz respeito a gastos com hospitais, com o desenvolvimento de remédios e outras situações relacionadas com risco de vida, como as tabelas de benefícios da previdência social nos casos de acidentes, mutilações e mortes MOTTA,(1990).

Trabalhando-se com mercados hipotéticos os valores dos bens ambientais, dependem das opiniões pessoais dos indivíduos de uma determinada sociedade, do prazer que podem obter de seu uso (preços hedônicos), do conceito que eles têm da escassez ou abundância ilimitada de sua oferta. Os valores são em última análise subjetivos.

3.4.3 Técnica DELPHI

A técnica Delphi é uma variante da Técnica da Avaliação Contingente, em que os questionários e entrevistas são feitos com grupos de especialistas, utilizando simulações de mercado para avaliar a disposição a pagar por determinado bem ou serviço ambiental. Por exemplo, simular a venda de equipamentos de purificação do ar.

4 A produção e o uso de energia. Álcool combustível: Identificação de alterações ambientais e sociais decorrentes de sua produção

Não existe nenhuma forma de uso de energia isenta de poluição, e nenhuma forma de produção que não incida em alterações no meio ambiente. As próprias leis da Física e da Termodinâmica já tornam clara essa condição.

O uso da energia é essencial para a satisfação das necessidades humanas. A humanidade ao longo de sua história manteve um consumo moderado de energia, pois embora sob formas primárias e não eficientes, não transpunha os limites da manutenção do equilíbrio do meio ambiente. Havia uma autodepuração natural dos resíduos. Mas após a revolução industrial e o uso do petróleo houve um aumento descomunal do uso da energia sob suas várias formas por uma população crescente, levando à produção de um nível de poluição, agente da destruição de equilíbrios ecológicos.

“A passagem da lenha ao carvão no século XIX e a generalização dos usos do petróleo e da eletricidade após 1930 assentaram a base da moderna civilização industrial sobre o consumo de combustíveis fósseis que a natureza havia levado milhões de anos para produzir. A aceleração sem precedentes do ritmo de expansão do uso de energia após a Segunda Guerra Mundial - o consumo energético cresceu sete vezes entre 1900 e 1965 - levou, enfim ao emprego da energia nuclear para a geração de eletricidade. A rapidez e a amplitude desse desenvolvimento com os efeitos cumulativos e a superação de certos limites que este padrão de consumo da civilização industrial acarreta, estão colocando em perigo a própria sobrevivência da humanidade e da vida na terra. Pela primeira vez na história, as atividades humanas podem destruir frágeis equilíbrios ecológicos essenciais para a reprodução da vida, seja pela escala de sua agressão ao meio ambiente (rejeitos poluentes perturbadores dos ciclos biogeoquímicos), seja pela ocorrência de acidentes com consequências maciças” (LA ROVERE, 1990).

Os principais danos ambientais, presentes já nos dias de hoje, que se destacam por sua dimensão global são o efeito estufa, a poluição nas grandes áreas urbanas, a chuva ácida e os riscos de acidentes nucleares, sendo provocados, exceto o último, pela queima de combustíveis fósseis.

Face às previsões de especialistas, embora não unânimes ainda, do advento de catástrofes ambientais por conta da magnificação de tais danos, o homem se vê face a face ao desafio de modificar todo seu comportamento tanto no que diz respeito ao consumo como à produção de energia.

E essa responsabilidade deve ser assumida em proporções e formas distintas pelo bloco dos países industrializados que consomem 84% da energia tendo 29% da população mundial, mas também pelos países do Terceiro Mundo, aos quais cabe inventar novas formas de desenvolvimento menos intensivas em energia e que preservem os equilíbrios vitais do planeta, LA ROVERE (1990).

Tais realidades impõem a avaliação prévia dos impactos de novos projetos energéticos, e, sua distribuição na natureza e na sociedade, bem como a intervenção nos aproveitamentos já existentes visando mitigar seus efeitos. Múltiplas alternativas existem para realização de projetos energéticos, e a escolha deve recair não unicamente sobre os mais econômicos como tem ocorrido, mas sobre o mais econômico que produza o menor impacto ambiental. Cabe à sociedade optar pela implementação de técnicas, metodologias e procedimentos político institucionais que tornem rotineira a escolha do melhor projeto, colocando em igualdade de condições, o aspecto econômico e o aspecto ambiental.

Impõe-se ainda, face à globalidade dos impactos, o estabelecimento de mecanismos mais ágeis de cooperação internacional para resolver os conflitos de interesse de forma justa, evitando a “poluição do desperdício” que caracteriza o consumo de energia das elites, e que tem como contrapartida a “poluição da pobreza”, LA ROVERE (1990).

Estudos envolvendo externalidades na produção e uso de energia, vem se tornando mais frequentes; a aprovação de projetos de

depende dos EIA - Estudos de Impactos Ambientais e do RIMA - Relatórios de Impacto Ambiental, nos quais se aplicam técnicas de avaliação ambiental e sócioeconômica visando a identificação das externalidades e a adoção de medidas para sua internalização incentivando mudanças no perfil de utilização da energia, com vantagens para o meio ambiente.

A internalização dos danos resultantes da produção e do uso de diferentes combustíveis automotivos, (uma das causas mais importantes do aquecimento do planeta, da chuva ácida e da má qualidade do ar das metrópoles), poderá alterar sensivelmente a relação de preços entre a energia da biomassa e a energia derivada do petróleo, tornando a biomassa competitiva.

A partir da introdução do álcool automotivo no Brasil, tem havido muita polêmica sobre suas vantagens e desvantagens. E em alguns trabalhos tem sido citada a necessidade de introduzir as externalidades no cálculo econômico de seu custo, abrangendo todas suas fases de produção, desde a agrícola, até os efeitos de sua utilização sobre o meio ambiente, OMETTO (1993).

Acreditam os defensores do álcool que com a internalização dos custos externos, e principalmente dos consideráveis benefícios externos propiciados pelo uso de biomassa, ficará patente a supremacia do álcool para a frota de veículos leves.

4.1 Breve Histórico do Álcool Combustível no Brasil: O Proálcool

A utilização do álcool como combustível, em motores, já era conhecida desde o século passado. Na década de 20 o Brasil possuía veículos que utilizavam um combustível fabricado pela Usina Serra Grande, cuja composição era 75% de álcool e 25% de éter, COPERSUCAR (1988). Mas o petróleo abundante, e o desenvolvimento dos motores ciclo Otto para gasolina e ciclo Diesel para o óleo diesel tornaram economicamente impossível o desenvolvimento de outros combustíveis

O Brasil ao longo de sua história tem utilizado o álcool como fator energético devido a existência do etanol como subproduto da indústria açucareira. De uma tonelada de cana pode-se obter açúcar e melaço, ou mel pobre. Esta denominação, mel pobre, significa que esse resíduo não pode mais ser transformado em açúcar, mas através de um processo de destilação serve para a produção de álcool FASSY (1982).

O rendimento do açúcar (kg/t cana) é função principalmente do teor de sacarose da matéria prima (pol%cana) e da eficiência da unidade industrial. Em 72/74 a relação era de 92,8 kg de açúcar e 12,9 l de álcool por t de cana. Após 77/78 as usinas de açúcar passaram a utilizar maior parcela de sacarose para produção de álcool, decrescendo a produtividade do açúcar por tonelada de cana. Em São Paulo no triênio 92/94, a relação foi de 40,5 kg de açúcar e 56,2 l de álcool por t de cana, FERNANDES (1996).

O peso do álcool na matriz energética sempre foi pequeno. Até 1975, o Brasil consumia cerca de 750 mil barris/dia de petróleo, e somente 1000 barris/dia de álcool equivalente; nesse ano o álcool representou 0,4% do consumo final de energia por fontes, BEN (1987). Em 1980 passou a 1,3%, e em 1986 alcançou 3,7%. E no Estado de São Paulo a participação por fontes foi 2,2% em 1980, e 5,6% em 1986. Nos últimos cinco anos foi a seguinte sua participação no Brasil e em São Paulo:

Tabela 4.1 - Consumo Final de Energia por Fontes

Consumo final de energia por fontes	Participação sobre o total %	
	BRASIL(a)	SÃO PAULO(b)
1990	3,6	6,1
1991	3,6	6,0
1992	3,5	5,8
1993	3,6	5,4
1994	3,5	5,5

(a) BEN, 1995; (b) Balanço Energético do e.S.Paulo, 1995.

A dependência do Brasil em energia importada ao tempo do 1º choque do petróleo, levou o Governo a formular um programa que contemplasse o álcool como combustível substituto. Assim em 1974, a Secretaria de Tecnologia Industrial do Ministério da Indústria e Comércio elaborou o estudo “ O Etanol como Combustível”, mostrando a potencialidade das amiláceas (principalmente a mandioca), para a produção de etanol. A partir daí decidiu o Governo encarregar os Ministérios da Indústria e Comércio, e de Minas e Energia, da elaboração de um programa alternativo que utilizasse fontes energéticas nacionais. Finalmente, em novembro de 75 o Governo criou uma Comissão Interministerial para supervisionar a política de expansão do Proálcool, dando a maior flexibilidade possível ao Programa para a mobilização dos empresários brasileiros para participarem da empreitada, FASSY (1982).

De acordo com FASSY (1982), a Comissão Nacional do Álcool, criada pela Exposição de Motivos nº 021/75-CDE, teve por objetivo incrementar a produção de álcool a partir de biomassa, para substituir as importações de petróleo, que desequilibravam as contas externas, depois da alta de preços de 1973.

Para eleger áreas propícias ao desenvolvimento do programa foi criado um Grupo de Trabalho com participação de representantes dos Ministérios da Agricultura, Interior e Planejamento, que coordenou um estudo de zoneamento sócio-econômico e ecológico para produção do álcool. Esse estudo visava atrair a participação imediata dos Estados no Proálcool, para definir quais as áreas mais aptas para a produção do álcool, quer fosse derivado da cana-de-açúcar, quer de mandioca, e qual o potencial de produção. Os fatores fundamentais para a escolha de áreas propícias eram sua condição de fronteira agrícola; condições climáticas e ecológicas favoráveis ao produto eleito; razoável infraestrutura de transporte para escoamento da safra a preços suportáveis pelo Programa.

A Comissão Nacional do Álcool já em 76 aprovou 88 projetos, cuja produção global ao tempo de maturação, alcançaria 1,8 bilhão de litros de álcool, que agregados à produção corrente chegariam a 2,5 bilhões de litros em 1983.

A meta do programa era substituir, em 1985, cerca de 50% do consumo de gasolina da frota, com a produção de 10,7 bilhões de litros de álcool. Ao Estado de São Paulo cabia atender 65% dessa meta, ou seja 7 bilhões de litros naquele ano. A meta foi atendida em 1985, e em 1986, foi alcançado o pico de produção, 11,9 bilhões de litros.

Concorreu para esse objetivo a disponibilidade de tecnologia de extração do álcool, e a existência de um moderno parque agroindustrial açucareiro, com grande capacidade ociosa, face à recessão do mercado internacional do açúcar em meados de 1975.

Eram ainda metas do Programa, a ocupação de terras menos férteis; melhor distribuição da renda regional; economia de divisas; redução do êxodo rural; elevada criação de emprego no campo; melhoria da qualidade de vida nas megalópoles; expansão da indústria de bens de capital e a ocupação de espaços vazios do território brasileiro, FASSY (1982).

O Programa Nacional do Álcool funcionou através da concessão de incentivos à empresa privada para projetos destinados à produção agrícola de culturas energéticas e à sua transformação em álcool. Esses incentivos eram concedidos na forma de crédito subsidiado, com taxas de juros negativas, em termos reais. Eles se destinavam a financiar os investimentos agrícolas e industriais e o custeio da produção de álcool nas destilarias. Para se habilitarem aos financiamentos, os projetos eram submetidos à aprovação da CENAL.

O Proálcool passou por duas fases. A primeira (73/78) na qual o álcool compunha uma mistura com a gasolina, em proporção variável, mas nunca superior a 22%; e a segunda fase (a partir de 79) na qual o álcool hidratado passou a ser combustível único de uma frota crescente, que chegou a mais de 4,5 milhões de veículos (frota atual).

Após 86, a produção de álcool se estagnou em consequência da escassez de cana-de-açúcar (redução de 5% entre as safras 86/87 e 93/94), cujos preços estavam comprimidos desde 86. Além disso priorizava-se de novo a produção de açúcar por causa dos melhores preços internacionais. Assim a meta de 16 bilhões de litros de álcool jamais foi atingida. O resultado foi um desabastecimento já a partir de 88, que comprometeu a credibilidade do Programa. Para atenuar esse problema, foram implementadas algumas modificações na composição dos combustíveis:

- adição de 5% de gasolina no álcool hidratado;
- utilização do composto oxigenado MTBE - metil-terc-butil éter, nos estados do sul do país;

- redução de 22% para 12% no teor de álcool da gasolina, com exceção da Região Metropolitana de São Paulo; e
- consumo emergencial da mistura ternária MEG com 60% de etanol, 33% metanol e 7% de gasolina.

A insegurança gerada fez despencarem as vendas de veículos a álcool, que passaram de 92% em 1985 para 12% em 1990. E a indústria automobilística passou a ofertar menos modelos, e a não oferecer os mesmos desenvolvimentos tecnológicos dos carros a gasolina. Com o lançamento em 1990 dos carros populares em versões somente a gasolina, e que representam cerca de 70% do mercado, a situação do setor sucroalcooleiro pode vir a se tornar crítica, COELHO et alii (1994).

Nos últimos anos a regularização do consumo de etanol tem sido conseguida através da importação de etanol e metanol em percentuais de 6,8% na safra 92/93, 17,1% na safra 93/94 e 10,96% na safra 94/95 sobre a produção nacional, a preços superiores aos pagos aos produtores nacionais. O etanol importado é de pior qualidade visto que contém muitas impurezas e altas percentagens de outros produtos, por provir de processos de sintetização. O metanol vem sendo utilizado com resultados satisfatórios na mistura MEG - Metanol-Etanol-Gasolina. Por exigência legal o etanol anidro vem sendo adicionado à gasolina na proporção de 22%, COELHO et alii (1994).

4.2 Participação da Agroindústria Alcooleira na Redução da Taxa de Carbono Atmosférico

Pesquisas desenvolvidas na Princeton University mostraram que substituir combustíveis fósseis por energia produzida a partir de biomassa poderia ser mais eficiente na redução das taxas de CO₂ atmosférico, que fixar carbono em florestas de ciclos longos, conforme HALL et alii (1990) apud MACEDO (1991).

Neste sentido, uma avaliação do impacto da produção e uso de álcool de cana-de-açúcar no Brasil, deve contemplar o sistema agroindustrial completo. Essencialmente, o sistema utiliza uma parcela dessa energia fóssil na

agricultura e na indústria e produz álcool para uso automotivo, e bagaço como combustível para caldeiras de outras indústrias.

Trabalho realizado por MACEDO (1991) na COPERSUCAR, é reproduzido por completo a seguir, visto que apresenta, a partir dos volumes reais de cana colhida no ano safra de 90/91, uma quantificação da contribuição líquida do setor para a redução da taxa de carbono atmosférico, e uma comparação com as emissões oriundas de combustíveis fósseis. Também analisa o potencial do setor para aumentar sua contribuição através do uso de resíduos da agricultura da cana:

“Consideram-se inicialmente os períodos relativos dos ciclos envolvidos. No Brasil, a cana é uma cultura anual, com média de quatro cortes antes do novo plantio. Para as partes aéreas (colmo, contendo fibra e sacarose; folhas secas e pontas ou palmito) o ciclo é basicamente anual. As folhas secas são queimadas antes da colheita; as folhas verdes e o palmito são queimados após a colheita (no campo), e uma pequena parte fica no solo (decomposição mais lenta); a fibra e medula do colmo resultam no bagaço, que é queimado para uso energético (uma pequena fração tem uso para rações e papel). A sacarose é transformada em açúcar para consumo (anual) ou álcool; na produção de álcool, parte do carbono é liberado como CO₂ (fermentação) e o álcool produzido também é consumido dentro de um ano.

As partes subterrâneas (raízes) têm um ciclo mais longo: o conjunto cresce (fixa carbono) e permanece no solo por quatro anos com certa renovação anual; no final é erradicado (parcialmente); parte continua no subsolo e a parte erradicada é incorporada, na superfície. Portanto, parte da matéria orgânica é incorporada ao solo, correspondendo a uma fixação líquida de carbono atmosférico, ao longo dos anos.

Os processos agrícolas e industriais na produção de cana, açúcar e álcool utilizam insumos energéticos (óleo diesel em operações agrícolas, energia elétrica, energia “embutida” na fabricação dos equipamentos e instalações e “depreciada” no tempo). Parte dessa energia é de origem fóssil, principalmente petróleo, e a liberação de CO₂ correspondente deve ser computada no balanço de CO₂ da agroindústria.

Canceladas todas as parcelas de carbono com ciclo anual, podemos resumir os efeitos líquidos da participação da agroindústria da cana na produção/consumo de CO₂ atmosférico como sendo:

- a) O aumento no teor de carbono atmosférico pelo uso de insumos energéticos de origem fóssil na produção de cana, açúcar e álcool;
- b) Redução na taxa de aumento de carbono atmosférico pela substituição de gasolina por álcool (anidro e hidratado);
- c) Redução na taxa de aumento de carbono atmosférico pela substituição de óleo combustível por bagaço, na produção de açúcar;
- d) Redução na taxa de aumento de carbono atmosférico pelo uso de bagaço em substituição a óleo combustível, em outros setores industriais;
- e) Variação no teor de carbono atmosférico resultante da incorporação de matéria orgânica ao solo, na cultura da cana, levando o teor médio de carbono a um novo valor de equilíbrio (dinâmico).

Os itens de **a** a **d** são quantificados abaixo, tomando como base a produção de cana no Brasil na safra 90/91; o item **e** não é caracterizado por uma taxa anual constante (é um valor acumulado, em certo número de anos, variando muito com condições de solo e cultivo, inclusive com o uso do solo antes do início da cultura da cana).

A produção de cana no Brasil foi de 222×10^6 toneladas com uma área colhida de 4.3×10^6 ha.

A produção de álcool foi de 11.84×10^6 m³ (1.3×10^6 anidro e 10.5×10^6 hidratado) e a produção de açúcar 7.48×10^6 t.

O uso da cana para açúcar foi de 27.6% do total, sendo 72.4% para álcool.

A composição média da cana pode ser estimada pelas análises do sistema de pagamento de cana pelo teor de sacarose (PCTS) do Estado de São Paulo, para a safra 90/91:

- Pol % cana: 13.59 (13.97 nos últimos 4 anos)

- Fibra % cana: 13.98 (13.63 nos últimos 4 anos)

Esses valores foram levantados para cerca de 100×10^6 t cana por ano (45% da produção total); são bem representativos de 140×10^6 t cana. O teor de fibra na produção do Nordeste é mais elevado.

Efeitos líquidos na produção/redução da taxa de CO_2

Álcool: produção e utilização

Na substituição de gasolina, um litro de gasolina é substituído por 1,2 litro de álcool hidratado (considerando a eficiência média atual dos motores) e 1,04 litros de gasolina são substituídos por um litro de álcool anidro em mistura. O quadro seguinte mostra, para essas equivalências, as emissões "evitadas" de CO_2 .

Para a safra 90/91, o uso do álcool (hidratado e anidro) evitou a liberação de 7.41×10^6 t/ano de carbono, substituindo a gasolina.

	Produção $10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$	Gasolina substituída $10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$	Carbono atmosférico (como CO_2) evitado 10^6 t/ano(a)
Álcool Anidro	1.3	1.35	1.03
Álcool hidratado	10.5	8.4	6.38
TOTAL	11.8	9.75	7.41

MACEDO, 1991. (a) taxa de liberação de carbono na combustão de gasolina: 0,76 kg C/litro

Bagaço: produção e utilização

A produção total de bagaço, estimada a partir da produção de cana e teor de fibra, é de cerca de 62×10^6 t/ano (safra 90/91) com 50% de umidade.

Estimativas de excedentes (consumo fora da indústria da cana) são de 5 -15% para usinas com destilaria anexa (média: 8%) e de 10 - 25% (média: 15%) para destilarias autônomas; considerando diferenças nas eficiências regionais de uso do bagaço nas usinas, admitimos um excedente médio de 8%; destes, cerca de $1,5 \times 10^6$ t são usados como combustíveis por outros setores industriais (química, papel e celulose, alimentos).

Na produção de açúcar (setor de alimentos e bebidas) e álcool (setor energético) são usados cerca de 92% do total de bagaço, gerando energia térmica e parte da energia elétrica para os processos industriais.

Para a safra 90/91 pode-se estimar:

	"In natura": 50% umidade 10 ⁶ t/ano	Matéria seca 10 ⁶ t/ano	Óleo combustível substituído 10 ⁶ t/ano ^(b)	Carbono atmosférico (como CO ₂) evitado 10 ⁶ t/ano ^(c)
Produção de bagaço:	62.	31.		
Consumo:				
Setor alimentos (açúcar)	20.	10.	3.5	3.01
Setor energético (álcool)	37.	18.5	6.5	(5.59) ^(d)
(outros)	1.5	0.8	0.3	0.23
Perdas, usos não energéticos:	3.5	1.8	--	--
TOTAL				3.24^(d)

MACEDO, 1991.

(b) bagaço úmido com 1850kcal/kg (PCI); eficiência de conversão de 74% (média) para bagaço e 82% (óleo combustível). (c) taxa de liberação de carbono na combustão do óleo: 0,86kg carbono por kg óleo combustível. (d) o uso do bagaço suprimindo energia para a produção de álcool não é computado como benefício (redução de CO₂ emitido, sendo apenas uma transformação interna (o benefício do uso do álcool, substituindo gasolina é computado).

Portanto, para a safra 90/91 o uso do bagaço como energético (indústria de alimentos e química, incluindo açúcar) evitou a liberação de 3.24 x 10⁶t de carbono, pela substituição do óleo combustível.

Balanço de energia na produção de cana, açúcar e álcool: o uso de insumos fósseis

O balanço completo de energia na produção de cana e álcool nas condições de São Paulo (valores médios e valores-limite) pode ser visto em MACHADO apud MACEDO, 1991); um resumo da parte que interessa para o cálculo do CO₂ emitido (origem fóssil) é demonstrado na tabela a seguir.

	Médias ^(e) (MJ/t ano)		Melhores resultados ^(e) (MJ/t ano)	
Produção de cana (total)^(f)	221.75		197.4	
- operações agrícolas	36.9		26.33	
- transporte	57.59		45.90	
- fertilizante	69.18		64.74	
- Calagem	6.77		6.77	
- herbicidas, inseticidas	12.03		15.39	
- sementes	8.11		7.23	
- equipamento	23.28		23.28	
- mão-de-obra	7.86		7.86	
Produção de álcool (total)^(g)				
- eletricidade (comprada)	70.10		40.59	
- produtos químicos e lubrificantes	12.54		0.	
- prédios	6.56		6.56	
- equipamento pesado	14.17		9.45	
- equipamento leve	17.22		11.50	
	19.60		13.08	
Fluxos externos de energia (agricultura e indústria)^(h)				
	Entrada	Saída	Entrada	Saída
- agricultura	221.75		197.46	
- indústria	70.10		40.59	
- etanol		1707.11		1941.02
- bagaço excedente		175.14		328.55

MACEDO, 1991. (e) cerca de 60 destilarias anexas, S. Paulo, 1985; cerca de 35% da produção de álcool no Brasil na época; melhores resultados são os melhores valores encontrados (menor consumo, maior produção de energia). (f) a produção de energia correspondente é em açúcar, bagaço e resíduos de cana. Bagaço: 280 kg/tcana, 50% água; 269 GJ/tcana (PCS) usados nos processos industriais para açúcar e álcool. Resíduos (folhas e pontas): 180 kg matéria seca/tcana, ou 3,46GJ/tcana, não usados hoje. (g) somente energia externa, excluindo a energia na cana (açúcar e bagaço) e a energia elétrica cogenerada com bagaço. (h) a energia externa usada (agricultura e indústria) vem principalmente de combustíveis fósseis (diesel e óleo combustível), no Brasil; pequena parcela vem de hidroeletricidade. Os valores médios para açúcar ou álcool são considerados os mesmos, por tonelada de cana (são iguais na agricultura e em toda a parte pesada da indústria: extração e utilidades).

Desses resultados, a energia de origem fóssil é de cerca de 271. MJ/t cana no setor agrícola e 57 MJ/t cana na indústria), em média, correspondendo a cerca

Portanto, para a produção em 90/91 (222×10^6 t cana) o carbono liberado para a atmosfera como CO_2 , advindo do uso de combustíveis fósseis na lavoura e indústria, é de ordem de 1.2×10^6 t/ano.

Teor de carbono no solo

Embora haja resultados confiáveis para a massa de raízes desenvolvidas na cultura da cana-de-açúcar, a contribuição líquida para o teor de CO_2 atmosférico deve ir das diferenças no teor final de carbono no solo (em "equilíbrio dinâmico") antes do cultivo da cana e um certo número de anos após o início. Essas diferenças variam muito em função do tipo de solo (arenoso, argiloso) e da cultura anteriormente existente (mata, cerrado, pastos) e não há um levantamento suficiente para permitir a quantificação precisa, no momento.

Resumo dos resultados e conclusões

Do exposto no item acima, podemos resumir a contribuição líquida da agroindústria da cana para a redução da taxa de aumento do CO_2 atmosférico da seguinte forma:

	10^6 t carbono/ano
a) Substituição da gasolina por álcool	-7.41
b) Substituição de óleo combustível por bagaço	-3.24
(indústria de alimentos e química)	
c) Uso de combustível fóssil na agroindústria	+1.20
Contribuição líquida	-9.45

Na situação atual, o aumento da taxa de carbono atmosférico correspondente a atividades no Brasil provém essencialmente de duas fontes: o uso de

combustíveis fósseis e o desmatamento. As emissões de combustíveis fósseis podem ser estimadas com precisão adequada a partir do uso final, para fins de avaliação do impacto positivo da agroindústria da cana.

O consumo final por fontes primárias não renováveis (BEN, 1990) em 1989 é mostrado na tabela abaixo, assim como as taxas médias de conversão para CO₂ e o total equivalente de carbono liberado.

FONTES	CONSUMO (10⁶tep)	t carbono/GJ	EMISSÃO (10⁶t carbono)
<i>Petróleo e derivados</i>	51.7	.020	43.3
<i>Gás natural</i>	3.16	.014	1.9
<i>Carvão mineral, coque, etc..</i>	8.91	.023	8.6
TOTAL			53.8

BEN, 1990

Portanto, a contribuição líquida da agroindústria de cana, no ano, foi muito significativa, evitando a emissão de 9.45×10^6 t carbono/ano, cerca de 18% da emissão total dos combustíveis fósseis (53.8×10^6 t carbono/ano).

Essa contribuição pode aumentar significativamente, se o desenvolvimento tecnológico em curso permitir o uso de resíduos da lavoura de cana para a geração de energia. O total estimado de pontas, folhas verdes e secas é de cerca de 40×10^6 t de matéria seca; a utilização de um terço deste total para substituir combustíveis fósseis levaria a cerca de 19Mtep de energia. As emissões evitadas de carbono dependeriam da forma final do energético (biomassa seca, carvão vegetal, álcool, energia elétrica,) das eficiências respectivas de conversão e do consumo de combustível fóssil na coleta e processamento dos resíduos; de qualquer forma os valores expressivos da energia primária indicam um grande potencial para reduzir emissões de CO₂ “.

Estudo científico realizado no Hawaii determinou recentemente as quantidades de CO₂ que são absorvidas da atmosfera por um ha de cana/ano e as quantidades de O₂ que são liberadas na atmosfera, estabelecendo um balanço em relação às emissões das queimadas de cana, USDA (1995) apud DATAGRO (1995).

Tabela 4.2 - Impacto Ambiental do Cultivo de Um Hectare de Cana-de-açúcar (em toneladas métricas por ano)

	CO ₂	O ₂
Crescimento da cana	-220,0	+140,0
Queima da palha	+2,5	-2,5
balanço	216,5	137,5

USDA, 1995 apud DATAGRO, 1995

4.3 A Agroindústria Canavieira - Uso do Solo, das Águas e do Ar Atmosférico

4.3.1 Evolução Histórica da Agricultura

A agricultura foi a primeira fonte de desequilíbrio ambiental devida à ação humana. No início do período neolítico com a descoberta da agricultura, e o crescimento demográfico que por isso se acentuou, o impacto do homem sobre a biosfera foi magnificado. A expansão da agricultura se deu pela substituição em grandes extensões, de ecossistemas florestais por pastagens e culturas, da diversidade da cobertura florestal original por um pequeno número de espécies vegetais cultivadas de acordo com as preferências alimentares do homem.

Muito da área com cobertura florestal original substituída por culturas e pastagens, acabou por se desertificar, por causa do sistema de manejo e das queimadas que vem ocorrendo desde milhares de anos.

Apesar de tudo isso a civilização agrária não modificou de modo irreversível o ciclo da matéria e o fluxo de energia na biosfera, antes se integra ao conjunto dos fenômenos ecológicos naturais. O mesmo não ocorre na civilização tecnológica que se seguiu.

Muitas transformações ocorrem no começo do século XVIII, marcadas por mudanças radicais nas relações do homem com a natureza.

Acentua-se a perda da biodiversidade, com redução das biocenoses, uniformização do espaço rural pelas monoculturas, destruição dos últimos redutos de vegetação espontânea e de animais selvagens, criação de espaços urbanos totalmente artificiais.

Há um rompimento do ciclo da matéria, pela acumulação incessante de dejetos não reciclados (os organismos decompositores cada vez mais inibidos por poluentes tóxicos) e não recicláveis (produtos não degradáveis criados pelo homem), promovendo perturbações dos ciclos bioquímicos naturais como ensina RAMADE (1995).

Os fluxos de energia se modificam por causa do uso maciço dos combustíveis fósseis, alterando os ciclos do carbono, do enxofre e do nitrogênio.

Na agricultura, através do uso de uma energia concentrada resultante de acumulação milenar, a energia fóssil do petróleo, o homem consegue um enorme crescimento da produção agrícola utilizando a tração mecânica, os adubos químicos e os agrotóxicos.

Como observa ODUM "o grande erro do homem industrial tem sido o de crer que o aumento dos rendimentos agrícolas era devido a uma nova técnica no uso da energia solar... ilusão porque o homem não consome mais batatinhas produzidas pela fotossíntese. Ele come batatinhas produzidas parcialmente de petróleo" (ODUM, 1971 apud RAMADE, 1995).

Assim a agricultura moderna se apoia em técnicas agrícolas que perturbam cada vez mais o ciclo da matéria e o fluxo de energia dentro do agroecossistema. Os adubos químicos e os pesticidas aumentam de imediato os rendimentos agrícolas, mas por suas características tóxicas e sua aplicação repetida, conduzem à poluição dos solos, por vezes irreversível em se tratando de substâncias não degradáveis biologicamente. Outra causa da poluição é o

junto às áreas urbanas, onde são consumidos, não sofrem um processo normal de reciclagem, e por isso não devolvem aos campos de cultura os elementos daí retirados.

É urgente questionar portanto, a validade de alguns métodos agronômicos modernos, quando se examina seu impacto ecológico nas áreas rurais. Mais que tudo isso, o uso dos adubos químicos, pesticidas e herbicidas compromete a longo prazo a estabilidade dos agroecossistemas, e também provoca modificações físicas dos solos, claramente demonstradas em experiências realizadas na estação agronômica de Missouri, USA, desde 1950, COMMONER (1970) apud RAMADE (1995).

O húmus que é a garantia da fertilidade do solo, deixou de retornar às terras de agricultura não havendo substituto que preencha suas funções. A solução racional que se vislumbra é a separação dos detritos fermentescíveis do lixo urbano, para compostagem e devolução do húmus às terras de cultura. Um exame mesmo parcial das práticas agronômicas atuais nos países industrializados mostra que as matérias orgânicas geradoras do húmus são sistematicamente levadas para fora dos agroecossistemas, e destruídas, RAMADE (1995).

4.3.2 A Cultura da Cana-de-açúcar

O solo é parte integrante do ecossistema terrestre. É um sistema vivo e dinâmico, e ao mesmo tempo complexo e equilibrado em função da diversidade de espécies que nele coabitam e da variedade das relações tróficas que se estabelecem ao longo da cadeia alimentar.

A produtividade do solo está diretamente vinculada à sua vida. Os organismos existentes no solo estão envolvidos em ciclos biogeoquímicos contínuos de mineralização - imobilização - absorção de nutrientes minerais.

A fauna e a flora desempenham papel fundamental na manutenção dos ciclos, fazendo a decomposição mecânica dos elementos do folheto, transformando resíduos vegetais em substâncias húmicas, elevando o pH do solo, formando

agregados complexos de matéria orgânica com a parte mineral, melhorando sua estrutura física, aeração e retenção de umidade.

Deste modo, o solo em sua condição natural, tem sua capacidade de suportar plantas e animais determinada pelas inter-relações entre seus habitantes e destes com o meio físico. A estabilidade desta capacidade de suporte é mantida pela diversificação de espécies, com grande número de relações tróficas estabelecidas ao longo da cadeia alimentar. O solo pode ser considerado um ecossistema onde estão interagindo fatores abióticos e bióticos que o mantém em equilíbrio, e a presença de complexa comunidade de espécies interdependentes é indicativo de seu amadurecimento GHILAROV (1965) apud COSTA (1983).

Quando o homem interfere em um ecossistema equilibrado, privilegiando o cultivo de um pequeno número de espécies do seu interesse, um novo tipo de relação é estabelecido. Essa intervenção do homem, via de regra, de forma inadequada, reduz drasticamente o número de espécies, bem como suas relações, promovendo uma simplificação do sistema original, tornando-o instável, gerando uma série de fatores perturbadores que o sistema não consegue dissipar, podendo advir o seu colapso.

Em toda atividade de produção agropecuária são estabelecidas relações ecológicas semelhantes às que ocorrem nos ecossistemas não manipulados pelo homem, como as matas nativas por exemplo. Ocorre que a intervenção do homem exercendo uma atividade econômica como a agricultura, leva à simplificação e artificialização do sistema, comprometendo a biodiversidade, tornando-o mais suscetível ao aparecimento de pragas e doenças.

Por isso o homem necessita conhecer e compreender as relações ecológicas para que possa praticar a agricultura com consciência e racionalidade, de forma a transformar o ecossistema em um agroecossistema, cujo manejo terá de ser feito, a partir do conhecimento da estrutura e funcionalidade do ecossistema e segundo as leis que regem a estabilidade de um sistema complexo, objetivando a aproximação, tanto quanto possível, do sistema original.

A agroindústria do álcool pode provocar alterações ambientais em razão das técnicas e processos adotados na produção agrícola e industrial, bem como pela deposição dos resíduos gerados.

Basicamente pode-se considerar como fontes significativas de alterações ambientais: a monocultura canavieira em si e a mecanização intensa; a aplicação de fertilizantes químicos e agrotóxicos; a queimada que precede a colheita; as técnicas de disposição das águas residuárias e da vinhaça, resultantes do processo produtivo do açúcar e do álcool

Quanto à vinhaça e ao bagaço de cana são hoje consideradas subprodutos e não resíduos dado seu valor comercial, embora possam ser de grande potencial poluidor dependendo da forma de destinação.

4.3.2.1 Monocultura e Mecanização Agrícola

A ocupação de vastas áreas agrícolas com uma única cultura é feita à custa da eliminação de uma complexa e estável teia alimentar (caso da floresta). Essas relações são substituídas por cadeias alimentares simplificadas, com alguns poucos produtores herbívoros, carnívoros e decompositores. Essa alteração desequilibra o sistema, interrompe ou afeta os ciclos biogeoquímicos, propicia o aparecimento de fitófagos e patógenos numa escala em que se constituem em pragas e doenças, enfim debilitam o ecossistema. A produtividade e fertilidade naturais do solo vão gradativamente diminuindo, acarretando a necessidade de serem recuperadas.

As pragas e doenças proliferam, gerando a necessidade de seu controle. As ervas invasoras indesejáveis, competem com a cultura e sua disseminação tem que ser controlada.

Cumulativamente, a monocultura canavieira tem na mecanização intensiva uma prática constante para o preparo do solo - plantio, adubação, pulverização e colheita. Nem sempre feita de maneira adequada, a circulação de veículos sobre o solo tende a compactá-lo, danificando a sua bioestrutura, adensando-o, com reflexos sufocantes para a microvida, propiciando fenômenos erosivos e dificultando a adequada penetração das raízes.

4.3.2.2 Agroquímicos - Adubos químicos

À procura de maximização da produtividade nos cultivos industrializados de vastas áreas, recorre-se à utilização maciça de fertilizantes químicos como se o solo fosse apenas um substrato inerte para enraizamento.

A principal finalidade dos adubos químicos é devolver à terra determinados elementos retirados pela cultura. Essa restituição se faz através da adubação mineral, que utiliza nitratos, fosfatos, sais de potássio, e outros, em quantidades supostamente equivalentes às retiradas. Ocorre que tais substâncias carregam traços de metais e metalóides tóxicos (os custos tornam inviável sua purificação), que aliados aos pesticidas e herbicidas causam danos ao meio ambiente.

A superfertilização por adubos nitrogenados, faz aparecer nos tecidos dos vegetais, taxas excessivas de nitratos que na manipulação industrial transformam-se em nitritos, tóxicos para os consumidores. Quanto ao fósforo, a maior parte contida nos adubos é imobilizada no solo por causa da presença de cálcio, alumínio e ferro, e parte do excesso é levada para as águas tendo um papel importante na eutrofização, RAMADE (1995).

A adubação NPK tem poder acidificante, o que acelera o depauperamento dos solos. Não é respeitada a bioestrutura do solo, seu equilíbrio, as funções de absorção e metabolização.

4.3.2.3 Agrotóxicos: Inseticidas e Herbicidas

“O controle sobre ervas daninhas, pragas e doenças passa a ser feito de forma cada vez mais artificial, a partir de produtos que, embora as eliminem a princípio, acabam por tornar as plantas doentes e vulneráveis ao ataque das pragas, que passam a se multiplicar a taxas muito maiores do que antes da aplicação dos agrotóxicos, além de se constituírem em drogas perniciosas para o homem e para o ecossistema” (CHABOUSSUS, 1987).

O controle químico de pragas, doenças e ervas invasoras através dos agrotóxicos, também denominado tratamento fitossanitário, leva não somente a eliminação dos organismos indesejáveis, mas também aos seus inimigos naturais, o que acentua o caráter simplificador do agrossistema monocultor. A própria denominação tratamento fitossanitário é imprópria pois as ervas adventícias não causam mal à planta em si, do ponto de vista fisiológico, apenas competem com ela pelo alimento e água. O mesmo raciocínio vale para os insetos que se alimentam da polpa da fruta sem interferir na saúde da planta.

Os pesticidas modernos são em sua maior parte substâncias orgânicas de síntese. Seu uso vulgarizou-se no fim da 2ª Guerra Mundial. Em 1939, dois potentes inseticidas, o DDT e o HCH, cujo princípio ativo é o lindane, foram descobertos na Europa. Mas sua difusão deu-se pela aquisição dos direitos de invenção da firma Geigy pela armada americana, que o utilizou sob a forma de pó, para conter uma epidemia de tifo que já afetava 1400 pessoas. Seu sucesso foi enorme, e permitiu aos serviços médicos aliados realizar pulverizações sistemáticas de seus soldados. Mas é significativo que passados 30 anos de uso intensivo, a Suíça, país onde foi descoberto, e a Suécia, que atribuiu o prêmio Nobel a seu inventor P. Muller, tenham proibido seu uso, RAMADE (1995).

Os inseticidas modernos provêm de produtos orgânicos de síntese, e se apresentam em quatro grupos principais: os organoclorados, os ésteres fosfóricos, os carbamatos, e os mais recentes, os piretróides. São tóxicos por contato e por ingestão e provocam envenenamento rápido dos insetos atingidos. Alguns inseticidas chamados sistêmicos, possuem a propriedade de passar para a seiva da planta, tornando-a tóxica para os artrópodes que dela se alimentam. Quase insolúveis em água, são compostos muito estáveis que podem demorar anos, às vezes dezenas de anos no solo sem se decompor; Por isso apresentam excepcional aptidão à bioacumulação e à bioamplificação nas cadeias tróficas RAMADE (1995).

Os organoclorados, por seus efeitos danosos encontram-se de longa data proibidos na maioria dos países.

Mas os produtos mais utilizados na cultura canavieira são os herbicidas.

“Herbicidas são compostos que, aplicados às plantas, reagem com seus constituintes morfológicos ou interferem nos seus sistemas bioquímicos,

promovendo efeitos morfológicos ou fisiológicos de graus variados, podendo levá-las à morte parcial ou total” (CAMARGO, 1986, apud CETESB, 1989).

Alguns inibem a fotossíntese outros provocam crescimento incontrolado e deformado causando a morte das plantas alvo. Os herbicidas possuem um tempo variável de persistência no solo, por exemplo: Paraquat (algumas horas); MCPA, 2,4 D e Dalapon (semanas) e Simazina e Picloran (1 ano). Alguns apresentam resistência à degradação enzimática enquanto outros se decompõem com facilidade.

Os herbicidas à base de uréia, carbamato e triazina embora tenham ação persistente possuem baixa toxicidade a mamíferos, e não se acumulam na cadeia alimentar. As uréias são solúveis em água e persistentes no solo, e apresentam extrema toxicidade para o fitoplâncton. As triazinas também vem sendo utilizadas na limpeza das ervas que nascem entre as linhas da cultura; agem por absorção radicular, inibindo a fotossíntese de forma que a planta intoxicada se torna incapaz de fixar o CO_2 .

Outros herbicidas como o glifosato, os compostos dipiridílios (Diquat e Paraquat), não foram completamente elucidados quanto aos efeitos que provocam. Alguns tem ação persistente no ambiente aquático, ou terrestre. São herbicidas de contato que destróem os meristemas por aplicação foliar.

Herbicidas derivados do ácido fenoxiacético são, aproximadamente os mesmos largamente usados pelos Estados Unidos na Guerra do Vietnã como desfolhantes (agente laranja), e causaram sobre a flora, a fauna e as populações, danos enormes que até hoje permanecem, conforme RAMADE (1995).

O Picloran também foi muito utilizado, sendo tão persistente, que com apenas 60g/ha pode eliminar certas espécies vegetais. Sua remanescência e estabilidade são tão grandes, que os solos contaminados por esse herbicida à razão de 1,8 kg/ha, durante a guerra, tornaram-se incapazes de produzir a mínima vegetação durante anos, além de ficarem arruinados pela erosão, conforme refere RAMADE (1995).

Os da classe dos organoclorados apresentam bioacumulação e persistência no meio ambiente, sendo muitas vezes altamente tóxicos.

A utilização indiscriminada destes produtos pode comprometer o solo, as águas subterrâneas e as águas superficiais se aplicados perto de cursos d'água ou em solos suscetíveis à erosão.

4.3.2.4 Riscos para os Ecossistemas Aquáticos

Entre as numerosas fontes de contaminação de lagos e cursos d'água, a intensificação do emprego de agrotóxicos deve ser considerada como uma das mais alarmantes.

As principais causas estão relacionadas com o escoamento pluvial dos terrenos de cultura, contendo elevadas concentrações destes produtos, com a aplicação via aérea sem os devidos cuidados, com a manipulação inadequada de produtos agrotóxicos por parte de agricultores, quer seja pelo abandono de embalagens do produto ou pela lavagem dos equipamentos utilizados na pulverização junto ao corpo d'água. "De acordo com a Organização Mundial da Saúde, os agrotóxicos causam, anualmente, danos a 500.000 pessoas, matando cerca de 5.000. A maioria dos danos ocorre no Terceiro Mundo, por falta de informação adequada ou de treinamento, o que leva as pessoas a usarem recipientes contaminados para transporte de água e alimentos" (CIÊNCIA & CULTURA, 1982 apud CETESB, 1989).

"A maior fonte de contaminação ambiental pelos agrotóxicos resulta da sua aplicação para controlar pragas da agricultura e pragas que causam problemas à saúde pública. A contaminação das águas pode ocorrer pela sua aplicação direta em superfícies de córregos e rios, mas, a principal dinâmica de sua distribuição tem sido a partir dos solos contaminados pela sua aplicação no combate às pragas. Através da irrigação e carreamento pelas águas da chuva, estes compostos químicos chegam, posteriormente, aos córregos, rios, lagos, estuários e, finalmente, oceanos "(CELESTE & CÁCERES, 1987 apud CETESB, 1989),

"Tratando-se de agrotóxicos utilizados na agricultura, os riscos de contaminação direta das superfícies da água são, geralmente, mínimos, quando os tratamentos são feitos de maneira correta. Por outro lado, praticamente não é possível evitar os transportes indiretos (transporte aéreo e

por lixiviamento). Cria-se uma acumulação mais ou menos rápida no meio e nos organismos vivos por meio de cadeias alimentares, ao longo das quais os resíduos se concentram progressivamente, quanto mais se caminha em direção aos carnívoros terminais“ (DEJOUX, 1988 apud CETESB, 1989).

Fica difícil muitas vezes identificar a causa principalmente com relação ao uso de produtos agrotóxicos que tenham um efeito tóxico agudo porém de degradação rápida no ambiente, como por exemplo, os produtos organofosforados.

Os efeitos mais conhecidos dos agrotóxicos em peixes se referem a casos de mortandades maciças após derrames acidentais ou uso de produtos tóxicos a peixes em locais em que os compostos podem penetrar nos cursos d'água, tanques ou lagos, ou habitats importantes para peixes, como as culturas de arroz. Exemplos desses agrotóxicos são o Endrin, Endosulfan, DDT, Dieldrin, Toxapheno. Uma questão importante é se as mortandades incidentais ou acidentais podem resultar em alterações permanentes na diversidade ou no potencial biológico das comunidades aquáticas. Além disso, o fenômeno da resistência ao agrotóxico pode ocorrer como uma alteração permanente na condição biológica das populações de peixes e outros organismos aquáticos, segundo KOEHMAN (1978) apud CETESB (1989).

Os peixes podem viver em concentrações relativamente altas de agrotóxicos em seus tecidos lipídicos, mas os resíduos concentrados nos ovos de peixes maduros podem ser letais ao embrião em desenvolvimento. As áreas contaminadas por aplicação de agrotóxicos estão sujeitas à redução do alimento para o crescimento do peixe e perda das populações de peixes. Onde os resíduos forem persistentes nos sedimentos por longos períodos, os organismos bênticos podem ser prejudicados, mesmo quando as concentrações na água permanecerem baixas, conforme referência da EPA (1976) apud CETESB (1989).

Muitos agrotóxicos possuem uma solubilidade baixa que favorece sua adsorção rápida sobre material em suspensão ou em sedimentos e por sua afinidade aos lípidos de plantas e animais. Frações solúveis ou dispersas de agrotóxicos na água diminuem rapidamente após a contaminação inicial, devido ao seu acúmulo no sedimento. Agrotóxicos encontrados na água na forma de material suspenso particulado podem ser tóxicos aos organismos

aquáticos ou contribuir para a sua acumulação residual e os acumulados nos sedimentos podem dar origem a episódios de contaminação, anos após a disposição devido ao revolvimento de lama, EPA (1973) apud CETESB (1989).

Estes são fatores que revelam a necessidade de se realizar estudos, especialmente a longo prazo, sobre os níveis de contaminação dos componentes dos biótipos aquáticos continentais para avaliar as variações que podem ocorrer em decorrência dos efeitos de agrotóxicos utilizados no domínio agrícola. A proteção de populações de peixes é um objetivo importante nos programas de qualidade ambiental, pois podem agir também como agentes através dos quais substâncias químicas indesejáveis podem ser transportadas para o homem, via consumo de alimento, CETESB (1989).

Os organismos aquáticos, peixes e crustáceos apresentam sempre resíduos de agrotóxicos clorados em níveis bem mais altos que os da água em que vivem, razão pela qual têm servido como verdadeiros controles em grande número de estudos de bacias hidrográficas, estuários de grandes rios e águas costeiras, LARA & BARRETO (1972) apud CETESB (1989).

4.3.2.5 Agrotóxicos nos Ecossistemas Aquáticos - Bacias dos Rios Mogi-Guaçu e Pardo

No Brasil, muito pouco tem sido feito quanto à investigação dos níveis de agrotóxicos em ecossistemas aquáticos. Recentemente parece estar havendo um avanço nas pesquisas nesta área, e sistemas de vários locais do país tem sido estudados. Embora seja comum afirmar que, grande parte da poluição que atinge as águas provém das aplicações feitas no solo necessita-se de pesquisas para estabelecer a proporção entre causa e efeito.

O artigo "Residues of Organochloric Pesticides in Reservoirs in São Paulo State" de autoria de CÁCERES, TUNDISI e CASTELLAN (1987) analisa a concentração de organoclorados em águas de 38 reservatórios de 7 bacias hidrográficas de São Paulo, concluindo por uma presença mais significativa desses resíduos nas regiões onde a atividade agrícola é mais intensa.

Mesmo assim encontrou concentrações menores que as citadas na literatura para águas de regiões temperadas, há 20 anos atrás (Europa e USA): e surpreendentemente os reservatórios de São Paulo são os que apresentam as menores concentrações de poluentes do Brasil. Mas essas concentrações encontram-se 10 a 200 vezes acima das recomendadas pela agência ambiental americana EPA, para proteção da vida aquática.

A CETESB em 1989 publicou a pesquisa "Contaminação por Agrotóxicos em Bacias Hidrográficas do Estado de São Paulo" sobre a utilização de agrotóxicos em diversas culturas, na área das bacias hidrográficas dos Rios Mogi-Guaçu e Pardo (região de Ribeirão Preto, mais importante área agrícola do Estado de São Paulo), verificando-se preponderância de aplicação nas culturas de soja, arroz e cana-de-açúcar.

A cultura da cana-de-açúcar representa 53% da área agrícola ocupada nas bacias hidrográficas dos rios Mogi-Guaçu e Pardo. Sendo assim é significativo o volume de agrotóxicos utilizados nessa cultura, inseticidas e principalmente herbicidas utilizados em larga escala, a fim de prevenir e exterminar as ervas daninhas, evitando a competição por luz, água e nutrientes, e aumentando, conseqüentemente, a produtividade da cultura.

Dos agrotóxicos levantados no estudo das bacias hidrográficas dos rios Mogi-Guaçu e Pardo, foram identificados 38 inseticidas, sendo que podem ser provenientes da cultura da cana-de-açúcar os organoclorados, tais como o Aldrin, o Heptachlor e o Endosulfan. Estes produtos estão sujeitos a uma degradação lenta metabólica e não metabólica no ambiente. Alguns componentes específicos variam largamente sua taxa de degradação, e algumas formas de degradação destes produtos podem ser tanto tóxicas quanto persistentes, EPA (1973) apud CETESB (1989). Os produtos mais utilizados foram os herbicidas, dos quais foram identificados pelo estudo da CETESB, 28 princípios ativos. Não se registra o uso de fungicidas na cultura da cana.

4.3.2.6 Questões Ecológicas Ligadas ao Uso de Agrotóxicos

Muitos inconvenientes ligados ao uso dos agrotóxicos foram aparecendo gradativamente, e hoje demonstram ser maiores do que se havia suposto inicialmente. O princípio básico sobre o qual se construíram os equívocos, é a relação unívoca, que se supõe existir entre o pesticida e o ser nocivo, de forma que

pesticida \Rightarrow ser nocivo + efeitos secundários

enquanto que a relação que existe realmente é muito mais ampla

pesticida \Rightarrow ecossistema

(\Rightarrow este símbolo significa age sobre)

E as principais características de sua ação segundo RAMADE (1995) são:

- sua toxicidade não tem a seletividade anunciada, pelo contrário, se estende tanto a espécies animais quanto vegetais, e quanto aos vertebrados de sangue quente, também apresenta-se elevada; visando atingir aproximadamente 0,5% do total de espécies que povoam a terra, na verdade o homem atinge todos os seres vivos que compõem o ecossistema.
- as quantidades utilizadas são muito maiores que as necessárias para atingir o ser nocivo, sob a alegação de que são doses de segurança. Isto se torna particularmente relevante, quando se verifica a extensão das áreas sujeitas às aplicações, as diversas formas de dispersão que fazem dos agrotóxicos, fenômenos presentes em toda parte, e o tempo de persistência nos solos e nas águas.

Em razão dessas características, efeitos diversos se estabelecem sobre as espécies e biocenoses:

- efeitos demoecológicos - perturbações que se estabelecem ao nível das populações de cada espécie atingidas diretamente.

a) toxicidade aguda - efeito tóxico direto - o pesticida provoca percentagens de morte, de forma independente da densidade populacional;

b) toxicidade crônica - refere-se à ação dos pesticidas que não matam de forma aguda, mas causam concentração ao longo de uma cadeia trófica até atingir uma presa que serve de alimento a uma espécie carnívora, a partir da qual se manifesta a toxicidade crônica. Esta pode manifestar-se através de morte prematura, ou diminuição do potencial biótico (taxa de natalidade e fecundidade).

- efeitos biocenóticos - perturbações que se estabelecem ao nível de outras espécies como se vê em RAMADE (1995).

a) desaparecimento da espécie que serve como alimento

b) desaparecimento da espécie hospedeira

c) desaparecimento de uma espécie concorrente

d) desaparecimento de um predador

Tais perturbações são chamadas rupturas do equilíbrio biológico, e se traduzem por vezes, por um crescimento dos efetivos das populações que se visa eliminar, fenómeno frequentemente observável com relação às pragas da agricultura, e aquelas que atingem a saúde humana.

4.3.2.7 Emprego de Agrotóxicos - Legislação

A maior parte dos organoclorados (DDT, Aldrin, Dieldrin, Heptaclor) teve seu emprego proibido na totalidade dos países desenvolvidos, por conselho da Organização Mundial de Saúde desde os anos 70, por causa de seus efeitos. Tais produtos, que se supunha pudessem acabar com as pragas, ao contrário, diminuíram a resistência natural das culturas, e até favoreceram o crescimento das pragas, de forma que as perdas a elas devidas continuam em torno de 30% após 50 anos de uso. O pior é que o consumo dos agrotóxicos cresceu mais rápido que a produtividade agrícola, afirma RAMADE, (1995).

A explicação para tal realidade dada por um pesquisador e professor francês, CHABOUSSOU (1995) é que tais produtos " por sua ação nefasta sobre o metabolismo da planta, rompem a resistência natural desta " deixando-a indefesa face aos seus agressores, sejam eles fungos, bactéria, insetos ou vírus. Além da destruição do agente patogênico através do envenenamento químico, atingimos o metabolismo celular da planta, que enfraquecida se torna incapaz de se nutrir convenientemente para resistir às agressões, mormente porque cria condições metabólicas favoráveis à multiplicação dos patógenos, impossíveis de serem todos destruídos, como mostra a própria experiência.

A liberalidade que existia na legislação brasileira sobre agrotóxicos tornou possível a produção e comercialização, entre nós, de produtos banidos em outros países, afirma NAIDIN (1986) apud CETESB (1989).

O uso abusivo dos agrotóxicos se intensificou com a entrada cada vez mais agressiva desses produtos no mercado nacional, conforme atestam vários trabalhos:

"É indiscutível que o consumo de agrotóxicos no Brasil aumentou significativamente na década de 70, passando de 27.728,8 ton. consumidas em 1970, para 80.968,5 ton. dez anos depois, fenômeno estritamente relacionado à expansão do cultivo da cana-de-açúcar e de soja " (ALVES, 1988 apud CETESB, 1989).

Entre os agrotóxicos vendidos no Brasil, a maior participação cabe aos herbicidas, tanto em termos de quantidade como de valor, seguindo-se os

inseticidas e fungicidas. Os dados disponíveis para herbicidas identificam a soja como a cultura de maior utilização, vindo a seguir o arroz e a cana-de-açúcar. As regiões Sudeste e Sul respondem em conjunto por cerca de 86% das vendas totais de agrotóxicos. Os financiamentos para compra de agrotóxicos concentram-se, nos últimos anos, em um conjunto pequeno de culturas (soja, algodão, trigo, arroz, frutas em geral e cana-de-açúcar): cerca de 90% do total, é consumido nas regiões Sul e Sudeste com destaque para os Estados do Paraná, Rio Grande do Sul e São Paulo. Os agrotóxicos que a cultura da cana lança mão com maior frequência são os herbicidas e alguns inseticidas altamente tóxicos e persistentes no meio ambiente, FERREIRA et alii, (1986) apud CETESB (1989).

Em julho de 1984, a Organização das Nações Unidas divulgou um extenso relatório contendo uma relação de 113 produtos agrotóxicos proibidos ou restritos em vários países. A lista mostra que muitos destes produtos, submetidos à proibição ou restrição nos países desenvolvidos, são livremente comercializados nos países do terceiro mundo, particularmente no Brasil FERRARI (1985), SANTIAGO (1986) apud CETESB (1989).

Dos agrotóxicos relacionados neste estudo, 20 deles são proibidos ou submetidos a sérias restrições de uso em vários países, sendo que na cultura de cana são utilizados os seguintes : Alaclor, Aldrin, Endosolfan, Heptachlor, MSMA, Paraquat.

A legislação que rege a matéria foi criando maiores restrições ao longo do tempo. A legislação paulista antecipou em vários pontos restrições ao uso de agrotóxicos.

A lei federal 7802 de 11/07/1989, estabeleceu normas mais rígidas para controle do uso de agrotóxicos: produtos mais tóxicos do que os existentes no mercado não poderão obter registro de uso. Nem aqueles que não tenham antídotos eficazes no Brasil, ou que sejam perigosos ao homem e ao meio ambiente.

Estabeleceu pena de reclusão de 2 a 4 anos para quem infringir a lei, além das multas.

As leis estaduais 4002 de 5/1/84 e 5032 de 15/4/86 do Estado de São Paulo já haviam normalizado a distribuição e comercialização de agrotóxicos no Estado

de São Paulo. Essas leis instituíram o Receituário Agrônômico do Estado assinado por profissional habilitado.

Embora muitas disposições da lei 4002 tenham sido declaradas inconstitucionais pelo Supremo Tribunal Federal, ela ainda tem um papel importante no controle de agrotóxicos no Estado de São Paulo .

Em pesquisa junto à Secretaria de Estado da Saúde, verificou-se que há uma estatística no Centro de Vigilância Sanitária-Centro de Assistência Toxicológica, visando acompanhar as ocorrências de intoxicações, através da Ficha de Notificação de Intoxicação. Essa estatística contém inúmeros casos de intoxicação por agrotóxicos, como o Aldrin, ocorridas com trabalhadores rurais, mas não esclarece em que tipo de lavoura ocorreram, informação que seria de grande valia para uma análise da frequência de tais acidentes na lavoura da cana.

“A utilização em grande escala e, de maneira intensiva, de produtos remanescentes, pode ser considerada como uma fonte grave de poluição ao nível continental, e a contaminação resultante pode se estender além das zonas tratadas e induzir lentamente (às vezes brutalmente) a desequilíbrios ecológicos. A falta de técnicas agrícolas alternativas seguras para a maioria das culturas e a necessidade de expansão da produção agrícola permitem concluir que o Brasil dependerá por muito tempo do uso de agrotóxicos. Estão portanto em ordem de prioridade, a necessidade de cuidadosa avaliação de seu impacto sobre o meio ambiente, a revisão da legislação existente e o incentivo à pesquisa agrícola” (ALVES, 1986 apud CETESB, 1989).

4.3.3 Águas Residuárias

Os principais resíduos líquidos resultantes da fabricação do açúcar e do álcool são as águas de lavagem de cana-de-açúcar - ALC; as águas das colunas barométricas e a vinhaça.

4.3.3.1 Águas de Lavagem de Cana

O primeiro efluente líquido que sai do processo produtivo da agroindústria açucareira e alcooleira é a água de lavagem de cana, utilizando uma quantidade significativa de água. Os fabricantes de equipamentos para usinas de açúcar e álcool recomendam, para o caso de carregamento mecanizado, o emprego de 6.000 litros de água por tonelada de cana processada. Entretanto, a utilização é bastante variável nas usinas indo de 3.000 até 10.000 l/ton de cana, de acordo com a quantidade de água disponível.

Dependendo do sistema de lavagem da cana utilizado pela usina, pode resultar um grande volume de efluente (3 a 5m³/tc) cujos níveis de DBO observados advém, principalmente do arraste da sacarose exudada pela cana, durante a queimada. Outras contribuições seriam a matéria orgânica do solo aderida à cana, folhas, pedaços de colmo, pontas, etc.

Os sistemas de lavagem por decantação, podem ser abertos ou semi-fechados. Nos sistemas abertos, o tratamento e/ou disposição do efluente com eficiência e segurança, tem custo muito elevado. Diante disto, surge a necessidade de reciclar a água usada na própria etapa de lavagem. Esta solução é particularmente importante quando não existe grande disponibilidade de água próxima à usina.

As informações contidas no relatório da CETESB (1985) dão conta que esse descarte é utilizado junto com a vinhaça para a fertirrigação. Não há menção

específica sobre poluição decorrente deste resíduo, de maneira que parece ser exceção o descarte em águas correntes.

4.3.3.2 Águas das Colunas Barométricas

Estas águas residuárias são originadas nas etapas de concentração e cozimento do caldo, nos evaporadores. A condensação dos vapores ocorre nas colunas barométricas, utilizando-se grande quantidade de água para essa finalidade.

Os condensadores necessitam de 35 litros para condensar 1 kg de vapor, porém, por medida de segurança, utiliza-se cerca de 45 litros de água no processo de condensação, o qual corresponde a um volume de água de 12.000 litros por tonelada de cana. Entretanto, em levantamentos feitos em usinas, verificou-se que estas empregam de 10.000 a 20.000 litros de água por tonelada de cana processada para condensar os vapores procedentes dos vasos dos evaporadores de múltiplos efeitos.

Quanto mais baixa a temperatura da água utilizada nos condensadores, melhores serão os resultados obtidos. Portanto, tem-se a necessidade da existência de açudes e barragens que possam fornecer constantemente água fria em grandes quantidades. Caso a usina disponha de pouca água, esta é bombeada a um sistema de recirculação fechado ou aberto, onde é resfriada, retornando aos condensadores para ser novamente utilizada.

4.3.3.3 Vinhaça, Composição e Utilização

O processo industrial de produção de açúcar compõe-se basicamente da extração do caldo da cana, precipitação e filtração das impurezas, evaporação, cozimento, cristalização e secagem dos cristais de açúcar. Da utilização do

melaço, depois de produzido o açúcar, resulta o mel final, que nas destilarias anexas é usado para fabricação do álcool etílico (Fig. 4.1).

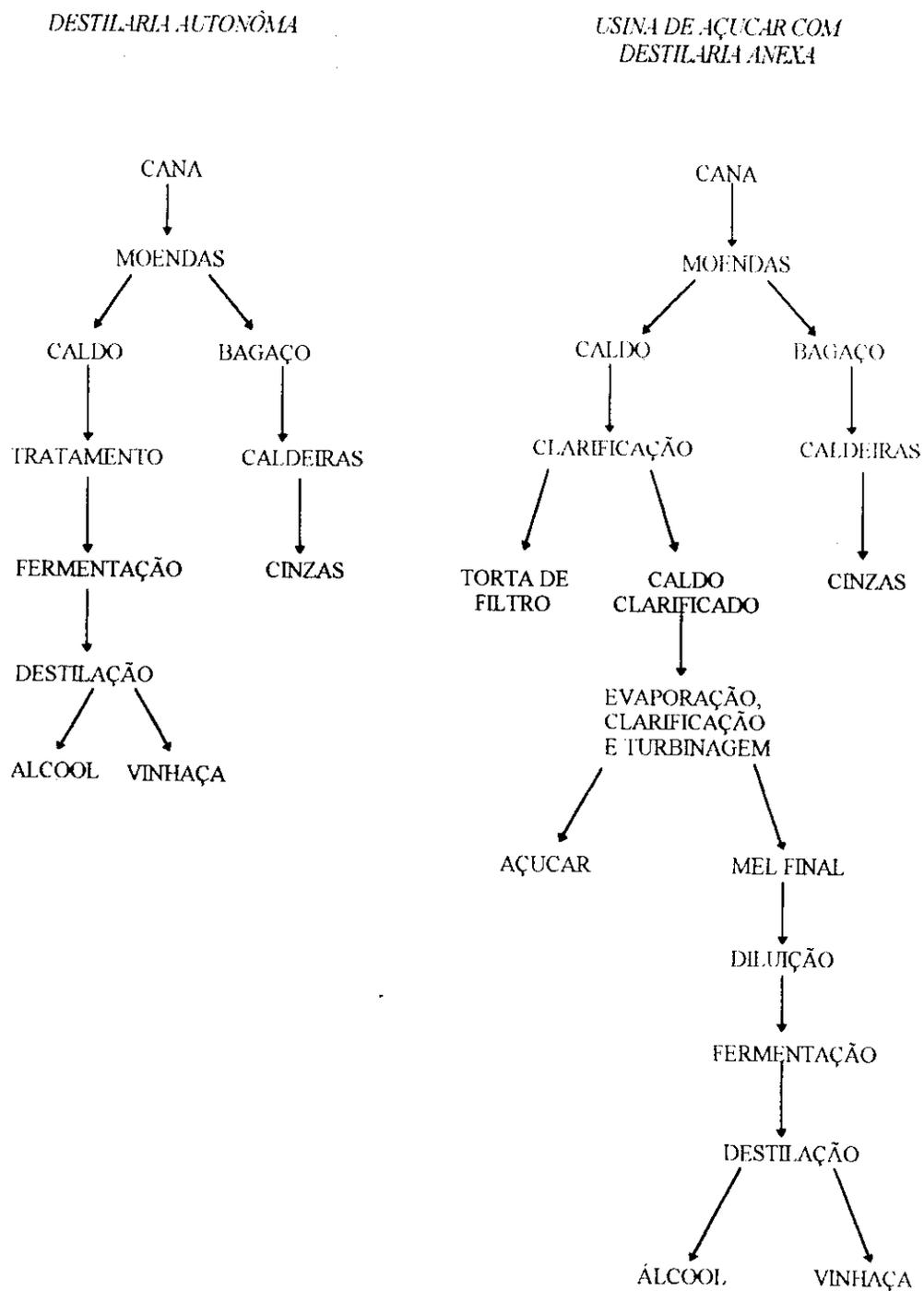
Nas destilarias autônomas o caldo de cana é concentrado, fermentado e destilado para a produção do álcool.

Do processo de fabricação do açúcar e álcool resultam vários resíduos, sendo a vinhaça, restilo ou vinhoto, sem dúvida, dos mais importantes, não só por causa do enorme volume gerado, (à razão de aproximadamente 12 litros para cada litro de álcool processado), mas principalmente por seu potencial poluidor, que dependendo das condições de disposição final, pode provocar efeitos danosos ao meio ambiente.

Com o crescimento da produção do álcool combustível pode-se avaliar o agravamento do problema de sua destinação.

Se despejada "in natura" em cursos d'água, prática largamente utilizada nos primeiros anos do Programa do Álcool, a vinhaça torna as águas impróprias para a utilização humana, e provoca a morte da flora e fauna aquática, por causa das altas taxas de DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio, e DQO - Demanda Química de Oxigênio, e das altas temperaturas do efluente.

ELIAS NETO (1988) apud SILVA (1992), comentando os efeitos de tais despejos compara-os ao lançamento de esgotos urbanos, exemplificando com uma destilaria de pequeno porte que produz 100.000 l/dia de álcool, correspondente a aproximadamente 1 500 000 l/dia de vinhaça. Partindo de uma concentração média de 20 000mg/l, tem-se uma carga orgânica de 30 t/dia de DBO, equivalente a uma população de 500.000 habitantes. CASTELLO et alii (1980) apud SILVA (1992) afirmam que, se a produção de vinhaça prevista para 1983, 60 bilhões de litros, fosse lançada em corpos d'água, seu efeito poluente equivaleria àquele produzido pela contribuição em matéria orgânica de uma população de 70 milhões de habitantes. Ocorre no entanto uma diferença fundamental em relação aos esgotos urbanos, que foi referida por THIAGO (1980) apud SILVA (1992), que é a ausência na vinhaça de bactérias patogênicas, vírus, metais pesados e policlorados orgânicos, o que além de fazê-la menos prejudicial em comparação ao esgoto urbano, lhe confere valor comercial a ser considerado no cálculo econômico de rentabilidade da indústria sucro-alcooleira.

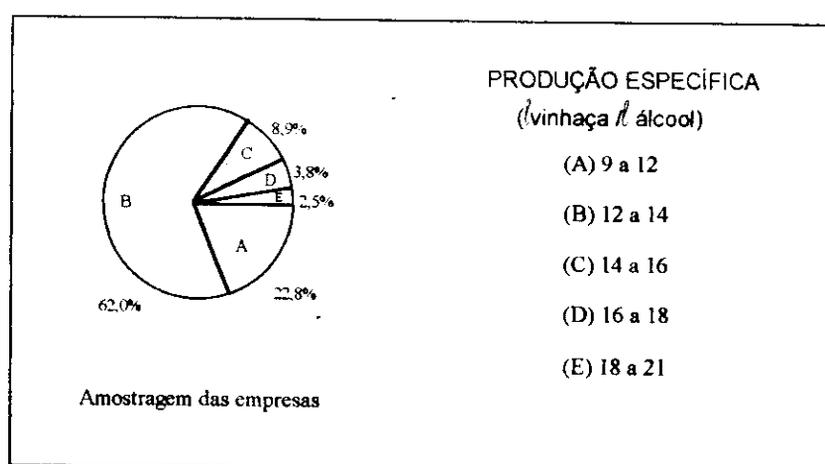


Fonte: Orlando Filho e Leme (1984).

Figura 4.1 - Fluxograma Simplificado da Produção da Vinhaça

Com o aumento do controle ambiental culminando com a edição da Portaria Ministerial nº 323 de 29.11.78, que proibiu o lançamento direto ou indireto da vinhaça em qualquer coleção hídrica, tornou-se de difícil solução sua disposição final, face principalmente ao grande volume produzido. Mas já estavam em curso experiências para usá-la como fertilizante e foram intensificadas as pesquisas para evitar os evidentes efeitos prejudiciais, o que resultou no melhor conhecimento de suas características físico-químicas, e do seu valor no preparo de inúmeros produtos de grande valor comercial, como adubo, ração animal, e mesmo insumo energético sob a forma de gás metano.

“Com relação à produção específica de vinhaça, 62% das destilarias, de um total de 79 pesquisadas pelo IPT (1990), apresentam uma produção na faixa de 12,0 a 14,0 ℓ vinhaça/ ℓ álcool. Na Fig. 4.2 observa-se que uma fração significativa já apresenta produções específicas abaixo de 11,0 ℓ vinhaça/ ℓ álcool, em função do advento de colunas com aquecimento indireto e de teores alcoólicos de vinho mais elevados.” (IPT, 1990)



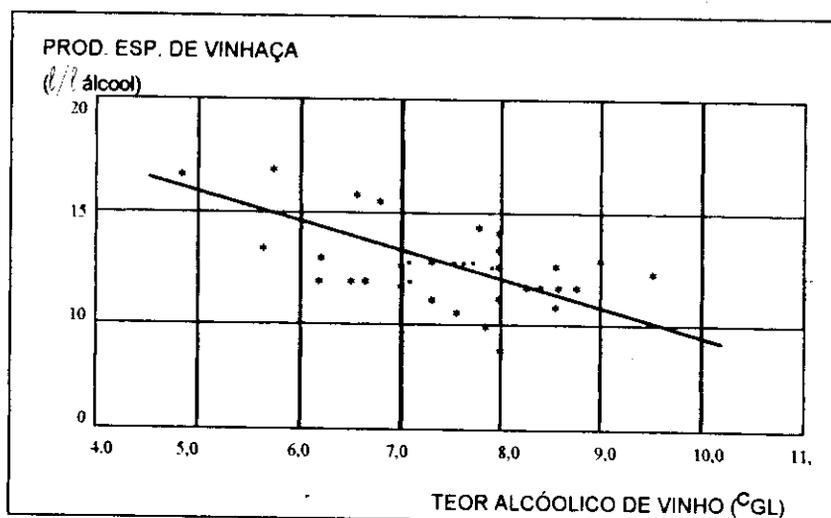
Fonte: IPT, 1990

Figura 4.2 - Distribuição das Empresas Segundo a Produção Específica de Vinhaça

A redução na produção da vinhaça resulta de um melhor rendimento do processo de produção do etanol pela utilização apropriada da matéria prima. Isso significa que a concentração do etanol no vinho tem importância nos seguintes aspectos:

- decréscimo do custo energético da separação do etanol;
- redução do resíduo da destilação, que é a vinhaça; e,
- decréscimo dos custos de investimento pela redução do volume de dornas para uma mesma produção.

A Fig. 4.3, mostra que se pode estabelecer uma correlação como a apresentada pela linha reta contínua, entre a variação da produção específica de vinhaça das usinas analisadas, com o teor alcoólico no vinho. Como já previsto, quanto maior o teor alcoólico, menor a produção específica da vinhaça (IPT, 1990).



Fonte: IPT, 1990

Fig. 4.3 - Variação da Produção Específica de Vinhaça em Função do Teor Alcoólico do Vinho

O IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas publicou em 1990 um Manual de Recomendações sobre Conservação de Energia na Indústria do Açúcar e do Álcool no qual estão contidas muitas das informações técnicas a seguir expostas.

A vinhaça consiste em uma suspensão aquosa (93,5% de água) contendo os componentes do vinho não arrastados na etapa da destilação, com teor de sólidos orgânicos em torno de 4,6%, e minerais em torno de 1,9%, e quantidades residuais de açúcar, álcool e compostos voláteis mais pesados. A matéria mineral é constituída principalmente por teores elevados de potássio (63.47%), nitrogênio, e pequenas quantidades de fósforo, caracterizando-se pois como fertilizante. Sua composição, extremamente variável, depende da natureza e composição da cana-de-açúcar, do tipo de preparo do mosto, do processo de fermentação, do tipo de equipamento utilizado e da condução da destilação.

É uma solução com um pH baixo, em torno de 4,3 (devido ao ácido sulfúrico utilizado nas dornas de fermentação), fato que, aliado à alta temperatura na qual é obtida, lhe confere caráter corrosivo. Apresenta-se como um líquido turvo de odor característico, cuja coloração varia do amarelo âmbar ao pardo escuro.

Tabela 4.3 - Características da Vinhaça Resultante de Mostos de Diferentes Origens ^a

Parâmetro	Origem da Vinhaça		
	Melaço	Caldo	Misto (caldo+melaço)
pH	4,2 --- 5,0	3,7 --- 4,6	4,4 --- 4,6
Temperatura (°C)	80 --- 100	80 --- 100	80 --- 100
DBO (mgO ₂ /l) ^b	25000	6000 --- 16500	19100
DQO (mgO ₂ /l) ^c	65000	15000 --- 33000	45000
Sólidos totais (mg/l)	81500	23700	52700
Sólidos voláteis (mg/l)	60000	20000	40000
Sólidos fixos (mg/l)	21500	3700	12700
Nitrogênio (mg N/l)	450 --- 1600	150 --- 700	480 --- 710
Fósforo (mg P ₂ O ₅ /l)	100 --- 290	10 --- 210	9 --- 200
Potássio (mg K ₂ O/l)	3740 --- 7830	1200 --- 2100	3340 --- 4600
Cálcio (mg CaO/l)	450 --- 5180	130 --- 1540	1330 --- 4570
Magnésio (mg MgO/l)	420 --- 1520	200 --- 490	580 --- 700
Sulfato (mg SO ₄ /l)	6400	600 --- 760	3700 --- 3730
Carbono (mg C/l)	11200 --- 22900	5700 --- 13400	8700 --- 12100
Relação C/N	16 --- 16,27	19,7 --- 21,07	16,4 --- 16,43
Matéria orgânica (mg/l)	63400	19500	38000
Substâncias redutoras (mg/l)	9500	7900	8300

(a) Fonte: Química e Derivados, 1981 apud IPT (1990)

(b) DBO = Demanda Bioquímica de Oxigênio

(c) DQO = Demanda Química de Oxigênio

A tabela 4.3 apresenta parâmetros característicos da vinhaça "in natura" proveniente de diferentes origens quais sejam de mosto de caldo proveniente da moagem da cana de açúcar, direto para a fermentação alcoólica; de mosto de melaço, quando preparado com melaço, subproduto da produção do açúcar, e de mosto misto resultante das misturas dos dois anteriores.

Mosto é a designação genérica dos líquidos passíveis de serem fermentados. Na fabricação de álcool ou aguardente, ao ocorrer a fermentação, o mosto passa a ser denominado vinho, o qual ao ser destilado separa-se em álcool e vinhaça.

Das alternativas de aproveitamento da vinhaça, a que mais se destaca é o seu retorno "in natura" para o solo, como substituto parcial ou total dos fertilizantes convencionais nas culturas; segue-se sua utilização como complemento de ração para animais e, finalmente para a produção de biogás.

Resultados significativamente positivos foram verificados por alguns pesquisadores como RANZANI et alii (1953) e HAAG et alii (1980) apud TAUK (1987), quando da aplicação da vinhaça, em substituição à adubação mineral convencional, na própria cultura da cana de açúcar e outras, como o feijão, milho, algodão e gergelim.

Os processos de tratamento da vinhaça dependem do uso a que se destina, e alguns deles são apresentados a seguir :

- Lagoa de sacrifício ou despejo: as áreas de despejo funcionam como órgãos de segurança para os outros sistemas, segundo MATIOLI E MENESES (1984) apud SILVA (1992); em geral são áreas perdidas para o cultivo, por isso chamadas áreas de sacrifício, que se localizam próximas ao pátio da destilaria, para despejo e armazenamento da vinhaça que aguarda alguma utilização (enchimento dos sulcos ou terraços), ou que não será utilizada, por ser excessiva ou por falta de estruturas técnicas compatíveis com seu aproveitamento. Essa forma de destinação da vinhaça, além de não ser um uso racional, é prática proibida atualmente pela CETESB conforme SILVA (1992), pois implica no risco de contaminação do lençol freático. O dimensionamento dessas áreas é função da capacidade de absorção do solo, e obedece a um esquema de rodízio para aplicação no solo.

- Emprego " in natura " sob a forma de fertirrigação: a vinhaça é aplicada nas lavouras, substituindo os fertilizantes minerais convencionais, ou utilizando-os apenas como complementação.
- Concentração: a vinhaça é concentrada a cerca de 60% de sólidos totais, sendo assim utilizada como fertilizante e ração. Após a concentração, pode ser seca por atomização, sendo o pó obtido usado como complemento de ração ou incinerada para geração de vapor e obtenção de cinzas potássicas para uso como fertilizante; outras utilizações vêm sendo estudadas, como a adição a vários tipos de solo, visando a obtenção de um material solo-aditivo para uso em construções agrícolas.
- Fermentação anaeróbia: a vinhaça sofre digestão anaeróbia por bactérias apropriadas, ocorrendo a geração de gás metano, usado como combustível, e como resíduo um biofertilizante de uso agrícola.
- Fermentação aeróbia: a vinhaça serve de substrato para o desenvolvimento de certos microorganismos de elevado teor protéico, que após tratamento apropriado dão origem à chamada proteína unicelular, empregada com vantagens como complemento de ração.

Com exceção das lagoas de sacrifício e da utilização da vinhaça para fertirrigação, que dispensam maiores investimentos, a opção pelos demais métodos implica necessariamente em uma avaliação técnico-econômica por parte da empresa, de forma a ponderar as vantagens e desvantagens relativas às características particularés e regionais da destilaria.

A fertirrigação é o tipo mais difundido, sendo encontrado em 93,8% das 80 usinas pesquisadas pelo IPT (1990). Mas muitas dessas usinas empregavam, além desta, outras técnicas, chegando à aplicação simultânea de até 3 utilizações.

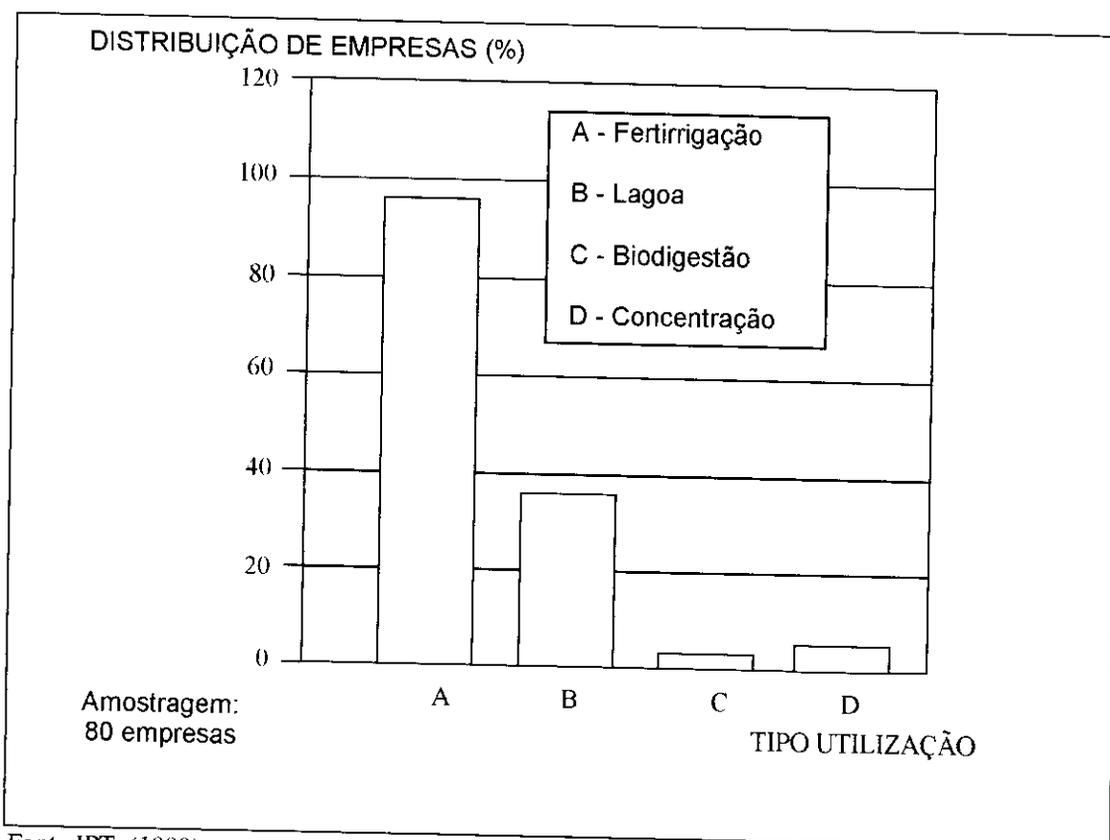


Figura 4.4 - Distribuição das empresas segundo o tipo de utilização da vinhaça

A COPERSUCAR em estudo publicado em 1979, sobre a viabilidade técnico-econômica do aproveitamento da vinhaça tece considerações interessantes quanto aos diversos métodos:

Produção de proteína celular - não deve ser encarada como uma solução global, mas como uma opção complementar por vários motivos:

- os resíduos devem passar por um tratamento antes do descarte, porque ainda são poluentes.
- a biomassa produzida deve ser consumida em regiões próximas, por causa dos custos de transporte, e da dificuldade de estocagem.

- a proteína obtida sofre forte concorrência daquela obtida a partir da soja, que tem menor custo de produção.

Produção de gás metano - também se constitui em solução parcial da destinação da vinhaça, visto que o efluente do processo não retira toda a carga de DBO, exigindo tratamento antes do descarte final. Além disso o rendimento da produção de metano é baixo face aos investimentos e custos de produção.

Vinhaça como fertilizante - permite alcançar o objetivo de não poluir o ambiente, uma vez que todo resíduo formado é devolvido ao solo; a possibilidade de arraste superficial pela chuva como causa da contaminação de rios é desprezível se observados critérios técnicos na aplicação.

Concentração da vinhaça - a concentração a 60° Brix ⁵ pode ser viável economicamente dependendo da natureza da vinhaça e da fonte de combustível para o tratamento térmico requerido.

Os principais métodos para tratamento da vinhaça são descritos mais detalhadamente a seguir, sem contudo definir uma ordem de priorização ou importância.

4.3.3.3.1 Fertirrigação com Vinhaça

No Brasil, como nos demais países produtores de cana-de-açúcar, a intensificação deste cultivo sob o regime de "plantation", colocava em questão entre outras, a alta retirada de reservas orgânicas e nutrientes do solo, levando ao seu esgotamento. Ao mesmo tempo, discutia-se o destino do principal resíduo das usinas e destilarias, que era a vinhaça, com frequência lançada nos cursos d'água gerando danos variados, sendo o mais aparente, grandes mortandades de peixes.

A proibição de tais despejos (Portaria Ministerial no. 323 de 29.11.78) obrigou os responsáveis a uma aceleração na pesquisa de soluções economicamente

⁵ Brix é a porcentagem em massa de sólidos solúveis aparentes contidos no caldo da cana.

viáveis, visto que vários experimentos haviam sido levados a efeito desde a década de 50.

A prática de disposição da vinhaça no solo, foi proposta inicialmente por ALMEIDA et alii (1950) apud STUPIELLO et alii (1977). Antes, considerada inadequada devido à sua elevada acidez, era escoada para os rios ou despejada em terrenos ou fossas sem qualquer aproveitamento. Esses autores foram os primeiros a demonstrar que, quando doses de vinhaça variáveis entre 50 e 1000 m³/ha eram aplicadas, observava-se de imediato acréscimos no pH e no poder de embebição do solo.

Quanto à produção agrícola, desde os primeiros estudos, ficou comprovado que a vinhaça traz um aumento de produtividade agrícola por hectare (IPT, 1990).

A COPERSUCAR (1979) apud SILVA (1992), tem acentuado o papel da matéria orgânica da vinhaça na melhoria da fertilidade do solo, elevação das cargas negativas do complexo coloidal e da capacidade de troca catiônica. Além disso, atua como material cimentante, beneficiando a reestruturação do solo, melhorando suas propriedades físicas e capacidade de retenção de água, beneficiando diretamente as culturas e o desenvolvimento da microflora e microfauna.

GLÓRIA e ORLANDO FILHO (1983) apud SILVA (1992) notaram que a adição de vinhaça ao solo corresponde em primeiro lugar, a uma fertilização orgânica, devendo-se esperar, neste caso, todos os efeitos atribuídos à matéria orgânica, quando adicionada aos solos, isto é: elevação do pH; aumento da disponibilidade de alguns nutrientes; aumento do poder de retenção de água; melhoria da estrutura física do solo, através da ação direta da vinhaça aglutinando as partículas do solo e melhorando sua porosidade, ou através da ação indireta, pelo aumento de atividade microbológica nos solos.

Elevações nos teores de potássio, cálcio e magnésio também foram notados por vários pesquisadores. Segundo FONTES (1989) apud AGUIAR (1992), as alterações nas relações desses cátions parecem ter sido compensadas pela sua distribuição no perfil, ocorrendo seu maior aprofundamento, propiciando maior e mais profundo desenvolvimento radicular das plantas o que eleva sua resistência à seca.

A incorporação de áreas de cerrado à atividade agropecuária brasileira tem sido vista como solução para a demanda de alimentos e combustíveis, SOUZA et alii (1980) apud TAUK (1987). Para isso é necessário o desenvolvimento de técnicas adequadas para o manejo de ecossistemas para que possam se transformar em agroecossistemas. A utilização da vinhaça se coloca dentro dessa perspectiva. Solos de cerrado foram objeto de inúmeras experiências tais como as realizadas na década de 80, no Instituto de Biociências de Rio Claro, UNESP chegando aos seguintes resultados após a aplicação de 20^l de vinhaça por m².

- "no solo tratado com vinhaça ocorre aumento estatisticamente significativo de pH, potássio, cálcio, magnésio, fósforo, densidade fúngica; ocorre diminuição de alumínio; com a adição de nova quantidade após um ano da primeira aplicação, a umidade do solo aumenta e a densidade de actinomicetos diminui; as alterações nos teores de matéria orgânica, carbono orgânico, nitrogênio total, temperatura e densidade bacteriana não são estatisticamente significativos "(COSTA, 1983).

- " até 15 cm de profundidade, aumento nos valores de pH; CTC; potássio; cálcio; magnésio; fósforo; atividade amilásica e celulósica e número de fungos; aumento limitado pelo volume e número de doses aplicadas para outros parâmetros como matéria orgânica; carbono orgânico; atividade invertásica e números de bactérias e actinomicetos " (TAUK 1987).

- no solo sob cerrado o efeito da vinhaça sobre o solo mostrou depender da cobertura vegetal, do número e volume das aplicações: o efeito sobre os nutrientes foi mais visível do que no solo ocupado com culturas de milho e cana-de-açúcar, no qual as culturas anuais tendo um metabolismo ativo, retiram rapidamente os íons do solo, acumulando-os em seus tecidos.

O uso da fertirrigação com vinhaça e água de lavagem da cana tornou-se uma alternativa viável, tanto do ponto de vista técnico, quanto econômico, para eliminação racional do resíduo, substituindo parcial ou totalmente as adubações minerais. Pode ser particularmente interessante em solos de baixa fertilidade que exijam elevadas quantidades de resíduos por unidade de área, ou em locais onde o déficit hídrico seja acentuado e a prática da irrigação se faça necessária.

Teoricamente, se a planta, a cada ciclo de produção retira do solo quantidades apreciáveis de nutrientes, utilizando energia solar e água para seu

desenvolvimento, nada mais natural que se retorne a este os elementos retirados, utilizando-se a vinhaça como fertilizante. Segundo STUPIELLO (1977) a aplicação de doses elevadas (acima de 100m³/ha para solos argilosos e 150 m³/ha para solos arenosos), principalmente se provierem de mosto de melaço ou misto, provoca exuberante desenvolvimento vegetativo, e maior produtividade por ha, mas acarreta queda da qualidade (pol/ha e brix)⁵ e contribui para o aumento de cinzas no caldo da cana).

Por tudo isso, é imperativo que a aplicação seja racional, que considere as condições do solo, a idade e variedade da cultura de cana-de-açúcar a ser fertilizada, topografia do terreno, etc. para se estabelecer a vazão a ser aplicada por unidade de área.

Vários autores demonstram preocupação com o estabelecimento de uma taxa de aplicação aceitável da vinhaça no solo. Evidenciam a viabilidade da prática como um fator de fertirrigação, contudo, advertem que a aplicação da vinhaça deverá ser feita somente após uma avaliação cuidadosa das condições do solo, supervisionada por especialistas habilitados. Mesmo porque, a vinhaça é considerada um material desequilibrado em relação aos macronutrientes, com teor elevado de potássio, médio de nitrogênio e baixo de fósforo.

O critério generalizado, tanto para as usinas como para o órgão controlador ambiental, baseia-se no potássio da vinhaça e os limites máximos admissíveis são de 300-350 quilos de potássio por hectare.

Outra pesquisa realizada em algumas usinas e destilarias do Estado de São Paulo, observou que as aplicações de vinhaça adotadas pelas usinas e destilarias à época, eram extremamente altas, havendo grande excedente de nutrientes em relação à taxa que foi retirada da cultura, alterando as condições de equilíbrio, incorrendo num aumento de sais do solo, que a longo prazo contribuiria para diminuir sua fertilidade podendo promover sua salinização.

⁵ Brix é a porcentagem em massa de sólidos solúveis aparentes contidos no caldo de cana. Pol é abreviatura de polarização. É a unidade de medida (porcentagem em massa) que indica o teor de sacarose aparente.

Estudo de Caso

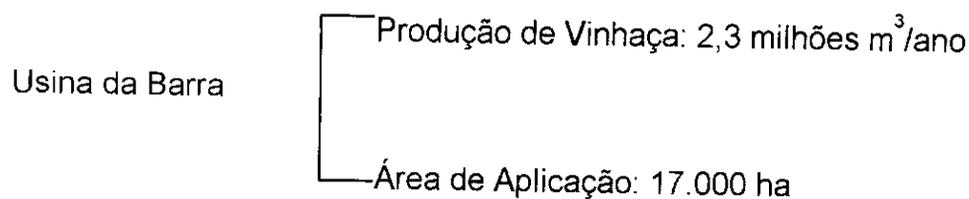


Tabela 4.4 - Estudo de Caso / Usina da Barra

Macro Nutriente	Concentração Média da Vinhaça (g/l)	Quant. de Nutrientes no Efluente p/ ano (kg)	Quant. Requerida p/ Adubação (kg)	Excedentes de Nutrientes (kg)
N	1,174	2.700.200	1.570.800	1.129.000
K	11,657	26.811.100	1.587.800	25.223.300
P	1,487	3.420.100	203.830	3.216.270
Ca	2,630	6.049.000	226.100	5.822.900

Taxa de exportação de nutrientes pela cana-de-açúcar (70ton = 1 ha)

N - 92,4 Kg de N/ha
 P - 11,99 Kg de P/ha
 K - 93,4 Kg de K/ha
 Ca - 13,3 Kg de Ca/ha

Fonte: Nutrição Mineral de Plantas

Malavolta, E., ESALQ (1970)

Portanto duas questões são fundamentais para o estabelecimento das taxas corretas de aplicação: tipo de vinhaça e tipo de solo.

Quanto ao tipo de vinhaça, os dados hoje disponíveis vêm demonstrando que, para a vinhaça de mosto de melaço, é aconselhável uma aplicação anual de 30 a 50m³/ha, sem perigo de salinização do solo; para as vinhaças de mosto misto ou de caldo, aplicações de 80 a 120m³/ha IPT, 1990).

Para outros autores ZAMBELLO JR; ORLANDO FILHO (1981) apud TAUK, (1987), as taxas mais apropriadas seriam de 35 a 50m³/ha para as vinhaças de

mosto de melaço, de 60 a 100m³/ha para as vinhaças de mosto misto, e de 100 a 150m³/ha para as de caldo.

A aplicação de quantidade elevada do resíduo (cerca de 1000m³/ha), conduz a efeitos negativos à qualidade da matéria-prima, tais como atraso na maturação, diminuição do teor da sacarose aparente (pol) da cana, pol e brix do caldo e aumento do teor de cinzas, e dos teores de açúcares redutores conforme AGUIAR (1992).

“Em pequenas doses (30-50m³/ha) para a vinhaça de mosto de melaço e possivelmente de 80 a 120m³/ha para a vinhaça de mosto misto ou de caldo, este atraso na maturação ocorre apenas nos dois primeiros meses da safra, igualando-se às demais canas nos meses posteriores. Quanto ao teor de sacarose aparente, na ausência de dados de campo, presume-se que volumes acima de 100m³/ha de vinhaça de mosto de melaço e 400m³/ha de vinhaça de mosto misto ou de caldo, já causam reduções sensíveis no pol da cana.

O aumento do teor de cinzas pode ocasionar o efeito melassigênico (dificuldades na cristalização do açúcar) e queda na qualidade (porcentual em cinzas é um dos parâmetros para aferição). No tocante à fabricação exclusiva de álcool, há possibilidade que o aumento no teor de cinzas (maior teor de potássio no caldo) seja benéfico para o rendimento da fermentação” (IPT, 1990).

Quanto ao tipo de solo, a disposição da vinhaça “in natura” requer a consideração de alguns aspectos básicos dos solos que irão recebê-la: teor de argila, concentração de matéria orgânica e de sais. A taxa de aplicação irá depender da maior ou menor riqueza do solo, uma vez que a aplicação do resíduo resulta em um acréscimo de matéria orgânica e da capacidade de troca de cátions como potássio, cálcio e magnésio.

O desequilíbrio de nutrientes (porcentagem relativa elevada de matéria orgânica e potássio na vinhaça), pode ocasionar uma deficiência nutricional da cultura, sugerindo a complementação mineral do resíduo, basicamente com nitrogênio e fósforo. Essa complementação do resíduo tem-se apresentado vantajosa para certos tipos de solo, como no caso da “terra roxa estruturada”, cujos estudos mostraram um aumento significativo na produtividade, permitindo estipular uma dosagem econômica de 76 a 92 Kg N/ha, de acordo com a relação entre o preço da tonelada de cana e o preço do quilograma de

nitrogênio. Trabalhos desenvolvidos pelo PLANALSUCAR (1983 apud IPT, 1990), têm demonstrado que para solos de menor fertilidade, a complementação da vinhaça com nitrogênio e, principalmente, fósforo é prática indispensável para o êxito do uso do resíduo .

É imprescindível o conhecimento da composição da vinhaça e da resposta do solo às fertilizações minerais, antes de se formular um plano de aplicação do resíduo com eventual complementação.

Em relação à duração das modificações relacionadas ao solo, foram constatadas:

- propriedades químicas:

- aumento da capacidade de troca de cátions do solo - CTC, com aplicação de doses elevadas do resíduo; entretanto, esse aumento não é de duração prolongada, tendendo a decair caso as aplicações de vinhaça não sejam anuais;

- elevação do pH quando a vinhaça é adicionada ao solo em doses elevadas (acima de 500 m³/ha), tornando-o alcalino por 30 a 40 dias;

- propriedades físicas: em virtude da quase totalidade dos testes não terem sido feitos em condições de campo, não se pode extrapolar os resultados experimentais, mas há indicações de efeitos benéficos moderados (capacidade de retenção de água, porosidade, maior estabilidade estrutural de agregados) sobre as propriedades físicas do solo, conforme AGUIAR (1992).

4.3.3.3.1.1 Sistemas de Aplicação e Transporte da Vinhaça

Os sistemas operacionais de aplicação e transporte mais empregados, são:

- ◇ distribuição por sulcos de infiltração e canais;
- ◇ distribuição por equipamentos móveis, como caminhões-tanque e canhão hidráulico.

Os sistemas de fertirrigação normalmente exigem recalque do efluente para pontos mais elevados, sendo a partir daí conduzido por gravidade para os talhões através dos canais e sulcos, combinando a fertilização com a irrigação da cultura, pois adiciona-se à vinhaça a água de lavagem de cana, as águas das colunas barométricas e a água de lavagem de pisos e equipamentos.

De acordo com MATIOLI e MENESES (1984) apud SILVA (1992), a implantação do sistema de distribuição por sulcos e canais deve ser encarada como um sistema de irrigação por sulcos de infiltração propriamente dito, ou seja executando-se uma rigorosa sistematização do terreno, de acordo com a topografia e tipo do solo. Somente assim é possível atingir eficiência de aplicação e facilidade operacional.

As dificuldades mais comuns referem-se ao controle do volume aplicado e às condições topográficas adversas, que podem impedir seu uso. O grande volume de vinhaça produzida numa agroindústria sucroalcooleira, exige extensas áreas para aplicação racional, com características adequadas ao sistema de sulcos. Isso torna a difusão desse tipo de distribuição bastante restrita.

Os sistemas móveis permitem levar a vinhaça a distâncias maiores, inclusive podendo ser comercializada para outras culturas existentes na região. Também propiciam um melhor controle da taxa de aplicação, embora possam ser mais lentos. Normalmente são conjugados com o despejo em áreas de sacrifício, onde se armazenam os excedentes que serão transportados para distribuição nas culturas.

Este método requer estradas e carreadores em bom estado, frota de veículos, sistematização dos talhões, ausência de barrancos e obstáculos para melhor movimentação dos veículos, e um planejamento de corte de cana de modo a permitir aplicação 24 horas por dia.

O sistema de caminhões-tanque tem sua limitação na economicidade do transporte desde a área de carregamento até o ponto de aplicação. Esta distância econômica é calculada em função do custo da adubação mineral, que representa seu custo de oportunidade. O custo do transporte inviabiliza também a diluição da vinhaça com as águas residuárias, o que aumentaria muito o volume a ser transportado e conseqüentemente o custo do transporte. Apresenta ainda as desvantagens de compactação do solo pelos veículos pesados e a impossibilidade de aplicação na cana-planta.

Outro aspecto econômico relevante é o alto custo e pequena durabilidade dos tanques de transporte por causa do poder corrosivo da vinhaça, com durabilidade de 2 a 8 safras, dependendo do material empregado, ORLANDO FILHO (1981) apud SILVA (1992). Isso levou muitas destilarias a usar tanques de fibra de vidro. A capacidade dos tanques varia entre 7 m³ e 18 m³, sendo mais econômicos os maiores, e mais versáteis os menores.

Apesar dessas limitações econômicas, o volume de vinhaça aplicada por este sistema, supera largamente os outros sistemas, segundo MATIOLI et alii (1988) apud SILVA (1992).

4.3.3.3.2 Concentração da Vinhaça

Existem vários processos para concentração da vinhaça, visando reduzir seu volume, facilitar seu transporte e aplicação, e ainda a recuperação de produtos nela contidos, como a levedura, os eletrólitos etc. O processo mais utilizado é o de evaporação em múltiplo efeito. Os outros processos referidos na literatura são a evaporação com recompressão mecânica de vapor, a centrifugação e a osmose reversa⁶ como técnica em fase de desenvolvimento.

Quando concentrada a cerca de 60% de sólidos totais (considerado o limite de $\cong 60\%$ de sólidos o máximo teor possível), a vinhaça pode ser empregada como fertilizante em pequenas quantidades após o corte; ou como complemento para ração animal, se sofrer um processo de secagem por atomização, quando se obtém um pó fino, altamente higroscópico, que mantém as características orgânicas. Pode também ser concentrada de 30 a 60% em sólidos totais, sendo incinerada para geração de vapor e obtenção de cinzas potássicas (IPT, 1990).

Outras utilizações vêm sendo experimentadas com algum sucesso, tais como o solo-vinhaça e a impermeabilização de canais de irrigação para o transporte de vinhaça na fertirrigação (SILVA, 1992).

O processo de evaporação apresenta vários problemas:

- as incrustações formadas nos tubos dos trocadores de calor, causam prejuízos nas trocas de calor além do tempo gasto nas paradas para limpeza; e custos adicionais em soluções de limpeza, que representam mais um efluente a ser tratado pela usina.
- o forte poder corrosivo da vinhaça resultante de seu baixo pH e alta temperatura, obriga à utilização de equipamentos em aço inox ou à neutralização para possibilitar a utilização de aço carbono.

⁶ Tanto a osmose reversa como a ultrafiltração são processos físico-químicos, pelos quais se consegue a separação de uma solução em duas frações: uma delas é o permeado que atravessa a membrana e é constituído pelo solvente com pequenas quantidades de solutos originalmente em solução; a outra, o concentrado que é retido e onde se acumulam os solutos originais. Esta separação é conseguida pela aplicação de energia com o bombeamento de uma corrente de fluido a ser fracionado, forçando sua

- o aumento da viscosidade da vinhaça causa dificuldades na operação de concentração principalmente nos últimos efeitos do evaporador, impedindo o escoamento e bombeamento.
- a água condensada da evaporação tem baixo pH e considerável DBO, devendo ser convenientemente tratada antes de ser descartada.

4.3.3.3.2.1 Usos da Vinhaça Concentrada

A vinhaça concentrada pode ser utilizada para várias finalidades, explicadas a seguir.

A vinhaça concentrada a 60% é adequada como fertilizante já que mantém as características organominerais da vinhaça "in natura" e apresenta maior estabilidade. Além disso representa um volume menor a ser transportado para a lavoura. Mas causa problemas de bombeamento, de controle da taxa de aplicação e de incorporação ao solo devido à sua maior viscosidade. Verifica-se também redução no efeito de irrigação, já que a quantidade de água é menor.

Testes realizados em condições de laboratório com solos areno-argilosos e argilo-siltosos resultaram em melhorias na sua composição química, aumentando os valores do pH, os teores de matéria orgânica, potássio, cálcio e magnésio e soma de bases, e por outro lado resultaram em redução nos teores de fósforo, hidrogênio e alumínio, como informa AGUIAR (1992).

A vinhaça concentrada, usada como ração substituí, como agente ligante e nutritivo, o melaço, o qual é destinado a produção de etanol. Mas confere uma umidade excessiva, por vezes superior à permitida no produto. Por isso, dá-se preferência a vinhaça em pó, obtida por secagem após concentração, que alia a vantagem de facilidade no transporte, manuseio e incorporação, apesar do custo do processo torná-la bem mais cara.

A secagem da vinhaça pode ser realizada por atomização, ou em secador com injeção de vapor em cilindros rotativos, após sua concentração por

centrifugação. Para evitar os problemas de manuseio e estocagem, devido às características higroscópicas do pó, mistura-se a este, sais de fósforo.

A incineração da vinhaça concentrada é realizada em combustores, utilizando-se vinhaça com concentração entre 50 e 60%.

No processo de incineração são obtidas cinzas potássicas de uso fertilizante, fornecendo energia na forma de vapor para processo ou para geração de eletricidade. Além de recuperar-se calor, a DBO do efluente é praticamente removida.

Se efetuada em leito fluidizado, a concentração preferível é cerca de 30%, sendo o leito formado pelos próprios sais inorgânicos da vinhaça.

A temperatura de combustão menor do leito fluidizado, deve ser rigorosamente mantida, já que um sobreaquecimento provoca a fusão das cinzas, dando origem a um material vítreo insolúvel, sem valor fertilizante.

De acordo com elementos colhidos em dissertações de mestrado apresentadas na Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP, o objetivo de obtenção de material utilizável em construções agrícolas mostra-se viável apenas para o solo areno-argiloso com adição de 16,5% de vinhaça concentrada a 30% em sólidos totais, adquirindo esse solo maior valor de resistência à compressão simples AGUIAR (1992).

Com relação à impermeabilização de canais de irrigação pela adição ao solo, de vinhaça concentrada, mostrou-se solução de pior qualidade que o solo-cimento tradicionalmente empregado, SILVA (1992).

A vinhaça concentrada comparada ao solo-cimento, apresentou péssimo padrão de comportamento, não resistindo à erosão nos ensaios de resistência à compressão simples; e apresentou alto grau de infiltração no solo.

4.3.3.3 Digestão Anaeróbia da Vinhaça

Entre os diversos processos de aproveitamento da vinhaça, a digestão anaeróbia ou biodigestão é das mais interessantes, pois combina o tratamento desse efluente e a geração de insumo energético renovável.

A digestão anaeróbia é uma fermentação conduzida por inúmeras espécies de bactérias na ausência de oxigênio livre, onde a matéria orgânica é convertida a uma mistura de gases, composta basicamente por metano e dióxido de carbono, IPT (1990).

A complexidade do processo, decorrente do elevado número de espécies microbianas envolvidas e das diversas rotas bioquímicas através das quais a matéria orgânica se transforma nos produtos finais, pode ser melhor compreendida a partir da Fig. 4.5 que apesar de retratar melhor o processo, representa ainda uma simplificação do sistema real. Observa-se, que o metano é produzido por duas rotas principais. A primeira envolve a utilização do acetato, e é a mais importante, pois cerca de 70% do metano produzido é derivado do grupo metil do acetato. Na segunda, ocorre a formação de metano a partir da redução do dióxido de carbono pelo hidrogênio produzido na desidrogenação acetogênica.

Segundo Mc INERNEY et alii (1980) apud IPT (1990), o processo de digestão anaeróbia envolve a participação de quatro grandes grupos de bactérias com características fisiológicas distintas, cada um atuando em etapas específicas da degradação de substâncias orgânicas complexas. A etapa final é realizada pelas bactérias metanogênicas, que são as mais sensíveis e de crescimento mais lento.

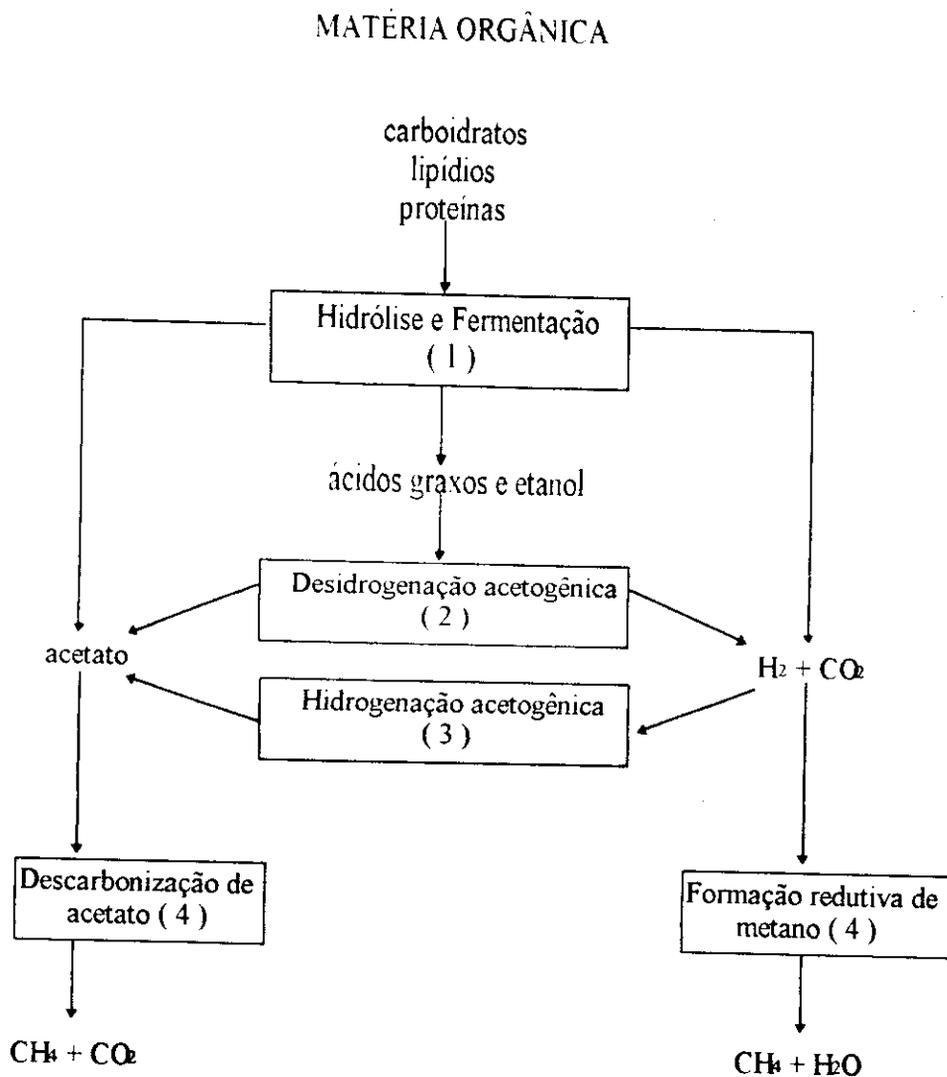
Os quatro grupos de bactérias referidos são:

- bactérias fermentativas - responsáveis pela hidrólise e acetogênese; os compostos orgânicos insolúveis são hidrolizados por enzimas excretadas de bactérias ácidas que atuam melhor sob um pH de 4,8 a 5,8.

- bactérias acetogênicas produtoras de H_2 e CO_2 - atuam sob um pH de 4,8 a 5,6, como catalizadoras de propionato e outros ácidos orgânicos e álcoois, em acetato, CO_2 e H_2 .

- bactérias homoacetogênicas consumidoras de H_2 - atuam como produtoras de acetato, o mais importante precursor de metano, a partir de H_2 e CO_2 ; necessitam de pH na faixa de 4,8 a 5,8 para melhor desempenho.

- bactérias metanogênicas - compõem-se de várias espécies com diferentes formas celulares; utilizam substratos orgânicos como acetato, propionato e formiato, além de H_2 e CO_2 para a produção de metano; para melhor desempenho o pH deve estar entre 7,2 a 7,4, e temperaturas na faixa de $36^\circ C$ a $40^\circ C$.



Fonte: Mc INERNEY et alii In: STAFFORD (1980) apud IPT (1990).

Figura 4.5 - Esquema de 4 estágios para a degradação anaeróbica completa pelos 4 grupos principais de microrganismos da digestão anaeróbia:

- 1) bactérias fermentativas;
- 2) bactérias acetogênicas produtoras de hidrogênio;
- 3) bactérias homoacetogênicas;
- 4) bactérias metanogênicas.

4.3.3.3.1. Biodigestão da Vinhaça

A aplicação do processo de biodigestão de vinhaça, até recentemente, não se mostrava conveniente face ao elevado tempo de retenção hidráulica em torno

vezes a produção de etanol, os biodigestores precisariam comportar um volume total de aproximadamente 30 mil m³ para uma destilaria de 120 mil l_{etanol}/dia de produção.

A redução do Tempo de Retenção Hidráulica - TRH para um processo fermentativo contínuo foi obtida mantendo-se uma elevada concentração de microorganismos no interior do reator, através de recirculação externa ou retenção interna dos microorganismos. Os novos tipos de biodigestores, já alcançam esse objetivo, e a literatura registra casos de biodigestores UASB capazes de processar a matéria orgânica em horas. Para empreendimentos industriais de porte considera mais apropriado admitir-se um TRH de 1 a 3 dias. Os substratos mais comumente tratados são o lodo de esgoto, resíduos de matadouros, de laticínios, de indústrias têxteis, de cervejaria e fábricas de refrigerantes, e a vinhaça de cana de açúcar.

Condições propícias à atividade vital dos microorganismos são fundamentais para que o processo possa apresentar um bom desempenho:

- inóculos: sendo um processo microbiológico, uma das condições mais importantes para o sucesso do processo é a obtenção de quantidades suficientes de inóculos apropriados; o Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo - IPT, realizou ensaios com várias fontes de inóculos como esterco bovino digerido, material de fossas sépticas, lodo de esgoto doméstico e material biológico retirado de digestor tipo UASB - Up Flow Anaerobic Sludge Blanket e verificou não ocorrer vantagem no uso de uma fonte única, mas sim na mistura entre elas, como solução prática. Isso porque embora o lodo granuloso, oriundo de digestor tipo UASB tenha se mostrado como o melhor inóculo, não se encontra disponível em quantidade suficiente no país. Apenas na medida em que maior número de biodigestores estejam operando, esse problema será resolvido CRAVEIRO et alii (1984) apud ALMANÇA (1992).
- pH: deve ser mantido idealmente na faixa de 6,8 - 7,2; para mantê-lo nessa faixa, se necessário é recomendada a adição de cal, soda ou bicarbonato de sódio.
- temperatura: existem basicamente três faixas de temperatura onde as bactérias metanogênicas podem processar a matéria orgânica: temperaturas psicrófilas (menores que 20°C), temperaturas

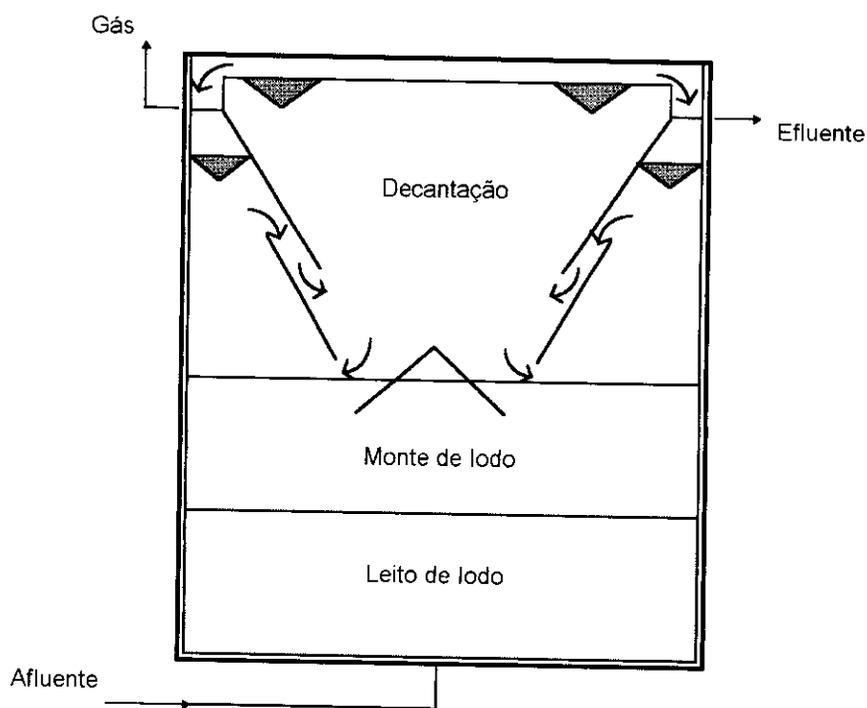
Embora a produção de gás possa ser maior se um digestor for operado na faixa termofílica, tal opção não é viável econômica e energeticamente pois a energia necessária para manter a temperatura nessa faixa, é praticamente igual à energia produzida. Por isso a grande maioria dos biodigestores é operada na faixa mesofílica, mormente em países de clima tropical (30 a 36° C), onde não há necessidade de utilizar-se de sistema auxiliar de aquecimento NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES (1977) apud ALMANÇA (1992).

- concentração de sólidos: o processo pode ser adaptado a diversas concentrações de sólidos na alimentação do biodigestor, variando de 0,05 % a 20%;
- tamanho de partículas: a ação dos microorganismos sobre o substrato pode ser dificultada se o resíduo for composto de partículas de grandes dimensões;
- nutrientes: para que o carbono presente na matéria orgânica possa ser transformado em biogás, é necessário que haja nutrientes, especialmente nitrogênio e fósforo, em quantidades apropriadas para garantir o bom andamento do processo. Recomenda-se uma relação, em massa, de aproximadamente C/N=30, C/P=150 e N/P=5; se a relação C/N é muito alta, o processo é limitado pela falta de nitrogênio, e se é muito baixa, propicia a formação de amônia, substância inibidora da população microbiana;
- inibidores: dependendo da concentração do substrato, uma mesma substância pode inibir ou estimular determinada atividade biológica; algumas publicações consideram a amônia, os sulfatos e sulfetos, os metais pesados, o potássio, os fenóis e o oxigênio, como potencialmente tóxicas ao processo IPT (1990);
- carga orgânica: a carga orgânica ou taxa de aplicação volumétrica é um parâmetro que expressa bem a eficiência de um biodigestor; representa a quantidade de matéria orgânica que o digestor é capaz de receber por unidade de volume e de tempo, e pode ser expressa de vários modos, sendo a mais usual em KgDQO/m³.dia (quilogramas de demanda química de oxigênio alimentada a cada m³ de biodigestor, por dia); biodigestores convencionais operam com cargas orgânicas da ordem de 1 a 2Kg DQO/m³.dia, enquanto digestores tipo UASB - biodigestor de fluxo

ascendente com leito de lodo (Up Flow Aerobic Sludge Blanket), podem atingir 15 a 20 kgDQO/ m³.dia, ou mais.

O desenvolvimento desses tipos de reatores de elevada eficiência como o UASB, tornou mais atraentes os processos anaeróbios que apresentam custos de investimento e de operação inferiores aos processos aeróbios.

O biodigestor de fluxo ascendente com leito de lodo tipo UASB representado com alguns detalhes na figura 4.6, é o mais estudado e aplicado industrialmente em todo o mundo. Esse tipo de biodigestor foi desenvolvido por Lettingh e colaboradores na Holanda, por volta de 1980 LETTINGH et alii (1980) apud IPT (1990). Consiste de tanque cuja alimentação é feita pelo fundo do reator, e que possui na parte superior um sistema de separação de gases e sólidos, os defletores e os decantadores. Esse sistema permite que uma película de lodo microbiano, que tem movimento ascendente, devido a bolhas de gás, seja capaz de liberá-lo ao incidir nos defletores, e voltar à parte inferior do reator, aumentando sua capacidade de operar com elevadas cargas orgânicas e baixos tempos de retenção hidráulica.



Fonte: IPT, 1990

Figura 4.6 - Representação Esquemática do Biodigestor

Seu funcionamento eficiente tem como condição principal a granulação do lodo anaeróbico, o que ocorre ao longo do tempo, após a inoculação do mesmo com o lodo digerido comum (disperso, não granulado). O lodo separado no decantador retorna à zona ativa do biodigestor, aumentando, gradativamente, a capacidade do reator em operar com elevadas cargas orgânicas e baixos tempos de retenção hidráulica.

A quase totalidade da vinhaça gerada no Brasil provém da fermentação alcoólica de mostos de caldo de cana-de-açúcar, de melaço ou de misturas de caldo e melaço. Suas características dependem do mosto utilizado, da concentração inicial de ART - Açúcares Redutores Totais, do sistema de destilação, das condições operacionais, etc. (ver tabela 4.1).

Como pode ser verificado, há grandes diferenças em termos de concentração de matéria orgânica (DBO, DQO, etc.), o que se refletirá no tempo de retenção hidráulica do biodigestor. Assim, para uma determinada carga orgânica máxima, os biodigestores de vinhaça de caldo podem funcionar com tempos de retenção inferiores aos que tratam vinhaças mistas ou de melaço. Convém também observar os elevados teores de sulfato das vinhaças de melaço, que devem ser considerados de modo a evitar possíveis inibições pelos sulfetos solúveis produzidos a partir do sulfato.

O IPT em 1981 realizou pesquisas pioneiras em nível de laboratório e piloto na Destilaria Penedo Agroindustrial S.A.- PAISA, em Alagoas utilizando um biodigestor de fluxo ascendente (tabela 4.5).

Composição média da vinhaça		Características médias do efluente	
pH	3,73	pH	7,3
Sólidos totais (g/L)	25,2	Sólidos totais (g/L)	10,9
Sólidos voláteis (g/L)	19,3	Sólidos voláteis (g/L)	5,2
DQO (mg/L)	31350	DQO (mg/L)	6144
DBO (mg/L)	17070	DBO (mg/L)	918
Nitrogênio (mg/L)	412	Nitrogênio (mg/L)	343
Fósforo (mg/L)	109	Fósforo (mg/L)	108
Potássio (mg/L)	1473	Potássio (mg/L)	1221
Sulfato (mg/L)	897		
Redução de DQO		Redução de DBO	
Total	80,5%	Total	94,6%
Sobrenadante	91,5%	Sobrenadante	95,1%
Tempo de retenção hidráulica mínimo: 1,5 dia			
Carga orgânica máxima: 18,7 Kg _{DQO} /m ³ . dia			
Produção média de gás: 13,1 L/L _{vinhaça}			
Conversão: 0,6L gás/g _{DQO} adicionado			
Teor de metano: 60 a 65%			

(a) Fonte: Craveiro, 1982 apud IPT, 1990.

Tabela 4.5 - Resultados Obtidos em 1982 no Biodigestor de Fluxo Ascendente para Vinhaça, instalado na PAISA (janeiro/maio)^a

Esses trabalhos utilizando biodigestores piloto de 11 m³ e 24 m³, mostraram que essa alternativa de tratamento da vinhaça e de produção de energia, na forma de biogás, é, sem dúvida, uma das mais interessantes, como pode ser observado a partir de alguns dados contidos na tabela 4.5 pelos quais se constata que o processo assegura a remoção de 95% da DBO, eliminando praticamente todo o seu potencial poluidor. Obtém-se uma produção significativa de biogás, com uma porcentagem de metano da ordem de 60% a 65%. O caráter corrosivo da vinhaça é muito reduzido, com o pH elevando-se

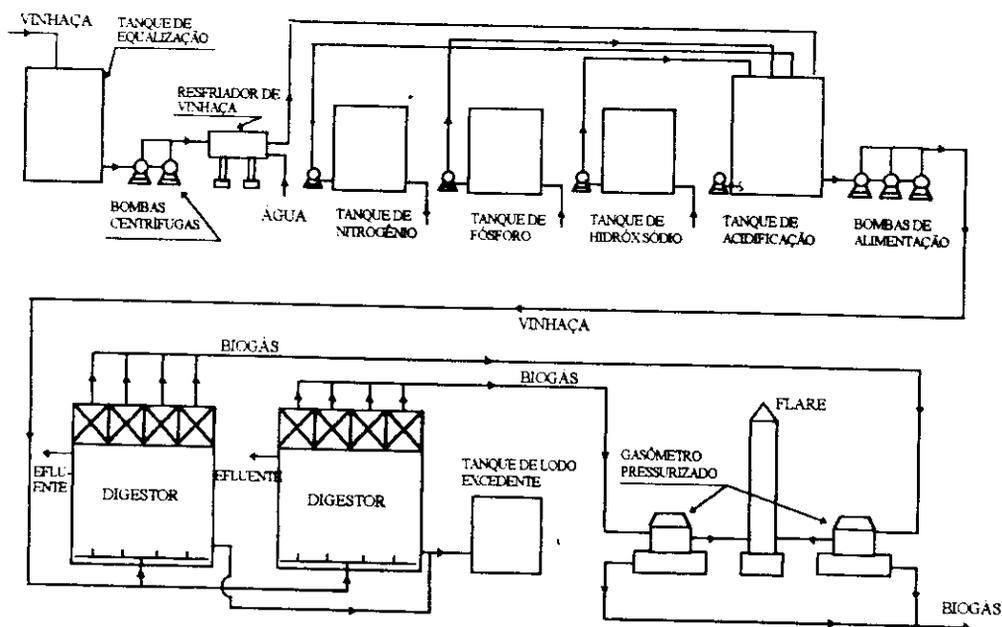
da faixa de 4,0 para cerca de 7,0. O processo funciona de maneira estável em baixos tempos de retenção e elevadas cargas orgânicas.

Essas pesquisas, aliadas às efetuadas por diversas outras instituições, deixaram caracterizada a viabilidade do processo.

4.3.3.3.2. Utilizações de biogás e do efluente do biodigestor

O biogás gerado pode ter diversas aplicações, sendo as duas principais o seu emprego como combustível substitutivo do diesel em caminhões transportadores de cana, tratores e automóveis, ou sua utilização como substituto de parte do bagaço usado para geração de vapor para a destilaria.

O gás gerado tem uma composição média de 60% de metano, 40% de gás carbônico, podendo apresentar frações de gás sulfídrico, hidrogênio e nitrogênio. O processo de produção é apresentado esquematicamente na fig. 4.7.



ALMANÇA, R.A. - Avaliação do Uso da Vinhaça da Cana-de-Açúcar na Geração de Energia Elétrica - Tese
Mestrado - USP/IEE - 1994.

Figura 4.7 - Esquema Básico de Processo

O fator de conversão da matéria orgânica em gás, de acordo com ensaios realizados pelo IPT, (1990), é da ordem de 0,4 a 0,5 m³ de gás/kgDQO. Esses valores coincidem com os obtidos em escala industrial pela Destilaria São João, em São João da Boa Vista, SP, pertencente ao grupo Dedini, operando com vinhaça de caldo em digestor tipo UASB CODISTIL (1989) apud ALMANÇA (1992).

Tabela 4.6 - Equivalência de 1 m³ de Biogás (5000 kcal/ m³)

Combustível	P.C.S. (kcal/kg)	Quantidade equivalente
gasolina comum	11.100	0.62 litros
querosene	10.900	0.58 litros
diesel	10.900	0.56 litros
GLP	11.900	0.42 quilos
óleo combustível	10.400	0.48 quilos
lenha (10% umid.)	3.250	1.54 quilos
carvão vegetal	6.790	0.74 quilos
etanol	7.100	0.70 quilos
metanol	5.400	0.93 quilos
xisto	1.458	3.43 quilos

Fonte: Revista Energia (1981)apud Almança(1994),p.52 .

Na tabela 4.6 temos a equivalência do biogás com outros combustíveis.

No caso do uso em veículos o biogás deve ser purificado, de forma a eliminar o H₂S presente, a umidade e a maior parte de CO₂, de modo a concentrá-lo até 96% de metano. É utilizado sob pressão de 180 atm nos veículos. A tecnologia de purificação, compressão e modificação dos veículos já se encontra completamente desenvolvida no Brasil.

Tabela 4.7 - Quadro Comparativo das Características do Biogás

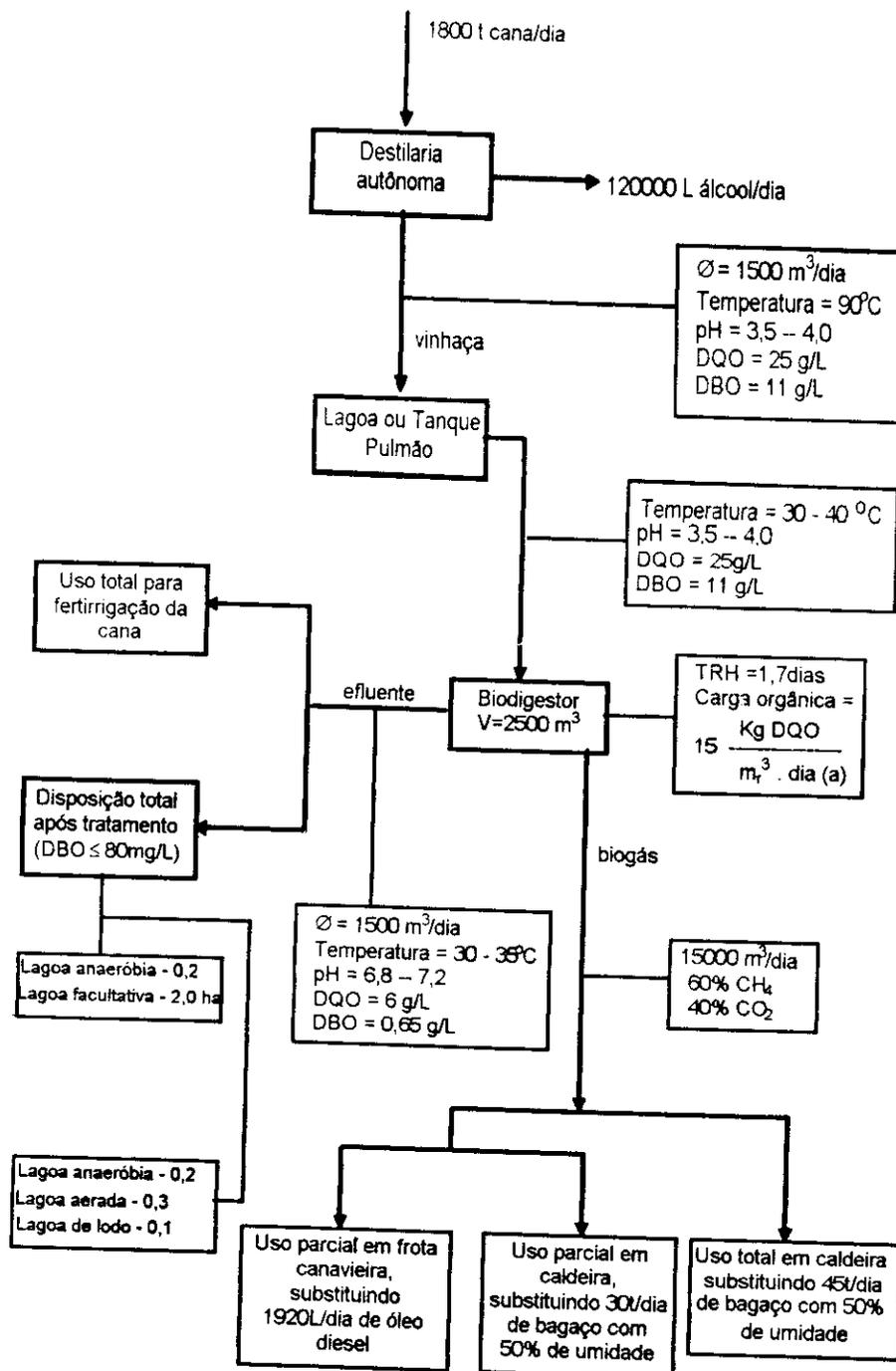
Elemento	Biogás s/ tratamento	Biogás c/ tratamento
CH ₄	60%	90%
CO ₂	32%	8 a 9%
H ₂ S	1%	0,1%
Outros	1%	1%
H ₂ O	6% (saturado)	0,5%
pressão	1,15 bar	12 bar

Fonte: ENIPLAN apud ALMANÇA, R.(1994)

Quando se assume este uso para o biogás gerado, ainda sobra uma parcela significativa que pode, sem necessidade de purificação, ser utilizada em substituição ao bagaço na destilaria. É possível optar-se pelo uso total do biogás gerado para substituir bagaço, na geração do vapor, permitindo sua utilização mais nobre.

Quanto ao efluente do biodigestor, dependendo do caso, pode ser utilizado para a fertirrigação da cana-de-açúcar, com a vantagem de se transportar um material muito menos corrosivo (pH neutro), praticamente não poluente e que mantém os teores de N, P e K da vinhaça "in natura", uma vez que esses elementos não são removidos durante a biodigestão. A outra opção, menos desejável por não aproveitar o potencial fertilizante, consiste no lançamento do efluente em rios. Neste último caso, apesar da elevada redução de DBO que a biodigestão alcança, ainda é necessário um tratamento final do efluente do biodigestor. Experimentos conduzidos pela CETESB na PAISA, mostraram que o tratamento final do efluente do biodigestor em lagoas diminui a DBO final para valores inferiores a 80mg/L, permitindo o lançamento do mesmo em cursos d'água conforme refere o IPT (1990).

Apresenta-se na Figura 4.8 um exemplo de uma instalação típica de biodigestão de vinhaça de porte industrial.



(a) m_r³ . m³ de reator

Fonte: IPT (1990)

Figura 4.8 - Exemplo de Instalação Industrial de Biodigestão de Vinhaça

As principais vantagens da biodigestão da vinhaça são as seguintes:

- efetivo controle da poluição dos corpos receptores (rios, lagos, etc.) e manutenção da qualidade do lençol freático;
- eliminação do mau-cheiro e da proliferação de moscas e outros insetos nocivos ao homem;
- geração de quantidades significativas de energia renovável na forma de metano, podendo substituir o óleo Diesel nos veículos da frota, ou ser utilizado nas caldeiras com economia de bagaço;
- elevação do pH da vinhaça, eliminando praticamente os custos da reposição dos equipamentos utilizados na sua distribuição na lavoura;
- manutenção dos teores de N, P e K, originalmente presentes na vinhaça "in natura".

As principais desvantagens da biodigestão da vinhaça, comumente apontadas, são as seguintes:

- alto nível de investimentos;
- falta de tradição do uso dessa tecnologia pelas destilarias;
- tempo de partida do processo relativamente elevado: quando se inicia a operação com lodos digeridos, não-granulados, a partida deve durar aproximadamente uma safra. À medida que se dispuser de alguns biodigestores industriais funcionando, a partida será abreviada, pois poder-se-á utilizar lodo granulado desses biodigestores para a partida de outros;
- necessidade de um controle analítico e operacional adequado, não sendo, todavia sofisticado.

A análise das vantagens mencionadas incentivaram a adoção do processo de biodigestão da vinhaça, que foi implantado a nível de indústria, em São Paulo, Pernambuco e Alagoas. A viabilidade econômica de sua adoção depende do

do bagaço, enquanto insumo energético ou matéria-prima. Mas os maiores impedimentos no momento são o baixo preço do diesel e o elevado nível de investimento para sua instalação.

4.3.3.3.4 Fermentação Aeróbia da Vinhaça

A utilização da vinhaça como substrato para crescimento microbiano visando a produção de proteína unicelular (puc) como complemento de rações animais tem-se tornado importante nos últimos anos.

Proteína unicelular (puc) é o termo empregado para designar a biomassa obtida de microorganismos unicelulares (bactérias, leveduras, fungos e algas), cuja característica mais importante é seu elevado teor em proteínas, sob forma mais assimilável pelo organismo animal do que aquela de origem vegetal. Também pode ser utilizada como fertilizante.

A maior vantagem de se produzir proteína por processo fermentativo está na velocidade de desenvolvimento da biomassa, superior às de fontes convencionais de proteína, através dos ciclos agrícolas. Além disso, essa produção independe de condições climatológicas ou sazonalidade.

A vinhaça contém uma fração ponderável de açúcares redutores, ácidos voláteis e álcool (Tab.4.1), que são compostos carbonados com potencial de utilização na produção de puc. Igualmente, estão presentes quantidades apreciáveis de nitrogênio e P_2O_5 que completam as exigências nutricionais para o crescimento da biomassa.

A Tabela 4.8 apresenta alguns dos rendimentos obtidos no crescimento de uma série de microorganismos, utilizando vinhaça gerada na fermentação alcoólica de melaço de cana. Estes rendimentos situam-se na faixa de 3 a 19Kg de proteína bruta por m^3 de vinhaça.

Tabela 4.8 - Fermentação aeróbia da vinhaça "in natura"^a. Rendimento e composição^b

Microrganismo	Rendimento (kg _{puc} seca /m ³ vinhaça)	Protéina Bruta (kg/m ³ vinhaça)
<i>C. brumpti</i>	18,5	4,9
<i>C. zeilanoidea</i>	13,5	5,1
<i>C. robusta</i>	13,6	4,4
<i>C. stellatoidea</i>	24,9	7,7
<i>C. parasipsis</i>	30,3	8,3
<i>C. quilliermondi</i>	12,6	3,0
<i>C. pseudotropicalis</i> IOC	37,7	10,5
<i>C. utilis</i>	18,6	6,0
<i>C. intermedia</i>	45,6	11,6
<i>C. pseudotropicalis</i> ATCC	32,4	8,5
<i>C. solani</i>	10,3	3,5
<i>C. melinii</i>	68,7	10,7
<i>C. membranofaecalis</i>	94,5	18,6
<i>C. cartiovaarai</i>	71,5	14,3
<i>C. krusei</i>	55,2	12,9
<i>T. utilis</i>	28,2	9,2
<i>E. asperula</i>	22,8	3,6
<i>A. oryzae</i>	14,3	5,5

(a) Vinhaça de melaço de cana.

(b) Fonte: Ribeiro, 1979 apud IPT (1990).

(c) Leveduras, à exceção de *A. oryzae*, que é fungo.

O rendimento e a produtividade do processo fermentativo dependem dos seguintes fatores:

- presença de nutrientes, especialmente carbono e oxigênio;

- concentração de microorganismos no tanque para o processo contínuo e o tamanho do inóculo para o processo em batelada.

- condições operacionais empregadas: pH, temperatura e tempo de residência do fermentador.

A redução da DQO varia em uma faixa ampla de 30 a 85%, conforme tabela 4.9.

Tabela 4.9 - Cultura de Proteína Unicelular (puc) em Vinhaça de Melaço de Cana^a

Micro-organismo	Rendimento (kg _{puc} seca/m ³ vinhaça)	Rendimento médio (g _{puc} / ^g DQO consumida)	Redução da DQO (%)	Temperatura (°C)
Tricoderma viride ^b	12 -- 16	0,467	59 -- 79	30 -- 35
Gliocladium deliquescens ^b	11 -- 19	0,462	60 -- 85	30 -- 35
Paecilomyces elegans ^b	11 -- 14	0,435	62 -- 66	30 -- 35
Myrothecium verrucaria ^b	11 -- 12	0,320	79 -- 82	30
Penicillium ^b	12 -- 16	0,463	65	30
Torulopsis utilis 900 ^{c,d}	16 -- 18	NR*	NR*	32 -- 36
Pichia tainania ^b	17	0,726	28	NR*
Aspergillus oryzae	14	0,733	60	NR*

(*) NR = não reportado. (a) Fonte: Ribeiro, 1979 apud IPT, 1990. (b) Cultura de fungos. Nutrientes: 0,23g nitrogênio/100g_{vinhoto}, 0,24g fósforo/100g_{vinhoto}. (c) Operação contínua. Nutrientes: 0,15g nitrogênio/100g_{vinhoto}, 0,10g fósforo/100g_{vinhoto}. (d) Escala-piloto: os outros experimentos em escala de laboratório.

Uma série de substâncias que têm ação deletéria sobre a produção de levedura, podem estar contidas na vinhaça tais como:

- uma concentração de ácido sulfúrico - SO_4 superior a 0,125% (atenção especial deve ser dada quando a vinhaça provém da fermentação de melaço ou caldo misto);
- concentrações maiores que 0,3% de ácidos orgânicos voláteis (principalmente butírico, acético, fórmico e propiônico), para as quais um pré-tratamento especial será requerido;
- presença de colóides: quando o caldo de cana contém colóides deve ser submetido a um pré-tratamento;
- presença de nitratos e nitritos.

A vinhaça que sai da coluna praticamente estéril deve ser mantida nessa condição, quando se pretende utilizá-la para a produção de puc. Vinhaça contaminada com uma concentração microbiana superior a 1×10^6 microorganismos/ml requer um pré-tratamento, para não prejudicar o crescimento das leveduras.

4.3.3.3.4.1 Processo de Produção de Proteína Unicelular (Puc) por Fermentação Aeróbia da Vinhaça: Vantagens e Desvantagens

A produção de puc a partir da vinhaça pode ser efetuada segundo o processo a seguir descrito e esquematizado na Figura 4.9 .

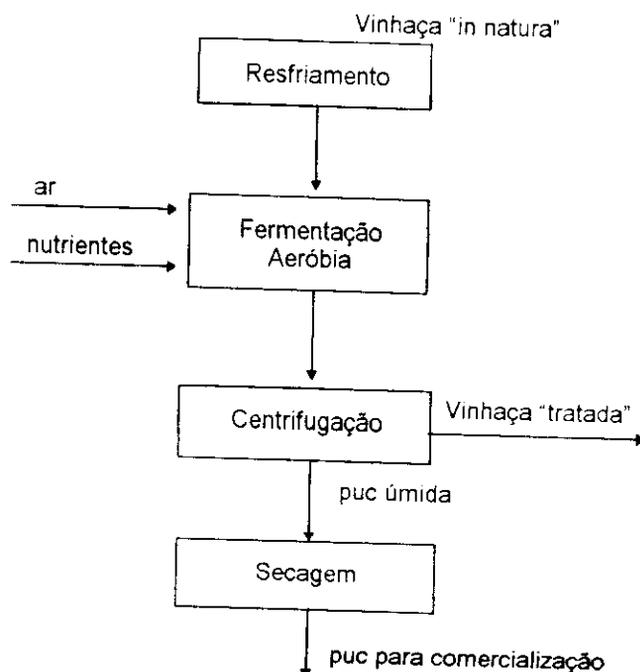


Figura 4.9 - Produção de Proteína Unicelular (puc) por Fermentação Aeróbia da Vinhaça

A vinhaça resfriada até uma temperatura entre 30 e 35°C é continuamente alimentada em um fermentador, juntamente com o ar esterilizado e os nutrientes necessários ao crescimento dos microorganismos empregados. Os fermentadores utilizados são normalmente contínuos, podendo-se instalar, em unidade de menor porte, fermentadores em batelada.

Após permanecer tempo adequado para atingir o rendimento ótimo, a vinhaça fermentada é retirada continuamente do tanque de fermentação; as células microbianas contidas na vinhaça tratada são recuperadas, em geral, por centrifugação.

Dependendo do processo empregado, a vinhaça "tratada" que resta após a centrifugação dos microorganismos, ainda não pode ser despejada em cursos d'água por não atender às exigências da legislação. Nestes casos a vinhaça "tratada" deve ser empregada na fertirrigação da lavoura ou submetida a um novo tratamento, por exemplo, em uma lagoa de estabilização ou de oxidação.

Segundo CAHMI (1979) apud Aguiar (1992), as lagoas de oxidação biológica para tratamento de vinhaça, que podem servir também para a disposição da vinhaça "in natura", envolvem um processo de decomposição da matéria orgânica a partir da atividade biológica combinada de diferentes espécies microbianas funcionando aeróbia e anaeróbiamente. O produto gerado pode ser usado como ração animal, com elevado valor biológico.

A puc com cerca de 90% de umidade é secada com ar quente em contracorrente, até atingir 5% de umidade, garantindo sua estabilidade na estocagem.

A proteína unicelular - puc tem alto valor comercial, pois podem substituir o milho e o farelo de soja, quando estes se tornam escassos por razões climáticas, ou muito caros. Tem a vantagem ainda de reduzir o DBO da vinhaça em até 90%.

A grande desvantagem que apresenta diz respeito aos investimentos e custos operacionais elevados do sistema de controle de processo, e da necessidade manter as condições assépticas.

4.3.3.3.5 Avaliação do Uso da Vinhaça e Atuação do Órgão Fiscalizador

As pesquisas e experimentos desenvolvidos nas universidades e centros agrônômicos, bem como nas propriedades canavieiras em geral, vêm mostrando que a irrigação das plantações de cana-de-açúcar com vinhaça, apresenta vantagens desde que bem conduzida, como visto nas conclusões dos vários trabalhos citados anteriormente.

Como visto antes (fig. 4.8) convem evitar um excedente de nutrientes em relação às necessidades da cultura. Por isso, a CETESB para homologar pedidos de licença para instalação de novas usinas, exige que os projetos admitam taxas de aplicação de vinhaça no solo de até 300 m³/ha. O critério para controle da taxa de aplicação da vinhaça depende principalmente da forma de aplicação. Atualmente grande parte da vinhaça é aplicada por caminhões e a quantidade aplicada depende da velocidade do veículo. Por outro lado, quando a aplicação é feita pelo sistema de irrigação por aspersão, é necessário fazer a coleta na hora, saber a vazão do aspersor e sua área de influência.

Embora seja difícil fazer um controle efetivo para saber se a taxa de aplicação está sendo obedecida, os técnicos afirmam que a taxa média de aplicação da vinhaça de caldo no solo, é da ordem de 150 m³/ha e argumentam que os próprios usineiros não estariam interessados em aplicar taxas mais elevadas, uma vez que correriam risco de perda de fertilidade no curto prazo, e consequente perda de qualidade nos produtos.

Para projetos que apresentam taxas acima de 300 m³/ha, a CETESB faz algumas exigências principalmente com relação à caracterização do solo onde será aplicada a vinhaça. Neste caso, o mais comum é a apresentação de novo projeto dentro do limite permitido. Aliás face à situação de preços do álcool, tem ocorrido a apresentação de pedidos para substituí-lo por aumentos na produção de açúcar, com melhores preços internacionais. Não há registro de pedidos de licenciamento de novas destilarias.

4.3.3.3.6 Situação Atual da Destinação Final da Vinhaça no Estado de São Paulo

Segundo informações contidas nos relatórios da CETESB, e do setor sucroalcooleiro, a vinhaça não é despejada "in natura" em águas correntes no Estado de São Paulo, desde 78, quando foi editada a Port. Min. 323, proibindo o seu lançamento direto ou indireto em cursos d'água. Têm sido cada vez mais raros os casos de desobediência a tal legislação, havendo pesadas multas e intensa fiscalização não só do órgão ambiental, mas também da sociedade, através de reclamações e denúncias às promotorias de meio ambiente.

Ainda existem algumas usinas, aproximadamente 5% do total no Estado de São Paulo, que dispõem a vinhaça nas chamadas áreas de sacrifício, lagoas que estão constantemente cheias de resíduos, que vão se infiltrando no solo contaminando a água subterrânea. A CETESB tem atuado efetivamente no sentido de proibir a formação de novas áreas de sacrifício e de combater as existentes.

A forma de destinação final mais empregada para a vinhaça atualmente, é a fertirrigação, a exemplo do que já ocorria em meados da década de 80, como mostra a pesquisa então levada a efeito pelo IPT (ver fig.4.4).

Além disso, tendo em vista as restrições à captação e descarte indiscriminado de água para o processo produtivo, e face às vantagens da irrigação, as águas

residuárias são recirculadas e as purgas eventuais são misturadas com a vinhaça e aplicadas no solo na fertirrigação. No caso das usinas que usam circuito aberto de águas, pode-se indicar como uma externalidade, o grande consumo de água para o processo, concorrendo com outros usos mais nobres como o abastecimento público.

No Relatório da Poluição Ambiental no Interior do Estado de São Paulo, jan/94, verifica-se que em todas as Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos - UGRHI, com abrangência em todas as bacias fluviais do Estado de São Paulo, as indústrias sucroalcooleiras utilizam a fertirrigação como destino final de praticamente toda a carga de vinhaça.

Os usos alternativos da vinhaça são pouco empregados por razões econômicas, que podem ser expressas de duas maneiras:

- impossibilidade ou desinteresse dos empresários em realizar os investimentos necessários, face às baixas tarifas fixadas pelo Poder Público para o álcool, e a conseqüente queda na remuneração do investimento.
- diminuição dos subsídios por parte do Estado, face à situação financeira e a outras prioridades.

A outra razão é que não existe sobra, visto que sua utilização em substituição à adubação mineral convencional, consome atualmente todo o volume produzido.

Utilizando os dados de 93, do Est. de São Paulo:

área plantada com cana de corte -	980.740 ha ⁷
álcool total produzido, calculado na forma de anidro-92/93	7.662.000 m ³
vinhaça total estimada - (12 m ³ por m ³ de álcool)	1 944 000 m ³
taxa de aplicação	46,41 m ³ /ha

E para 94/95:

área plantada com cana de corte	2 258 900 ha ⁸
álcool total produzido, calculado na forma de anidro-94/95	8 439 000 m ³
vinhaça total estimada - (12 m ³ por m ³ de álcool)	101 268 000 m ³
taxa de aplicação	44,83 m ³ /ha

Considerando a taxa de aplicação recomendada para vinhaças de mosto misto, que é de 80 a 120 m³/ha segundo o IPT, poder-se-ia desde já concluir que toda a vinhaça pode ser aplicada sem ultrapassar os níveis recomendados. Sabe-se que as usinas e destilarias aplicam a vinhaça apenas em suas propriedades, que representam aproximadamente 2/3 da área total de cana, e a taxa de aplicação estimada para essa área estaria em torno de 69,93 m³/ha⁹ (67,25 m³/ha para 94/95). Segundo a Copersucar¹⁰ isso dá origem a uma disputa com os fornecedores em torno do preço da cana, porque junto com a cana entregue à usina para processamento vai uma quantidade enorme de nutrientes retirados da terra, e que vão adubar as terras da usina através da vinhaça, enquanto os fornecedores devem gastar altas somas com adubação mineral.

Outra questão a considerar é o custo do transporte de vinhaça para fertirrigação, que economicamente viável a curtas distâncias da unidade de produção, pode levar a aplicações excessivas nessas áreas, ou a descartes prejudiciais ao meio ambiente. A primeira hipótese não é provável face às perdas de qualidade que podem disso advir, e a segunda menos ainda, face ao valor das multas e sanções, e ao próprio valor da vinhaça. Levando em conta ainda que as unidades industriais de processamento são em número de 139 em 93, no estado, e com maior concentração nas regiões de Ribeirão Preto e Piracicaba, é provável que poucas áreas estejam além do perímetro viável para transporte da vinhaça.

O bombeamento e transporte por gravidade através de canais para irrigação da cultura é feito a um custo de US\$ 25/ha até a distância de 10 km da usina (COPERSUCAR, comunicação pessoal).

⁸ Fonte : Instituto de Economia Agrícola e CATI, 1994.

⁹ A situação de concentração de terras nas mãos das unidades industriais, veio se acentuando: há aproximadamente uma década os fornecedores de cana detinham 2/3 da área plantada com cana

¹⁰ Copersucar, comunicação pessoal.

Para o transporte por caminhões não estão disponíveis os custos de transporte e aplicação.

4.3.3.3.7 Comparação entre as Cargas Orgânicas da Vinhaça e dos Esgotos Domésticos

As tabelas a seguir, resultado da compilação das informações contidas no Relatório Diagnóstico da Poluição Ambiental no Interior do Est. S.Paulo, (janeiro/94) são relativas às cargas de **DBO₅** contidas no vinhoto e nos esgotos domésticos, considerados estes últimos, conforme explicitado nas várias considerações e pareceres ali contidos, a mais importante forma de poluição das águas correntes no Estado de São Paulo.

Ao analisá-las, ressalta a enorme diferença, chegando o vinhoto a representar de 10 a 15 vezes a carga de **DBO₅**¹¹ do esgoto. Como então se tornou possível o aproveitamento do vinhoto "in natura"?

A razão, referida em THIAGO, 1980 (apud SILVA, 1992), é que este material, embora com alta carga orgânica, é isento de bactérias patogênicas, vírus, metais pesados e policlorados orgânicos, podendo ser aplicado à terra sem os efeitos nocivos que teria se lançado aos rios, onde consumiria toda a carga de oxigênio dissolvido na água, essencial à vida aquática. No solo seus efeitos, até onde foram analisados, foram favoráveis conforme referido anteriormente.

¹¹ A DBO de uma água é a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica por decomposição microbiana aeróbica para uma forma inorgânica estável. A DBO₅ é normalmente considerada como a quantidade de oxigênio consumido durante um determinado período de tempo, numa temperatura de incubação específica. Um período de tempo de 5 dias numa temperatura de incubação de 20°C é frequentemente usado e referido como DBO₅. (CETESB. Rel. de Qualidade das Águas Interiores do E.S.P., 1994)

TABELA 4.10
CARGAS ORGÂNICAS POTENCIAIS E REMANESCENTES DE ORIGEM NA INDÚSTRIA
SUCROALCOOLEIRA E DOMÉSTICA POR BACIA HIDROGRÁFICA (INTERIOR DE SÃO
PAULO) - 1993

BACIA HIDROGRÁFICA	CARGA ORGÂNICA DO RAMO SUCROALCOOLEIRO (kgDBO/dia) ^a		CARGA ORGÂNICA DE ORIGEM DOMÉSTICA (kgDBO/dia) ^a		CARGA ORGÂNICA TOTAL (kgDBO/dia)	
	POTENCIAL	REMANESCENTE	POTENCIAL	REMANESCENTE	POTENCIAL	REMANESCENTE
AGUAPEÍ	387.578	0	15.582	10.365	403.160	10.365
CAPIVARI	216.507	0	22.098	21.396	238.605	21.396
GRANDE	41.964	0	15.154	12.577	57.118	12.577
JUNDIAÍ	0	0	27.429	27.213	27.429	27.213
MOGI-GUAÇU	2.227.552	0	58.577	46.997	2.286.129	46.997
PARAÍBA DO SUL	nd	nd	85.414	74.329	85.414	74.329
PARANÁ	108.013	0	11.502	7221	119.515	7.221
PARAPANEMA ALTO	224.354	0	27.559	21.539	251.913	21.539
PARAPANEMA BAIXO	165.010	0	16.512	8.819	181.522	8.819
PARDO	649.072	0	54.672	48.503	703.744	48.503
PEIXE	138.449	0	14.942	9.838	153.391	9.838
PIRACICABA	955.494	0	121.611	117.542	1.077.105	117.542
RIBEIRA DE IGUAPE	nd	nd	nd	nd	nd	nd
SANTO ANASTÁCIO	64.812	2.227	10.785	9.736	75.597	11.963
SÃO JOSÉ DOS DOURADOS	110.968	0	5.214	2.673	116.182	2.673
SAPUCAÍ MIRIM	259.537	0	20.364	18.017	279.901	18.017
SOROCABA	80.000	nd	34.942	30.544	114.942	nd30.544
TIETÊ BAIXO	513.369	0	25.243	14.500	538.612	14.500
TIETÊ MÉDIO INFERIOR	1458.000	7000	73.611	69.952	1531.611	76.952
TIETÊ MÉDIO SUPERIOR	47.300	0	22.668	18.742	69.968	18.742
TURVO	901.915	0	33.230	32.010	935.145	32.010
TOTAL	8.549.894	94.227	697.109	602.513	9.247.003	611.740

^a: Fonte dos dados: CETESB, Diagnóstico da Poluição Ambiental no Interior do Est. S. Paulo, jan 94.

Apenas para ilustrar o enorme crescimento da produção de vinhaça no estado, bem maior que o crescimento dos esgotos domésticos seguem abaixo os valores ocorridos no ano de 81.

BACIA HIDROGRÁFICA	CARGA ORGÂNICA DO RAMO SUCROALCOOLEIRO (KgDBO/dia) ^a		CARGA ORGÂNICA DE ORIGEM DOMÉSTICA (KgDBO/dia) ^a		CARGA ORGÂNICA TOTAL (KgDBO/dia)	
	POTENCIAL	REMANESCENTE	POTENCIAL	REMANESCENTE	POTENCIAL	REMANESCENTE
VINHOTO	2.143.940	241 600	310 105	280 112	2 454 045	521 712

Fonte: CETESB. 1981 apud DEDINI, 1987)

4.3.3.3.8 Contaminação de Aquíferos Subterrâneos

Essa questão vem sendo monitorada pela CETESB, conforme consta do mesmo relatório acima citado sobre poluição ambiental no interior de S.Paulo, mas não traz resultados estatísticos ou factuais sobre a ocorrência de impactos causados em águas subterrâneas, tornando-as inadequadas para o uso humano.

Em artigo publicado na revista STAB de agosto/95, os autores ORLANDO FILHO, BITTENCOURT e ALVES relatam como resultado de "ensaio conduzido em solo arenoso, usando fertilizante Nitrogênio mineral e doses de vinhaça para avaliar lixiviação de Nitrogênio e possível contaminação do lençol freático, a não lixiviação do NO₃, NH₄, ou outros compostos de Nitrogênio determinados pelo Nitrogênio total no perfil do solo".

Os tratamentos realizados durante 13 meses, em solo arenoso, utilizaram uma dose de fertilizante mineral e diversas doses de vinhaça (150 m³/ha, 300 m³/ha , e 600 m³/ha)em cada uma das parcelas respectivamente.

Concluem pela "não ocorrência de poluição devido ao Nitrogênio do fertilizante mineral ou da vinhaça, provavelmente devido à imobilização microbiológica do Nitrogênio no solo.

Entretanto, em levantamento que serviu de base a tese de mestrado de Seiju Hassuda, no Instituto de Geociências da USP¹², foi constatada a alteração da

¹² T. A. M. Hassuda, 1987.

qualidade físico-química das águas subterrâneas, que passaram de bicarbonatadas sódicas para cloretadas magnesianas, e posteriormente para cloretadas cálcicas. Além disso, e motivo para maior preocupação, alteraram-se as concentrações de parâmetros que indicam a perda de potabilidade da água para consumo humano, tais como o nitrogênio amoniacal, o magnésio, o alumínio, o ferro, o manganês e o cloreto.

Os trabalhos de prospecção e monitorização foram desenvolvidos de julho de 85 a setembro de 87, no município de Novo Horizonte, em área de propriedade de usina, onde se localizavam tanques escavados nos locais de cotas mais elevadas para distribuição de vinhaça, por gravidade, tanques esses, utilizados de 1976 a 1985 para disposição da vinhaça num volume de aproximadamente 348 000 m³/ ano de vinhaça.

Levando em conta o dano comprovado o autor propõe restrições legais à livre destinação do efluente, principalmente em áreas de recarga de aquíferos, como é o caso estudado.

Corroborando esses resultados, e distinguindo formas de destinação da vinhaça, existe relatório da CETESB de maio de 94, " Poluição do solo e aquífero subterrâneo pela vinhaça infiltrada sob tanque de armazenamento", referindo os mesmos efeitos em sondagens realizadas em áreas das usinas Santa Elisa e Lagoa Dourada, e fazendo as seguintes observações:

"Estudos efetuados sobre a infiltração de vinhaça no solo concluem pela minimização de seu potencial poluidor, quando utilizada na fertirrigação , em doses adequadas, pela apropriação da planta, dos elementos nutritivos que ela contém, antes que atinja o lençol freático; e pela maximização, quando infiltrada nas chamadas áreas de sacrifício, ou sob os tanques de armazenamento de vinhaça. Ainda conforme estudos realizados por Cunha et alii (1987), apresentados in ' Effects of irrigation with vinasse and the dynamics of its constituents in the soil ', há aproveitamento quase integral da vinhaça pela cana, desde que a fertirrigação se faça em dosagens adequadas, existindo nessas condições, pequeno risco de poluição das águas subterrâneas por potássio e nitratos, pois a cana-de-açúcar é capaz de retirar 191,60 kg/ha de nitrogênio (62% do N contido na vinhaça) e, 792,54 kg de potássio (98% do potássio). A conclusão portanto, é que a maneira mais correta e racional de uso da vinhaça, evitando seu efeito poluidor, é sua aplicação na lavoura como fertilizante. Quando infiltrada nas áreas de sacrifício, canais de adução e tanques de armazenamento, exhibe de forma

marcante a poluição do aquífero através dos resultados das análises da água obtida nas sondagens, reforçados pelos métodos geofísicos que permitiram avaliar que a camada poluída se estende desde a base do tanque até o substrato rochoso” (CETESB, 1994).

O estudo conclui pela necessidade de impermeabilização dos tanques de depósito de vinhaça para evitar sua perda por infiltração, mas principalmente a poluição do aquífero.

4.3.3.3.9 Conclusões quanto ao uso da vinhaça

A partir da experiência acumulada na indústria sucroalcooleira, e no meio acadêmico com relação ao manejo da vinhaça, face à proibição governamental do descarte em rios ou mesmo lagoas de sacrifício, resultou um importante aproveitamento desse resíduo, e tecnologias de aplicação, de forma a aproveitar suas vantagens e minimizar suas desvantagens.

Embora algumas formas de utilização acarretem custos elevados, têm a vantagem de tornar possível uma destinação total do resíduo, que respeita as restrições de ordem ambiental, com recuperação e reposição na natureza, de forma não agressiva dos elementos dela retirados. As técnicas e/ou tecnologias estão dominadas e permitem escolha, dependendo as opções da economicidade, e do nível de investimentos requerido.

4.3.4 Bagaço de Cana

Assim como a vinhaça, o bagaço de cana deixou de ser um simples resíduo da produção de açúcar e álcool, passando à condição de subproduto com possibilidade de uso em várias aplicações como insumo energético ou como matéria prima industrial.

Resulta da moagem da cana, e é produzido em grandes quantidades, numa proporção de 30% em peso.¹³

A principal utilização é nas próprias unidades sucroalcooleiras onde o bagaço é utilizado basicamente para gerar vapor em caldeiras¹⁴, o qual servirá para alimentar todo o processo de fabricação do açúcar e do álcool, além de alimentar os turbogeradores para produção de energia elétrica¹⁵.

Embora essa utilização do bagaço seja feita com baixos rendimentos, ainda resultam grandes sobras, que precisam ser armazenadas dentro de determinadas condições para poderem ser aproveitadas convenientemente.¹⁶

Sendo a produção de bagaço, sazonal, o fornecimento dos excedentes para fins industriais não pode ser realizado de forma direta e contínua, havendo necessidade da formação de estoques para a entressafra.

Para evitar que se deteriore por causa de sua umidade e composição, deve ser submetido a um beneficiamento com o intuito de viabilizar sua estocagem.

4.3.4.1. Secagem e Armazenamento

A redução do teor de umidade pode ser conseguida através da utilização de uma fonte de energia disponível nas destilarias e usinas pelo reaproveitamento de energia residual do processo, ou através enfardamento com secagem.

¹³ Uma ton de cana produz em média 300 kg de bagaço com 50% de umidade e poder calorífico de 2280kcal/kg. A COPERSUCAR estima em 265 kg de bagaço por tonelada de cana processada, devido às paradas e partidas no processo (COPERSUCAR, 1991 apud COELHO, 1992).

¹⁴ No início do Proálcool, era usado óleo combustível e lenha para complementar o bagaço de cana; hoje nas usinas que necessitam complementação é usada a lenha (LEAL, 1992 apud COELHO, 1992).

¹⁵ Em média o rendimento do processo de geração de eletricidade é 3% em São Paulo, mas as sucroalcooleiras são quase auto-suficientes (95%) em eletricidade (COOPERSUCAR, 1991 apud COELHO, 1992).

¹⁶ A maioria das usinas e destilarias não aproveita completamente o bagaço gerado, vendendo-o a terceiros. No início do Proálcool, o bagaço era vendido a preços irrisórios, como um subproduto indesejável, sendo exportado para a fabricação de papel a US\$2,50/t. Atualmente é vendido no mercado nacional, para empresas de suco de laranja a US\$4,50/t (COELHO, 1992).

Fonte de energia

A fonte de mais fácil acesso são os gases quentes provenientes da chaminé das caldeiras, podendo ser utilizados os seguintes sistemas (IPT, 1990):

- secadores que utilizam os gases de exaustão de caldeiras;
- secadores munidos de gerador autônomo de energia (geralmente, queima de resíduos da biomassa);
- sistema misto, utilizando os dois sistemas anteriores nas proporções mais convenientes à conservação de energia.

Os sistemas de secagem que utilizam os gases de exaustão podem ser divididos em dois grupos:

- secagem em ciclo aberto: onde se queima o bagaço com cerca de 50% de umidade e os gases de combustão são utilizados para a secagem do bagaço excedente;
- secagem em ciclo fechado: onde se queima na caldeira o bagaço pré-secado com os gases quentes da combustão, estabelecendo um ciclo fechado para o aproveitamento do calor dos gases.

4.3.4.1.1. Enfardamento

É a prática mais difundida quando se objetiva facilitar o transporte e reduzir as instalações para estocagem do bagaço. Existem dois processos principais: enfardamento normal e enfardamento com secagem.

No processo normal não há necessidade de uma pré-secagem; o bagaço “in natura” é compactado em fardos de dimensões apropriadas (por exemplo 0,7 x 1,0 x 1,0 m) através de prensas hidráulicas, e sua densidade varia de 400 a 600 kg/m³. A forma de empilhamento dos fardos ajuda na redução do teor de umidade através da secagem natural com o ar ambiente.

No segundo processo, o fardo é submetido a um período de secagem, no qual o uso racional e controlado da fermentação natural e aeração permitem reduzir o teor de umidade de 50 para 20% em apenas 20 dias. A densidade do fardo permanece em torno de 375 kg/m³. Os fardos podem ser estocados ao ar livre, sendo simplesmente protegidos por uma lona plástica, mantendo suas especificações e características inalteradas e sem deterioração, por longos períodos de estocagem.

4.3.4.1.2. Peletização e Briquetagem

O processo de peletização consiste em uma mini-extrusão a alta pressão, a partir do bagaço com teor de umidade abaixo de 20%. Os “pellets” são pequenos cilindros de 6 a 10 mm de diâmetro e 40 a 50 mm de comprimento, e sua densidade é de, aproximadamente, 1200 kg/m³. A resistência ao manuseio é de alguns meses, se a operação for conduzida corretamente. Em virtude da maior superfície que apresenta por unidade de peso, o “pellet” é um bom combustível para ser empregado diretamente em caldeiras ou, possivelmente, em gaseificadores (IPT, 1990).

Na briquetagem assim como na peletização, o bagaço tem seu teor de umidade reduzido a 12 a 20% sendo seu resíduo fragmentado. O briquete é produzido pela prensagem deste resíduo a alta temperatura e sem adição de aglomerante. A densidade do material pode chegar a aproximadamente 1000 kg/m³, dependendo da forma e tamanho dos sólidos obtidos. A largura pode variar de 50 a 120 mm e o comprimento de 15 a 400 mm (IPT, 1990).

4.3.4.1.3 Empilhamento

“O princípio em que se baseia esta técnica é o da construção de uma grande pilha de bagaço, onde a deterioração da camada externa protege as camadas internas. As perdas totais estão em torno de 15%” (OLIVEIRA, 1982 apud IPT, 1990). “Neste sistema é possível uma mecanização completa do manuseio do bagaço, tornando o custo operacional bastante baixo” (IPT, 1990).

4.3.4.2. Insumo Energético

A principal forma de aproveitamento do bagaço de cana é como combustível, substituindo os derivados de petróleo (especialmente óleo combustível) e a lenha. Assim utilizado, o bagaço proporciona às empresas sucro-alcooleiras um privilégio inexistente nas demais atividades industriais, que é a auto-suficiência em energia térmica, e a possibilidade de auto-suficiência em energia elétrica, através da cogeração.¹⁷

O potencial de produção de eletricidade a partir do bagaço é considerável. Tomando como exemplo a safra brasileira 91/92 quando foram colhidas 232 milhões de toneladas de cana e produzidas 70 milhões de toneladas de bagaço, a energia elétrica total passível de ser gerada seria de 55 670 Gwh. (COELHO, 1992).¹⁸

Por outro lado, o rendimento atual do processo de cogeração ainda é reduzido (22 kWh/tc, com 0,5 kWh/tc excedente), podendo ser aumentado - com tecnologias disponíveis para 60 kWh/tc (COPERSUCAR, 1991) ou para 100

¹⁷ Entende-se por cogeração a produção simultânea de energia (elétrica e/ou mecânica) e de vapor para o processo. No processo tradicional, o combustível é queimado na caldeira, produzindo vapor d'água superaquecido que é alimentado na turbina a vapor, gerando uma potência mecânica: a turbina pode também ser acoplada a um gerador elétrico, convertendo a energia mecânica em elétrica. O vapor a baixa pressão na saída da turbina é enviado ao processo: neste caso diz-se que a turbina é de contrapressão.

¹⁸ Uma ton de cana produz em média 300kg de bagaço com 50% de umidade e poder calorífico de 2280 kcal/kg. A energia gerada seria de $(70 \cdot 10^6 t) \cdot (2,28 \cdot 10^6 \text{ kcal/t}) \cdot (30\%) / (860 \text{ kcal/kWh})$, admitindo um rendimento teórico de 30%.

kWh/tc (OGDEN et alii, 1990 apud COELHO, 1992) excedentes. Utilizando tecnologias mais avançadas - ainda não comercializadas - estima-se a produção de excedentes em 670 kWh/tc, podendo atingir até 800 kWh/tc excedentes, com tecnologias ainda em fase de desenvolvimento (WILLIAMS e LARSON, 1992 apud Coelho, 1992).

As atuais aplicações do bagaço na geração de energia envolvem, principalmente, a queima direta em caldeiras, e em fase experimental, a gaseificação.

Um maior desenvolvimento do processo de gaseificação pode resultar em grandes vantagens não só para o próprio setor que utilizaria o bagaço de forma mais racional para cogeração de eletricidade, mas também para o país que teria suprida parte de sua demanda de energia elétrica a custos inferiores.¹⁹

4.3.4.2.1 Utilização em caldeiras

A biomassa é um combustível limpo, que não apresenta enxofre em sua composição, além de favorecer o equilíbrio de CO₂ na atmosfera, por absorvê-lo na fotossíntese durante a fase vegetativa. No caso do bagaço de cana alimentando um sistema termoelétrico, existe a vantagem de que o período da safra corresponde ao período seco, complementando o sistema hidroelétrico existente, além de representar uma reserva para anos de baixa pluviosidade (MOREIRA e GOLDENBERG, 1989 apud COELHO, 1992).

O bagaço de cana pelas condições como se apresenta, é entre as biomassas aquela que reúne os melhores atributos econômicos para ser industrializado e competir comercialmente com o óleo combustível, em virtude de diversas vantagens (IPT, 1990):

- ter uma lavoura organizada, cujos custos são debitados do produto nobre: açúcar e/ou álcool;

¹⁹ Em 1978, MOREIRA et alii já haviam analisado a importância da utilização racional do bagaço para cogeração de eletricidade no setor sucroalcooleiro.

- ter todo o sistema de transporte campo-indústria organizado e correndo por conta do mesmo produto nobre;
- ser produzido em grandes quantidades, concentradas em um ponto, que o libera semi-beneficiado, graças ao trabalho de moagem.

Na utilização de um insumo energético, uma das características fundamentais é o poder calorífico; no bagaço de cana o principal fator limitante do poder calorífico é o grau de umidade, visto que o teor de açúcar residual contido no bagaço, que também se apresenta como fator limitante, é normalmente baixo.

A umidade interfere diretamente no rendimento da combustão, o que se constata pela temperatura de ignição do bagaço, que está entre 500 e 600°C com 50% de umidade e cai para 300 a 400°C com 35 a 40% de umidade. Com baixo teor de umidade, a etapa de secagem na fornalha se dá em tempo menor, representando uma maior velocidade de queima. A temperatura da chama também é sensível ao nível de umidade, ficando entre 850 e 920°C com 50% de umidade, mas chegando acima de 1100°C com 35% de umidade, aumentando consideravelmente a transmissão de calor por radiação, condução e convecção nos tubos e recuperadores que compõem uma caldeira (PEREZ, 1982 apud IPT, 1990):

O bagaço possui um alto teor de voláteis, da ordem de 87% base seca, que é responsável pela boa ignição do resíduo, apesar de ter normalmente alto teor de umidade. Os voláteis do bagaço representam 78% do poder calorífico e consomem 74% do ar de combustão (MITRE, 1982 apud IPT, 1990).

Os sistemas de queima de bagaço são agrupados da seguinte maneira:

- sistema de queima em pilha;
- sistema de queima em grelhas inclinadas;
- sistema de queima em suspensão, seguida pela queima em grelha;
- sistema de queima em suspensão em leito fluidizado.

O aproveitamento do bagaço residual como co-produto do álcool traz um sensível aumento do rendimento da cana como fonte de insumo energético, sem nenhum investimento agrícola e, aos empresários, uma renda marginal. Caracteriza-se portanto como uma externalidade , um benefício do ponto de vista econômico.

4.3.4.2.2. Gaseificação

O baixo peso específico e a alta umidade do bagaço foram obstáculos iniciais à sua utilização em gaseificadores. Com o advento da tecnologia de secagem, peletização e briquetagem, que permitem a compactação do resíduo liberando-o com cerca de 15% de umidade, a gaseificação do bagaço voltou a ser estudada por órgãos oficiais como o MIC, a SUDENE, e pesquisadores (IPT, 1990). A implantação do processo de cogeração de eletricidade com sistemas de gaseificador aparece como uma possibilidade viável a médio prazo (COELHO, 1992).

Nos sistemas que utilizam ar como agente de gaseificação, além de CO resultante da oxidação parcial do carbono da carga, ocorre, no gás, concentração apreciável de H₂, resultado da reação de vapor d'água com carbono e pequenos teores de CH₄. Juntamente com esses gases combustíveis, ocorre CO₂ em concentração apreciável, resultado da reação de combustão do carbono e, principalmente, da reação de "shift". No entanto, cerca de 50% (em volume, base seca) do gás produzido é constituído de N₂.

A transformação da matéria vegetal em gás se faz em duas etapas (GOUPILLON, 1984 apud IPT, 1990):

- a) Pirólise: é uma decomposição, sob efeito do calor, que produz coque, com teores de carbono que podem alcançar 90%; água; produtos solúveis, cuja mistura é denominada genericamente, ácido pirolenhoso; produtos insolúveis agrupados sob o termo de "alcatrões"; gases em proporção variável, entre os quais hidrogênio, metano, monóxido de carbono, dióxido de carbono e nitrogênio.
- b) Gaseificação: nessa etapa o carbono é oxidado a monóxido de carbono, enquanto que os pirolenhosos e os alcatrões sofrem, em princípio, um craqueamento térmico.

4.3.4.3. Matéria Prima Industrial

As principais aplicações industriais do bagaço no Brasil têm sido como insumo para a indústria de papel para fabricação de pasta de celulose; e para a produção de furfural. E ainda na agroindústria, como matéria prima para formulação de ração animal para engorda, e como fertilizante. Outras aplicações alternativas que poderão vir a ser desenvolvidas são a fabricação de placas e aglomerados e a produção de etanol a partir da hidrólise do bagaço. Seguem algumas informações da utilização como fertilizante, e como insumo para a produção de furfural.

Furfural

O furfural tem um amplo espectro de usos na indústria química como solvente seletivo para a refinação de óleos lubrificantes de alta qualidade, para resinas de madeira e óleos vegetais. Mas o principal uso potencial do furfural, diz o IPT, é a obtenção de álcool furfurílico usado como agente umectante, matéria prima para polímeros furânicos, anticorrosivos, polímeros de uréia, formaldeídos modificados, fragrâncias e solventes de resinas e corantes.

“O furfural pode ser obtido industrialmente pela digestão das pentoses presentes em vários resíduos agrícolas, tais como o bagaço de cana, sabugo de milho, casca de aveia etc. No caso específico do bagaço, cerca de 90 % das pentoses correspondem à substância xilana, que através de hidrólise ácida fornece xilose, que desidratada dá origem ao furfural” (IPT, 1990).

Fertilizante

O bagaço e a torta de filtro são utilizados em conjunto como fertilizantes, ou imediatamente na forma em que são liberados, ou após decomposição para permitir a aplicação de pequenas quantidades destes produtos para melhorar a condição física no solo e a liberação química dos nutrientes para os sistemas radiculares da cana-de-açúcar.

A torta de filtro, embora não se caracterize como bagaço, apresenta uma quantidade significativa de fibras e bagacilho. Embora sua composição varie muito, a matéria orgânica é o componente predominante (fibras, sacarose e

colóides coagulados), seguida por cálcio, nitrogênio e fósforo na fração mineral. Usada na dosagem de 20t/ha dispensa toda e qualquer complementação mineral segundo COLETI, (1982) apud IPT, (1990). Além do efeito de condicionador de solo, auxilia na retenção da umidade, diminuindo os danos de uma eventual estiagem na germinação. A torta de filtro tradicionalmente usada como fertilizante não é suficiente para a renovação anual dos canaviais, por isso faz-se a compostagem de bagaço residual em mistura com torta de filtro, utilizando-se como inoculante o esterco de curral (método Indore). A compostagem proporciona a formação de um produto semelhante à torta de filtro, após um período de 95 dias de maturação, que pode ser distribuído através de carretas no fundo do sulco por ocasião do plantio.

A implantação de canaviais em solos de cerrado, notadamente pobres em matéria orgânica, vem motivando o uso cada vez mais acentuado de suprimentos orgânicos, particularmente a torta de mamona e mais recentemente os resíduos da fabricação do açúcar e do álcool.

4.3.5 Queimadas

A queimada é uma prática utilizada para facilitar a colheita. A queima da cana "em pé" antes do corte é praticada em quase todos os países que cultivam a cana-de-açúcar, exceto na Austrália onde a colheita é inteiramente mecanizada e em Cuba onde é parcialmente mecanizada.

A queimada é considerada um agente biocida que acarreta mortalidade de importante fração da flora e fauna existente no solo.

As propriedades físico-químicas do solo são também afetadas, ocorrendo:

- aumento do teor de oligossacáridos, hexoses, pentoses aminoácidos e nitrogênio,
- polimerização de substâncias húmicas,
- diminuição da atividade de várias enzimas, como urease e desidrogenase,

- alteração da umidade natural.

Com a expansão da cultura canavieira, principalmente no Estado de São Paulo, registrou-se uma alteração no meio ambiente provocada pela queima de cana de açúcar que produz alguns gases responsáveis pela poluição do ar.

O material particulado de modo geral, é o que tem causado maior incômodo às pessoas que residem próximo às plantações de cana. A força poluidora da queimada de cana, por unidade de área, tornou-se comparável à das queimadas da Região Amazônica. As concentrações observadas de CO e O₃ na área rural do Estado de São Paulo durante o período de queimadas de 1988, foram duas vezes maiores que as registradas em 1985, através de levantamento aéreo nas florestas tropicais.

Os resultados da pesquisa no Estado de São Paulo foram observados via 3 estações fixas em terra e medições por avião (Kirchhoff et alii, 1991).

As queimadas são realizadas à noite, após as 17,30 h e antes das 6,00 h da manhã. No entanto esse horário é em tese o pior possível, tendo em vista a estabilidade das camadas atmosféricas e a condensação da umidade que ocorre normalmente à noite. Mas a escolha desse horário é devida à aparente facilidade de controle do fogo, e ao longo período até a manhã seguinte que permite dissipar a fuligem, ou depositar o particulado, sendo menos visível para as populações atingidas.

A presença de monóxido de carbono e ozona de superfície, fora dos períodos de queimada, apresentam-se em níveis menores que 40 e 100 ppbv (partes por bilhão em volume), numa altura aproximada de 6 km. Durante o período de queimadas (período seco de julho a setembro), foram registradas concentrações de 80 ppbv de O₃ e 580 ppbv de CO a uma altura aproximada de 2 km. As concentrações de CH₄ e CO₂ também foram grandes, 1756 ppbv e 409 ppmv, numa altura de 1,5 km.

No trabalho de monitoramento levado a efeito no ano safra 93/94, período de maio a maio (para comparação do período seco e chuvoso), na Região de Ribeirão Preto, principal polo canavieiro de São Paulo, não foram tão elevadas as medidas de O₃ e CO. A média anual de O₃ de superfície foi de 33 ppbv (o limite legal máximo é 82 ppbv). Mas vários meses registraram valores máximos de concentração bem acima dessa média, variando de 60 a 75 ppbv, embora se refiram a ocorrências de curta duração. Houve apenas uma ocorrência de

ultrapassagem, atípica, no dia 15/3/93, quando foi atingido o valor de concentração de 85 ppbv de O₃. Esse evento com duração de apenas uma hora, incomum para o mês de março, ainda característico do período chuvoso, com poucas ocorrências de queimada, foi atribuído a "subsistência de grande escala de ar de troposfera superior, onde a concentração de ozônio é maior que na superfície". Esse fenômeno foi registrado também em São Paulo, no bairro da Moóca, no mesmo dia, corroborando a justificativa acima. Quanto ao CO₂ as médias mensais foram inferiores à concentração registrada em 88 (Anexo 1).

Esses números mostram que a queimada na cana de açúcar, é efetivamente uma forma de poluição importante nas áreas rurais de São Paulo, e de tal força que na Região de Ribeirão Preto, vem sendo combatida pelos curadores do meio ambiente, pela Câmara de Vereadores que pretende proibir esta prática, e pelos moradores atingidos pelo dano. A solução do problema envolve grande quantidade de mão de obra empregada no corte de cana, e a opção pela colheita mecanizada, exige grande investimento das usinas, o que torna difícil a decisão. Provavelmente o trabalhador rural suportará o pior efeito que é a perda de emprego.

Com relação à avaliação da poluição causada, segundo a EPA, agência ambiental americana, são os seguintes os fatores de emissão da queima de cana-de-açúcar no campo

Tabela 4.11 - Fatores de emissão para queima de cana-de-açúcar no campo

Poluentes	[Kg/tCana] ⁽¹⁾
Hidrocarbonetos	2,6 - 8
Monóxido de carbono	30 - 41
Particulados	2,5 - 3,5

(1): Valores expressos em peso de poluente emitido/peso de material queimado.

E para CO₂:

CO ₂	2,1t/ha/ano
-----------------	-------------

Fonte: USA EPA vol. 1, table 2.4-2. Compilation of air pollutant emission factors: stationary sources, Washington, (1985) apud UHLIG, (1995).

4.3.6 Uso da Terra Agrícola - Substituição de Culturas

Desde meados dos anos 60 as culturas voltadas para o mercado externo expandiram-se muito mais que as lavouras voltadas para o consumo interno. Diversos analistas como QUEDA et alii, (1979), HOMEM DE MELO, (1979) apud CAMARGO, (1983), registraram esta tendência, mostrando que onde a agricultura assumia caráter capitalista, as culturas de baixo valor por unidade de área iam sendo substituídas. Chamavam ainda a atenção, para a expansão insuficiente da oferta de alimentos. A tabela 4.12 mostra claramente o fortalecimento dessa tendência de substituição de culturas em benefício dos produtos de exportação por não mais encontrar fronteiras agrícolas para transpor. Neste caso o crescimento de uma cultura só pode dar-se através de ganhos de produtividade ou através de substituição de outras culturas.

Tendo em conta o perfil de concentração de renda da sociedade brasileira e o baixo poder aquisitivo da população, dificilmente os produtos para o mercado interno seriam mais atrativos que os de exportação, incentivados estes últimos por trazerem divisas para o país.

Face a esse conflito, o argumento utilizado é que a tecnologia pode resolver esses problemas transformando solos áridos em férteis, e solos não aptos a determinada cultura em solos adequados a ela.

Com relação à tecnologia que frequentemente é vista como uma panacéia, como observam Veiga F^o et alii, (1980), seu alcance nem sempre é tão amplo que consiga superar qualquer tipo de solo improdutivo, nem tão acessível que possa permitir uma renda líquida compatível ao produtor rural.

Com relação ao uso adequado do solo agrícola, a substituição de culturas deveria ocorrer com observância da aptidão do solo para a cultura que está incorporando a área sob pena de causar impactos negativos ao sistema de produção, ou por roubar áreas mais férteis que o necessário, de culturas que delas necessitam, ou por ocupar áreas impróprias e causar com isso ações predatórias ao meio ambiente.

Tabela 4.12 - Importância Relativa dos Produtos Exportáveis ⁽¹⁾ para o Estado de São Paulo

Ano	São Paulo	
	% Área Cultivada	% Valor da Produção
1962	55.65	52.90
1963	47.22	58.89
1964	45.13	59.62
1965	47.36	69.48
1966	47.77	59.94
1967	45.96	54.68
1968	43.79	59.35
1969	50.39	63.36
1970	52.82	64.39
1971	54.05	71.16
1972	62.65	66.88
1973	58.39	65.13
1974	58.95	67.98
1975	60.94	68.57
1976	55.67	62.27
1977	61.84	80.37
1978	65.45	75.78
1979	67.14	76.07
1980	67.50	76.51

⁽¹⁾ - Produtos exportáveis: café, algodão, cana, amendoim, laranja, mamona e produtos domésticos: arroz, banana, feijão, mandioca, cebola, milho, tomate e batata.

Fonte: Tabela extraída de MENDONÇA e GRAHAM até 1976. Atualizada até 1980 com dados do Instituto de Economia Agrícola apud CAMARGO, 1983)

"Existem certas limitações que, agindo conjuntamente, determinam a melhor maneira de se ocupar o solo. Assim, a fertilidade natural juntamente com o excesso ou escassez de chuvas, susceptibilidade à erosão e à declividade, condiciona a atividade agrícola em um solo particular: se lavoura, pecuária ou reflorestamento, e dentro da lavoura, se cultura temporária ou perene. As terras aptas a culturas anuais, perenes, pastagens e reflorestamento, cada qual determinada de acordo com essas limitações, ficam estabelecidas de forma quantitativa, de maneira que se uma atividade qualquer, como a cultura canavieira, fizer uso de terras consideradas também aptas às culturas de alimentação, anuais de modo geral, ela estará diminuindo efetivamente a

produção ou a oferta potencial, principalmente porque não se tem observado aumento de produtividade física - produção por hectare - no Brasil, suficientemente grande para suprir a diminuição de área. Mesmo que a inovação tecnológica possa eventualmente superar esses obstáculos, pelo menos no tempo presente isso não se verifica, de forma que a quantidade disponível de áreas aptas está determinada e dificilmente poderá ser aumentada” (VEIGA FILHO et alii, 1980).

“A aptidão edafo-climática ou potencialidade de uso das terras é um dado de orientação e de ordenação das atividades agrícolas permitindo também uma avaliação de sua disponibilidade e dos limites de sua ocupação” (VEIGA FILHO, 1992).

Com relação à potencialidade de uso, de acordo com o Zoneamento Agrícola do Estado de São Paulo¹⁹, existem 15,4 milhões de ha aptos às culturas anuais e perenes, sendo 7,6 milhões de ha aptos ao desenvolvimento de algumas culturas específicas entre as quais a cana-de-açúcar. Sendo extensa a ocupação pela cana, “é relevante considerar como isso poderá afetar a produção de alimentos na fronteira agrícola, tradicionalmente feita pelo pequeno produtor ou posseiro, usando técnicas e modos de produção muitas vezes não condizentes com a tendência apontada. Para o Estado de São Paulo, esse fenômeno pode ser bastante grande face à concentração da cultura canieira, que ocupava já em 1979/80, uma área de 1.200 mil hectares, por volta de 20% da área explorada com culturas anuais e perenes no Estado.

“O que acontece frequentemente é a confusão entre a existência de áreas aptas, algumas vezes subutilizadas, com áreas ociosas, levando, por exemplo, a dizer que a cultura da cana-de-açúcar ocupa apenas parte de suas áreas aptas, podendo expandir-se sem problemas, esquecendo-se de alertar para o fato de que parte dessas áreas também pode ser apta para outras atividades ou, mais importante ainda, que essas áreas já podem estar sendo ocupadas para outras atividades” (VEIGA FILHO et alii, 1980)

A cana para a indústria, já está implantada em quase 1/3 dessa área de 7,6 milhões de ha pois ocupa 2.707.500 ha (1995). Mas é interessante notar que desde a década de 60 tinha uma importante participação na área plantada do Estado, porque o açúcar era um importante produto de exportação, só suplantado pelo café.

¹⁹ Zoneamento Agrícola do Est.de São Paulo. Secr.da Agricultura. 2v. 1974.

4.3.6.1. O Programa Nacional do Álcool e a Substituição de Culturas

Em 1970 a área plantada com cana era de 677.600 ha, passando a 1.290.000 ha em 80. Esse crescimento foi atingido de acordo com meta estabelecida em 75 no Proálcool, de produzir 10,7 milhões de litros de álcool até 85 para substituir a gasolina, incorporando 1.000.000 de ha de área, pois deveria ser mantida a produção de açúcar. A São Paulo coube atender 65% dessa produção em torno de 7 bilhões de litros.

O Programa Nacional do Álcool, instituído pelo Decreto no. 76.593, em 14 de novembro de 1975 provocou alterações significativas no uso e propriedade do solo agrícola do Estado de São Paulo, acentuando a substituição de culturas e concentração fundiária. Os objetivos explícitos do PNA eram:

- substituição de importações de petróleo;
- redução das disparidades regionais de renda;
- uso mais intensivo de terra e mão-de-obra;
- incentivo à produção das destilarias, que apresentavam capacidade ociosa, face à recessão no mercado internacional de açúcar.

Por fatores de ordem histórica, como a disponibilidade de tecnologia de extração do álcool de cana e a modernização do parque industrial açucareiro financiada por um "Fundo Especial de Modernização" criado pelo IAA - Instituto do Açúcar e do Álcool, o Proálcool cumpriu suas metas quantitativas em termos de produção de álcool e substituição de importações nas décadas de 70 e 80, mas quanto ao uso da terra e distribuição de renda, não logrou obter o mesmo efeito.

No período de 83/93 ocorreu um decréscimo de área total do sistema agropecuário no Estado, portanto a expansão da cana para a indústria deu-se em detrimento de outras atividades que foram por ela substituídas.

A metodologia usual para a identificação e análise desse problema consiste na estimação do efeito escala e efeito substituição (ZOCKUN, 1978) valendo-se das taxas médias anuais de crescimento de cada uma das atividades durante o período, de forma a amenizar os efeitos indesejáveis da escolha dos anos inicial e final considerados (CAMARGO et alii, 1995).

Deve-se ressaltar que se trata de um método indicativo e não determinístico, cuja pressuposição teórica é a de que produtos com expansão de área substituem proporcionalmente, os produtos que as cedem, ou seja, os dados não podem ser analisados em termos absolutos.

Tabela 4.13 - Área Ocupada e Participação Percentual das Principais Atividades Agropecuárias no Estado de São Paulo, 1983 e 1993.

Atividade	Área (ha)		Participação percentual	
	1983	1993	1983	1993
Abacaxi	1.691	2.220	0.01	0.01
Algodão	308.700	142.600	1.72	0.81
Amendoim	191.755	70.900	1.07	0.40
Arroz	334.100	167.150	1.86	0.95
Banana	37.933	43.675	0.21	0.25
Batata	31.020	27.028	0.17	0.15
Café	882.920	315.730	4.91	1.78
Cana para forragem	73.100	76.030	0.41	0.43
Cana para indústria	1.733.500	2.353.240	9.64	13.30
Cebola	16.910	15.062	0.09	0.09
Chá	5.000	5.030	0.03	0.03
Feijão	516.600	305.600	2.87	1.73
Goiaba	3.790	2.200	0.02	0.01
Laranja	562.600	799.230	3.13	4.52
Limão	19.136	33.455	0.11	0.19
Mamão	3.330	557	0.02	--
Mamona	21.660	1.928	0.12	0.01
Mandioca	53.280	41.650	0.30	0.24
Manga	9.371	36.857	0.05	0.21
Milho	1.166.000	1.189.000	6.48	6.72
Pastagem cultivada	7.371.831	8.222.240	41.00	46.49
Pastagem natural	2.882.612	2.237.585	16.04	12.65
Reflorestamento	1.064.407	953.390	5.92	5.39
Seringueira	6.658	30.740	0.04	0.17
Soja	470.000	490.000	2.61	2.77
Sorgo granífero	8.377	34.500	0.05	0.20
Tangerina	33.560	25.580	0.19	0.14
Tomate envarado	7.470	10.260	0.04	0.06
Tomate rasteiro	14.928	5.690	0.08	0.03
Trigo	144.950	47.680	0.81	0.27
TOTAL	17.977.289	17.686.807	100.00	100.00

Fonte: Dados Básicos do Instituto de Economia Agrícola.

Produtos que incorporam a área	PRODUTOS QUE CEDERAM A ÁREA															
	Pastagem natural	Cafê	Refflores tamento	Arroz	Feijão	Algodão	Amen-doim	Milho	Trigo	Mandi-oca	Mamona	Batata	Tomate rasteiro	Mamão	Abaca-xi	Total
Pastagem cultivada	426.604	184.856	76.251	73.944	73.594	70.250	58.640	49.177	16.842	8.640	7.219	4.417	3.802	627	228	1.055.091
Laranja	322.580	139.780	57.657	55.913	55.648	53.120	44.341	37.186	12.735	6.533	5.459	3.340	2.875	474	173	797.814
Cana para indústria	261.253	113.206	46.696	45.283	45.069	43.021	35.911	30.116	10.314	5.291	4.421	2.705	2.329	384	140	646.138
Soja	95.586	41.419	17.085	16.568	16.490	15.740	13.139	11.019	3.774	1.936	1.617	990	852	140	51	236.406
Seringueira	9.111	3.948	1.628	1.579	1.572	1.500	1.252	1.050	360	185	154	94	81	13	5	22.533
Manga	7.991	3.462	1.428	1.385	1.378	1.316	1.098	921	315	162	135	83	71	12	4	19.762
Cebola	6.083	2.636	1.087	1.054	1.049	1.002	836	701	240	123	103	63	54	9	3	15.044
Limão	4.711	2.042	842	817	813	776	648	543	186	95	80	49	42	7	3	11.652
Tomate envarado	2.876	1.246	514	498	496	474	395	332	114	58	49	30	26	4	2	7.112
Cana para forragem	2.279	987	407	395	393	375	313	263	90	46	39	24	20	3	1	5.636
Sorgo granífero	1.319	572	236	229	228	217	181	152	52	27	22	14	12	2	1	3.262
Tangerina	1.017	441	182	176	175	168	140	117	40	21	17	11	9	1	1	2.516
Banana	596	258	107	103	103	98	82	69	24	12	10	6	5	1	--	1.474
Goiaba	334	145	60	58	58	55	46	39	13	7	6	3	3	--	--	826
Cafê	107	46	19	19	18	18	15	12	4	2	2	1	1	--	--	265
TOTAL	1.142.446	495.044	204.199	198.021	197.083	188.128	157.038	131.697	45.103	23.139	19.332	11.829	10.182	1.678	611	2.825.532¹

¹ Esse total indica a expressão geral das alterações na composição das atividades, ou seja, tanto o que foi cedido como o que foi incorporado.

Fonte: Dados básicos do Instituto de Economia Agrícola

Tabela 4.14 - Efeito Substituição Atribuído aos Produtos que Incorporaram Área no Estado de São Paulo, 1983-93

No período 83/93 a cana incorporou a área de 646.138 ha por substituição de outras atividades, e sua participação percentual nas atividades agropecuárias do Estado passou de 9,64% para 13,30%. As atividades que mais cederam área segundo as hipóteses adotadas pela metodologia foram as pastagens naturais, o café, o reflorestamento, o arroz, o feijão, o algodão, o amendoim, o milho, o trigo, etc. conforme tabela.

De acordo com a análise dos técnicos do IEA o crescimento de área ocupada com cana para indústria em São Paulo pode ser explicado pelos arrendamentos de terra efetivados pelas usinas nas proximidades de suas unidades industriais, pela necessidade de atender à demanda das agroindústrias em expansão, pelos incentivos aos setores consumidor de álcool e fornecedor de matéria-prima, além da própria característica da cultura que oferece pouco risco na produção" (IEA - Informações Econômicas, SP, v 25, n.5, maio 1995).

Foram decisivos os incentivos governamentais ao consumo de álcool combustível, responsáveis pelo crescimento da cultura da cana-de-açúcar para fins energéticos cujo sistema de apoio financeiro foi totalmente diverso das outras culturas.

Analisando as atividades que perderam área, pode-se verificar que todos os produtos de consumo doméstico (arroz, feijão, mandioca, trigo, etc.) perderam área deslocados pela cana-de-açúcar e culturas de exportação como a laranja e a soja. Apenas dois mantiveram área: a banana e a cebola.

É de se notar que a atividade que mais incorporou área foi a de pastagens cultivadas, mais de 1.000.000 de ha.

Ao nível das DIRAs (Divisões Regionais Agrícolas), observaram-se mudanças na composição das atividades, e a intensificação de especialização regional (IEA - Informações Econômicas, SP, v 25, n.5, maio 1995).

4.3.6.2 Regiões de Campinas, Ribeirão Preto e Bauru

A cultura da cana para indústria, embora esteja bastante difundida em todo o Estado, expandiu-se nas regiões tradicionais de cultivo, como Campinas, Ribeirão Preto, e Bauru, que devem ser analisadas para melhor situar a questão da ocupação de áreas.

Tabela 4.15 - Taxas de Ocupação da Cana-de-Açúcar para Indústria por Divisão Regional da Agricultura - DIRA

<i>Ribeirão Preto</i>	25.14
<i>Campinas</i>	18.29 %
<i>Bauru</i>	12.51 %
<i>São Carlos</i>	11.38 %
<i>São José do Rio Preto</i>	5.75 %
<i>Vale do Paranapanema</i>	6.51 %
<i>Barretos</i>	5.91 %
<i>Outras</i>	9.49 %

Nas regiões de Ribeirão Preto, Bauru, São José do Rio Preto, Vale do Paranapanema, Barretos e São Carlos houve crescimento da área de cana, resultando em crescimento líquido no Estado de 17.512,82 ha. As DIRAS que cederam área foram Sorocaba, Campinas, Araçatuba, Presidente Prudente e Marília. Em Registro e São José dos Campos é insignificante a área de cana.

Na região de Ribeirão Preto a cana incorporou uma área de 138.266 ha, substituindo a pastagem natural (32%), pastagem cultivada (31%), café (16%), algodão (10%), arroz (9%) e outros (2%).

Na região de Campinas a cana incorporou 18.097 ha substituindo pastagem natural (43%), algodão (22%), reflorestamento (13%), arroz (8%), feijão (6%) e outras (8%).

Em Bauru incorporou 61.851 ha substituindo pastagem natural (40%), café (26%), reflorestamento (15%), milho (11%), arroz (3%), feijão (2%) e outras (3%).

A área de pastagem natural é a que mais serviu para substituição, seguida das áreas cultivadas com produtos para o mercado interno (arroz, feijão, mandioca, milho, etc.) e depois as cultivadas com produtos de exportação.

Assim, tendo em vista a inexistência de fronteira agrícola no Estado, os produtos deslocados, substituirão novamente áreas de pastagens, ou irão para além dos limites do estado, aumentando vários custos, principalmente o de transporte para o centro consumidor ou exportador. Assim a expansão indiscriminada da cana pode ter tido sérios reflexos nos preços e e nos índices de custo de vida das populações da Região Sudeste.

5 Identificação e Avaliação das Externalidades - Técnicas a Serem Utilizadas para a Avaliação.

O custo da geração convencional de energia aumenta com o tempo por causa dos custos crescentes de exploração, enquanto o custo de novas fontes diminui pelo progresso tecnológico. Portanto, como afirma HERZ (1994), de maneira geral, a nova fonte alcança em algum momento, nível de rendimento que lhe permite competir com as formas convencionais, mesmo que não se levem em conta os custos e benefícios externos. Mas, se estes forem levados em consideração, tanto para a fonte convencional como para a nova fonte, será antecipado o momento em que a nova fonte alcançará competitividade, principalmente no caso de fontes renováveis face às não renováveis.

Estas considerações podem se aplicar à situação específica do álcool combustível, fonte renovável de energia, frente ao petróleo, energia fóssil esgotável e fonte de tipos de poluição mais graves que a poluição decorrente do uso da biomassa.

A produção do álcool combustível com o advento do Proálcool, intensificou muito os problemas ambientais que já ocorriam na produção do açúcar. Face a essa situação os órgãos ambientais estabeleceram normas e padrões ambientais a serem observados na atividade sucroalcooleira, bem como sanções severas pelo seu descumprimento.

Muitas pesquisas e desenvolvimentos de tecnologias foram implementados para melhorar as condições produtivas, e mitigar os efeitos ambientais negativos. Ocorreu o aumento de rendimento da produção de álcool; a diminuição da produção de vinhaça; foram comprovadas as vantagens do uso da vinhaça como adubo substituindo quase que totalmente a adubação mineral; foram melhoradas as condições técnicas para uso do bagaço nas caldeiras em substituição aos óleos combustíveis mais poluentes, visando a auto-suficiência em energia elétrica, e não mais apenas para produção de vapor.

Impactos ainda permanecem, mas não específicos da cana-de-açúcar e referem-se a usos e técnicas generalizadas na agricultura, como o uso dos agrotóxicos, a intensa mecanização, convivendo com práticas antigas como a

monocultura e as queimadas, encaradas geralmente como males necessários para manter os níveis de produção.

Na indústria, o desenvolvimento tecnológico resultou na mitigação dos impactos ambientais ao mesmo tempo em que levou à otimização da produção, pelo melhor aproveitamento de insumos e subprodutos.

Portanto, ao analisar nos dias atuais, a questão das externalidades ligadas à produção do álcool, já se tem um quadro bastante diferente dos primeiros tempos do Proálcool.

É dentro desse contorno, que serão consideradas as externalidades, quer se constituam custos ou benefícios, ou ainda custos evitados, procurando utilizar para sua identificação e avaliação, as técnicas e procedimentos referidos no capítulo 3.

5.1 Técnicas para Avaliação das Externalidades Referentes à Monocultura e Mecanização

Com relação ao meio ambiente podemos localizar como externalidade o processo de monoculturização, sempre mais impactante que um sistema de diversificação de culturas, conforme exposto acima. Esses fatos recomendam uma análise mais realista, que considere, de um lado, de que forma a substituição de culturas leva a um desequilíbrio no uso adequado do solo e, de outro, qual será o comportamento das atividades expulsas.

Do ponto de vista microeconômico a monocultura, com o uso intensivo dos fatores, pode otimizar a produção, enquanto não se consegue definir os danos e incluí-los como variáveis que afetam a produção e os preços: (custo de preservação dos bens ambientais, valor de opção ou existência; custos de reposição de ativos ambientais etc).

5.1.1 Custos Decorrentes da Monocultura

a) Perda de biodiversidade

Técnicas para Mercado Hipotético

Técnica: avaliação do Valor de Existência através da Técnica de Avaliação Contingente.

Método: pesquisa com moradores da área rural para apurar sua disposição a pagar ou receber pelas possíveis perdas de caráter ecológico; pode ser considerado o direito de gerações futuras, equalizando-se os valores através de taxas de desconto.

b) Crescimento de pragas por perda do equilíbrio ecológico

Técnica para o Mercado Real

Técnica: Função Dose-resposta através da Análise Custo-benefício das Despesas de Defesa e Custos de Prevenção.

Método: pesquisar o montante de gastos dos agricultores com o controle de novas pragas geradas procurando estabelecer correlação com a intensificação do uso dos agrotóxicos.

Observe-se que o benefício de evitar o dano pode ser bem maior que os custos de prevenção, dependendo da capacidade econômica dos atingidos pelo dano.

c) Erosão do solo com redução do potencial produtivo do próprio solo; redução do potencial de geração hidrelétrica decorrente do assoreamento das represas; e redução da captação de água potável devida ao assoreamento.

Técnicas para o Mercado Real.

Técnica: avaliação dos custos através de Análise Custo-benefício com a estimação dos Custos de um Projeto Substituto no caso do assoreamento de

represas; através do cálculo da Produção Sacrificada de energia elétrica, e de água para abastecimento público e outros usos.

Método: calcular os custos de construção de uma nova represa para substituir a que foi assoreada pela erosão; esses custos representam um valor aproximado do dano ambiental; para o cálculo da produção de água para abastecimento público sacrificada, levantar os dados de produção e qualidade das águas junto aos municípios e serviços de abastecimento.

5.1.2 Custos Decorrentes dos Danos da Mecanização no Manejo do Solo

a) Compactação do solo com perda de qualidade por causa da intensa mecanização.

Técnicas para o Mercado Hipotético

Técnica: estimação do valor de uso da terra agrícola através da Técnica de Avaliação Contingente.

Método: pesquisa ou entrevistas junto à comunidade agrícola.

Técnicas para o Mercado Real

Técnica: Função Dose-resposta estimando através da Análise Custo-benefício o custo de reposição da terra agrícola dentro dos parâmetros de qualidade ambiental anteriores.

Método: exame de amostra significativa de solos de cultura de cana para estabelecer a correlação entre o uso de equipamentos pesados e o dano físico de compactação, e perda de qualidades do bem ambiental.

5.2 Técnicas para Avaliação das Externalidades Referentes ao Uso de Agrotóxicos

No capítulo 4 foram identificadas como externalidades decorrentes do uso intensivo de agrotóxicos os riscos para a vida vegetal e animal (desequilíbrio entre as espécies da flora e da fauna); para as águas (contaminação e suas consequências face ao carregamento pelas chuvas,); e para o homem (efeitos tóxicos - doença e morte).

5.2.1 Custos Decorrentes dos Danos sobre a Flora e a Fauna Terrestres e Aquáticas

5.2.1.1 Efeitos Atuais

Técnicas para o Mercado Real

Técnica: Função Dose-resposta através da Avaliação dos Custos Efetivos de projetos e metas que visam a proteção das espécies, ou da qualidade ambiental alterada.

Método: levantar junto às instituições de pesquisa agrônômica, registros estatísticos sobre as espécies que foram atingidas pelas contaminações, e elaborar planos de proteção com metas quantificadas e seus respectivos custos. Os valores globais do plano servem como estimativa dos custos externos suportados pela coletividade, e dão idéia dos custos de prevenção a serem incorridos.

Nas obras internacionais consultadas, de RAMADE (1995) e CHABOUSSOUS (1987), são abundantes os relatos de efeitos danosos dos agrotóxicos sobre a vida das plantas e do solo, inclusive multiplicação de espécies nocivas e criação de espécies resistentes.

5.2.1.2 Efeitos de Longo Prazo - Aspectos Demoecológicos e Biocenóticos

Da exposição feita no capítulo 4 sobre os riscos de tais efeitos que ocorrem no médio e longo prazos, e necessitam de esforços de pesquisa e científicos, pode-se inferir a dificuldade para identificá-los e valorá-los. São bens ambientais que devem ser avaliados pelo seu valor de uso, valor de opção ou valor de existência, e que face às dificuldades de avaliação por falta de um mercado no qual se estabeleçam seus preços, dependem de técnicas que pesquisam a disposição a pagar das pessoas pela conservação dos mesmos num mercado hipotético.

No caso específico da cana-de-açúcar, que cobre extensas regiões do estado e que se vale do uso de herbicidas para controlar as ervas daninhas, pode ocorrer a extinção de plantas e animais que correspondem à uma cadeia trófica, levando a uma perda de biodiversidade cujos efeitos de longo prazo são desconhecidos, e podem ser muito prejudiciais à vida e alimentação humanas. RAMADE (1995) relata o caso da bacia parisiense, onde já é visível a alteração de flora e fauna por causa do uso intensivo de defensivos agrícolas.

A aplicação de pesquisas através da Técnica de Avaliação Contingente -TAC ou Técnica Delphi, no interior de São Paulo, nas cidades e regiões próximas às culturas de cana e que dela dependem economicamente, poderia exprimir o valor subjetivo que a sociedade atribui aos bens ambientais, e aos desconfortos causados pela agroindústria sucroalcooleira, a qual proporciona em contrapartida alta renda e grande número de empregos. Provavelmente a falta de informação e conhecimentos ecológicos e uma visão distorcida do sentido do progresso econômico influiria muito na avaliação.

Técnicas para o Mercado Hipotético

Técnica: Disposição a Pagar ou a Receber pela Técnica da Avaliação Contingente e/ou Técnica Delphi.

Método: avaliar a Disposição a Pagar das pessoas da comunidade pela proteção de espécies e pela garantia de uma natureza não degradada para o

futuro utilizando a Técnica da Avaliação Contingente, e o valor presente do uso futuro desses bens ambientais; a Técnica Delphi também se mostra interessante pois a pesquisa é realizada com profissionais qualificados com conhecimentos específicos sobre o tema da pesquisa, neste caso engenheiros agrônomo, médicos toxicologistas, biólogos etc.

5.2.2 Custos Decorrentes da Contaminação de Cursos D'água por Carregamento de Agrotóxicos Pelas Chuvas - Danos sobre as Águas

Técnicas para o Mercado Real

Técnica: Função Dose-resposta - Função de Produção - medir os efeitos sobre a produção pesqueira e sobre o abastecimento de água.

Método: correlacionar os dados de produção de água para o abastecimento público e na produção pesqueira das regiões canavieiras com os indicadores de qualidade das águas, que registram a presença de substâncias agrotóxicas. Avaliar as ocorrências de mortandades de peixes.

5.2.3 Custos Decorrentes de Efeitos Diretos dos Agrotóxicos sobre a Mão de Obra Rural e Indiretos sobre a População em Geral

5.2.3.1 Mão de Obra Rural

O levantamento dos acidentes causados aos trabalhadores da cultura da cana, e a avaliação das perdas em termos de vidas humanas, doenças profissionais, tratamentos médicos podem compor juntamente com outros danos, o valor a ser internalizado pelo uso dos agrotóxicos.

Técnicas para o Mercado Real

Técnica: Função Dose-resposta - Efeitos sobre a Saúde

Método: levantar junto aos órgãos responsáveis pela saúde pública a frequência das intoxicações e mortes causadas aos trabalhadores rurais pelos agrotóxicos utilizados na cultura da cana e os custos dos tratamentos. A avaliação pode fazer-se:

- através dos custos realizados com tratamentos de saúde e hospitalizações.
- através de valor da Produção Sacrificada da mão de obra, se o indivíduo se tornar incapaz para o trabalho, ou em caso de morte, comparando com tabelas de vida estatística e valor da vida (tabelas de valores associados a riscos de vida usadas pelas seguradoras e previdência para acidentes do trabalho), e da quantidade de trabalho usual.

A Secretaria da Saúde do Estado determina aos hospitais, e serviços de saúde o preenchimento da Ficha de Notificação de Intoxicação para obter informações sobre estas ocorrências; no entanto essa ficha não contempla a informação do tipo de cultura onde ocorreu a contaminação.

A Copersucar presta às usinas cooperadas um serviço de treinamento à mão de obra no uso de defensivos agrícolas, através de uma Equipe de Segurança Agroindustrial, que atua permanentemente. Segundo os técnicos da Cooperativa que congrega mais de 40 usinas no estado, são extremamente raros tais acidentes graças ao esclarecimento e fiscalização exercidos pela entidade. Com relação a outras usinas do estado não estão disponíveis maiores informações.

5.2.3.2 Custos Indiretos sobre a população em geral

São os efeitos causados pela ingestão de animais ou plantas contaminados ou que sofreram a acumulação de produtos tóxicos através da cadeia trófica.

Técnica: estimar o custo das alterações causadas à saúde humana através de uma Função Dose-resposta - Efeitos sobre a Saúde

Método: levantar junto aos órgãos responsáveis pela saúde pública a existência de informações sistematizadas que possibilitem o estabelecimento de correlações estatísticas entre as doenças e o uso dos agrotóxicos; partir do conceito de vida estatística para calcular os danos sobre a saúde ou a produção sacrificada, utilizando referências e dados internacionais para orientar avaliações nesse campo; podem também ser utilizados os dispêndios efetivos com doenças provenientes de contaminações como substitutos do real valor dos bens ambientais degradados, e da perda de qualidade de vida..

5.3 Técnicas para Avaliação das Externalidades Referentes à Destinação da Vinhaça

5.3.1 Custos Decorrentes da Descarga Eventual da Vinhaça em Cursos de Água

Somente derrames acidentais podem ocorrer, visto que tal externalidade já foi objeto de disposições legais proibindo o lançamento, e desde então, os derrames são punidos com pesadas multas, podendo-se considerar como internalizados os custos sociais das contaminações. Mas além das sanções, poderiam os responsáveis ser obrigados a indenizar todos os danos sofridos pelo meio ambiente, tais como a produção sacrificada de peixes, o valor da água de abastecimento contaminada etc.

Técnica para o Mercado Real ou Convencional

Técnica: Função Dose-resposta - Produção Sacrificada

Método: avaliação da perda de produção pesqueira e água para abastecimento.

5.3.2 Custos Decorrentes da Contaminação dos Aquíferos pela Lixiviação e Percolação da Vinhaça das Áreas de Sacrifício e Tanques de Depósito

Técnicas para o Mercado Real

Técnica: Função Dose-resposta aplicada sob as formas:

a) Função de Produção

Método: estabelecer correlação entre as aplicações do resíduo e efeitos na produção de água potável para abastecimento público sob a forma de poços artesianos.

b) Efeitos sobre a Saúde

Método: estabelecer correlação entre as aplicações do resíduo e efeitos deletérios sobre a potabilidade da água e conseqüentemente sobre a saúde, através de levantamento junto aos órgãos responsáveis pelo saneamento e saúde pública da eventual ocorrência de contaminações dos aquíferos nas regiões de aplicação da fertirrigação (contaminação difusa) e nas regiões próximas às lagoas de sacrifício, canais adutores e tanques..

5.3.3 Benefícios Decorrentes da Disposição da Vinhaça “in natura” no Solo sob a Forma de Fertirrigação.

Nesta forma de disposição no solo após resfriamento e em taxas adequadas ao tipo de solo verificam-se como benefícios:

a) Devolver à terra sob a forma de fertilização orgânica os nutrientes dela retirados, substituindo com vantagens os adubos artificiais; de modo geral a Função Dose-resposta foi a técnica utilizada nos vários experimentos citados na parte referente à fertirrigação, realizados pelos vários órgãos de pesquisa e

escolas de agronomia do estado, e referidos em artigos e teses, dando conta da melhoria de várias características do solo, e aumento da produção de cana por ha.

Técnicas para o Mercado Real

Técnica: função Dose-resposta: Análise do Benefício efetivo

Método: a partir da avaliação física dos benefícios (melhoria das propriedades físico-químicas do solo, estrutura, ecologia, microrganismos etc.) que representam o atingimento de metas físicas de produtividade, qualidade da cana etc, calcula-se os benefícios monetários da substituição de adubo mineral por vinhaça.

Para a indústria o benefício monetário apresenta-se como uma economia de aproximadamente R\$90,00 por ha de soqueira fertirrigada. Tome-se por exemplo uma formulação NPK de 12-6-30 indicada para aplicação no solo a uma razão de 500 kg/ha. O preço de mercado é de R\$234,00/t, e por ha tem-se um custo de R\$117,50, do qual se abate o valor de R\$25,00/ha que é o custo aproximado do bombeamento e distribuição da vinhaça por sulcos e canais de irrigação, e pulverização nos campos de cultura. De forma grosseira e sem considerar custos de investimento, tem-se uma economia de R\$90,00/ha. para o proprietário da soqueira irrigada com vinhaça.

Esse benefício pode ser usado como substituto do real valor dos benefícios externos que são mais difíceis de serem medidos e se localizam nos seguintes pontos:

- benefício pela devolução ao solo da cultura, de grande parte da matéria orgânica e mineral dela extraída.
- economia de divisas da importação do adubo
- dano evitado dos descartes de vinhaça em cursos d' água ou qualquer outra forma prejudicial ao meio ambiente

b) Evitar a contaminação de rios e lagos .

Técnica: Função Dose-resposta sob a forma de Análise Custo-benefício.; Custos Evitados.

Método: avaliação do benefício pelo Custo do Dano Evitado de não lançamento aos rios.

Esta técnica poderia ser aplicada caso este dano de lançamento de vinhoto aos rios estivesse ocorrendo, mesmo que eventualmente. Poderia ser medido pela produção pesqueira sacrificada, pela perda da água potável de abastecimento público, ou ainda pelo valor de uso antes da poluição. No caso, já ocorreu a intervenção do poder público estabelecendo normas desde 1983, proibindo tal comportamento, e fixando sanções -multas - a serem impostas em caso de desrespeito. Tais regras, salvo melhores informações, não foram precedidas de avaliações ambientais antes de serem consagradas na legislação.

5.4 Técnicas para Avaliação das Externalidades Referentes ao uso do Bagaço - Redução Na Emissão De Poluentes

5.4.1 Benefícios Decorrentes do Uso do Bagaço por Substituir o Óleo Combustível nas Caldeiras para Cogeração

Técnicas para o Mercado Real

Comparada à opção termoelétrica, a cogeração a partir de biomassa, apresenta inquestionáveis vantagens ambientais, o que tem levado países desenvolvidos a implantarem unidades de produção de eletricidade com tal característica.

Técnica: Função Dose resposta

Método: estimação do custo de evitar as emissões de SO₂ e CO₂ por caldeiras a óleo, quando da substituição por caldeiras a bagaço.

O bagaço de cana não contém enxofre, portanto não emite SO₂ na combustão (avaliação pelo custo do dano evitado em relação à termica convencional). Quanto às emissões de CO₂, equilibradas em termos de balanço produção-absorção face à fotossíntese na fase vegetativa, podem ser consideradas nulas.

Segundo BURGESS (1991) para comparar a diferença de custos ambientais das duas opções, é necessário avaliar o valor do dano do CO₂ emitido pela termoelétrica a óleo, sabendo que a combustão do kg de óleo combustível emite 3061,99gr de CO₂. Atribuindo-se um valor à gr de CO₂ e SO₂²⁰ emitidos, pode-se contabilizá-los como um acréscimo de custo na opção térmica a óleo, ou como um benefício na cogeração com bagaço.

Estudos sobre custos ambientais marginais de poluentes aéreos como os referidos em Woolf, T. em *Accounting for the Environmental Externalities of Electricity Production* estimam o valor do CO₂ na faixa de 14 a 24 US\$/ton (dólares de 90).

O custo do carbono evitado (CAC - Cost Avoided Carbon) pode ainda ser calculado como em MILLS et alii apud COELHO (1992), pela fórmula abaixo, utilizando -se os custos reais de plantas comparáveis:

$$CAC = (C_{g_{\text{bagaço}}} - C_{g_{\text{oc}}}) / (TE_{\text{bagaço}} - TE_{\text{oc}}), \text{ onde:}$$

$C_{g_{\text{bagaço}}}$ - custo de geração do kWh_e com bagaço

$C_{g_{\text{oc}}}$ - custo de geração do kWh_e com óleo combustível

$TE_{\text{bagaço}}$ - taxa de emissão em gr de carbono por kWh_e com bagaço

TE_{oc} - taxa de emissão em gr de carbono por kWh_e com óleo

²⁰ Para calcular a emissão de SO₂ é necessário conhecer o teor de S contido no combustível utilizado.

Convém ressaltar no entanto que o bagaço é responsável pela produção de material particulado, que de certa forma é mais percebido pelos moradores próximos, e que pode ter efeitos sobre a saúde, principalmente no tocante a problemas respiratórios. Por causa das reclamações pelos incômodos causados por material particulado das caldeiras e principalmentedas das queimadas de palha da cana, a CETESB tem inventariado e fiscalizado essas ocorrências, impondo multas e sanções quando há desobediência aos padrões estabelecidos.

O material particulado pode ser mais ou menos danoso ao meio ambiente, dependendo da fonte e da presença de outros poluentes na atmosfera, com os quais pode reagir de forma sinérgica.

A poluição por material particulado decorrente das caldeiras a bagaço pode ser avaliada a partir da tabela abaixo, que apresenta o potencial poluidor das fontes, com base em fatores de emissão, observando a divisão por bacias hidrográficas, que é a unidade de gerenciamento usada pela CETESB para todos os tipos de poluição. O Diagnóstico da Poluição Ambiental no Interior do Est. de São Paulo, jan/94 considera que tais emissões por atingirem predominantemente zonas rurais, oferecem pouco risco à saúde humana, e poucos danos ao meio ambiente.

TABELA 5.1
EMISSIONES DE MATERIAL PARTICULADO DE CALDEIRAS A BAGAÇO NAS INDÚSTRIAS
DO RAMO SUCROALCOOLEIRO DO INTERIOR DO ESTADO DE SÃO PAULO - 1993

BACIA HIDROGRÁFICA	EMISSIONES DE MATERIAL PARTICULADO DO RAMO SUCROALCOOLEIRO (t/ano)	
	POTENCIAL	REMANESCENTE
AGUAPEÍ	7.538	7 169
CAPIVARI	8 007	5 847
GRANDE	345	345
JUNDIAÍ	nd	nd
MOGI-GUAÇU	75 930	52 027
PARAÍBA DO SUL	nd	nd
PARANÁ	nd	nd
PARANAPANEMA ALTO	3 393	3 393
PARANAPANEMA BAIXO	4 111	4 111
PARDO	37.439	25 021
PEIXE	2 830	2.830
PIRACICABA	16 973	6 460
RIBEIRA DE IGUAPE	nd	nd
SANTO ANASTÁCIO	3120	3120
SÃO JOSÉ DOS DOURADOS	3 149	3 149
SAPUCAÍ MIRIM	7 723	7 723
SOROCABA	nd	nd
TIETÉ BAIXO	9 370	8 743
TIETÉ MÉDIO INFERIOR	37 748	29 390
TIETÉ MÉDIO SUPERIOR	1 286	991
TURVO	12 316	10 427
TOTAL	231 278	170 746

Fonte dos dados: CETESB. Diagnóstico da Poluição Ambiental no Interior do Est. de S. Paulo. jan/94.

nd - dado não disponível no relatório referido.

A partir das informações da tabela, e de um valor atribuído à tonelada de MP pode-se chegar ao custo global desse tipo de poluição causado pelo setor sucroalcooleiro, que de resto aparenta ser bem menos grave que o causado pelo dióxido de enxofre das caldeiras a óleo combustível, poluente em si, bem

mais perigoso para a saúde, e que não se encontra no bagaço da cana. A menos de algum efeito sinérgico que possa ocorrer na atmosfera combinando tipos de poluentes, caso em que deve ser feita uma avaliação combinada.

Quanto ao valor monetário do dano pode ser obtido através de estudos internacionais como o de Woolf (1992) onde constam valores na faixa de 2 477 a 4 164 US\$/t (dólares de 90) para material particulado proveniente de termoelétricas a óleo. Essas estimativas de custos ambientais marginais obtidas em estudos específicos podem servir de indicação, mas a maior importância deve ser dada aos métodos utilizados para calculá-las, pois podem não se adaptar às condições do meio ambiente que se está analisando. Com o auxílio das várias técnicas abordadas no cap.2, como por exemplo a técnica da função dose-resposta aplicada às estatísticas de efeitos sobre a saúde, técnica do valor da propriedade aplicada aos preços de imóveis próximos das fontes poluidoras, ou ainda as técnicas de avaliação contingente - TAC, da disposição a pagar - DAP ou da disposição a receber - DAR, pode-se chegar a valores específicos para o projeto ou caso sob análise.

5.5 Técnicas para Avaliação das Externalidades Referentes à Queima da Cana-de-açúcar antes do Corte

Técnica para o Mercado Real

Técnica: Função Dose-Resposta através da Análise Custo-benefício ou Efeitos sobre a Saúde no que diz respeito aos poluentes e material particulado.

Método: análise das medições realizadas em monitoramentos visando estabelecer a relação com as reclamações pelos incômodos causados e a incidência de doenças respiratórias e outras congêneres

Técnicas para o Mercado Substituto

Técnica: Técnica de Preço da Propriedade.

Método: avaliação dos custos através de pesquisa de preços de propriedades que não estão sujeitas a esse desconforto, separando através de métodos estatísticos (análise de regressão), o valor do incômodo.

Técnica para o Mercado Hipotético

Técnica: Disposição a Pagar ou a Receber verificada através da Técnica de Avaliação Contingente - TAC.

Método: realizar pesquisas e/ou entrevistas com as populações locais para avaliar a importância do desconforto da queima "vis a vis" ao problema da dificuldade do corte manual da cana crua.

5.6 Técnicas para Avaliação das Externalidades Referentes aos Benefícios do Balanço Negativo de CO₂

Conforme exposto no cap.4, na transcrição do estudo realizado por MACEDO (1991), o balanço de energia na produção de cana e álcool na safra ano de 90/91 para as condições de São Paulo, resultou numa contribuição de $10,65 \cdot 10^6$ t Carbono para a redução da taxa do CO₂ atmosférico. Excluindo deste total o uso de combustível fóssil na agroindústria, avaliado em $1,210^6$ t Carbono no ano, chega-se a uma contribuição líquida da ordem de $9,45 \cdot 10^6$ t Carbono, que deixaram de ser emitidas, representando naquele ano cerca de 18% do carbono liberado por fontes primárias não renováveis no Brasil, um resultado bastante importante em termos ambientais globais.

As avaliações utilizaram técnicas do Mercado Real, e coeficientes técnicos para apuração do carbono evitado, e foi estimado o benefício em termos físicos. Para monetizar este benefício pode-se utilizar os custos marginais de emissão de CO₂ referidos em Woolf(1992), ou de outros estudos como os que

avaliam tais emissões no transporte público na comunidade Econômica Européia expostos por Diekman (1992), até que se façam estudos específicos levando em conta as condições no Brasil.

A simples monetização deste benefício por valores aceitos internacionalmente como representativos dos riscos ambientais globais decorrentes do efeito estufa pode ser pouco representativo do ganho em termos de sustentabilidade e qualidade ambiental da vida no planeta. Talvez a venda de licenças de poluição não represente uma alternativa tão boa como a efetiva restrição a poluição ambiental, não só em termos do presente, mas principalmente do futuro da humanidade.

5.7 Técnicas para Avaliação das Externalidades Referentes aos Efeitos Macroeconômicos

5.7.1 Custos Decorrentes da Substituição de Outras Culturas pela Cana-de-açúcar

Para o sistema social podem advir custos externos. A alteração no sistema de propriedade de terra, a concentração fundiária, as alterações no sistema de trabalho podem representar externalidades a serem suportadas pela sociedade como um todo, mas que convenientemente identificadas poderiam ser alocadas corretamente dentro da contabilidade de um produto ou empresa. Assim as diferenças de custo de transporte ou perecibilidade de produtos de alimentação que foram expulsos para longe dos mercados consumidores para ceder lugar à cultura energética da cana, poderiam ser considerados para alterações do zoneamento agrícola, ou para localização preferencial.

Um planejamento indicativo e normas sobre localização de atividades poderiam ser a resposta à identificação de fortes externalidades no exercício de atividades econômicas.

Técnicas para o Mercado Real e para o Mercado Hipotético

As técnicas de avaliação que poderiam ser aplicadas poderiam ser tanto as indiretas como a Função Dose-resposta, calculando o Custo de Oportunidade, a Taxa de Desconto menor para estimular a manutenção dos bens ambientais para uso futuro (mercado real), como o uso de técnicas diretas, com as quais se investiga os preços hedônicos, o que os cidadãos estariam dispostos a pagar -DAP para evitar um dano, ou dispostos a receber - DAR para continuar sujeito a ele. Possivelmente a escala de valores da sociedade pode trazer algumas surpresas quanto a avaliação dos bens ambientais.

Os métodos devem contemplar tanto os levantamentos da produção de bens alimentares, como outros usos alternativos para a terra agrícola, que possam dar suporte a avaliações mais globais , incluindo a distribuição da renda.

Quanto a internalização dos custos ambientais ou sociais, podem ser viabilizados através de planejamento indicativo (planos de safra, zoneamento agrícola, etc.) instrumentalizado pelo Estado ou pelos municípios, e talvez até via incentivos de isenção de impostos, ou facilidades de localização, assistência técnica agrícola, quando se percebe que daquela medida poderá advir melhor qualidade de vida para os cidadãos, ou mesmo melhor qualidade de emprego.

5.7.2 Custos Decorrentes do Corte Mecanizado da Cana-de-açúcar

Para contabilizar e atribuir os custos ou benefícios sociais, pode-se comparar os custos e benefícios de alternativas de produção e uso de energia e a quem são imputadas, contabilizando as diferenças como benefício ou custo social líquido. Através de matrizes input-output pode-se captar efeitos positivos e negativos em todos os níveis de uma atividade conforme HERZ (1994).

Técnica para o Mercado Real

Técnica: Análise Custo-benefício

Método: Matrizes "input-output"

Ao tratar das externalidades que ocorrem na produção do álcool combustível deve ser mencionada a questão do emprego e da renda rural, embora se situem no campo dos efeitos macroeconômicos.

Ao analisar o impacto que decorreu do crescimento da agroindústria canavieira, para atender à demanda de álcool combustível, sobre o emprego e a renda rural no Estado de São Paulo, cabem algumas considerações:

Na primeira fase do Proálcool, 2/3 (dois terços) da cana eram fornecidos às usinas por fornecedores que eram proprietários ou arrendatários de terras para plantação de cana. Havia então grande número de proprietários rurais, pequenos e médios, significando uma menor concentração de terras e de renda. Atualmente os fornecedores representam apenas 1/3 (um terço) da cana plantada no estado.

Há uma grande criação de empregos na cultura da cana, na época, mas parte desse emprego dá-se por substituição de outras culturas e atividades. Os novos empregos gerados são predominantemente de caráter temporário (bóia fria).

Portanto grandes alterações ocorreram a nível macroeconômico no emprego, na renda e na propriedade rural. E com o advento da mecanização da colheita, alterações importantes ocorrerão de novo na oferta de emprego rural em São Paulo.

Projeções constantes do artigo "Análise da mecanização do corte de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo", de VEIGA FILHO et alii (1994), dão conta das altas taxas de desemprego que provavelmente ocorrerão no estado e na Região de Ribeirão Preto até o ano 2000 com a mecanização do corte (Tabela 5.2 e 5.3). Mister lembrar que a mecanização da colheita está ocorrendo mesmo para a cana queimada (UHLIG, 1995).

E face ao desconforto ambiental gerado pelas queimadas, os moradores das cidades próximas apoiados pelos curadores do meio ambiente e pela opinião pública em geral, estão se convencendo das vantagens dessa opção sem se dar conta das externalidades que serão geradas, e como seus custos se distribuirão entre os vários agentes econômicos.

De pronto pode-se perceber que os trabalhadores rurais arcarão com boa parte do custo social, perdendo seus empregos portanto sua renda, como já perderam ao longo dos últimos 20 anos seus empregos permanentes tornando-se bóias frias.

Tabela 5.2 - Projeção das Estimativas de Emprego/Equivalente a Ser Substituído no Corte da Cana-de-Açúcar e Taxas de Desemprego, Estado de São Paulo, 1994-2000

Ano	Produção Estimada ¹ (1000 t)	Produção passível de ser mecanizada ² (1000 t)	Produção mecanizada estimada, supondo 15% em 1994 ³ (1000 t)	Emprego / equivalente substituível ⁴ (acumulado)	Taxa de desemprego ⁵ (%)
1994	160.481	80.241	12.036	13.373	7.5
1995	165.681	82.241	16.278	17.503	9.8
1996	171.049	85.525	20.936	21.473	12.2
1997	176.591	88.296	26.056	25.545	14.8
1998	182.313	91.157	31.668	29.735	17.4
1999	188.220	94.110	37.313	34.066	20.1
2000	194.318	97.159	44.547	38.569	22.9

Fonte: Instituto de Economia Agrícola e dados da pesquisa apud VEIGA F^o et alii (1994)

1. Estimada a partir da taxa de crescimento anual do período 1984-93, 3,27% a.a.
2. Admitindo-se 50% da produção total.
3. Estimada pela taxa de crescimento da produtividade da mão-de-obra, aplicada à produção passível de ser mecanizada.
4. Supondo rendimento de 6t/ha/dh crescendo anualmente à mesma taxa de crescimento da produtividade da mão-de-obra e 150 dias de safra.
5. Calculada geração de emprego total, supondo corte manual.

Tabela 5.3 - Projeção das Estimativas de Emprego/Equivalente a Ser Substituído no Corte da Cana-de-Açúcar e Taxas de Desemprego, Antiga DIRA de Ribeirão Preto¹, Estado de São Paulo, 1994-2000

Ano	Produção Estimada ² (1000 t)	Produção passível de ser mecanizada ³ (1000 t)	Produção mecanizada estimada, supondo 15% em 1994 ⁴ (1000 t)	Emprego / equivalente substituível ⁵ (acumulado)	Taxa de desemprego ⁶ (%)
1994	56.615	33.969	10.191	9.706	18,0
1995	58.466	35.080	13.576	12.068	23,2
1996	60.378	36.227	17.389	14.491	28,8
1997	62.352	37.411	21.661	16.989	34,7
1998	64.391	38.635	26.465	19.388	41,1
1999	66.496	39.898	31.839	21.882	47,9
2000	68.671	41.203	37.824	24.482	55,1

Fonte: Instituto de Economia Agrícola e dados da pesquisa apud VEIGA F^o et alii (1994)

1. Equivale às atuais DIRAs de Ribeirão Preto, São Carlos, Barretos e Franca.
2. Estimada a partir da taxa de crescimento anual do período 1984-93, 3,27% a.a.
3. Admitindo-se 60% da produção total.
4. Estimada pela taxa de crescimento da produtividade da mão-de-obra, supondo 50% superior à taxa aplicada para o estado, calculada sobre a produção passível de ser mecanizada.
5. Supondo rendimento de 7t/ha/dh crescendo anualmente à mesma taxa de crescimento da produtividade de trabalho e 150 dias de safra.
6. Calculada geração de emprego total, supondo somente corte manual.

6 Conclusões e Recomendações

6.1 Conclusões relativas à agroindústria alcooleira

1. As relações dos processos agrícolas e industriais com o uso sustentável do Meio Ambiente dão origem a externalidades, sejam custos ou benefícios que devem ser contabilizados nas atividades econômicas. Na produção do álcool, as externalidades presentes vêm sendo absorvidas na contabilidade empresarial, tanto sob a forma de melhor tecnologia, como sob a forma de pagamentos (multas e sanções monetárias) por danos à sociedade.

2. As políticas setoriais, os financiamentos públicos, e a sustentação governamental propiciada pelo Proálcool foram decisivas para o seu sucesso, mas também o foram para a imposição de normas e políticas que o tornaram ao longo do seu desenvolvimento, consistente com parte dos requisitos de respeito ao meio ambiente. Foi significativo nessa questão o papel da sociedade que respaldada na mídia, rejeitou sempre com vigor os efeitos visíveis e identificáveis dos abusos cometidos contra o meio ambiente, tais como a poluição dos rios, a mortandade de peixes, os prejuízos das queimadas etc.

3. A questão das queimadas, permanece como problema de difícil solução, pois ao mesmo tempo em que é recomendável a aplicação da solução técnica, que é a colheita mecanizada, mais favorável ao solo e ao meio ambiente, implica num elevado custo social, que é o desemprego de grande contingente de mão de obra não qualificada, empregada no corte que precede a colheita.

4. Os órgãos ambientais vem exercendo fiscalização eficiente sobre a atuação do setor sucroalcooleiro em São Paulo, mas é importante ressaltar que soluções viáveis economicamente foram encontradas para a internalização dos custos; assim é que benefícios não previstos foram conseguidos como resultado de pesquisa e desenvolvimento tecnológico tais como o uso na fertirrigação de toda a vinhaça produzida, substituindo convenientemente grande parte da adubação mineral; e a substituição de combustíveis fósseis não renováveis, e que ainda dependem de importação, pelo bagaço de cana, menos poluente, e até mesmo pelo biogás de vinhaça, que pode substituir parcialmente o diesel.

6.2 Conclusões e recomendações relativas à aplicação das técnicas de avaliação de custos e benefícios

1. Nos países desenvolvidos é usual a prática de avaliar os custos ambientais e internaliza-los nos cálculos, por força de normas e padrões, ou através de taxas e impostos pela quantidade e qualidade de poluente emitido. No Brasil o planejamento da oferta de energia, bem como o estabelecimento de tarifas e preços públicos deve levar em conta as externalidades que representam a real absorção de custos pela sociedade. A simples imposição de limites e medidas de mitigação de impactos que não sejam levadas em conta nos preços e nos orçamentos públicos pode levar a uma alocação ineficiente de recursos que impeça a expansão das atividades menos impactantes. Os combustíveis fósseis que apresentam maior carga poluente devem ter uma parcela de custos externos adicionada a seu custo convencional.

2. O presente trabalho procurou demonstrar que as externalidades positivas e negativas que ocorrem na produção do álcool combustível, podem ser identificadas e com algum esforço e o auxílio de técnicas variadas chegar a algum tipo de quantificação, que mesmo imperfeito pode servir de base para ações de internalização nos custos, que irão sendo aperfeiçoadas.

3. Tendo em vista que a maior parte das técnicas de avaliação de custos e benefícios necessita invariavelmente do apoio de bases de dados e informações bem constituídas para tornar possível sua aplicação; e tendo em vista a importância que a biomassa terá na produção de energia no próximo século, conforme os cenários prospectivos das Nações Unidas no IPCC-First Panel Climate Change recomenda-se o desenvolvimento de bases de dados específicas e sistematizadas, que aglutinem as informações relevantes sobre biomassa, e especialmente sobre álcool combustível, para servir de suporte aos órgãos decisores na implementação de políticas públicas; e para que a sociedade possa contar com informações confiáveis e consistentes com os requisitos de proteção ao Meio Ambiente.

4. Recomenda-se que além das bases de dados específicas sejam incentivados outros tipos de estudos apropriados à nossa realidade, tais como estudos toxicológicos e de saúde da população, e estudos meteorológicos para permitir a aplicação de modelos de dispersão de poluentes, sem os quais as metodologias de avaliação perdem muito de sua representatividade.

7. BIBLIOGRAFIA

- ABRAMOVAY, R.; CARVALHO FILHO, J.J. Reforma agrária: o sentido econômico de uma política distributiva. **Reforma Agrária**, v.23, mai/ag 1993.
- ABRAMOVAY, R.; CARVALHO FILHO, J.J. A objetividade do conhecimento nas ciências sociais: o caso dos assentamentos. **Reforma Agrária**, v.24, set/dez 1994.
- AGUIAR, M. A. **Incorporação da vinhaça ao solo: efeitos sobre as características de resistência do material obtido**. São Paulo, 1992. Dissertação (Mestrado). - Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP.
- AGUIAR, M.A. ; FREIRE, W.J. ; ALBUQUERQUE, P.J.R. Caracterização química e física de dois solos tratados com vinhaça. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, XXI. Universidade Federal de Santa Maria, 1992. **Anais**.
- ALMANÇA, R.A. **Avaliação do uso da vinhaça de cana-de açúcar na geração de energia elétrica**. São Paulo, 1994. Dissertação (mestrado). Curso de Pós Graduação em Energia. Instituto de Eletrotécnica e Energia - Universidade de São Paulo.
- BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL - BEN. Ministério de Minas e Energia. 1987 e 1995.
- BALANÇO ENERGÉTICO DO ESTADO DE SÃO PAULO . Governo do Estado de São Paulo. Secretaria de Energia. 1995.
- BORGER, F. G. **Valoração econômica do Meio Ambiente: aplicação da Técnica de Avaliação Contingente no caso da Bacia do Guarapiranga**. São Paulo. 1995. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental. Universidade de São Paulo.
- CÁCERES, O. ; TUNDISI, J.G. ; CASTELLAN, O.A.M.. **Residues of organochloric pesticides in reservoirs in São Paulo State**. Ciência e Cultura 39 (3), março, 1987

- CAMARGO, A.M.M.P. **Substituição Regional entre as principais atividades agrícolas no Estado de São Paulo**. Piracicaba, 1983. Dissertação (Mestrado). ESALQ/USP
- CAMARGO, A.M.M.P.; ANEFALOS, L.C.; CASER, D.V. ; COELHO, P.J.; OLIVETTI, M.P.A. Alteração na composição da Agropecuária no Estado de São Paulo, 1983-93. **Informações Econômicas** - IEA, v.25, n.5, p.49-81, maio 1995. /Separata/
- CAMARGO, P.N. **Herbicidas orgânicos - fundamentos químico-estruturais**. Ed. Manole Ltda, 1986.
- CARVALHO FILHO, J.J. Política fundiária: um balanço. **Informações FIEPE** (110). São Paulo. jul 1989.
- CARVALHO FILHO, J.J.; CASTELO, A.M. A ação do Estado e as possibilidades da pequena produção. **Análise Econômica**, 8 (13). São Paulo, março 1990.
- CARVALHO FILHO, J.J. Questão social e a velha questão. **Informações FIEPE** (147). São Paulo. nov/dez 1992.
- CARVALHO FILHO, J.J. A produção de alimentos eo problema da segurança alimentar. Rev. do Inst. de Estudos Avançados, v.9, n.24. S.Paulo, maio/ag 1994.
- CHABOUSSOU, F. **Plantas doentes pelo uso de agrotóxicos**. 2ª. ed. Porto Alegre. 1995.
- COELHO, S.T. **Avaliação da cogeração de eletricidade a partir de bagaço de cana em sistemas de gaseificador/turbina a gás**. São Paulo. 1992. Dissertação (Mestrado). Curso de Pós Graduação em Energia. Instituto de Eletrotécnica e Energia - Universidade de São Paulo.
- COELHO, S. T. ; FERNANDES, E. S. L.; ZYLBERSZTAJN, D. **Bases para uma política energética sustentável a longo prazo**. Proposta de estudos referenciais. Sub-grupo álcool combustível. Instituto de Eletrotécnica e Energia - I.E.E. U.S.P. 1994.

- COMUNE, A.E. Contabilização econômica do meio ambiente: uma visão geral, in **Contabilização econômica do meio ambiente: elementos metodológicos e ensaio de aplicação no Estado de S.Paulo**, São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente, 1992,p 9-27.
- COMUNE,A.E. Meio ambiente, economia e economistas: uma breve discussão in MAY,P,;MOTTA, R.S., **Valorando a natureza**, p 45-59. Rio de Janeiro.Ed.Campus. 1994.
- CETESB. **Avaliação da qualidade das águas de lavagem de cana recicladas em 2 usinas do Est. de São Paulo**. RT. 1985
- CETESB. **Contaminação por agrotóxicos em bacias hidrográficas do Estado de São Paulo** - São Paulo. R.T. vol. I e II . Setembro 1989.
- CETESB. **Diagnóstico da poluição ambiental no interior do Estado de São Paulo**. . R.T. Janeiro 1994.
- CETESB. **Poluição do solo e aquífero subterrâneo pela vinhaça infiltrada sob tanque de armazenamento**. R.T. maio 1994.
- CETESB. **Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo. 1993**.
- CETESB. **Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo. 1994**.
- CETESB. **Utilização de restilo como fertilizante em solos cultivados com cana de açúcar**. RT. 1982.
- COOPERATIVA CENTRAL DOS PRODUTORES DE DE AÇÚCAR E ÁLCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO - COPERSUCAR. **Relatório de Diretoria período 7/89 a 6/90**. Estado de São Paulo. 18/9/90, fls.6,7 e 8.
- COOPERATIVA CENTRAL DOS PRODUTORES DE DE AÇÚCAR E ÁLCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO - COPERSUCAR. Centro de **Tecnologia** . III **Seminário de Tecnologia Industrial**. Vinhoto .Set/1987. Piracicaba. São Paulo.

COOPERATIVA CENTRAL DOS PRODUTORES DE DE AÇÚCAR E ÁLCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO - COPERSUCAR. **Próalcool, fundamentos e perspectivas.** São Paulo.maio 1989.

COOPERATIVA CENTRAL DOS PRODUTORES DE DE AÇÚCAR E ÁLCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO - COPERSUCAR. **Cana, açúcar e álcool: a energia que vem do sol.** São Paulo. Revista Nova Escola, n.27,dez 88.

COOPERATIVA CENTRAL DOS PRODUTORES DE DE AÇÚCAR E ÁLCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO - COPERSUCAR. Centro de Tecnologia. **Aproveitamento da vinhaça: viabilidade tecno-econômica.** 2ª ed. São Paulo.71 p. 1979.

COSTA, S.M.G. **Efeito da adição de vinhaça na dinâmica da microflora do solo do cerrado de Corumbataí, S.P.** Rio Claro. 1983. Dissertação (Mestrado). Instituto de Biociências da UNESP.

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

DEDINI. Diretoria de Desenvolvimento. **Potencial de energia elétrica adicional e de substituição do diesel nas usinas e destilarias no E.S.Paulo.fev/87.**

ELIAS NETO, A. **Biodigestão da vinhaça com reator anaeróbio de manta de lodo.** São Carlos. EESC-USP.30 p.1988

ELY, A. **Economia do Meio Ambiente: Uma apreciação introdutória interdisciplinar da poluição, ecologia e qualidade ambiental.** . 3.ed. Porto Alegre. Fundação de Economia e Estatística. 1988.

FASSY, A.S. O Brasil na era do Próalcool. **Atualidades CNP**,ano 14,n.79. jan/fev 1982.

FERNANDES,A.C.. **Produção e produtividade da cana-de-açúcar no Brasil.** R.T. São Paulo, Centro De Tecnologia Copersucar 1996. 13 p.

FERREIRA, C. R. R. P.T. et alii. **Evolução do setor de defensivos agrícolas no Brasil,1964/1983. Boletim Interno IEA : 24-28.** 1986.

- HERZ, H. Costos sociales de la generacion de electricidad . **I Seminário Internacional de Energias Renovables - 1994**. Santa Cruz, Bolívia.
- INFORMAÇÕES ECONÔMICAS. IEA/SAA. Alteração na composição da agropecuária no Estado de São Paulo. v.25,n.5. Maio 1995.
- INSTITUTO de PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A. - IPT. **Conservação de energia na indústria do açúcar e do álcool - Manual de Recomendações**. São Paulo. 1990.
- KIRCHHOFF et alii. **Enhancements of CO and O₃ from burnings in sugar cane fields**. Journal of Atmospheric Chemistry, vol.12, 87/102. 1991.
- LA ROVERE, E.L. Energia e Meio Ambiente. In Margulis, S. editor. **Meio Ambiente. Aspectos técnicos e econômicos**. Brasília. IPEA/PNUD. 1990. p.11.
- MACEDO, I. C. **Agroindústria da Cana-de-açúcar: participação na redução da taxa de carbono atmosférico no Brasil**. Piracicaba. Centro de Tecnologia COPERSUCAR. Informativo. 1991.
- MC FETRIDGE, D. G. et alii. **Economia e Meio Ambiente: A Reconciliação**. Porto Alegre, Ed.Ortiz. 1992.
- MALAVOLTA, E.; FERRAZ, E.C. ;KIEHL, E.J. Nutrição mineral de plantas. Ed.ESALQ, 1970.
- MARGULIS, S. et alii. **Meio Ambiente - Aspectos Técnicos e Econômicos**. IPEA. 1990.
- MARQUES,J.F.; COMUNE, A.E. Quanto vale o ambiente: uma interpretação sobreo valor econômico ambiental. 23ºEncontro Nacional de Economia. Anais. p.633-652. S.Paulo.1995
- MENESES, T. J. B. de ;MEDINA, J. C. **O estado atual sobre o tratamento e aproveitamento da vinhaça e perspectivas futuras**. Campinas : Instituto de Tecnologia de Alimentos, 1978.

- MENEZES, L. C. ; GOMES, J.G.S. Proálcool - Momento para a revisão. **Folha de São Paulo, São Paulo**. 2/10/90, cad.C,fls.2.
- MOTTA, R.S. da. Análise de custo-benefício do Meio Ambiente. In Margulis, S. editor. **Meio Ambiente. Aspectos técnicos e econômicos**. Brasília. IPEA/PNUD. 1990. p.109.
- OMETTO, J. G. S. **Álcool, energia da biomassa: aspectos tecnológicos e econômicos da produção**. Escola de Engenharia de São Carlos. U.S.P.. 1993.
- OMOTO, A. S. et alii. **Controle da poluição em caldeira a bagaço de cana - Análise técnico-econômica de alternativas** .CETESB. 1987.
- ORLANDO FILHO, J ;BITTENCOURT, V.C.. ;ALVES, M.C. Aplicação de vinhaça em solo arenoso do Brasil e poluição do lençol freático com nitrogênio. **Revista STAB** v.13,n.6, julho/agosto 1995.
- PEARCE, D. W. **Economia Ambiental**. México. Fondo de Cultura Económica,. 1985.
- PEARCE, D. W ;MARKANDYA,A.; BARBIER, E.B. **Blueprint for a green economy**. London, Earthscan Publications Ltd.1991.
- PINATTI, D. **Efeito da fertirrigação com vinhaça nas propriedades químicas e microbiológicas do solo em um sistema de disposição de efluente industrial**. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos.USP.
- RAMADE, F. **Éléments d'écologie**. 5a.ed. Paris.Ediscience International. 1995.
- RODELLA, A. A. ;FERRARI, S. E. A composição da vinhaça e efeitos de sua aplicação como fertilizante na cana-de açúcar. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, 90 (1) : 6-13, 1977.
- SACHS, I. et alii. The social and ecological impact of Proálcool. **IDS Bulletin**, vol.18, n 1.Institute of Development Studies, Sussex. 1987.

- SCHECHTMAN, R. Metodologia para avaliação dos custos ambientais da geração termelétrica a carvão. COPPE,UFRJ. 1994.
- SEIJU, H. Impactos da infiltração da vinhaça de cana no Aquífero Bauru. Dissertação (Mestrado). S.Paulo.Instituto de Geociências. USP. 1989.
- SILVA, E. T. **Solo-cimento e solo-vinhaça no revestimento de canais de irrigação para transporte de vinhaça: adequação física e parâmetros hidráulicos.** Dissertação (Mestrado). Fac. de Engenharia Agrícola. UNICAMP. 1992.
- SOCIEDADE BRASILEIRA DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO-SBPE..
Perspectivas do Próalcool. **Revista Brasileira de Energia** vol. 2 n. 2. Edição Especial. 1992.
- STUPIELLO, P. ;PEXE, C. A. ;MONTEIRO, H. ; SILVA, L. H. Efeitos da aplicação da vinhaça como fertilizante na qualidade da cana-de-açúcar. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, 90 (3) : 41-50, 1977.
- TAUK, S. M. **Efeito de doses cumulativas de vinhaça em algumas propriedades do solo sob cerrado e do solo de culturas de milho e cana-de-açúcar nos municípios de Corumbataí e Rio Claro.** São .Paulo. Tese de Livre-docência do Depto de Ecologia do Inst.de Biociências de Rio Claro, UNESP,1987.
- UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - FEA-IA-USP. **Visão panorâmica: O Proálcool.**São Paulo. 1983.
- UHLIG, A. **Modelo Cascata: Um instrumento de planejamento energético aplicado ao setor sucro-alcooleiro no Estado de São Paulo.**São Paulo, 1995. Dissertação (Mestrado). Curso de Pós Graduação em Energia. Instituto de Eletrotécnica e Energia - Universidade de São Paulo.
- VEIGA FILHO, A.A. **Uso da terra no Estado de São Paulo: mudança na composição das atividades agrícolas e o caso da cana-de-açúcar.** Sec.Agricultura. São Paulo,1992.

VEIGA FILHO, A.A.; SANTOS, Z.A.P.S.; VEIGA, J.E.R. ; OTANI, M.N. ;YOSHII, R.J. Análise da mecanização do corte da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo. **Informações Econômicas**, S.P. v.24,n.10.out.1994.

VEIGA FILHO, A. A. ; GATTI, E.U.; MELLO, N.T.C. **A produção de alimentos e outros aspectos conflitantes na política agrícola atual:o caso do Proálcool - Uma visão especulativa**. 6º Encontro do Grupo II do Projeto de Intercâmbio de Pesquisa Social em agricultura. Porto Alegre. out/80.

VEIGA FILHO, G. et Alii - O Programa Nacional do Álcool e seus impactos na Agricultura Paulista, **Estudos Econômicos**, V.II, no. Especial, 1981.

ZOCKUN, M. H. G. P. **A Expansão da Soja no Brasil**. São Paulo. Faculdade de Economia e Administração. USP. 1978.

ZYLBERSZTAJN, D. ;BERNINI, E.J. Avaliação energética e as externalidades: elementos para reflexão. **Revista Brasileira de Energia**, v.3,n.1, 1993.

8 Anexo - Emissões de gases de queimadas na região canavieira - Associação das Indústrias de Açúcar e Alcool do Est. de S. Paulo - AIAA. Trabalho realizado pela Empresa ECOPONTO - 5 páginas com uma figura em cada página.

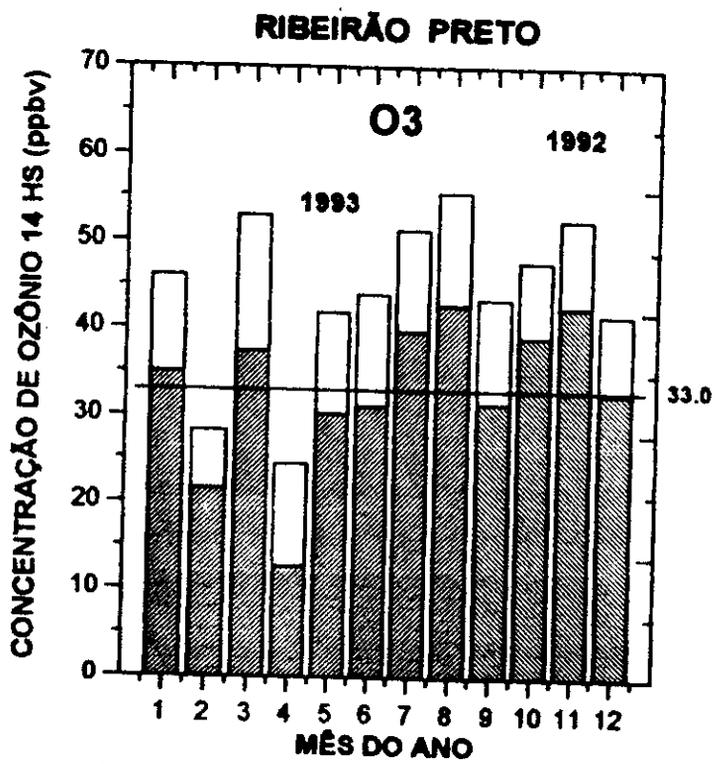


Fig.1.-Concentração de ozônio de superfície, observada às 14 horas (local), em Ribeirão Preto, mostrando a variação sazonal completa.

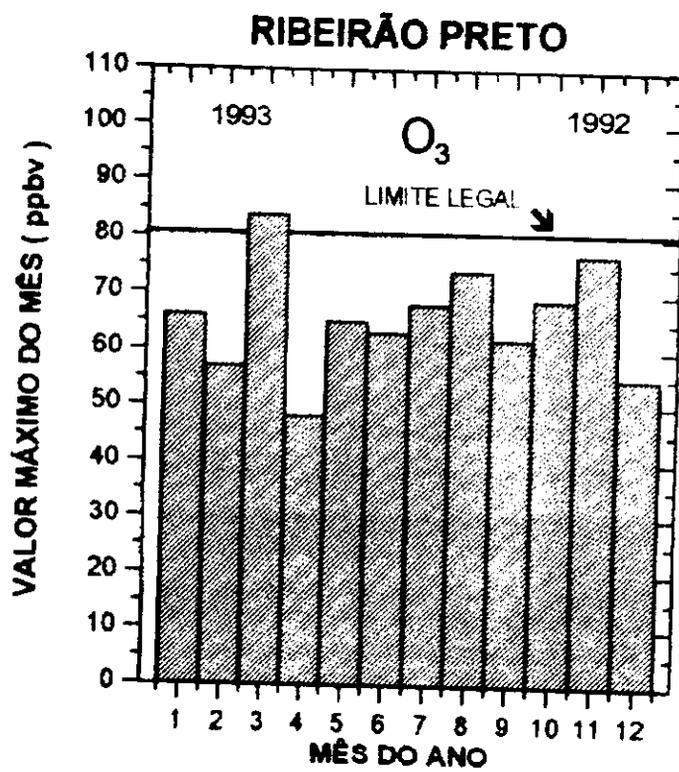


Fig.2.-Concentração máxima mensal de ozônio de superfície em Ribeirão Preto, mostrando o excesso de março de 1993.

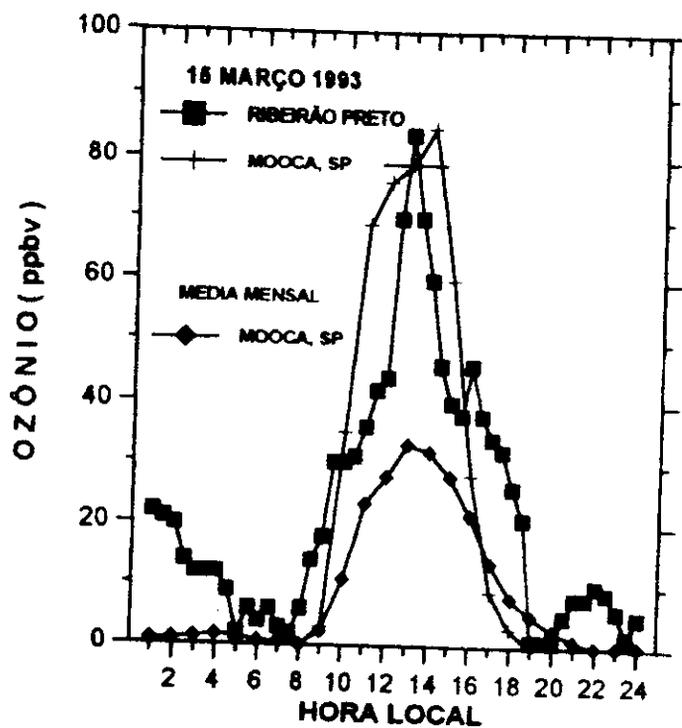


Fig.3.-Comparação do máximo de março em Ribeirão Preto com o máximo registrado na cidade de S.Paulo (Mooca). Também está mostrada a média mensal.

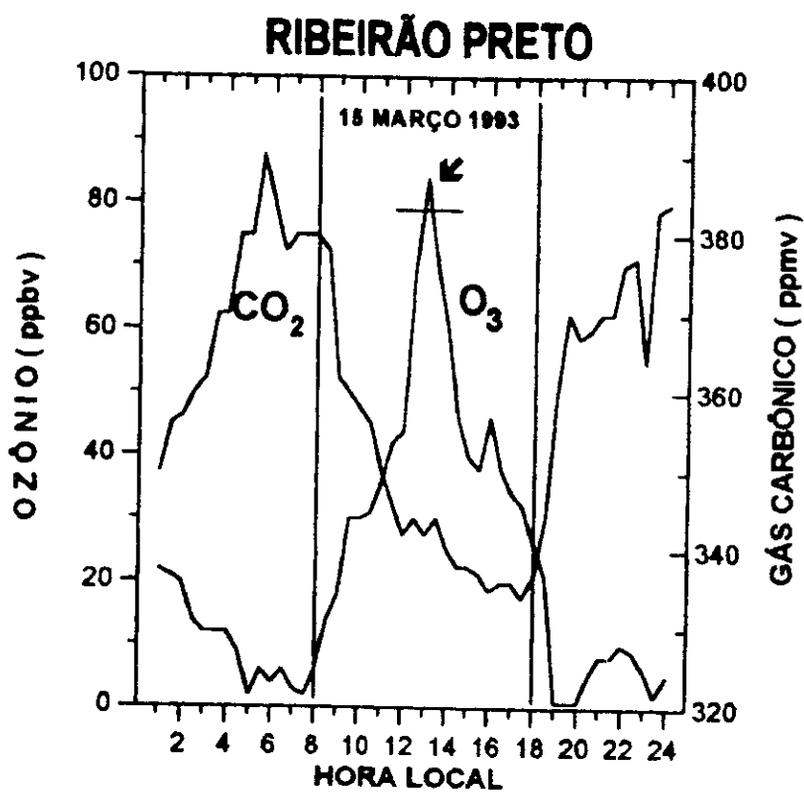


Fig.4.-A variação da concentração de ozônio e gás carbônico no dia do máximo de março de 1993.

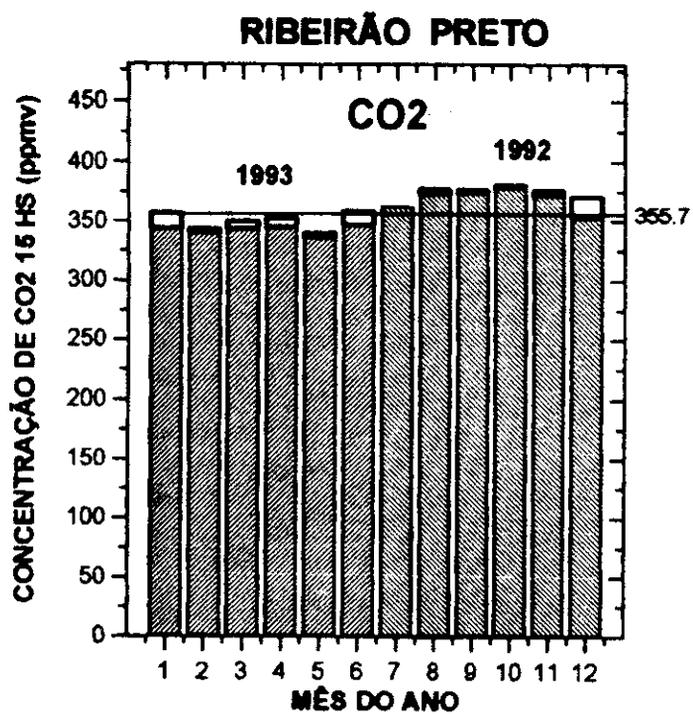


Fig.5.-A variação sazonal anual completa do gás carbônico em Ribeirão Preto.

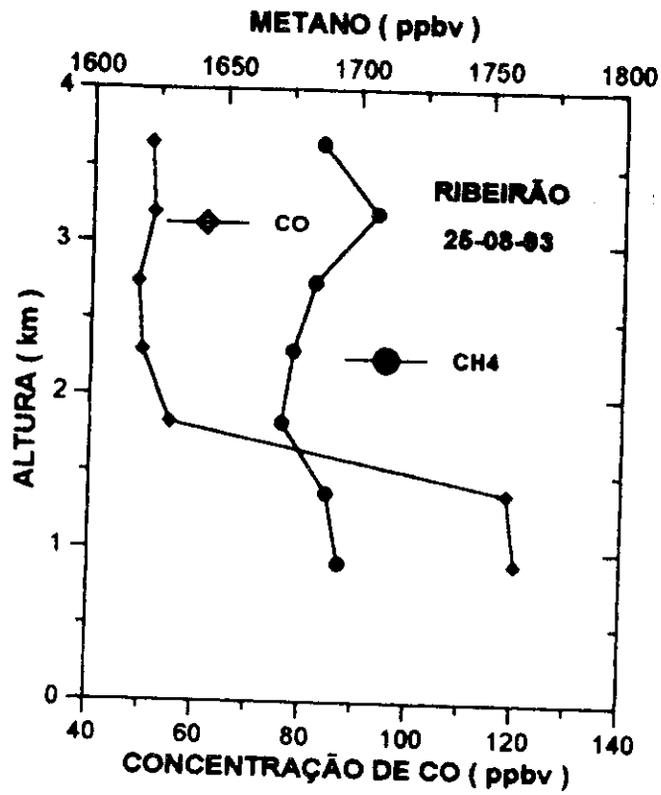


Fig.6.-Perfis verticais de monóxido de carbono, CO, e metano, CH₄, em Ribeirão Preto, no dia 25-8-93. Ambos mostram uma camada de aumento de concentração por volta de 1 km de altura.

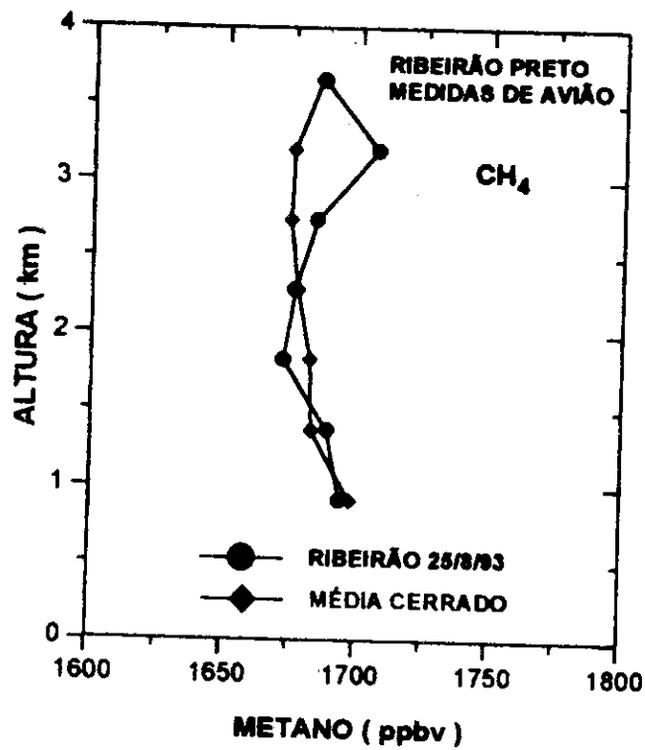


Fig.7.-Perfil de metano, CH₄, em Ribeirão Preto comparado com uma média de perfis obtidos no Cerrado.