AgEcon SEARCH
RESEARCH IN AGRICULTURAL & APPLIED ECONOMICS

The World's Largest Open Access Agricultural & Applied Economics Digital Library

This document is discoverable and free to researchers across the globe due to the work of AgEcon Search.

Help ensure our sustainability.

Give to AgEcon Search

AgEcon Search
http://ageconsearch.umn.edu
aesearch@umn.edu

*Papers downloaded from **AgEcon Search** may be used for non-commercial purposes and personal study only. No other use, including posting to another Internet site, is permitted without permission from the copyright owner (not AgEcon Search), or as allowed under the provisions of Fair Use, U.S. Copyright Act, Title 17 U.S.C.*

IMPACTOS AMBIENTAIS DA VINHAÇA: CONTROVÉRSIAS CIENTÍFICAS E LOCK-IN NA FERTIRRIGAÇÃO?

ROSANA ICASSATTI CORAZZA;

FACULDADES DE CAMPINAS

CAMPINAS - SP - BRASIL

rosanacorazza@gmail.com

APRESENTAÇÃO COM PRESENÇA DE DEBATEDOR

AGRICULTURA, MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Título:
Impactos ambientais da vinhaça: controvérsias científicas e *lock-in* na fertirrigação?

Número do grupo de pesquisa sugerido:
6. Agricultura, Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável

Apresentação em:
Sessão com presidente e debatedor

Impactos ambientais da vinhaça: controvérsias científicas e *lock-in* na fertirrigação?

Grupo de pesquisa: 6

Resumo
Até a década de 1970, as principais destinações da vinhaça, ou vinhoto (sub-produto da fabricação do etanol) eram os mananciais de superfície e "áreas de sacrifício". Com o extraordinário aumento da produção do resíduo, com a implementação do ProAlcool, e ainda com a proibição legal do lançamento da vinhaça nos cursos d´água, no final dos anos 70, esforços passaram a ser envidados no sentido de se desenvolver possibilidades tecnológicas para sua destinação. Ao longo de duas décadas, muitas possibilidades tecnológicas foram objeto de pesquisa e desenvolvimento. A despeito disso, em meados dos anos 80 a fertirrigação se colocava como a alternativa mais amplamente difundida e o problema se colocava como resolvido. Neste artigo, empreendemos um estudo de formação de trajetória tecnológica a partir de tomadas de decisão públicas e, em certa extensão, privadas, adotadas para a solução do problema da destinação da vinhaça e para o desenvolvimento de novas tecnologias. Três aspectos são particularmente analisados: a caracterização do problema da vinhaça (em suas várias dimensões: histórica, econômica, ambiental e científico-social); o ambiente seletivo relevante que atuou na determinação da trajetória vencedora; e o *lock-in* na fertirrigação.
As demais linhas de pesquisa, em particular a da digestão anaeróbia - que havia acalentado tantas esperanças quanto ao fortalecimento do paradigma - foram de forma mais ou menos importante desmobilizadas. Entretanto, as possibilidades de salinização dos solos e de contaminação de lençóis freáticos pela continuidade da prática da fertirrigação não foram afastadas e fazem crer que talvez essas desmobilizações tenham sido prematuras.

Palavras-chave
vinhaça, impactos ambientais, regulamentação, *lock-in*

Introdução: o problema da destinação da vinhaça

Até a década de 1970, as principais destinações da vinhaça, ou vinhoto (sub-produto da fabricação do etanol) eram os mananciais de superfície e "áreas de sacrifício". Com o extraordinário aumento da produção do resíduo, com a implementação do ProAlcool, e ainda com a proibição legal do lançamento da vinhaça nos cursos d´água, no final dos anos 70, esforços passaram a ser envidados no sentido de se desenvolver possibilidades tecnológicas para sua destinação.

Ao longo de duas décadas, muitas possibilidades tecnológicas foram objeto de pesquisa e desenvolvimento. A despeito disso, em meados dos anos 80 a fertirrigação se colocava como a alternativa mais amplamente difundida e o problema se colocava como resolvido.

Neste artigo, empreendemos um estudo de formação de trajetória tecnológica a partir de tomadas de decisão públicas e, em certa extensão, privadas, adotadas para a solução do problema da destinação da vinhaça e para o desenvolvimento de novas tecnologias.

Três aspectos são particularmente analisados: a caracterização do problema da vinhaça (em suas várias dimensões: histórica, econômica, ambiental e científico-social); o ambiente seletivo relevante que atuou na determinação da trajetória vencedora; e o *lock-in* na fertirrigação.

O artigo está organizado em três seções. Na primeira delas é realizada uma caracterização ampla do problema da destinação da vinhaça, levando em conta seus aspectos histórico-econômicos, físicos ou ambientais propriamente ditos e científico-sociais. A segunda seção apresenta a análise geral do processo de busca por novas soluções tecnológicas, focalizando com maior atenção duas trajetórias tecnológicas que se opõem de maneira mais fundamental: a fertirrigação e a digestão anaeróbia. A terceira seção se volta à delimitação do ambiente seletivo relevante para o estabelecimento da solução vencedora. Na discussão final, dedicamo-nos a identificar dos elementos que têm contribuído para a estabilidade da opção vigente (*lock-in*) e que constituem obstáculos para o sucesso da opção alternativa.

1. Caracterização do problema da destinação da vinhaça

Nesta seção, caracterizamos o problema ambiental da destinação da vinhaça, em aspectos histórico-econômicos, físicos ou ambientais propriamente ditos e científico-sociais.

Aspectos histórico-econômicos envolvidos no problema da destinação da vinhaça

A vinhaça - ou vinhoto - é um subproduto do processo de fabricação de etanol a partir da destilação do caldo fermentado da cana-de-açúcar.

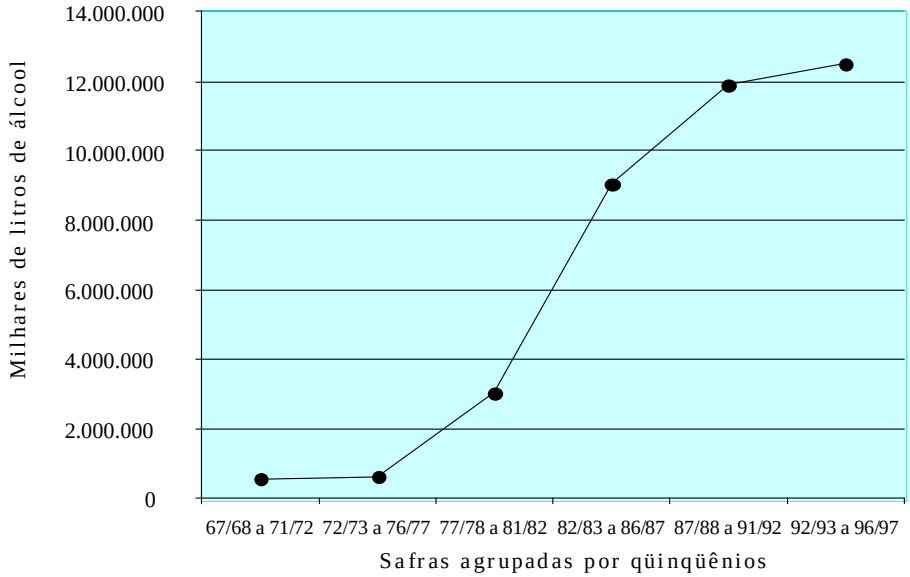
Durante décadas, mesmo quando ainda não era gerada nos volumes atuais, a vinhaça já provocava nos órgãos de controle ambiental e na comunidade científica alguma preocupação quanto a seus impactos ambientais. O trabalho de 1952 de Almeida (*apud* Szmrecsányi, 1994), já mostrava que o tema despertava a atenção de cientistas e era objeto de estudos nas décadas de 40 e 50, época em que o resíduo era despejado nos mananciais de superfície (prática que à qual se recorreu ainda por muito tempo) e em "áreas de sacrifício".

Com a implementação do Programa Nacional do Álcool (ProAlcool), contudo, os danos ambientais causados à flora e à fauna dos mananciais de superfície adquiriram uma dimensão preocupante.

O Programa Nacional do Álcool foi criado, como se sabe, com o objetivo de promover a substituição parcial da gasolina utilizada em veículos leves por álcool hidratado, como parte das ações adotadas pelo Governo Federal para reduzir o impacto da elevação dos preços do petróleo na década de 1970.

Desde meados da década de 70 até o final dos anos 80, o estímulo à produção de álcool combustível deu novo impulso à agroindústria canavieira no país. O Gráfico 1 mostra que, com a implementação do ProAlcool, a produção nacional de etanol mudou de patamar. Dos 638 milhões de litros anuais, que se produzia em média na primeira metade da década de 70, a produção aumentou significativamente atingindo, no final dos anos 90, o volume aproximado de 16 bilhões de litros anuais. Deste volume total, observa Scheleder (1998), cerca de 15 bilhões são álcool combustível.

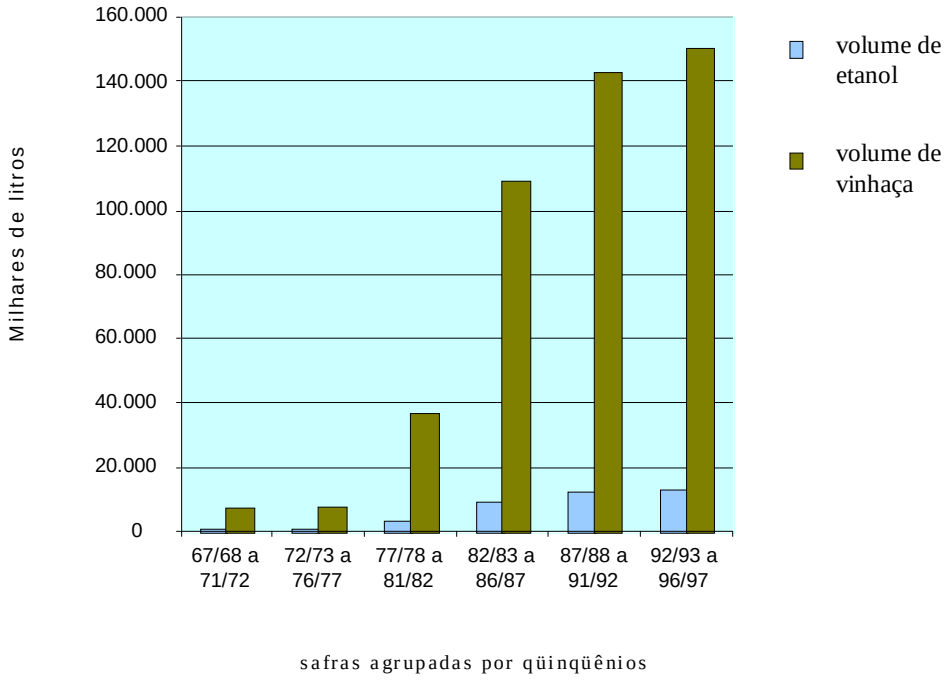
Gráfico 1 - Evolução da Produção Nacional de Álcool
- volumes anuais médios produzidos agrupados por qüinqüênios -



Fonte: Dados do Workshop "Agroindústria Canavieira e o Novo Ambiente Institucional" (1998).

A evolução da produção de álcool permitiu que a produção nacional de carros a álcool atingisse 96% em 1985. Entretanto, a crescente produção de etanol no Brasil levou, inevitavelmente, ao aumento da produção da vinhaça, agravando, portanto, o problema do destino do resíduo. Como cada litro de álcool origina cerca de 12 litros de vinhaça, o crescimento da produção deste resíduo foi vertiginoso. O volume de vinhaça gerado anualmente no país pode ser estimado, de acordo com dados apresentados por Hassuda (1989) tendo em vista a produção atual de álcool, em algo em torno de 192 bilhões de litros. Os dados sobre a evolução da geração de vinhaça são apresentados no Gráfico 2.

Gráfico 2 - Evolução da produção anual de etanol e da geração de vinhaça pela agroindústria canavieira no Brasil, de 1967 a 1997. Médias calculadas em milhares de litros para safras agrupadas em qüinqüênios.



Fonte: Construído a partir de dados apresentados no Workshop "Agroindústria Canavieira e o Novo Ambiente Institucional" (1998), em Hassuda (1989) e Gloeden *et alii* (1992).

Cabe observar que, embora aperfeiçoamentos tecnológicos tenham tido lugar na agroindústria canavieira desde a implementação do ProAlcool, a relação média entre a quantidade de vinhaça gerada por litro de álcool não apresentou melhora significativa, salvo em algumas usinas, o que as torna produtoras não apenas de álcool (e açúcar) mas também de imensas quantidades do resíduo. Provavelmente, o fato do setor sucroalcooleiro não ter direcionado esforços significativos no sentido da redução da proporção entre vinhaça e álcool deve estar relacionado, por um lado, à sua natureza heterogênea e, por outro, à ausência de uma regulamentação ambiental mais restritiva.

É interessante notar que já nos anos 80, quando se esboçaram elementos de dificuldades para o Programa Nacional do Álcool, a questão ambiental tendeu a se tornar um tema de defesa do Programa, a exemplo da questão da independência energética nacional nos primeiros anos de sua implantação. Autores como Cortez *et alii* (1998), descrevendo os impactos ambientais da produção de etanol, indicam como efeitos positivos: o balanço positivo de CO_2, a geração de energia a partir de uma fonte renovável e a possibilidade de produção de energia elétrica por meio da cogeração nas usinas.

Por razões como essas, o ProAlcool foi elogiado pela Comissão Mundial para o Meio Ambiente e Desenvolvimento, tendo sido citado no livro "Nosso Futuro Comum" como exemplo de exploração de uma fonte renovável de energia.

Se o ProAlcool encontra razões favoráveis para sua continuidade em argumentos

ambientais arrolados por muitos autores, também não são poucos os descontentes com outros impactos do Programa sobre a qualidade ambiental. Vários autores - como La Rovère (1981), Margulis (1982), Guarnieri & Januzzi (1992) e Szmrecsányi (1994) - apontaram impactos negativos do Programa sobre a qualidade ambiental, em particular no que tange à destinação da vinhaça.

Aspectos físicos ou ambientais propriamente ditos

A vinhaça consiste em um efluente líquido rico em matéria orgânica e potássio, com significativos teores de cálcio, magnésio e enxofre e outros minerais em pequena quantidade. Trata-se, de acordo com Plaza-Pinto (1999) de uma suspensão de sólidos orgânicos e minerais, com elevadas DQO (Demanda Química de Oxigênio) e DBO (Demanda Biológica de Oxigênio), de onde vem seu grande potencial poluidor.

Ao lado da poluição por substâncias orgânicas, outros aspectos físicos da vinhaça são seu baixo pH e a elevada temperatura em que é gerada, que resultam em seu caráter de poluente químico (expresso por um elevado efeito corrosivo) e na poluição de natureza física (na forma de calor).

Quanto às fontes, é necessário caracterizá-las quanto à origem e quanto ao uso da vinhaça. Quanto à origem do efluente, as fontes são passíveis de identificação, pois correspondem às plantas produtoras de álcool na agroindústria canavieira. Quanto ao uso da vinhaça, as principais fontes encontram-se na lavoura canavieira, correspondente a múltiplas propriedades de plantadores de cana. Não existe levantamento sobre a quantidade de vinhaça empregada nessas propriedades anualmente, o que torna difícil a identificação precisa dessas fontes. No Estado de São Paulo, por exemplo, o eixo Campinas - Ribeirão Preto concentra grande parte dessas propriedades.

Os elementos do ecossistema possivelmente afetados são os mananciais de superfície; o solo e as águas dos lençóis subterrâneos.

Até o final dos anos 70, volumes crescentes de vinhaça eram lançados nos mananciais superficiais. A proliferação de microorganismos decorrente esgota o oxigênio dissolvido na água, destruindo a flora e a fauna aquáticas e dificultam o abastecimento de água potável. Além do mau cheiro, Almeida (*apud* Szmrecsányi, 1994) alerta para o agravamento de endemias como a malária, a amebíase e a esquistossomose.

Os lançamentos de vinhaça nos mananciais de superfície eram de caráter sazonal, seguindo o ciclo da produção do álcool, o que explica o caráter agudo do problema, afetando as funções de auto-regulação e de auto-reprodução dos ecossistemas. Passado o choque, com a diluição dos poluentes, as populações de peixes parecem se recompor.

Uma outra alternativa para a destinação da vinhaça constitui-se nas chamadas "áreas de sacrifício", áreas de superfície que recebem ou são "embebidas" com a vinhaça não tratada. Como indica sua própria designação as "áreas de sacrifício" tornam-se completamente inutilizáveis para quaisquer outras finalidades.

Posteriormente, principalmente a partir dos anos 80, com a difusão da prática da fertirrigação - que conheceremos em maior detalhe mais adiante - e com o uso ainda continuado de "áreas de sacrifício", o solo é o elemento dos ecossistemas que passa a ser mais afetado pela disposição da vinhaça.

Finalmente, discute-se, como veremos a seguir, a possibilidade de contaminação dos mananciais subterrâneos. Dada a natureza controversa desta discussão, ela será apresentada a seguir.

Aspectos científico-sociais envolvidos

Enquanto os efeitos da descarga da vinhaça sobre os mananciais de superfície são bastante conhecidos a ponto de não mais suscitarem disputas, o mesmo parece não ocorrer com os impactos ambientais de sua disposição no solo nem com a possibilidade de contaminação de lençóis freáticos.

Há um grande número de trabalhos científicos dedicados ao estudo dos efeitos da vinhaça como fertilizante, enquanto poucas iniciativas de investigação se voltam aos efeitos do resíduo sobre a qualidade das águas subterrâneas.

Já observamos que, de acordo com os estudos de 1984 de Glória (*apud* Plaza-Pinto, 1999), a não observação das dosagens ideais de aplicação de vinhaça (que variam segundo o tipo de solo e segundo as variedades de cana), leva a riscos de salinização e à degradação da própria qualidade da cana produzida. Apesar disso e do fato da grande difusão da fertirrigação, a Copersucar divulgou em 1986, de acordo com Plaza-Pinto (1999), a informação de que cerca de 40% da vinhaça produzida no Estado de São Paulo ainda não é aproveitada, sendo descartada em áreas de sacrifício, prática que tem sido autorizada com restrições pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Básico e Ambiental (Cetesb), que exige o uso de mantas impermeáveis (de PVC) para cobrir o solo dessas áreas, justamente para a proteção das águas subterrâneas e de superfície. Sabendo-se que a atividade sucroalcooleira é um dos fatores de vulnerabilidade dos aqüíferos subterrâneos paulistas (Hirata *et alii*, 1991), este elevado percentual pode ser considerado crítico. Hirata *et alii* (1991) demonstram que a região que concentra grande parte da produção de açúcar e álcool no Estado de São Paulo (o eixo Campinas - Ribeirão Preto) localiza-se exatamente sobre a chamada região de recarga do Aqüífero Guarani, um dos mais importantes da América do Sul. Nesta região, os lençóis subterrâneos são relativamente próximos da superfície, o que os torna vulneráveis a infiltrações de substâncias poluentes, especialmente os sais (potássio, nitratos, etc.). Por essa razão, Hassuda (1989), Cruz (1991), Righetto *et alii* (1991) e Gloeden *et alii* (1992) desenvolveram metodologia para monitoração do risco da contaminação do lençol freático por infiltrações de vinhaça e realizaram estudos sobre as possibilidades de contaminação das águas subterrâneas pertencentes ao chamado aqüífero Botucatu (da região de recarga do aqüífero Guarani). Embora não tenham constatado contaminação naquele momento, os resultados desses estudos indicam lixiviação de nutrientes da vinhaça em direção ao lençol freático, principalmente de nitratos. Por esta razão, os autores reafirmam o perigo de degradação futura desses aqüíferos e são unânimes ao ressaltar a necessidade de mais investigações sobre os riscos da infiltração da vinhaça no solo / fertirrigação para a qualidade das águas subterrâneas e para a saúde humana.

É conveniente ressaltar a existência do argumento segundo o qual a própria lavoura da cana-de-açúcar seria responsável por absorver muito rapidamente a maior parte dos sais (em especial o potássio), evitando, por conseguinte, tanto o risco de salinização quanto o de contaminação dos lençóis freáticos. A total ausência de controle sobre a fertirrigação, entretanto, não possibilita confirmar a procedência deste argumento.

Desse modo, há controvérsias sobre salinização do solo e contaminação de aqüíferos subterrâneos. As possíveis cadeias causais entre o uso da vinhaça no solo, bem como a dimensão, o alcance e o *timing* do aparecimento dos efeitos nocivos ainda não estão esclarecidos.

Ao que parece, a freqüência e a intensidade do lançamento de vinhaça no solo pode

influenciar a possibilidade de que sais (potássio, nitratos, etc.) se acumulem, produzindo, eventualmente, os dois efeitos: a salinização e a contaminação dos lençóis freáticos. Este argumento carece, entretanto, de maior investigação e discussão científica que, ao que parece, ficou fadada - pelo menos até o momento - ao esquecimento.

2. Alternativas tecnológicas para a destinação da vinhaça: soluções pesquisadas nos anos 1970 e 1980

Como salienta Margulis (1982), o ProAlcool não foi precedido por um estágio de pesquisas com programas específicos e coordenados objetivando a otimização dos processos produtivos ou a minimização/aproveitamento dos resíduos. Foi depois de já estabelecidas as ambiciosas metas de aumento da produção de álcool (e de vinhaça), que diversos centros de pesquisa se voltaram ao estudo do problema. Assim, foi apenas quando a imensa quantidade de vinhaça (que passou a ser gerada com a expansão da produção de etanol após o ProAlcool) evidenciou as dimensões do problema de sua destinação, que foram mobilizados esforços no sentido de se desenvolver possibilidades tecnológicas para sua solução. Essas possibilidades incluíam: a aerobiose, a reciclagem do efluente na fermentação, a fertirrigação, a combustão, a produção de levedura, o uso na construção civil, na fabricação de ração animal e a digestão anaeróbia.

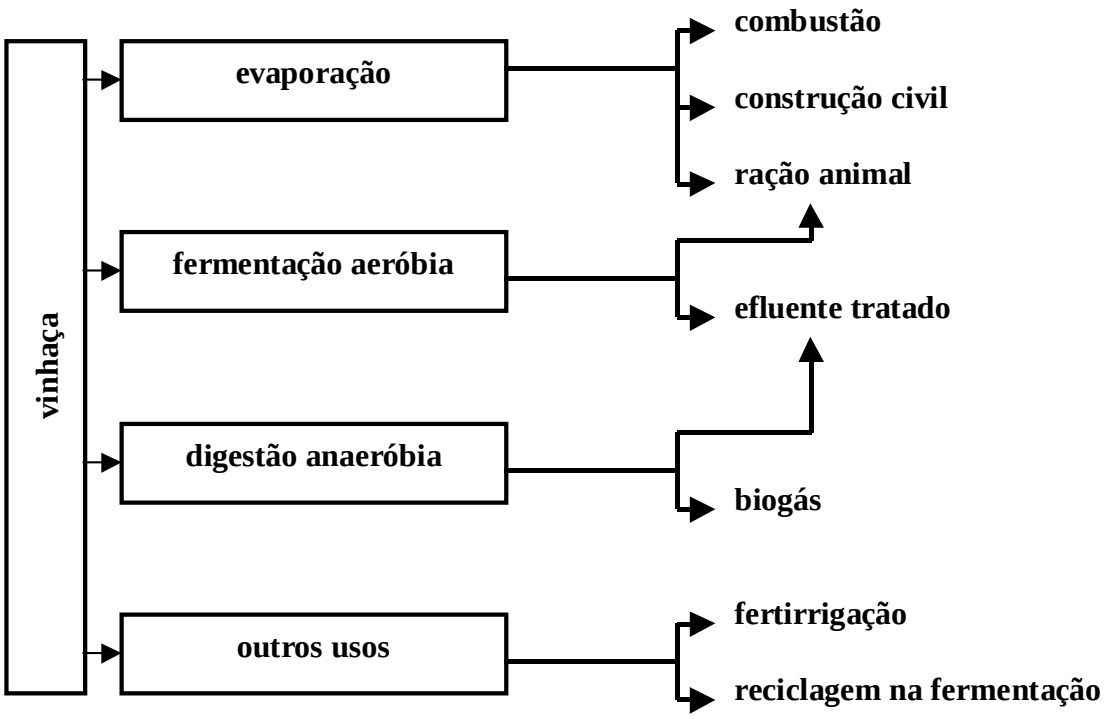
A aerobiose, a reciclagem na fermentação e a fertirrigação constituem soluções mais simples do ponto de vista tecnológico, já contavam com certo conhecimento por parte da agroindústria sucroalcooleira e encontravam, portanto, alguma difusão. É provável que a baixa sofisticação tecnológica desses processos tenha tornado possível sua utilização em escala "industrial" logo após os primeiros anos da implementação do ProAlcool.

A combustão, a produção de levedura, o uso na construção civil e na fabricação de ração animal, bem como a digestão anaeróbia, encontravam-se em desenvolvimento, cada uma delas em graus diferenciados de amadurecimento e de intensidade de pesquisa. É possível que sofisticação tecnológica dessas soluções tenha representado um obstáculo a sua difusão dentro de um setor tradicionalmente pouco intensivo em tecnologia.

Cada uma dessas alternativas, suas principais vantagens e as áreas-problemas com as quais se defrontavam os esforços de desenvolvimento tecnológico são apresentadas brevemente no próximo item. Mais adiante, no item que apresenta a mudança tecnológica, são descritas e analisadas as duas alternativas que ganharam mais força: a fertirrigação, em termos da difusão de sua adoção; e a digestão anaeróbia, pelo fato de ter mobilizado de competências e instituições e constituir uma "aposta" na emergência da biotecnologia como paradigma tecnológico.

O estudo das tecnologias que mencionamos permite que as classifiquemos em quatro grupos (ver figura abaixo), segundo o tipo de tratamento necessário: 1) tecnologias que requerem a concentração do resíduo por evaporação; 2) fermentação aeróbia; 3) digestão anaeróbia; e 4) outros usos para vinhaça não tratada.

Figura 1 - Grupos de opções tecnológicas para destinação da vinhaça



Fonte: Corazza (2001).

A criação de novas competências e a mobilização de diferentes instituições por trás dessas vias ou trajetórias tecnológicas nos permite falar, para empregar a expressão de Dosi (1982), de um período de busca extraordinária, ou de uma fase pré-paradigmática.[1]

3. Delimitação do ambiente seletivo relevante

Caracterizaremos aqui o ambiente seletivo que atuou na seleção da fertirrigação como trajetória tecnológica "vencedora" para a solução do problema da destinação da vinhaça.

No setor sucroalcooleiro, nem sempre a produção agrícola e a etapa industrial correspondem a uma mesma unidade de empreendimento. Assim, no que diz respeito à estrutura de mercado, é interessante fazer a distinção entre dois tipos de estrutura relevantes: o primeiro tipo é vinculado às unidades de origem do resíduo, enquanto que o segundo está relacionado às unidades de aplicação da vinhaça. O primeiro tipo de estrutura de mercado envolve as destilarias (que podem ser autônomas, quando produzem apenas álcool, ou anexas, quando produzem açúcar e álcool). O segundo tipo envolve os plantadores de cana e, portanto, de usuários da fertirrigação. Levando-se em conta esta distinção, é possível dizer que o setor apresenta-se mais concentrado no primeiro e mais pulverizado no segundo.

No que tange às destilarias, cabe ressaltar a dualidade tecnológica entre destilarias anexas e autônomas. Processos distintos de fabricação fazem com que a vinhaça produzida pelas destilarias autônomas tenham maior concentração de carga poluente do que aquela produzida nas destilarias anexas: vale dizer, a produção do etanol diretamente a partir da fermentação alcoólica (nas usinas autônomas) gera mais vinhaça do que a produção

[1] Para detalhamento, cf. Corazza (2001).

indireta, a partir da fermentação do melaço diluído (nas usinas anexas). Com o ProAlcool, a partir de 1975 a maior parte das usinas foi concebida como "autônomas", pois não visavam à produção do açúcar, e sim do etanol. Por conseguinte, a maior parte das usinas de álcool em operação no país é autônoma - ou seja, do tipo que é maior a relação vinhaça/etanol. O que é relevante ressaltar, entretanto é que, para o setor como um todo, crises sucessivas tiveram lugar ao longo da última década (com a redução dos preços do álcool, a redução brutal da produção de carros a álcool, a falta de uma política para o setor), levando ao arrefecimento da capacidade de investimento do setor. Consideramos este um fator que favoreceu a adoção de alternativas tecnológicas menos ousadas para a destinação da vinhaça.

Os elementos da situação macroeconômica que influenciam este ambiente seletivo podem ser identificados aos baixos preços do petróleo que vigoraram nos últimos anos. Os baixos preços do petróleo a segunda metade dos anos 80 reduziram a competitividade não apenas do álcool mas também tornaram difícil a expectativa de valorização econômica do biogás produzido a partir da vinhaça.

A recuperação dos preços do petróleo atualmente é ainda muito recente e não há sinais suficientemente estáveis no mercado no momento que possam apontar para a valorização do biogás. Esta valorização, como já mencionamos, é de grande relevância para a viabilidade econômica da digestão anaeróbia. Neste artigo, o conjunto de categorias de análise do problema da destinação da vinhaça deve contribuir para alertar o leitor de que a conformação de uma trajetória tecnológica não, de forma alguma, uni-determinada. Os preços do petróleo, neste sentido, representam apenas um dos elementos (de natureza macroeconômica) que contribuem para este fenômeno multideterminado. Podemos compreender sua influência a partir do raciocínio econômico convencional sobre custo de oportunidade: preços persistentemente baixos do petróleo (e, no caso, principalmente do *diesel* - também explicados pela existência de subsídios ao combustível no país - que é um elemento de natureza "político-jurídico-institucional") tornam elevados os custos de oportunidade de investimentos em tecnologias energéticas alternativas (como o biogás).

Elementos de natureza político-jurídico-institucional que caracterizam o ambiente seletivo relevante para a escolha da alternativa da fertirrigação incluem a regulamentação sobre a destinação da vinhaça e a fraca institucionalização da pesquisa biotecnológica.

Do ponto de vista da regulamentação sobre a destinação da vinhaça, como é possível constatar no Quadro 5.1, a partir da safra de 78/79 foi interditado o despejo do resíduo nos mananciais superficiais, incorrendo em multa a usina ou destilaria que violasse a proibição.

A relevância desses dispositivos legais parece evidente. Margulis (1982) considera que a fertirrigação passou a constituir prática efetivamente difundida no setor sucroalcooleiro justamente a partir da safra de 1979/80, portanto, logo após a proibição do lançamento da vinhaça nos cursos d'água.

Hassuda (1989) ressalta que o Estado de São Paulo conta com legislação sobre a contaminação de aqüíferos subterrâneos desde 1988 e que, até então, não havia na esfera federal nenhuma legislação a esse respeito. De fato, somente em 1999 foram concebidas medidas de proteção dos aqüíferos subterrâneos (MMA, 1999).

Quadro 1 - Evolução da regulamentação sobre a disposição da vinhaça

Legislação	Descrição
Portaria MINTER n° 323 de 29/11/1978	Proíbe o lançamento (direto ou indireto) da vinhaça nos mananciais superficiais. Obriga as destilarias a apresentar projetos para implantação de

	sistemas de tratamento e/ou utilização da vinhaça.
Portaria MINTER nº 158 de novembro de 1980	Estende a Portaria anterior às demais águas residuárias e efluentes líquidos das destilarias, criando prazos e procedimentos legais para elaboração e implementação projetos de sistemas de tratamento e/ou utilização da vinhaça. Vincula obtenção de financiamentos ou incentivos governamentais à existência e aprovação desses projetos.
Resolução CONAMA n° 0002 de 05/06/1984	Determinação da realização de estudos e apresentação de projeto de resolução contendo normas para controle da poluição causada pelos efluentes das destilarias de álcool e pelas águas de lavagem da cana.
Resolução CONAMA n° 0001 de 23/01/1986	Obrigatoriedade da Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) e do Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) para novas indústrias instaladas ou qualquer ampliação efetuadas nas já existentes.
Lei n° 6.134 de 02/06/1988, art. 5°, do Estado de São Paulo.	"Os resíduos líquidos, sólidos ou gasosos, provenientes de atividades agropecuárias, industriais, comerciais ou de qualquer outra natureza, só poderão ser conduzidos ou lançados de forma a não poluírem as águas subterrâneas".

Fontes: Hassuda (1989) e MMA (1999).

Existe um projeto de lei federal para regulamentação do uso e gestão das águas subterrâneas (nº 7.127/86), em tramitação no Congresso há quase 15 anos, sendo sua promulgação necessária, para a regulamentação da Lei 9.433 - que engloba os recursos hídricos de um modo geral – no sentido de definir aspectos práticos da gestão das águas subterrâneas. Um dos compromissos assumidos pelo Brasil na Agenda 21, é adotar uma política integrada para os recursos hídricos (tanto superficiais como subterrâneos), a exemplo de outros países.

No que diz respeito à biotecnologia, a iniciativa de maior significado para a institucionalização da pesquisa nessa área corresponde ao Programa Nacional de Biotecnologia (PRONAB), da Secretaria de Planejamento/Conselho Nacional de Pesquisa (SEPLAN/CNPq), de 1982.

Salles-Filho *et alii* (1985) comentam sobre o PRONAB:

> "apesar da iniciativa política lançada, pouco do pretendido foi efetuado, visto as determinantes desfavoráveis de natureza político-econômica que arrefecem os recursos destinados ao desenvolvimento de Ciência e Tecnologia no país".

O PRONAB previa, por meio de sua extensão no Estado de São Paulo - o Programa Estadual de Biotecnologia - a execução de uma série de ações no âmbito do desenvolvimento da digestão anaeróbia (Sub-programa de Digestão Anaeróbia). O Sub-programa de Digestão Anaeróbia tinha na realização de estudos básicos e tecnológicos sobre digestão anaeróbia de efluentes de usinas de açúcar e álcool - além de lixo urbano e esgoto doméstico - entre suas prioridades de curto prazo. Previa, para tanto, projetos integrados visando o conhecimento da microbiologia e da bioquímica do processo, a otimização dos biodigestores mais eficientes sob o ponto de vista técnico-econômico, o estudo da granulação em digestores de fluxo ascendente, a avaliação de materiais de construção, o estudo da aplicação do biogás e do biofertilizante, a proposta de implantação e difusão da tecnologia desenvolvida (SICCT, 1985). Este sub-programa não foi efetivamente implementado.

Como já mencionamos anteriormente, a existência de subsídios ao óleo *diesel* também constitui um elemento político-jurídico-institucional a ser considerado, pois contribui para elevar os custos de oportunidade de investimentos em alternativas

energéticas.

Com relação aos elementos do ambiente natural, é possível dizer que, assim como a existência de cursos d'água nas proximidades das usinas e destilarias favoreceu por muito tempo a prática do lançamento da vinhaça nesses mananciais, a disponibilidade de terra em abundância também favoreceu a perspectiva de que esta fosse a destinação "natural" da vinhaça.

Como elementos de caráter social envolvidos no problema da disposição da vinhaça, Plaza-Pinto (1999) refere-se a episódios de disputas envolvendo usineiros e a população, por motivos de despejos pelos primeiros das "caldas de destilaria" nos cursos d'água, com graves problemas de poluição local. Em seu trabalho de 1984, Rezende (*apud* Plaza-Pinto, 1999) cita de dez casos importantes de contaminação com vinhaça publicados na imprensa nacional entre 1943 e 1984. Todos os episódios relatam catástrofes locais, como grande mortandade de peixes, desabastecimento de água potável, proliferação excessiva de insetos, problemas de saúde pública e desorganização de economias locais dependentes do pescado. Um dos casos, ocorrido em 1984, entre as barragens de Sobradinho e Moxotó no Rio São Francisco, foi provocado pelo rompimento de uma barragem de contenção de vinhaça e o conseqüente derramamento de 45 mil m^3 de vinhaça no Riacho Tourão, afluente do São Francisco, pela empresa Agrovale. O resultado ficou conhecido como maior desastre ecológico no Rio São Francisco, provocando a morte de 300 toneladas de peixe. Embora a Agrovale tenha tentado dissimular as evidências da contaminação, revolvendo a terra contaminada às margens do rio com tratores, não conseguiu dissuadir a opinião pública e das autoridades sobre sua responsabilidade. Segundo o relato do autor, a revolta da população ribeirinha, cuja sobrevivência dependia da pesca, deu notoriedade ao episódio. A opção pela fertirrigação, que reduz o risco de contaminação dos mananciais no curto prazo, certamente foi favorecida por episódios como este, envolvendo acidentes provocados por rompimento de tanques de vinhaça levando ao derramamento do resíduo em mananciais de superfície.

Discussão final: contribuição para ruptura ou estabilidade de trajetórias tecnológicas

É possível que a razão última que explica porque a fertirrigação veio a constituir a solução "vencedora" para o problema da destinação da vinhaça seja uma simples análise custo-benefício. Margulis (1982), ao estudar a viabilidade econômica das alternativas existentes à época, mostrava-se entusiasta da fertirrigação; porém, não descartava a possibilidade que, com o tempo, a digestão anaeróbia - ainda imatura do ponto de vista técnico - viesse a se constituir uma opção economicamente viável.

Passados quase vinte anos da avaliação deste autor, a fertirrigação continua sendo a solução mais difundida no país, tendo se consolidado, na prática, como "a solução" para o problema da destinação da vinhaça.

Van Lente (1997) observa que a biotecnologia ganhara ampla atenção pela promessa de contribuir para a redução da poluição e produção de energia, abrindo novas perspectivas para contribuir com o desenvolvimento sustentável e com o processo de internalização pró-ativa da dimensão ambiental pela indústria (*greening of industry*). A digestão anaeróbia constituiu-se, durante os anos 70 e 80, a possibilidade de concretização dessa promessa no Brasil.

É claro que as promessas da biotecnologia não eram restritas ao Brasil, nem a um setor industrial específico. A ampla crença no surgimento de um novo paradigma, capaz de

substituir as "antigas" vias químicas de produção de fármacos, de agroquímicos e de uma ampla gama novos produtos, afetando transversalmente grandes setores industriais foram apoiadas, como indica Van Lente (1997) por evidências inegáveis: expressivos desenvolvimentos científicos, redução do *gap* entre ciência básica e aplicada, estímulos para desenvolvimento de equipamentos, impactos inter-setoriais. Essas seriam evidências de um prognóstico *excessivamente otimista* com respeito ao desenvolvimento da biotecnologia e de suas aplicações, como no caso da digestão anaeróbia?

Seja como for, a distância entre as promessas da biotecnologia e suas reais concretizações é diretamente proporcional ao desapontamento geral depois da euforia experimentada no início dos anos 80.

No nosso caso particular em estudo, enumeramos uma série de elementos que contribuem para que não nos restrinjamos a uma explicação "custo-benefício" demasiado simplista para a compreensão da retenção da fertirrigação como solução para o problema da vinhaça. Nos parágrafos abaixo, apontamos elementos que contribuem para a continuidade da trajetória tecnológica da fertirrigação e para a exclusão da alternativa da digestão anaeróbia e aditamos algumas observações a respeito da possibilidade de ruptura da trajetória retida.

Inicialmente, seria lógico supor que uma análise custo-benefício, mesmo que não formalizada por parte dos usuários, tenha sido amplamente favorável à fertirrigação, ao lado de sua alta eficiência-custo. O trabalho de Margulis (1982) é esclarecedor a respeito desses pontos.

Por outro lado, a agroindústria canavieira, de tecnologia tradicionalmente simples, não se caracteriza por uma expressiva dinâmica tecnológica: recordemos, por exemplo, a proporção de geração vinhaça/etanol praticamente não se modificou desde 1975, a despeito dos investimentos proporcionados pelo ProAlcool. Provavelmente o setor pode ser melhor qualificado por uma certa rigidez organizacional e uma resistência à inovação.

Por outro lado, a urgência de se dar uma destinação (alternativa aos mananciais de superfície) aos imensos volumes de vinhaça em prazos extremamente exíguos - colocada pelas Portaria do Ministério do Interior de 978 e 1979 - parece ter beneficiado a fertirrigação, podendo-se dizer que esta era a alternativa mais "aderente" ao ambiente seletivo à época.

Os desenvolvimentos experimentados pela fertirrigação ao longo dos anos 70 e 80 proporcionaram a esta trajetória tecnológica o aproveitamento de economias de escala e de escopo. Assim é que, em termos de escala, o desenvolvimento dos sistemas de aplicação ampliaram as dimensões da área cultivada que poderiam receber o resíduo de maneira economicamente eficiente. Em termos de escopo, o estudo das taxas de aplicação tornaram possível a substituição do insumo químico - fertilizante - pelo próprio resíduo.

Também julgamos ser possível falar em um certo grau de interdependência tecnológica (entre a fertirrigação propriamente dita e as tecnologias de aplicação e de infra-estrutura) à medida em que a fertirrigação começou a ser difundida, após a interdição do lançamento do resíduo nos mananciais de superfície, ou seja: a partir da safra 1979/80. Essa possibilidade é reforçada pela necessidade de estreitamento das relações entre usuários (produtores da cana-de-açúcar) e fornecedores de equipamento para fertirrigação. Este estreitamento tende a favorecer a qualificação dos usuários no uso daqueles equipamentos e a constituição de uma certa infra-estrutura (canais ou dutos, investimentos em caminhões, tanques e bombas etc.), de modo a fortalecer o avanço da trajetória.

A realização desses investimentos, por outro lado, acarreta o surgimento de alguns custos irrecuperáveis (*sunk costs*). Embora seja difícil precisar a dimensão desses custos, é possível dizer que sua importância tende a ser tanto maior quando se considera a crise pela qual passa o setor, num momento caracterizado pela estabilidade do ambiente seletivo (inexistência de pressões pela mudança tecnológica neste domínio).

A difusão da fertirrigação deve ter provocado ainda o surgimento de algumas externalidades positivas de rede: ou seja, a adoção da aplicação da vinhaça *in natura* no solo por pelos primeiros produtores deve ter funcionado como um "efeito demonstração", influenciando a disposição de outros produtores em adotá-la também.

Poder-se-ia ainda falar em uma falta de informação sobre possibilidades alternativas ou sobre um desconhecimento sobre como usar essa informação.

De qualquer modo, o estágio ainda incipiente de desenvolvimento da digestão anaeróbia requeria dos possíveis adotadores uma grau de aversão ao risco extremamente baixo e uma crença muito grande no futuro do "paradigma" da biotecnologia, quesitos que aparentemente apenas eram encontrados em Usinas como a PAISA, a São Martinho e a Boa Vista.

Como vimos no caso do desenvolvimento da digestão anaeróbia, não é verdade que oportunidades tecnológicas já estavam abertas por novos conhecimentos científicos. Foi necessário que os pesquisadores se empenhassem em responder a questões mais propriamente científicas, ao mesmo tempo em que procuravam as soluções técnicas para os *trade-offs* enfrentados.

As expectativas sobre a mudança da tecnologia, ou seja, sobre as possibilidades de concretização das promessas da biotecnologia, eram, entretanto, suficientemente fortes para justificar esses esforços ou para das respaldo às apostas.

Seria possível pensar, ainda, na possibilidade de "coexistência" entre a digestão anaeróbia da vinhaça e a fertirrigação. Talvez ambas pudessem, em alguma medida, ser consideradas mais complementares do que propriamente concorrentes.

A adoção por um pequeno número de usinas pode ser considerada como indicativo da possibilidade de criação de certos "nichos de mercado", nos quais a penetração da inovação encontraria menor resistência. O uso do biogás para secar a levedura pode ser compreendido como uma tentativa de explorar um tal nicho de mercado.

Os esforços de desenvolvimento da digestão anaeróbia contaram, neste sentido, com a disposição de usinas estabelecidas (PAISA, São Martinho e Boa Vista) em se engajar na inovação como estratégia pró-ativa de internalização do tratamento da vinhaça com produção de biogás. Mas também observamos a entrada de pelo menos uma nova firma, a Biometano, como fornecedora de capacitação tecnológica.

Não foram essas, certamente, condições suficientes para a ruptura do padrão de solução tecnológica que já vinha se difundindo (a fertirrigação).

Os principais gargalos tecnológicos (*bottleneck*) que se colocaram à fertirrigação estavam sendo superados de maneira razoavelmente eficiente. Nenhuma nova área-problema significativa se antepôs a seu avanço, de modo que, tendo superado algumas dificuldades técnicas, a fertirrigação não apenas não se defrontou com limites econômicos, como forneceu uma resposta simples, barata e considerada até mesmo rentável para a destinação das imensas quantidades de resíduo poluente.

As mudanças que se operaram no ambiente seletivo mostraram-se, por um lado,

aderentes à trajetória da fertirrigação (por meio da exiguidade dos prazos para entrada em conformidade com a regulamentação ambiental) e, por outro lado, desfavoráveis com relação ao prosseguimento da trajetória da digestão anaeróbia (devido à fraca institucionalização da pesquisa biotecnológica no país).

Para muitos, o problema da destinação da vinhaça é considerado, atualmente, resolvido. Não é necessário aqui recuperar todas as vantagens atribuídas à fertirrigação.

É inegável que a fertirrigação constituiu uma resposta extremamente eficaz quando comparada ao expediente de lançamento da vinhaça nos cursos d'água. Os efeitos dessa prática eram suficientemente evidentes para não suscitarem disputas científicas ou outras e para justificar a exiguidade de prazo para a adoção da prática alternativa.

Entretanto, essa certeza com relação a impactos ambientais do lançamento da vinhaça em mananciais de superfície não parece se repetir, como já salientamos, no caso dos possíveis efeitos ambientais de sua disposição no solo.

Vimos que a atividade sucroalcooleira foi identificada como um dos fatores de vulnerabilidade dos aqüíferos subterrâneos paulistas e que alguns estudos já chamaram atenção para o risco da contaminação de lençóis freáticos pela disposição de vinhaça no solo. A salinização do solo também é colocada como um perigo desta prática.

Tanto a contaminação das águas subterrâneas quanto a salinização do solo são tratados apenas como "riscos" e os estudos sobre essas possibilidades são ainda inconclusivos. Frente a esses riscos, fica a dúvida se a fertirrigação não seria apenas uma solução paliativa, de curto prazo, ou ainda de emergência para o problema da disposição da vinhaça. Fica a dúvida, também, se não foi prematuro o abandono dos esforços de desenvolvimento da digestão anaeróbia do resíduo.

O que fica claro é que mais pesquisas seriam necessárias para esclarecer essas dúvidas. Na falta desses esclarecimentos, ficaremos com a impressão de que estamos diante de um caso em que a solução retida nada mais significa do que uma prática rápida e barata de livrar a agroindústria sucroalcooleira de um resíduo poluente, incômodo e mesmo perigoso. Pior que isso, não investigar essas possibilidades no presente significa deixar às gerações futuras a tarefa de descobrir se a infiltração da vinhaça no solo realmente contribui para deteriorar a qualidade dos solos e das águas subterrâneas.

Bibliografia

CORAZZA, R. I. (1999). Reflexões sobre o papel das políticas ambientais e de ciência e tecnologia na modelagem de opções produtivas ´mais limpas´ numa perspectiva evolucionista: um estudo sobre o problema da disposição da vinhaça. *Anais do III Encontro Nacional da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica*, Recife, Pernambuco.

CORAZZA, R. I.; SALLES-FILHO, S. (2000). Soluções tecnológicas para o problema da vinhaça nos anos 80: um estudo sobre a formação de uma trajetória tecnológica. In: Dagnino, R. *et alii* (Org.) *Jornadas Latino-Americanas de Estudos Sociais da Ciência e Tecnologia* - IV ESOCITE. Campinas, SP: Unicamp.

CORAZZA, R. I. (2001). *Políticas públicas para tecnologias mais limpas*: uma análise das contribuições da economia do meio ambiente. Campinas: DPCT-IG/Unicamp (Tese de Doutorado).

CORTEZ, L. *et alii* (1998). Environmental aspects of the alcohol program in Brazil. *1998 ASAE Annual International Meeting*, Orlando, Florida. July 11-16.

CRUZ, R.L. (1991). *Efeito da aplicação de vinhaça sobre o solo e água subterrânea*. São Carlos: USP/EESC. (Dissertação de Mestrado).

DOSI, G. (1982). Technological paradigms and technological trajectories: a suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. *Research Policy*, (11):147-162.

GLOEDEN, E. *et alii* (1991). The behaviour of vinasse constituents in the unsaturated zones in the Botucatu aquifer recharge area. *Water Science and Technology*, 24(11):147-157.

GUARNIERI, L. C.; JANUZZI, G. de M. (1992). Proálcool: impactos ambientais. *Revista Brasileira de Energia*, 2(2):147-161.

HASSUDA, S. (1989). *Impactos da infiltração da vinhaça de cana no aqüífero de Bauru*. São Paulo: IG/USP (Dissertação de Mestrado).

HIRATA, R. C. A. *et alii* (1991).Groundwater pollution risk and vulnerability map of the state of São Paulo, Brazil. *Water Science and Technology*, 24(11):159-169.

LA ROVERE, E. L. (1981). Les impacts sociaux et écologiques du Plan Alcool Brésilien. *Économie et humanisme*, Paris, (260):36-47.

MARGULIS, S. (1982). Vinhoto: poluição hídrica, perspectivas de aproveitamento e interação com o modelo matemático de biomassa. *Texto para discussão de energia n. 10*. Rio de Janeiro: IPEA/INPES.

MICT (Ministério da Indústria, Comércio e Transportes) *Programa Nacional do Álcool – ProAlcool*. http://www.mict.gov.br/spb/deaa/deaindex.htm. (*Site* consultado em 03/1999).

MMA (Ministério do Meio Ambiente) (1999). http://www.mma.gov.br. (*Site* do consultado em 03/1999).

PROMON (1979). *Vinhoto: avaliação técnico-econômica de processos de aproveitamento.* Centro de Tecnologia PROMON.

RIGHETTO, A. M.; CRUZ, R. L.; NOGUEIRA, M. A. (1991) Experimental investigation of soil and groundwater impacts caused by vinasse disposal. *Water Science Technology*, 24(11):77-85.

SALLES-FILHO, S. L. M.; CERANTOLA; W. A.; ALVARES, V. M.P. (1985). As promessas da biotecnologia para a América Latina: um alerta. *Revista Brasileira de Tecnologia*, 16(6):13-27.

SCHELEDER, E. M. M. (1998). A questão do álcool combustível. *Seminário sobre a indústria canavieira*, Campinas: Unicamp/IE. http://www.eco.unicamp.br/pesquisa/frame_inic.html. (*Site* consultado em 03/1999).

SZMRECSÁNYI, T. (1994). Tecnologia e degradação ambiental: o caso da agroindústria canavieira no Estado de São Paulo. *Informações Econômicas*, 24(10):73-81.

VAN LENTE, H. (1997). *Towards an integrated conceptual framework: modern biotechnology and the greening of industry*. Prepared for the European Commission. Seville, Spain: JRC Institute for Prospective Technological Studies.

WORKSHOP "Agroindústria Canavieira e o Novo Ambiente Institucional" (1998). Campinas: IE/Unicamp. http://www.eco.unicamp.br/pesquisa/frame_inic.html (*Site* consultado em 03/1999).