

**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**

Autora: Rosana Icassatti Corazza<sup>1</sup>

Mesa: Instrumentos Econômicos e Políticas Públicas para Gestão Ambiental

**Introdução**

Este artigo se insere no debate sobre as formas de incitação ao desenvolvimento e à adoção de modos "mais limpos" de produção. Reúne argumentos de natureza empírica, empregando conceitos teóricos de cunho evolucionista, para formular indagações sobre os papéis da Política Científica e Tecnológica e da Política Ambiental para o desenho de trajetórias tecnológicas portadoras de modos de produção mais desejáveis do ponto de vista da proteção e do uso sustentável do meio ambiente. Sugere-se neste artigo que cabe às políticas de ciência e tecnologia (C&T) fomentar a diversidade de opções tecnológicas para a resolução de problemas ambientais, enquanto que às políticas ambientais compete desempenhar uma função de seleção dessas alternativas.

Para incitar a discussão proposta neste artigo, foi escolhido um estudo de trajetória tecnológica no setor da agroindústria canavieira, em que é investigado o feixe de possibilidades tecnológicas em desenvolvimento nos anos 80 para a solução do problema da disposição da vinhaça.

Embora o problema não ilustre com propriedade todas as características dos problemas ambientais atuais - ele não é, por exemplo, um problema transfronteiriço -, a escolha deste estudo foi motivada pelos seguintes fatores: i) a dimensão do problema ambiental representado pela geração de grandes volumes desse subproduto; ii) a existência de diversas iniciativas de pesquisa e desenvolvimento de alternativas para a solução do problema; iii) a existência de controvérsias com respeito aos efeitos da aplicação da vinhaça ao solo (fertilirrigação), alternativa que acabou

---

<sup>1</sup> Doutoranda em Política Científica e Tecnológica no Departamento de mesmo nome, no Instituto de Geociências, da Unicamp, sob a orientação do Prof. Dr. Sergio L. M. Salles-Filho e pesquisadora associada do Grupo de Estudos sobre Organização da Pesquisa e Inovação (GEOPI/Unicamp). As reflexões apresentadas neste artigo foram em parte resultado dos estudos realizados pela autora durante um doutorado sanduíche financiado pela CAPES (1997-98) no Bureau d'Économie Théorique et Appliquée (Université Louis Pasteur, Estrasburgo, França), sob a orientação do Prof. Dr. Marc Willinger. Quaisquer imprecisões ou omissões são da responsabilidade exclusiva da autora.

prevalecendo como solução ao problema; iv) a evolução de um quadro legal de controle do problema; e v) o baixo dinamismo tecnológico do setor.<sup>2</sup>

O estudo empírico, realizado com base em fontes secundárias, entrevistas e uma visita a Usina, serve como quadro ilustrativo à aplicação dos conceitos evolucionistas de busca, diversidade, seleção e ambiente seletivo, com o propósito de contribuir para o debate sobre os papéis que se colocam às políticas ambientais e de C&T na busca de modelos "mais limpos" de produção.

Este texto está organizado em 5 itens: o primeiro dimensiona o volume de vinhaça gerado como subproduto da fabricação do etanol no Brasil, o segundo é dedicado à evolução da regulamentação da disposição do resíduo, o terceiro identifica as tecnologias alternativas para o destino da vinhaça e o quarto apresenta algumas informações sobre os possíveis impactos ambientais da prática da fertirrigação. Finalmente, a partir do exposto nos itens anteriores, são tecidos comentários, colocando para debate os papéis das políticas ambientais e de C&T para a modelagem de formas mais limpas de produção.

## **1. Geração e disposição da vinhaça: um problema ambiental e tecnológico**

É conhecida a crise pela qual passa a agroindústria canavieira, crise que associa aos desdobramentos de seus problemas internos, de financiamento, de organização da atividade produtiva e de distribuição, os problemas derivados das políticas macroeconômicas, de competitividade e às conjunturas de declínio dos preços internacionais dos combustíveis fósseis. A esses problemas ainda se agregam a conhecida precariedade das condições de trabalho no campo, sua desqualificação e sua característica itinerante e ainda o problema das queimadas em épocas de estiagem. Fala-se, atualmente, no desafio de uma reestruturação profunda do setor. Mas por que, quando o setor enfrenta tantas dificuldades, nos propomos aqui a retornar a um problema que parecia resolvido? Por que trazer à tona a questão da vinhaça se ela parece ter sido tão eficiente e definitivamente resolvida com a fertirrigação? Por que, enfim, "tirar mais esse esqueleto do armário"?

---

<sup>2</sup> Algumas referências do estudo empírico consistem nos trabalhos de Margulis (1982), Craveiro (1986), Cortez *et alii* (1992) e Souza *et alii* (1992).

Acreditamos que um momento de reestruturação pode ser um momento de reflexão maior para nossa sociedade sobre aquilo que se pretende construir, ou, no caso, reconstruir como aparato produtivo. Se buscamos associar os benefícios econômicos da atividade produtiva à qualidade ambiental, se buscamos o uso sustentável dos recursos ambientais e a distribuição equitativa dos benefícios daí decorrentes, julgamos então conveniente usar este momento também para repensar os modelos produtivos. Desnecessário dizer que os impactos econômicos das atividades do setor sucro-alcooleiro, assim como de outros quaisquer, devam ser ponderados pela natureza de seus efeitos sócio-ambientais. É isso que motiva a retomada do tema da destinação da vinhaça, de certa forma abandonado até o momento, neste artigo.

Esclarecido este ponto, vejamos as dimensões do problema. A vinhaça é, como se sabe, um subproduto do processo de fabricação de etanol a partir da destilação do caldo fermentado da cana-de-açúcar.<sup>3</sup> Durante décadas, mesmo quando ainda não era gerada nos grandes volumes atuais, a vinhaça já provocava nos órgãos de controle ambiental e particularmente na comunidade científica alguma preocupação quanto a seus impactos sobre a qualidade dos recursos naturais.<sup>4</sup> Naquele momento o resíduo era despejado nos mananciais de superfície. Com a implementação do Proálcool, contudo, os danos ambientais causados à flora e à fauna desses mananciais, principalmente devido à carga orgânica da vinhaça, adquiriram uma dimensão preocupante.

A dimensão do problema ambiental da destinação da vinhaça se associa à importância econômica histórica da própria agroindústria canavieira em nosso país. O Estado de São Paulo, em particular, já ocupava o lugar de maior produtor nacional de cana-de-açúcar mesmo antes da institucionalização do Programa Nacional do Álcool (ProAlcool) em 1975.<sup>5</sup>

Os números do setor impressionam pela grande extensão da área cultivada, cobrindo mais de duas centenas de municípios apenas no Estado de São Paulo. A atividade canavieira também se destaca pela mobilização de um significativo contingente humano, produtores rurais e trabalhadores braçais de baixa qualificação. Finalmente, o próprio volume da produção canavieira é algo que por si só, em termos absolutos, detém a atenção. Algumas informações recentes são apresentadas no Quadro 1.

---

<sup>3</sup> A vinhaça é composta por água (de 89 a 94%), matéria orgânica (cerca de 5%) e minerais, principalmente nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio (1,7%). (Cf. Cortez *et alii*, 1992 e Szmrecsányi, 1994).

<sup>4</sup> O trabalho de Almeida (1952), *apud* Szmrecsányi (1994), mostra que o tema despertava a atenção de cientistas e era objeto de estudos nas décadas de 40 e 50.

<sup>5</sup> O Programa Nacional do Álcool – Proálcool foi instituído pelo decreto n° 76.593, de 14/11/1975.

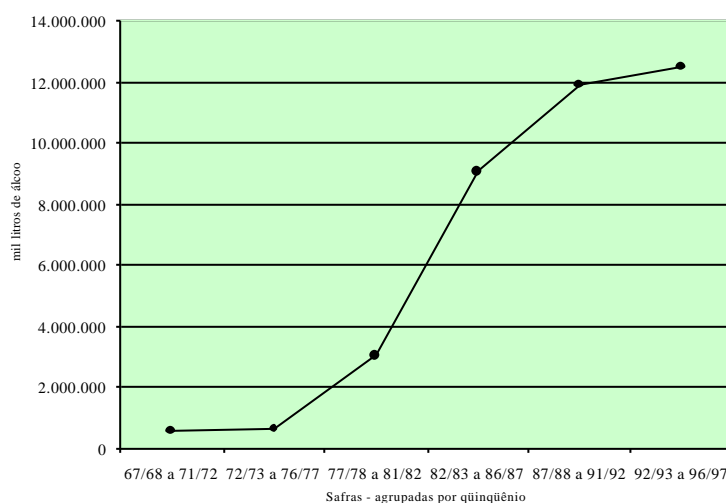
Quadro 1 – Informações recentes sobre a agroindústria canavieira paulista

Área cultivada	2,8 milhões de hectares
Usinas e destilarias	137
Produtores de cana	11.500
Empregos industriais	120 mil
Empregos no campo	480 mil
Municípios “canavieiros”	220
Produção de cana-de-açúcar	199,3 milhões de toneladas
Produção de açúcar	11,6 milhões de toneladas
Produção de álcool	9,06 bilhões de litros

Fontes: Única, IEA (Instituto de Economia Agrícola), Orplana, JornalCana e sindicatos de produtores. (1999)

Entretanto, dados referentes a apenas um ano e somente a um estado formam uma fotografia do setor que por si só nada diz a respeito de sua evolução. Observemos, com esse intuito, o que acontece com a produção de álcool através do tempo. O Gráfico 1 mostra a evolução da produção nacional de álcool em milhares de litros entre as safras de 1967-68 e 1996-97.

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



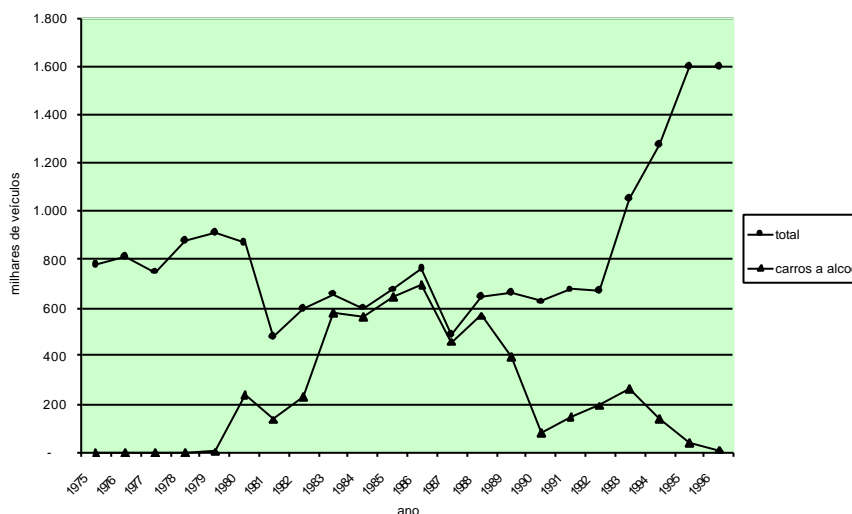
Fonte: Dados do Workshop “Agroindústria Canavieira e o Novo Ambiente Institucional” (1998).

O Programa Nacional do Álcool foi criado, como se sabe, com o objetivo de promover a substituição de parte da gasolina utilizada em veículos leves por álcool hidratado, como parte de um conjunto de providências adotado pelo Governo Federal para reduzir o impacto da elevação dos preços do petróleo nas décadas de 1970 e 1980.

Desde meados da década de 70 até o final dos anos 80, esse estímulo à produção de álcool como combustível alternativo à gasolina 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 a taxas crescentes até meados da década de 80 (quando a curva do crescimento da produção apresenta uma inflexão, apresentando um crescimento a taxas decrescentes), atingindo, atualmente, o volume aproximado de 16 bilhões de litros anuais.<sup>6</sup>

A evolução da produção de álcool permitiu que a produção nacional de carros funcionando exclusivamente a álcool atingisse 96% em 1985 (v. gráficos 2 e 3).

Gráfico 2 - Vendas totais de veículos de passeio e de carros a álcool entre 1975 e 1996 (em milhares de unidades)

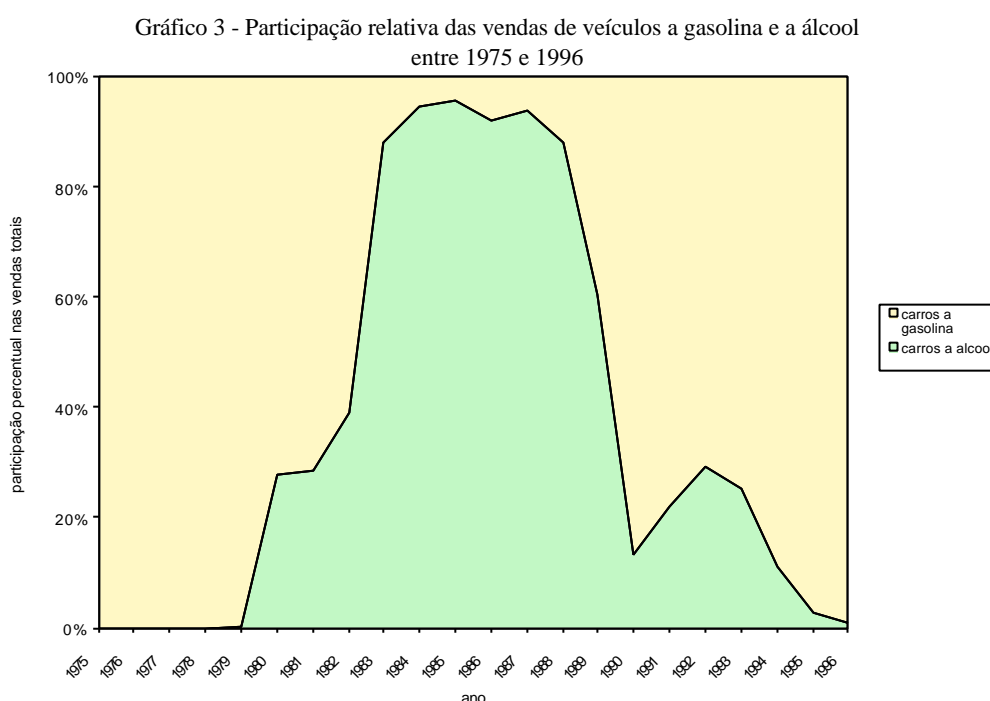


Fonte: Dados reportados por Rosillo-Calle & Cortez (1998).

Do ponto de vista do objetivo de substituir a gasolina por uma fonte nacional e renovável de combustível, o Programa foi muito bem sucedido *grosso modo* até o final da década de 80. Os estímulos fiscais e econômicos oferecidos pelo Governo às indústrias automobilística e de bens

<sup>6</sup> Deste volume total, observa Scheleder (1998), cerca de 15 bilhões são álcool combustível.

de capital num momento recessivo, aliados a uma conscientização ambiental nascente nos grandes centros urbanos, que sofriam com o crescente nível de poluição, são elementos que podem ser arrolados para a explicação do sucesso do ProAlcool em alcançar seus objetivos neste período.<sup>7</sup> A queda das vendas de veículos a álcool observada a partir do final dos anos 80 decorre de uma combinação de fatores de natureza diversificada. Entre estes fatores, estão incluídas a estagnação da produção de etanol (sob influência do preço do açúcar, que se tornou, no período, mais atraente que o do álcool), a incerteza política sobre o ProAlcool, os baixos custos do etanol e metanol importados e o aumento da produção doméstica de petróleo.<sup>8</sup>



Fonte: Dados reportados por Rosillo-Calle & Cortez (1998).

Na década de 90 assistimos a um gradual abandono do álcool combustível, sendo ainda de difícil previsão o resultado do recente acordo entre o Governo, a indústria automobilística e a agroindústria canavieira, na tentativa de promover o carro a álcool. Pode-se observar no Gráfico 3 que as vendas do carro a álcool a partir de 1989 sofreram significativa queda, não logrando mais reconstituir uma participação expressiva nas vendas totais de veículos de passeio. Desempenho muito distante, portanto, daquele alcançado entre os anos 84 e 88. Apesar disso, o

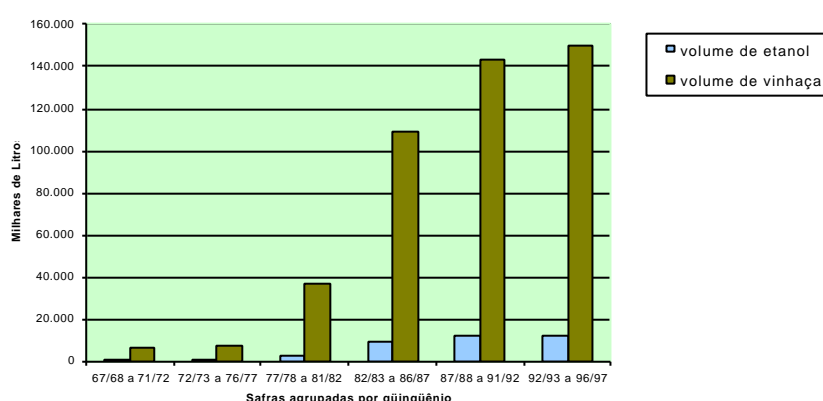
<sup>7</sup> MICT (1999).

<sup>8</sup> Rosillo-Calle & Cortez (1998).

consumo de etanol no Brasil pôde continuar sua trajetória ascendente graças ao uso da mistura álcool/gasolina para veículos movidos com este último combustível, associado ao notável aumento das vendas de veículos de passeio em termos absolutos na primeira metade da década de 90 (cf. Gráfico 2).

A produção crescente de etanol no Brasil que teve lugar com a implementação do ProAlcool 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, tendo em vista a produção atual de álcool, em algo em torno de 192 bilhões de litros.<sup>9</sup> Vejamos os dados sobre a evolução da geração de vinhaça no Gráfico 4.<sup>10</sup>

Gráfico 4 - 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 as safras agrupadas por quinquênios.



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).

<sup>9</sup> Hassuda (1989) aferiu a razão de 12 litros de vinhaça para cada litro de álcool para o ano de 1986, proporção mantida nas observações de Gloeden *et alii* (1992). Esta proporção pode variar de forma significativa: a Usina da Barra chegou a obter a proporção de 10 litros de vinhaça por litro de álcool. (Centurion, 1980; *apud* Szmrecsányi, 1994). Cortez *et alii* (1998) reportam a possibilidade da variação de 10 a 15 litros de vinhaça para cada litro de etanol.

<sup>10</sup> O cálculo dos valores plotados no gráfico tem como base a proporção relatada por Hassuda (1989) e por Gloeden *et alii* (1992) (proporção de 12:1). A heterogeneidade da agroindústria canavieira talvez não permita tal extrapolação, mas sublinhamos que este é um cálculo ilustrativo. Um diagnóstico da heterogeneidade na geração da vinhaça tanto em termos quantitativos quanto qualitativos seria subsídio necessário para uma estratégia de ação política para o destino da vinhaça.

Sabendo-se que a produção anual de álcool pela agroindústria canavieira paulista alcança 8 bilhões de litros, o que equivale a 50% da produção nacional de álcool, podemos estimar que o volume total de vinhaça gerada anualmente no Estado de São Paulo deve chegar aos 96 bilhões de litros.

Para que se tenha idéia do impacto ambiental que esse volume de vinhaça engendra, pode-se recorrer a uma comparação entre esse resíduo e o esgoto doméstico. Compara-se o impacto ambiental de um litro de vinhaça ao esgoto doméstico não tratado gerado por 1,43 pessoas. Ou seja, para se produzir, digamos, dez litros de álcool, a poluição gerada é equivalente àquela produzida por aproximadamente 172 pessoas em um dia.<sup>11</sup> Seguindo esta metodologia de cálculo, estima-se que o impacto ambiental da vinhaça obtida como subproduto da produção anual de álcool no Brasil (para a safra de 1999) equivale ao esgoto doméstico não tratado produzido em um ano por aproximadamente 754 milhões de pessoas.

## **2. Evolução do quadro legal sobre a destinação da vinhaça**<sup>12</sup>

Até o final dos anos 70, quando a prática foi proibida, volumes crescentes de vinhaça eram lançados nos mananciais superficiais, principalmente os cursos d'água como rios e ribeirões das proximidades das usinas de açúcar e álcool.

Os efeitos decorrentes desta prática são conhecidos há muito tempo. A carga orgânica da vinhaça causa a proliferação de microorganismos que esgotam o oxigênio dissolvido na água, destruindo a flora e a fauna aquáticas e dificultando o aproveitamento dos mananciais contaminados como fonte de abastecimento de água potável. Além disso, o despejo da vinhaça

---

<sup>11</sup> Os dados utilizados nesta cálculo foram coletados no Brasil e reportados por Chen (1993).

<sup>12</sup> A questão legal, mantida neste artigo apenas como pano de fundo para a apresentação do problema do destino da vinhaça, merece evidentemente atenção mais acurada. É preciso ressaltar desde logo que a decisão pública não exclui, em princípio, a interação entre as partes e, portanto, deve ficar claro que sempre existe a hipótese da captura do legislador, como advoga a escola da *Public Choice*. Ainda que não se trate puramente de uma situação de captura, algumas decisões da política ambiental recente, como bem observa Lévêque (1996), são momentos de intensa negociação entre reguladores e regulados. Godard (1993) resalta que, durante o processo que dá origem a essas decisões, os agentes econômicos defendem seus interesses pela apropriação da linguagem científica e pelo uso de discursos científicos sobre os problemas ambientais. Consideramos que uma análise desse processo para o caso em estudo neste artigo seria ainda demasiado prematura para permitir ilações sobre o processo de geração das referidas peças jurídicas e seus efeitos para a compreensão da modelagem da trajetória tecnológica que se cristalizou ao longo das duas últimas décadas para o destino da vinhaça. Prevenimos que esta análise é objeto de tratamento no escopo da tese de doutorado da autora, em andamento.



nos cursos d'água provoca mau cheiro e contribui para o agravamento de endemias como a malária, a amebíase e a esquistossomose.<sup>13</sup>

Como é possível constatar no Quadro 2, a partir da safra de 78/79 ficou interdito o despejo da vinhaça nos mananciais superficiais, incorrendo em multa a Usina que violasse a proibição.

Quadro 2 - Evolução da regulamentação da disposição da vinhaça

<b>Legislação</b>	<b>Descrição</b>
Portaria MINTER nº 323, de 29/11/1978	Proíbe o lançamento da vinhaça nos mananciais superficiais.
Portaria MINTER nº 323, de 03/11/1980	Proíbe o lançamento da vinhaça nos mananciais superficiais.
Resolução CONAMA nº 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 nº 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 nº 6.134, de 02/06/1988, art. 5º, 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”.

Fonte: Hassuda (1989).

Hassuda (1989) ressalta que o Estado de São Paulo conta com legislação sobre a contaminação de aquíferos subterrâneos desde 1988 (ver Quadro 2, acima) 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 aquíferos subterrâneos (MMA 1999).

Veremos que, com a perspectiva do aumento substancial da produção de vinhaça e tendo em vista o aumento do controle sobre a disposição do resíduo, surgem diversas iniciativas de busca de tecnologias para solucionar o problema. Neste sentido, percebe-se que a política

<sup>13</sup> Almeida (1952), *apud* Szmrecsányi (1994).

ambiental (neste caso via legislação ambiental) pode ter um papel ativo na seleção de possibilidades tecnológicas.

### **3. Um feixe de possibilidades tecnológicas à destinação da vinhaça**

Com a interdição do lançamento da vinhaça em rios e aquíferos superficiais, a questão sobre o que fazer da vinhaça a partir de então passou a fazer parte da pauta da pesquisa tecnológica, seja de grupos de cientistas, seja de pesquisadores individuais, tanto em instituições públicas de pesquisa quanto na própria agroindústria canavieira.

As alternativas tecnológicas para o destino da vinhaça estudadas no âmbito deste artigo, em que pese seus variados graus de amadurecimento tecnológico, podem ser divididas segundo seu estado de desenvolvimento nos anos 80. A aerobiose, a reciclagem na fermentação e a fertirrigação já se encontravam em um tal estágio de desenvolvimento que era possível sua utilização em ampla escala. 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. No contexto deste artigo, essas alternativas, seus principais benefícios e dificuldades são apresentados apenas brevemente nos parágrafos abaixo.<sup>14</sup>

A aerobiose consiste no tratamento da vinhaça como efluente em duas fases, onde a primeira é anaeróbia e a segunda é aeróbia. A principal vantagem é a grande redução de DBO (70 a 90% no primeiro passo) e até 99% no segundo. Os principais problemas derivados dessa opção são associados à necessidade de construção, manutenção e monitoramento de grandes tanques ou lagoas para o tratamento, devido aos grandes volumes do resíduo.

A reciclagem da vinhaça na fermentação é um expediente empregado para substituir a água como diluidor (razão 1:3 entre vinhaça e água). A existência de um limite técnico no aproveitamento da vinhaça para este fim impede que a redução da descarga de vinhaça, embora efetiva, possa ser muito significativa.

A fertirrigação já era uma alternativa conhecida desde há muito tempo. Despejada *in natura* no solo, a vinhaça irriga e, ao mesmo tempo, fertiliza a lavoura, razão pela qual ela traz o

duplo benefício da disposição da vinhaça e da economia de custos em insumos, ao diminuir os gastos com fertilizantes químicos. No item seguinte serão tratados de maneira mais detalhada os benefícios e problemas dessa alternativa.

A combustão da vinhaça é a alternativa em que o resíduo é concentrado e queimado na caldeira. O consumo elevado de energia para evaporar a água da vinhaça, contudo, não compensa ainda a economia de energia na destilaria.<sup>15</sup> As pesquisas nesta alternativa devem buscar a melhoria do balanço energético.

A produção de levedura a partir da vinhaça também é uma tecnologia alternativa, que permite reduzir a descarga de vinhaça. Contudo, dois fatores concorrem para a elevação dos custos desta alternativa. Em primeiro lugar, o fato de que se deve acrescentar à vinhaça sais de amônia e de magnésio para se obter o fermento seco. Em segundo lugar, e talvez o mais importante, o fato de ser elevado o consumo de energia para a evaporação da água da vinhaça, requerida neste processo.

Na construção civil, a vinhaça pode ser adicionada à massa de cimento. Também existem estudos sobre a fabricação de materiais de construção, principalmente tijolos, a partir da vinhaça, sendo que foram feitos avanços significativos quanto à resistência do material obtido. A possibilidade de redução da descarga de vinhaça é limitada, entretanto, uma vez de que a viabilidade econômica desta alternativa deve se restringir a construções próximas ao local de origem da vinhaça, devido ao problema dos custos de transportes.<sup>16</sup>

A fabricação de ração animal a partir da vinhaça também é uma possibilidade estudada durante os anos 80. O resíduo deve ser tratado para a redução do nível de potássio, podendo ser utilizado como ração de bovinos, suínos e aves. Reporta-se que a ração assim produzida não interfere no sabor ou odor do leite e seus derivados, que tem boa aceitação pelos animais e que a taxa de conversão (ganho de peso com relação ao consumo de ração) é adequada. Há, porém, limitações de dosagem que devem ser obedecidas. Em ruminantes, por exemplo, a ração feita da vinhaça não pode ultrapassar 10% da alimentação diária, em suínos não deve ultrapassar de 2 a

---

<sup>14</sup> Com respeito ao detalhamento de cada uma das tecnologias, cf. PROMON (1979). Para uma exposição sintética, consultar Szmrecsányi (1994) e Margulis (1982).

<sup>15</sup> Entrevista com Prof. Dr. Luiz Cortez, FEAGRI/Unicamp.

<sup>16</sup> Entrevista com Prof. Dr. Wesley Freire, FEAGRI/Unicamp.

3%. As pesquisas, realizadas desde a década de 70, buscavam a redução de potássio, da DBO e o aumento da aceitabilidade.

A digestão anaeróbia da vinhaça tem a seu favor o argumento econômico da produção do metano. O desenho e aperfeiçoamento do equipamento (biodigestor) contou com esforços envolvendo diversas Instituições públicas (o IPT, a CETESB e a COPPE) e privadas (a PAISA Penedo Agroindustrial S/A, a Biometano e as Usinas São Martinho Boa Vista, ambas no Estado de São Paulo). Problemas técnicos, como o longo tempo de retenção e a granulação do lodo de microorganismos, foram superados e a biodigestão anaeróbia da vinhaça é hoje considerada tecnicamente viável, sendo possível encontrar uma unidade (de escala industrial) em operação na Usina São Martinho (Pradópolis, SP). A eliminação da DBO, embora grande, não dispensa o tratamento posterior, *end-of-pipe*. A viabilidade econômica, entretanto, desta tecnologia é tolhida por três fatores, pelo menos. Em primeiro lugar, a falta de valorização do biogás, como combustível alternativo; em segundo lugar, a difusão bem sucedida da fertirrigação, que não sofreu nenhum controle ambiental mais rigoroso; e, em terceiro lugar, o declínio do Proálcool, que não permitia investimentos.<sup>17</sup>

#### **4. O predomínio da fertirrigação e as controvérsias sobre seu impacto ambiental**

A constituição da vinhaça, rica em água e minerais, associadas às dificuldades técnicas e econômicas envolvidas em seu tratamento aparecem como as razões arroladas com maior frequência para justificar a adoção e a ampla difusão da prática vigente para o destino da vinhaça, a fertirrigação. Este é o nome pelo qual ficou conhecida a técnica amplamente adotada pela agroindústria canavieira nacional, notadamente a partir da década de 80 em substituição ao lançamento do resíduo em cursos d'água, a qual consiste na infiltração da vinhaça *in natura* (ou não tratada) no solo, com objetivo de fertilizá-lo e, ao mesmo tempo, de irrigar a cultura da cana-de-açúcar. A fertirrigação é empregada como expediente substituto ao uso da fertilização química, constituindo uma fonte de nutrientes minerais, principalmente de potássio.

Com o aumento da produção da vinhaça ocasionado pela implementação do Proálcool e com a proibição da descarga do resíduo nos cursos d'água no final dos anos 70, “os técnicos...

[encontraram] uma solução alternativa a sua disposição direta nos rios [...] surgindo então a fertirrigação, uma técnica de aplicação da vinhaça *in natura* em áreas plantadas com cana.”<sup>18</sup> As principais razões da ampla difusão (hoje, quase a totalidade das indústrias utiliza a vinhaça produzida para fertirrigação) desta prática são:<sup>19</sup>

- i) Baixo investimento inicial requerido (tanques de decantação, caminhões, e atualmente bombas e dutos).
- ii) Baixo custo de manutenção (pouco pessoal, diesel e eletricidade gerada localmente).
- iii) Rápida disposição da vinhaça no solo (sem necessidade de grandes reservatórios reguladores).
- iv) Ganhos compatíveis com o investimento (há lucros com a reciclagem do potássio no solo e o retorno do investimento é bastante rápido).
- v) Fecha o ciclo interno que envolve a parte agrícola e a industrial no mesmo setor, diminuindo a dependência de insumos externos (fertilizante).
- vi) Não envolve uso de tecnologia complexa.
- vii) Aumento da produtividade da safra e da produtividade na fabricação do açúcar.

Mesmo diante das vantagens proporcionadas pela adoção da fertirrigação, restam ainda dúvidas quanto à adequação da prática do ponto de vista da proteção dos recursos naturais, principalmente no que diz respeito a seus efeitos de longo prazo.<sup>20</sup>

O uso de volumes elevados de vinhaça podem fazer aumentar o nível de potássio no caldo da cana. Além disso, há controvérsias sobre salinização do solo e contaminação de aquíferos subterrâneos.

Se 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.

---

<sup>17</sup> Entrevista com Américo Craveiro, VALÉE. O entrevistado ressalta que não é da opinião de que deveria ter havido um maior controle ambiental da fertirrigação; sustenta, entretanto, que se este controle tivesse ocorrido, haveria existido um estímulo maior à adoção da biodigestão.

<sup>18</sup> Cortez *et alii* (1992:129). Em comunicação pessoal, Cortez atribuiu a origem da idéia da fertirrigação à adaptação da prática, adotada em muitos países e em pequena escala no interior do Brasil, de utilizar o esgoto doméstico como fertilizante.

<sup>19</sup> Idem.

<sup>20</sup> O desconhecimento dos efeitos de longo prazo da fertirrigação é apontado por Cortez *et alii* (1992) como uma das desvantagens da fertirrigação.

Hirata *et alii* (1991) identificou a atividade sucroalcooleira como um dos fatores de vulnerabilidade dos aquíferos subterrâneos paulistas. Neste sentido, Hassuda (1989) e Gloeden *et alii* (1992) desenvolveram metodologia para monitoração do risco da contaminação do lençol freático e realizaram estudos ainda inconclusivos sobre o tema.

Sabe-se que a aplicação sem critérios de dosagem da vinhaça ao solo pode causar um desequilíbrio de nutrientes, gerando resultados diferentes daqueles esperados. A dosagem "ideal" de aplicação de vinhaça varia segundo o tipo de solo e segundo as variedades de cana.<sup>21</sup> Os riscos da aplicação de grandes volumes de vinhaça por hectare incluem o perigo de salinização do solo. Infelizmente, não se dispõe de estudos que ofereçam um mapa da situação atual sobre a fertirrigação, detalhando os volumes de vinhaça aplicados, seja por região, seja por produtor.<sup>22</sup> Apesar disso e do fato da grande difusão da fertirrigação, a Copersucar divulgou em 1986 a informação de que cerca de 40% da vinhaça produzida no Estado de São Paulo ainda não é aproveitada, sendo descartada em áreas de despejo ou sacrifício, prática que tem sido autorizada com restrições pela CETESB.<sup>23</sup>

Haja vista a impressionante quantidade do resíduo gerada no Brasil, a fertirrigação constituiu, sem dúvida, um progresso quando comparada ao expediente anterior, em que era despejada nos mananciais de superfície. Entretanto, muitas vezes o descarte ou mesmo a fertirrigação se dá em quantidades excessivamente elevada e/ou próximo a esses mananciais. Em que se pese que os rios drenam (e não "banham") as regiões, ou seja, sendo os cursos d'água verdadeiros sistemas de drenagem das bacias hidrográficas, não se sabe até que ponto uma prática não controlada da fertirrigação pode deixar de comprometer esses recursos.<sup>24</sup>

Tendo em vista essas considerações, interpretamos a fertirrigação mais como um paliativo ou como uma prática que confere ao observador a falsa impressão de estar solucionando de fato e com eficiência o problema da vinhaça. Sua continuidade no longo prazo requer, do nosso ponto de vista, um estudo detalhado sobre seus impactos e sustentabilidade ambientais.

---

<sup>21</sup> Plaza Pinto (1999).

<sup>22</sup> Entrevista com Prof. Dr. Nadir Glória, ESALQ/USP.

<sup>23</sup> Plaza Pinto (1999).

<sup>24</sup> Entrevista com o Prof. Dr. Aldo Rebouças, IEA/USP.

## 5. Comentários finais

Vimos que depois da implementação do ProAlcool, cresceu de maneira impressionante o volume de vinhaça gerado como subproduto da atividade canavieira. Também vimos que a legislação normatizando a disposição do resíduo que se desenhou subsequentemente voltou-se para a proteção dos mananciais de superfície. Neste momento, foram mobilizados esforços técnico-científicos no sentido da solução do problema, delineando-se um feixe de possibilidades tecnológicas para a destinação da vinhaça.

A fertirrigação, ou o uso da vinhaça não tratada como fertilizante na lavoura canavieira, se coloca nos anos 90 como a solução bem-sucedida. Simples do ponto de vista técnico e eficiente do ponto de vista dos custos, a prática se difundiu rapidamente.

Frente às vantagens tão evidentes da fertirrigação, o empenho de recursos e a focalização de competências técnico-científicas no estudo das tecnologias alternativas não puderam garantir a permanência de uma diversidade de opções para o problema, que ficou entendido como solucionado. São três as perguntas que este artigo deixa para o debate: Estaria a agroindústria canavieira *locked-in* (n)uma trajetória pouco desejável do ponto de vista da proteção ambiental? Como desenhar instrumentos de política ambiental capazes de obstruir outras possibilidades tecnológicas? Como induzir a variedade de respostas tecnológicas a este problema?

Existe ainda, como foi apontado anteriormente, uma certa multiplicidade, como que latente, de alternativas tecnológicas para o destino da vinhaça, o que atesta o fato de que muitos esforços foram orientados para a solução do problema. Mais que isso, é possível entrever aí, principalmente no caso das pesquisas em biodigestão, não apenas a mobilização do conhecimento já disponível, como também da criação de competências tecnológicas. Este conhecimento e estas competências foram mais ou menos desmobilizados, segundo o caso, com o sucesso da fertirrigação. Trata-se aqui da desmobilização de elementos de diversidade tecnológica, que delineiam uma variedade maior de futuros possíveis quanto às opções de tecnologias. A diversidade é um fator crítico para a ocupação de espaços no mercado, tendo papel importante para se fazer face a diferentes *trade-offs* técnico-econômicos, principalmente em momentos de rápidas mudanças no ambiente que seleciona as tecnologias, incluindo-se aí a concorrência de outras tecnologias (e firmas), as cláusulas "ambientais" do comércio exterior, a legislação ambiental, os processos de certificação verde (série ISO 14.000, selos-verdes etc.).

Julgamos também que a diversidade de opções em desenvolvimento é imprescindível quando se trata de oferecer opções "mais limpas", uma vez que o conceito de "tecnologia mais limpa" deve ser dinâmico, dependendo do grau de conhecimento dos problemas ambientais enfrentados, da capacidade de se dar respostas técnicas a esses problemas e da limitação dos recursos econômicos no momento de cada decisão.

O que se sustenta aqui é que a solução encontrada para o problema do destino da vinhaça, ou seja, a fertirrigação, associada ao sucesso de sua difusão em todo o país foram fatores que inibiram a continuidade e o fortalecimento das linhas de pesquisa em tecnologias alternativas. Com isso, entendemos que, no caso de quaisquer problemas associados ao uso da fertirrigação, como eventuais problemas ambientais que venham a ser comprovados no futuro, ficam diminuídos os graus de liberdade de ação e a disponibilidade de opções tecnológicas.

Frente a essa idéia, evidenciam-se três contra-argumentos relevantes. O primeiro contra-argumento é estritamente econômico. Nesta perspectiva, não faria sentido investir no desenvolvimento de tecnologias alternativas para problemas cuja solução já existe e é eficiente do ponto de vista da relação entre benefícios e custos. O segundo contra-argumento é o de que as tecnologias desenvolvidas até o momento encontram-se disponíveis e que bastaria retomar essas linhas de pesquisa para que os resultados se fizessem sentir. O terceiro contra-argumento é o de que sempre se pode recorrer aos fornecedores de tecnologia para o setor no exterior, que podem inclusive disponibilizar as soluções mais rapidamente e a preços mais atraentes *vis-à-vis* o tempo e os recursos incorridos com a P&D para o eventual desenvolvimento dessas soluções *in-house*.

Embora seja justo e necessário reconhecer a pertinência e a validade do arrazoamento por trás de todos esses contra-argumentos, adiantamo-nos nas réplicas.

Em primeiro lugar, cabe dizer que o contra-argumento econômico constitui uma visão míope da maneira de se fazer ciência, porque por vezes os desenvolvimentos que se mostram poucos promissores, são os que se revelam finalmente mais frutíferos. De outra parte, toda linha de desenvolvimento de pesquisas contribui com subprodutos imprevistos, além de gerar benefícios intangíveis, como novos conhecimentos e capacitações técnico-científicas. No caso da pesquisa tecnológica prospectiva buscando novos modelos de produção, com menor impacto ambiental, este fator imponderável é ainda mais relevante.



Em segundo lugar, é preciso dizer que o segundo contra-argumento esquece que as competências que deram origem àquelas tecnologias foram desmobilizadas, perdendo-se as sinergias entre as Instituições e os efeitos de cumulatividade do aprendizado tecnológico auferidos até então.

Em terceiro lugar, embora novamente seja razoável o terceiro contra-argumento, a idéia aqui é a de que perde-se, com isso, janelas de oportunidade que poderiam significar grandes chances de negócios no futuro, cuja apropriação e capitalização pelas Instituições e firmas envolvidas poderiam beneficiar, em última análise, a nossa própria sociedade.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CHEN, J. C. P. Byproducts of cane sugar processing. In: J. C. P. Chen & C. C. Chou (Ed.) **Cane sugar handbook: a manual for cane sugar manufactures and their chemists**. 12 ed. New York, John Wiley & Sons. (1993) Cap. 10, pp 375-431.
- CHEN, J. C. P., GREEN, J. Environmental quality assurances. In: J. C. P. Chen & C. C. Chou (Ed.) **Cane sugar handbook: a manual for cane sugar manufactures and their chemists**. 12 ed. New York, John Wiley & Sons. (1993) Cap. 31, pp 740-776.
- CORTEZ, L. *et alii* Biodigestion of vinasse in Brazil. **Int. Sugar Jnl.**, v.100, n.1196, p.403-413, 1998.
- CORTEZ, L. *et alii* Environmental aspects of the alcohol program in Brazil. **1998 ASAE Annual International Meeting**, Orlando, Florida. July 11-16, 1998.
- CORTEZ, L. *et alii* Principais subprodutos da agroindústria canvieira e sua valorização. **Revista Brasileira de Energia**, v.2, n.2, p.111-146, 1992.
- CRAVEIRO, A.M. Technical aspects and cost estimation for anaerobic systems treating vinasse and bewery/soft drink wastewaters. **Water Science and Technology**, v. 18, no. 12, pp. 123-134, 1986.
- DOSI, G. Technological paradigms and technological trajectories: a suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. **Research Policy**, 11, pp. 147-162, 1982.
- FAUCHEUX, S. NOËL, J.-F. **Les menaces globales sur l'environnement**. Paris: La Découverte, 1990.
- GLOEDEN, E., CUNHA, R.C., FRACCAROLI, M.J.B., CLEARY, R.W. The behaviour of vinasse constituents in the unsaturated zones in the Botucatu aquifer recharge area. **Water Science and Technology**, v.24, n.11, p.147-157. 1991.
- GODARD, O. **Stratégies industrielles et conventions d'environnement : de l'univers stabilisé aux univers controversés**. Paris: Document du CIRED, 1993.

- GUARNIERI, L. C., JANUZZI, G. de M. Proálcool: impactos ambientais. **Revista Brasileira de Energia**, v.2, n.2, p.147-161, 1992.
- HASSUDA, S. **Impactos da infiltração da vinhaça de cana no aquífero de Bauru**. (s.l.): Dissertação de Mestrado IG/USP, 1989.
- HIRATA, R. C. A. *et alii* Groundwater pollution risk and vulnerability map of the state of São Paulo, Brazil. **Water Science and Technology**, v.24, n.11, p.159-169. 1991.
- KEMP, R. **Environmental Policy and Technical Change**: a comparison of the technological impact of policy instruments. Cheltenham: Edward Elgar, 1997.
- LA ROVERE, E. L. Les impacts sociaux et écologiques du Plan Alcool Brésilien. **Économie et humanisme**, Paris, n.260, 1981.
- MARGULIS, S. 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, 1982.
- MICT (Ministério da Indústria, Comércio e Transportes) *Programa Nacional do Alcool – PROÁLCOOL*. Site consultado em 15/03/1999, às 15:11: <http://www.mict.gov.br/spb/deaa/deaindex.htm> (1999)
- MMA (Ministério do Meio Ambiente) Site do consultado em 15/03/99 às 17:47: <http://www.mma.gov.br>. (1999).
- NELSON, R. R., WINTER, S.G. In search of useful theory of innovation. **Research Policy**, 6, pp.36-76, 1977.
- PLAZA PINTO, C. **Tecnologia da digestão anaeróbia da vinhaça e desenvolvimento sustentável**. (s.l.): Dissertação de Mestrado, FEM/Unicamp, 1999.
- PROMON **Avaliação técnico-econômica de processos de aproveitamento**. Centro de Tecnologia PROMON, 1979.
- ROSILLO-CALLE, F., CORTEZ, L. Towards Proalcohol II – a review of the Brazilian Bioethanol Programme. **Biomass and Bioenergy**, v.14, n.2, p.115-124. 1998.
- SCHELEDER, E. M. M. A questão do álcool combustível. *Seminário sobre a indústria canavieira*, Instituto de Economia, Unicamp, Campinas. Site consultado em 15/03/99, às 16:30: [http://www.eco.unicamp.br/pesquisa/frame\\_inic.html](http://www.eco.unicamp.br/pesquisa/frame_inic.html). (1998)
- SOUZA, M.E., FUZARO, G., POLEGATO, A.R. Thermophilic anaerobic digestion of vinasse in pilot plant UASB reactor. **Water Science and Technology**, v. 25, n. 7, pp. 213-222, 1992.
- SZMRECSÁNYI, T. “Tecnologia e degradação ambiental: o caso da agroindústria canavieira no Estado de São Paulo”. **Informações Econômicas**, SP, 24(10):73-81. (1994)
- SZMRECSÁNYI, T. **O Planejamento da Agroindústria Canavieira do Brasil (1930-1975)**. São Paulo: Ed. Hucitec, 1979.
- WORKSHOP “Agroindústria Canavieira e o Novo Ambiente Institucional”, realizado no Instituto de Economia IE / Unicamp em 24/08/1998. Site consultado em 15/03/1999, às 16:30 : [http://www.eco.unicamp.br/pesquisa/frame\\_inic.html](http://www.eco.unicamp.br/pesquisa/frame_inic.html). (1998)