

# Destinação final da vinhaça produzida por destilarias de álcool.

Centurión, R.E.B. (1); Moraes, V.A. (1);  
Percebon, C.M. (1); Ruiz, R.T. (2);

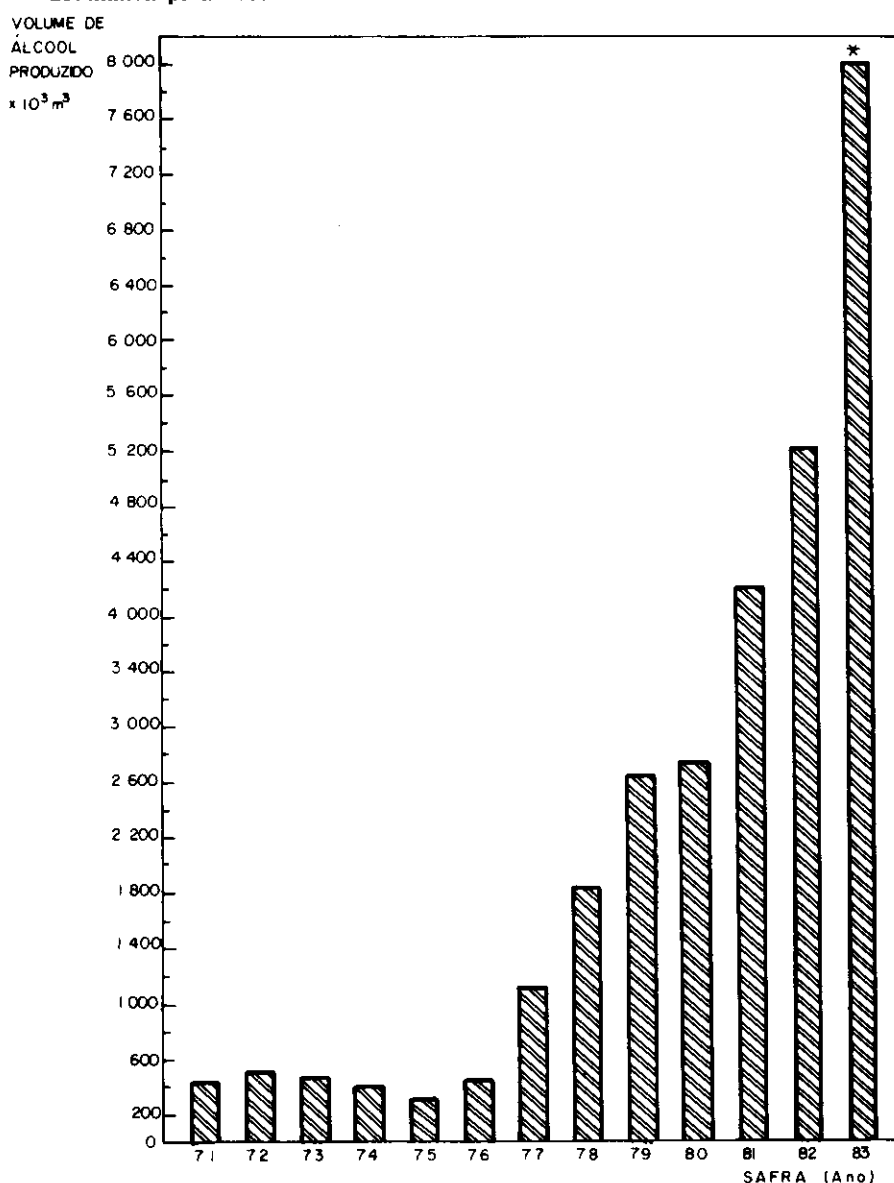
## RESUMO

Em função da implantação do Plano Nacional do Alcool, os volumes de vinhaça gerados e os problemas de poluição decorrentes estarão se tornando gigantescos (algo em torno de  $12 \times 10,7$  bilhões de litros de resíduo por safra, em 1985). É imperativo, portanto, estudar e definir as melhores opções técnicas e econômicas para o tratamento e disposição final deste resíduo. Nesta linha de raciocínio, discorre-se sobre a tecnologia usual de tratamento e disposição final da vinhaça, apresentam-se as soluções utilizadas no Brasil e uma idéia de custo de cinco das alternativas discutidas.

## 1. INTRODUÇÃO

A mais preocupante água residuária, proveniente de uma destilaria de álcool autônoma ou anexa, é sem sombra de dúvida, a vinhaça. Suas características de efluente ácido, a elevada relação vinhaça gerada: álcool produzido, seu potente efeito poluidor se tornam problemas significativos de tratamento e disposição final. A crescente atenção mundial dada ao etanol como combustível líquido suplementar, produzido a partir de cultivo agrícola, significa apreensão adicional quanto ao destino adequado dos efluentes oriundos do processo. Para o caso de nosso país, onde a produção de álcool por safra, disparou de meros  $450.000 \text{ m}^3$ , em 1973, quando da eclosão da crise do petróleo, para  $2.800.000 \text{ m}^3$ , em 1980 com previsão para se atingir, em 1985,  $10,7$  bilhões de litros de álcool por safra, o desafio é brutal conforme se pode acompanhar pela Figura 1, montada a partir de dados do IAA-Plana-sucar.

Figura 1 — Evolução da produção de álcool por safra  
\* Estimativa para 1983



(\*) Trabalho apresentado no XI Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental — Fortaleza.

(1) Engenheiros da Diretoria de Pesquisa, DPES, Cetesb.

(2) Engenheiro Estagiário da Diretoria de Pesquisa, DPES, Cetesb.

Em função do exposto, este artigo propõe apresentar, inicialmente, uma caracterização qualitativa e quantitativa do vinhoto, tanto de caldo como de melação e misto. Em seguida, comenta

cada uma das técnicas de disposição colocadas em prática nas últimas décadas e se fixa nas soluções atualmente praticadas no Brasil.

## 2. CARACTERÍSTICAS QUALITATIVAS E QUANTITATIVAS DA VINHAÇA

As características químicas, físicas e físico-químicas da vinhaça "in natura", podem oscilar ao longo de um dia, numa mesma usina, dependendo da matéria-prima e das condições operacionais, do mosto utilizado na fermentação e da operação de destilação. Estas variações são ainda mais acentuadas, quando se compara a composição de vinhaças procedentes de várias usinas e destilarias, operando com o mesmo tipo de matéria-prima. Além disso, a adição à vinhaça de outras correntes de águas residuárias procedentes do processo produtivo de álcool e açúcar, como por exemplo, a flegmaça, também alteram significativamente as suas características qualitativas e quantitativas.

Os primeiros estudos referentes à composição química da vinhaça proveniente da destilação do fermentado de mel final, foram realizados por Almeida<sup>(1)</sup>, em 1952, ficando evidenciado, tratar-se de um líquido residuário contendo, em média, mais de 93% de água. Dos constituintes sólidos, 74,85% são de origem predominantemente orgânica. Tais substâncias, constituídas de pequenas quantidades de açúcares não fermentáveis e quantidades relativamente elevadas de dextrinas, melanoidinas, resinas, gomas, amidos, ácidos orgânicos e aminoácidos, entram, rapidamente, em decomposição, quando a vinhaça é armazenada durante algum tempo.

A vinhaça, normalmente, se apresenta com uma coloração que varia do amarelo âmbar ao pardo escuro e se caracteriza por um conteúdo de sólidos elevado em sua maior parte orgânicos e biodegradáveis, como já se disse. Além disso, tem uma alta temperatura à saída do processo de destilação, alto poder corrosivo evidenciado pelos baixos valores de pH, valores elevadíssimos de DBO (demanda bioquímica de oxigênio) e DOO (demanda química de oxigênio), quantidades apreciáveis de sais nutrientes (N, K), parcelas menores de Fósforo (P) e outros elementos que lhe conferem poder fertilizante.

Para melhor visualização das características quali-quantitativas são apresentadas na Tabela 1, em sequência, as variações dos valores, normalmente encontrados em literatura, dos parâmetros físico-químicos de vinhaças procedentes de mostos de melaço, caldo e misto.

Por outro lado, para cada litro de álcool produzido, as quantidades de vinhoto gerado, oscilam na faixa 9,5 a 18 litros. Realmente, uma simples observação mostra a incrível variação na quantidade do efluente. Entretanto, um trabalho mais constante e apurado, mostra 12 litros de vinhaça por litro de álcool como sendo o valor mais comum, inclusive para efeito de uso em projetos.

Tabela 1 — Características quali-quantitativas de vinhaças procedentes de mostos de melaço, caldo e misto

PARÂMETRO	MELAÇO	CALDO	MISTO
pH	4,2 - 5,0	3,7 - 4,6	4,4 - 4,6
Temperatura (°C)	80 - 100	80 - 100	80 - 100
DBO (mg/l O <sub>2</sub> )	25.000	6.000 - 16.500	19.800
DOO (mg/l O <sub>2</sub> )	65.000	15.000 - 33.000	45.000
Sólidos totais (mg/l)	81.500	23.700	52.700
Sólidos voláteis (mg/l)	60.000	20.000	40.000
Sólidos fixos (mg/l)	21.500	3.700	12.700
Nitrogênio (mg/l N)	450 - 1.610	150 - 700	480 - 710
Fósforo (mg/l P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	100 - 290	10 - 210	9 - 200
Potássio (mg/l K <sub>2</sub> O)	3.740 - 7.830	1.200 - 2.100	3.340 - 4.600
Cálcio (mg/l CaO)	450 - 5.180	130 - 1.540	1.330 - 4.570
Magnésio (mg/l MgO)	420 - 1.520	200 - 490	580 - 700
Sulfato (mg/l SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	6.400	600 - 760	3.700 - 3.730
Carbono (mg/l C)	11.200 - 22.900	5.700 - 13.400	8.700 - 12.100
Relação C/N	16 - 16,27	19,7 - 21,07	16,4 - 16,43
Matéria Orgânica (mg/l)	63.400	19.500	3.800
Substâncias redutoras (mg/l)	9.500	7.900	8.300

Fontes Bibliográficas: (1), (2), (3), (4), (7), (8), (9), (10), (12), (17), (18), (19), (20), (22), (24).

## 3. ALTERNATIVAS DE REAPROVEITAMENTO, TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO DA VINHAÇA

### 3.1 — Reciclagem

A reciclagem do vinhoto reduz, obviamente, o volume do despejo a ser tratado, podendo haver, por decantação intermediária, a remoção de uma parte dos constituintes sólidos orgânicos e inorgânicos, diminuindo sua carga poluidora. Há autores, inclusive, que citam a possibilidade de usar uma parte do restila na lavagem da cana à entrada do processo industrial<sup>(21)</sup>. A vinhaça pode, também, compor uma parcela da água de diluição do melaço, durante um certo número de ciclos, economizando-se nutrientes e vazão de efluentes. Existem até trabalhos específicos sobre esta alternativa, como por exemplo, o citado por Barreto Fontes (1980).

### 3.2 — Aplicação direta no solo

A prática de disposição de vinhaça no solo, fazendo esta o papel de água de irrigação com fertilizante, foi proposta inicialmente por Almeida et al. (1950)<sup>(1)</sup>. Sua utilização produziria: a) melhoria das propriedades físicas e químicas do solo; b) elevação do seu pH, neutralizando ou alcalinizando o solo; c) aumento do poder de retenção de água; d) aumento das características de retenção de sais minerais; e) restauração, conservação ou aumento da fertilidade (por inclusão de matéria orgânica); f) aumento da microflora; g) produção de condições ideais para cultivo de cana.

As taxas de aplicação, todavia, são

as mais disparatadas possíveis. Há citações desde 12 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> (Bieske, 1979-Austrália)<sup>(21)</sup> até 1.000 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> (Monteiro, 1975-Brasil). A título de exemplo, faixas de variação que estão sendo testadas em lavouras de cana-de-açúcar, em experimentos que se desenvolvem, já há dois anos pela Cetesb, em três regiões de solos diferentes do Estado de São Paulo, se situam entre 50 e 150 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.

Deve-se ressaltar que as particularidades regionais são importantíssimas, ao se propor este tipo de aproveitamento. Desse modo, em solos com limitações pedológicas e topográficas, a aplicação de vinhaça deverá ser feita só após uma avaliação cuidadosa, supervisionada por especialistas habilitados. Mesmo porque, é considerado um material desequilibrado em relação aos macronutrientes, com teor elevado de potássio, médio de nitrogênio e baixo de fósforo.

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 pela cana, por exemplo, através da vinhaça vista agora como fertilizante. Para isto, é imperativo lançar mão de balanços materiais, tendo como ponto de partida, análises de solo, variedade de cana etc., para se saber qual a vazão a ser aplicada por unidade de área.

Nunca é demais repetir que taxas ótimas de aplicação são funções do tipo de solos e sua fertilidade, e da origem do vinhoto conforme este provenha de melaço, de caldo, ou seja misto. Taxas elevadas conduzem a efei-

tos indesejáveis, citando-se: comprometimento da qualidade da cana para produção de açúcar, poluição do lençol freático, salinização do solo etc.

### 3.2.1 — Meios de aplicação da vinhaça "in natura" na lavoura

O interesse em achar uma solução para a utilização econômica do restilo, tem aumentado por dois motivos principais: o primeiro é o considerável aumento de seu volume, devido à instalação de novas destilarias independentes ou anexas a usinas de açúcar e o segundo é a proibição de seu lançamento em corpos d'água receptores, através de legislação federal — Secretaria Especial do Meio Ambiente (Portarias/GM/323, de 29-11-78 e 158, de 03-11-80).

Evidentemente, os recursos necessários para equipamentos e instalações são de grande monta e não podem ser ativados ou desativados com muita facilidade, sob pena de ser comprometida a saúde econômica das empresas envolvidas. Dessa maneira, o empreendimento deve avançar de modo progressivo e seguro, merecendo orientação clara e objetiva.

Além do velho e anacrônico sistema de irrigação por sulcos, os meios de aplicação de vinhaça "in natura", denominados unidades móveis motorizadas, usualmente empregadas em nosso país, são constituídos de sistemas de esparçamento, formados por frota de caminhões-tanque de "queda-livre" ou acionados por tomada de força do cavalo. Além desses tipos, também existem os veículos de distribuição de vinhaça (VDV) que são largamente empregados no derramamento da vinhaça com solos cultivados com cana-de-açúcar.

Outra alternativa que está sendo amplamente utilizada nas agroindústrias açucareiras e alcooleiras, para distribuição de vinhaça na lavoura, é o sistema de aspersão por canhão hidráulico.

A classificação adotada para os métodos de distribuição de vinhaça no solo, os esquemas auto-explicativos dos sistemas móveis motorizados, bem como suas vantagens e desvantagens, estão sintetizadas em seqüência.

### 3.3 — Concentração e combustão

O vinhoto pode sofrer processo de evaporação, com o objetivo de diminuir seu volume inicial e facilitar seu manuseio, aproveitando-se sobras de energia na destilaria ou usina. O restilo concentrado vai, então, ter utilização como fertilizante, complemento de ração animal, ou até ser incinerado, visando uma possível recuperação de sais de potássio.

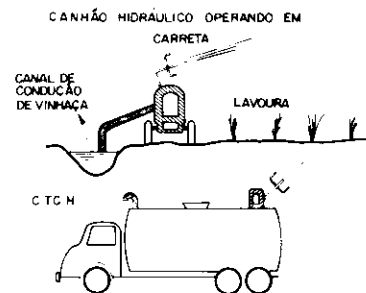
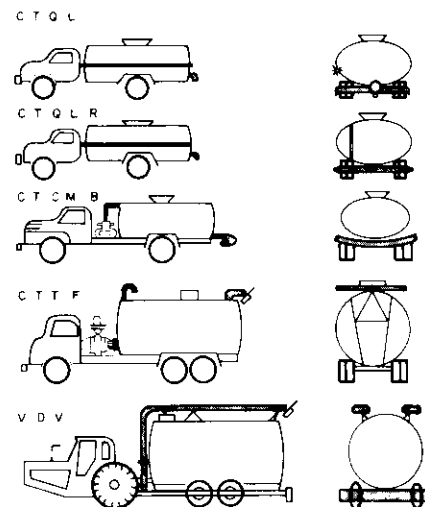
Assim é que existe um grande número de trabalhos (21) como os de Montanari (1954), Reich (1944), Chakrabarty (1963), Yamauchi (1977), mostrando as possibilidades de concentração da vinhaça e obtenção de  $K_2SO_4$ , basicamente, KCl e outros produtos,

## Métodos de aplicação de vinhaça no solo

1. Aplicação com veículos tanque	1.1. Caminhões-tanque (CT)	1.1.1. CT de queda livre	CTQL
		1.1.2. CT de queda livre com redução	CTQLR
		1.1.3. CT com conjunto moto-bomba	CTCMB
		1.1.4. CT com bomba acionada por tomada de força	CTTF
		1.1.5. CT pressurizado	CTP
		1.1.6. CT com canhão hidráulico	CTCH
	1.2. Veículos distribuidores de vinhaça (VDV)		

### 2. Injeção subsuperficial (ISS)

3. Fertilização	3.2. Irrigação por aspersão (IA)	3.1. Infiltração por sulcos (IS)	
		3.2.1. IA tradicional	IAT
		3.2.2. IA com canhão hidráulico	IACH



#### LEGENDA

CTQL	Caminhão tanque de queda livre
CTQLR	Caminhão tanque de queda livre com redução
CTCMB	Caminhão tanque com conjunto moto bomba
CTTF	Caminhão tanque com bomba acionada por tomada de força do cavalo
CTCH	Caminhão tanque com canhão hidráulico
VDV	Veículo distribuidor de vinhaça

empregados como fertilizantes. Já, Sastry (1964), Gupta (1968), Dubey (1974), Kujala (1976), optam pela concentração seguida de incineração, conseguindo-se diferentes porcentagens de  $K_2O$ ,  $P_2O_5$ ,  $K_2SO_4$  e KCl por métodos e processos variados. Sheehan & Greenfield (1980) mostram um bom resumo sobre o que se tem disponível a respeito de evaporação e combustão.

A prática brasileira não se tem inclinado a esta possibilidade, provavelmente por ter se mostrado antieconômica na fase atual. Há notícias sobre usina, na região de Ribeirão Preto, que concentra restilo. Já, sobre seu emprego como fertilizante, há a considerar a vantagem de facilidades devido ao menor volume, contrabalançadas com problemas de: viscosidade maior no bombeamento, redução do efeito de irrigação, dificuldade de incorporação ao solo, impossibilidade de aplicação por sistemas de sulcos e canais a não ser por rediluição etc.

Por fim, as águas condensadas da evaporação, de DBO considerável devem ser tratadas ou dispostas de acordo com as práticas atuais.

### 3.4 — Produção de proteína celular

A médio e longo prazo, as proteínas unicelulares, produzidas a partir de processos fermentativos parecem ser promissores.

A utilização de vinhaça como substrato para crescimento microbiano tem

se tornado importante nos últimos tempos e muito provavelmente a biomassa obtida atingirá preço compensador no mercado, apesar, ainda, de existirem limitações relativas a custo de transporte, dificuldades de manutenção do grau de umidade do produto durante o armazenamento, preferência de consumo próximo a destilaria etc.

A fermentação aeróbia do restilo não deve ser encarada como uma solução final para o problema, mas como opção complementar. A fermentação alcoólica, da qual resulta como resíduo o vinhoto, é tão ruim, anacrônica e ineficiente que o efluente gerado é uma matéria-prima riquíssima, utilizável numa segunda fermentação.

Sheehan (21) apresenta uma tabela com vários microorganismos testados por diferentes pesquisadores para a produção de biomassa protéica, utilizando-se efluentes de destilarias como substrato. Entre as leveduras, cita a *Candida utilis*, em experiências de Paz e Chang (1973), com valores de tempo de detenção de 9 a 12 horas e produção de  $18,75 \text{ kg.m}^{-3}$  de células. São citadas a *C. tropicalis*, a *C. scottii*, a *C. arborea* e *Torulopsis*, mas com resultados de fermentação com vinhaça de beterraba. Para algas, cita a *Chlorella vulgaris* e a *C. pyrenoidosa* (Okubo, 1967), com tempo de detenção de 96 horas para a segunda, e matéria orgânica removida na faixa de 80 a 90% para ambas. No caso de fungos, cita o

## Métodos de Aplicação de Vinhaça no Solo

Descrição	Vantagens	Desvantagens
<b>1. CAMINHÕES TANQUE (CT)</b>		
1.1.1. Caminhão tanque de queda livre (CTOL). Caminhão tanque com barra aplicadora operando por gravidade. Comando de válvula de abertura na cabina.	Fácil operação, baixo custo, fácil conservação e manutenção.	Sem controle de vazão, sem uniformidade na aplicação pois abaixando a coluna líquida diminui o vazão. Rendimento de aplicação baixo. Estreita faixa de terreno irrigada (4,2 m com barra aplicadora meia lua e = 2,2 m com barra reta). Há compactação do solo. Aplicação difícil em dias de chuva e em terrenos de maior declividade.
1.1.2. Caminhão tanque de queda livre com redução (CTOLR). Similar ao anterior, havendo apenas reduções sucessivas no diâmetro dos tubos de descarga, (de $\varnothing = 12''$ e $\varnothing = 3''$ ) e bicos de aplicação providos de leque.	Idênticas às acima, com aumento no rendimento de aplicação — faixa em torno de 7 m — já que aumenta a velocidade de saída do líquido pela diminuição de diâmetro.	Investimento maior que o anterior, porém atenuado pelo maior rendimento na irrigação. Subsistem as demais desvantagens.
1.1.3. Caminhão tanque com conjunto moto-bomba (CTCMT). Ao caminhão tanque se acopla um conjunto moto-bomba que distribui a vinhaça através de barra aplicadora.	Aplicação rápida e uniforme. Maior rendimento que os anteriores. Larga faixa de distribuição (10 a 11 m) diminuindo a compactação, já que transita em 1 a cada 8 ruas de cana.	Despesa extra na manutenção e consumo de combustível da moto-bomba, embora esta última seja atenuada pela maior área abrangida por passagem. Investimento maior que os dois acima. Há compactação de solo embora consideravelmente diminuída. Dificuldade de operação em terrenos de acentuada declividade e em dias chuvosos, ainda que, mediante colocação de um bico defletor seja possível a aplicação a partir do carregador.
1.1.4. Caminhão tanque com bomba acionada por tomada de força (CTTF). Difere do anterior no ponto em que a bomba que distribui a vinhaça através de um bico defletor, é acionada pela tomada de força da caixa de transmissão do motor do próprio caminhão.	Odênticas às acima. Menores investimentos e despesas de manutenção.	Similarmente ao sistema anterior, apresenta problemas de compactação do solo, difícil operação em dias chuvosos e em acentuada declividade. Menor uniformidade na aplicação, pois a bomba trabalha em função da aceleração do motor do caminhão.
1.1.5. Caminhão tanque pressurizado (CTP). Provido de sistema de pressurização por compressor acionado pela tomada de força do caminhão.	Faixa de aplicação ao redor de 7 m. Aplicação uniforme e rápida na área varrida.	Custos de manutenção elevados. Desvantagens similares as dos dois acima.
1.1.6. Caminhão tanque com canhão hidráulico (CTCH). Contendo sistema moto-bomba e aspersor setorial supercanhão na saída de pressão da bomba.	Ampla área de aplicação, ao redor de 120 m. Pode operar em dias chuvosos a partir do carregador.	Maior investimento, mais despesas na operação e manutenção. Maior consumo de combustível compensado pelo maior rendimento nas operações.
1.2. VEÍCULOS DISTRIBUIDORES DE VINHAÇA (VDV). CT ou veículo composto de um trator sem as rodas dianteiras e um tanque com equipamentos de distribuição. Opera em sistema conjugado com: a) introdução de caminhões para o transporte da vinhaça, da fonte até o local de distribuição; b) utilização de máquina - VDV - somente no local de distribuição.	Reduz a compactação do solo pelo uso de pneus de avião de baixa pressão. Fácil manejo. Manobras rápidas nos carregadores evitando o "pisoteamento" das soqueiras. Permite aplicação em dias chuvosos, pois os caminhões transitam somente em estradas e carregadores principais, não entrando em talhões. Trabalha em terrenos de maior declividade. Faixa de aplicação 10 m.	Maiores investimentos iniciais com 3 a 4 caminhões para transporte da vinhaça ao VDV, dependendo da distância. Programação perfeita de transporte para evitar tempos inertes.
<b>2. INJEÇÃO SUBSUPERFICIAL (ISS)</b> Trator com arado especial e número variável de perfis curvos injetores. Opera com manjeira a partir de um ponto de ligação (canal ou caminhão tanque).	Opera sob qualquer tempo. Aceita declividades. Ara a terra ao mesmo tempo que injeta vinhaça. Cobre o despejo aplicado. Efetua trabalhos agrícolas na entressafra.	Necessita sistema adequado de transporte de restilo; ou por caminhões tanque ou por canais condutores.
3.1. INFILTRAÇÃO POR SULCOS (IS)	Fertirrigação. Alia os efeitos da fertilização com os benefícios de aplicação d'água de diluição outras águas residuárias industriais como as de Lavagem de cana, colunas barométricas ou água de lavagem de pisos e equipamentos. Investimento inicial pequeno, custos de mão de obra e conservação mais altos.	Exige terrenos com topografia adequada, projeto correto de escoamento de águas pluviais, cuidadosa preparação e controle de velocidades de líquido para evitar erosão. As tubulações e sistemas de recalque devem levar em conta o caráter agressivo do vinhoto. Controle ineficiente das taxas de aplicação. Sistema permanente.
3.2.1. IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO TRADICIONAL (IAT).	A vinhaça pode ser aplicada diluída ou não. No primeiro caso apresenta as vantagens da fertirrigação. Dispõe também outros despejos. Quando projetado e executado corretamente, dispensa vigilância noturna.	Problemas de corrosão inerentes ao uso de restilo. Substituição constante de tubulações e engates rápidos. Custo mais elevado que o do item acima. Problemático em regiões sujeitas a ventos dominantes.
3.2.2. IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO COM CANHÃO HIDRÁULICO (IACH).		

Fontes: Copercucar. Aproveitamento da vinhaça: viabilidade técnico-econômica. Junho 1979  
Revista DAE, n.º 122, pág. 31-46, 1979  
Revista Saccharum-Stub, pág. 4-5, Dez./79

Trichosporon (Hilna, 1969), o *Penicillium commune* o *P. expansum*, o *P. spissum*, o *P. spinulosum* o *Aspergillus faetidus* e outros, dando produção de 21 a 81 Kg.m<sup>-3</sup> de células para o primeiro que foi o único testado para

efluentes de destilaria. Finalmente, na biossíntese de gorduras menciona a *Rhodotorula gracilis* (Zabrodskii, 1967) com 3,8 Kg.m<sup>-3</sup> a partir de vinhaça de beterraba.

Complementando é bom lembrar que

o efluente resultante desta segunda fermentação para obtenção de proteína celular, ainda contém um DBO elevado, não podendo ser descartado em corpos d'água, sem que antes sofra um tratamento ou destinação adequada.

### 3.5. Emprego, como complemento, de rações animais.

O emprego da vinhaça concentrada a 60° Brix na formulação de ração animal apresenta dificuldades de transporte e manuseio. Muitos desses inconvenientes podem ser eliminados se for utilizada vinhaça em pó, mesmo sendo esta higroscópica. Apresenta efeitos laxativos para o gado, apesar de incrementar a produção de leite. Há citações bibliográficas, propondo a adição de restilo em pó a rações, nas proporções de até 10 % para dieta de ruminantes, mas algo menor nas dietas de frangos e porcos.

### 3.6. Tratamentos físico-químicos

Experimentos de tratamento físico-químico têm mostrado pouco sucesso na opinião de autores estrangeiros. A sedimentação tem sido insatisfatória mesmo com adição de coagulantes e outros aditivos como alúmen, cal, cloreto de ferro e outros. Além disso, o sedimentado entra em fermentação anaeróbia e produz maus odores.

Novas tentativas foram desenvolvidas pelo pessoal da Feema-RJ e Cetesb-SP, em linhas diferentes, mostrando resultados animadores destacando-se o uso de bentonita. As respostas finais serão função de custos, do aproveitamento do material retido e do descarte dos efluentes.

Registram-se, ainda, (21) estudos sobre o uso de osmose reversa, eletrocoagulação, eletrodialise, eletrosmose, mas com custos muito elevados e grau de tratamento muito limitado.

### 3.7. Digestão anaeróbia

A bibliografia a respeito deste item é farta. Um só periódico lista 35 autores e respectivos estudos, partindo, é verdade, de diferentes efluentes de destilarias não só de beterraba, batata doce, rum, vinho etc. As DBO's iniciais, as cargas orgânicas aplicadas e os tempos de detenção, são bastante variados, havendo somente uma relativa homogeneidade quanto às porcentagens de remoção de DBO, geralmente acima de 60%.

Para o caso brasileiro, estão trabalhando ativamente a Cetesb-SP), o IPT-SP) e a Surehna-PR), prevendo-se boas novidades principalmente quanto à redução do tempo de detenção e consequente tamanho dos reatores.

As principais dificuldades (23) do processo de digestão anaeróbia são a lentidão do processo, provocada pela

baixa velocidade de crescimento das bactérias metanogênicas e a grande sensibilidade destes microorganismos a condições ambientais adversas, tais como: presença de oxigênio molecular ou quimicamente ligado, variações de temperatura, pH distante do neutro, presença de compostos tóxicos, ausência ou carência de nutrientes, sobre cargas etc. Uma outra observação digna de nota seria a de que, o efluente da digestão contém ainda carga poluidora considerável que deve ser disposta convenientemente, por exemplo, no solo ou por sistemas convencionais de tratamento.

Um sistema de digestão anaeróbia deve, então, ser planejado de forma a evitar ou pelo menos minimizar a ocorrência destes fatores adversos. Isto pode ser conseguido utilizando-se reatores e sistemas de controle sofisticados.

No caso particular do restilo, as grandes vazões exigem que se acelere ao máximo o processo, para que o volume dos digestores seja compatível com aplicações práticas.

Conclusões dos estudos já realizados pela Cetesb, apresentando 60% de redução de Sol. Voláteis e produção de 0,4 l de gás com 55-60% de CH<sub>4</sub> por g de S.V. adicionado, foram pela inviabilidade de aplicação do processo convencional de digestão anaeróbia do vinhoto, seja devido ao relativamente elevado tempo de detenção, da ordem de 15 dias, aproximadamente, seja devido aos problemas causados pela presença de sulfeto no despejo.

O melhor caminho, nos parece, seria o de aumentar o tempo de residência das bactérias no digestor, fazendo com que se trabalhe com tempos de detenção hidráulica menores, reduzindo sobremaneira o volume do reator. Isto seria conseguido através do uso de decantadores (se internos aos digestores, conhecidos como digestores de fluxo ascendente; se externos ao mesmo, tem-se o processo anaeróbio de contato), que permitam a recirculação do lodo bacteriano formado, ou através de utilização de filtros anaeróbios com enchimentos apropriados que proporcionam a retenção das bactérias aclimatadas.

Como resultado dessas observações, a Cetesb decidiu empenhar-se num programa de desenvolvimento de reatores não-convencionais, como os de filtros biológicos anaeróbios, testados já em escala de laboratório, com excelentes respostas (Souza).<sup>(23)</sup>

### 3.8. Outros tratamentos biológicos

Consegue-se alguma informação em bibliografia alienígena a respeito de tratamento de despejos de destilaria através do uso de lagoas de estabilização anaeróbia, facultativa e aerada. Atrativos do ponto de vista de capital investido e custos de operação, são até viáveis quando há terra disponível

a baixo preço. Não são, entretanto, utilizadas no Brasil.

Lodos ativados, filtros biológicos e discos biológicos rotativos, são, também, empregados em outros países, com restilo diverso do nosso, de características quali e quantitativas diferentes e eficiências finais coerentes a estes tipos de tratamento de despejos a nível secundário.

Sheehan cita até o tratamento conjunto de vinhaça com esgotos domésticos de cidades, caso totalmente irreal para o Brasil, onde a quase totalidade dos municípios não tem sequer rede coletora de esgotos, quanto mais estação de tratamento.

Existem, ainda, processos em desenvolvimento que preconizam a utilização de vinhaça como substrato para obtenção de produtos economicamente rentáveis, como proteína microbiana e substâncias farmacêuticas. É o caso, por exemplo, das chamadas bactérias fotossintéticas.

### 4. IDÉIA DE CUSTO DE ALGUMAS ALTERNATIVAS

Das alternativas de tratamento, reaproveitamento e/ou destinação da vinhaça apresentadas, as empregadas no dia-a-dia das usinas e destilarias brasileiras, são quase exclusivamente de aplicação "in natura" na lavoura com ou sem diluição e/ou junção de outras águas residuárias. Despontam, todavia, outras saídas como a digestão anaeróbia e lagoas de estabilização.

Num trabalho desenvolvido pela Cetesb a respeito dos custos de tratamento de vinhoto, obteve-se resultados interessantes apesar de serem somente aplicáveis ao caso particular em estudo, que gerava vinhaça de caldo.

Assim, os custos de tratamento e/ou disposição por m<sup>3</sup> de restilo, decresciam de aproximadamente Cr\$ 1.000,00 (Abril/81), na digestão anaeróbia, incluído o aproveitamento do gás metano gerado e excluída a disposição final, para 1/3 deste custo no caso de disposição em solos através de sistema de caminhões-tanque com tomada de força do cavalo. Numa variante deste método: o emprego de caminhões-tanque de queda livre chegava-se a 1/4 do valor citado acima. A surpresa veio logo em seguida com valores ainda mais baixos para um tratamento a nível secundário, por meio de sistema anaeróbio-facultativo de lagoas de estabilização, atingindo cerca de 1/5 do custo da digestão. Finalmente, o valor mínimo foi atingido supondo um sistema misto de irrigação por sulcos e emprego de canhões hidráulicos.

Evidentemente, em função de características próprias ao caso em questão, como composição do vinhoto, condições topográficas locais, taxas de aplicação convenientes ao tipo de solo da região etc., as condições ótimas de custo oscilarão e as respostas finais podem não ser as mesmas.

### 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

- a) Um país como o Brasil, que optou pela escolha do álcool etílico como combustível suplementar produzido a partir da cana-de-açúcar, ou outra biomassa, terá o brutal desafio de tratar e/ou dispor algo como 12x10,7 bilhões de litros de vinhaça por safra, em 1985.
- b) A carga poluidora deste único efluente, esquecendo-se os demais gerados pela agroindústria açucareira e alcooleira, criará áreas localizadas de intensa poluição hídrica se o tratamento ou disposição em solo, ou por outro meio, não for forçado por lei (o que já ocorre) e o principal: se não houver uma fiscalização rígida, atuante e eficiente.
- c) A composição físico-química da vinhaça pode variar diariamente, face a diversos fatores, como sejam: alteração da matéria-prima (caldo, melaço ou mosto misto), variações no próprio processo de fermentação/destilação, adição de outros efluentes da usina/destilaria.

As características principais de vinhaça compreendem:

- elevado teor de sólidos, na sua maior parte orgânicos e biodegradáveis;
- alta temperatura na saída da coluna de destilação;
- acentuado poder corrosivo (pH, cloretos etc.);
- elevados DBO, DQO, nitrogênio e potássio, e, parcelas menos significantes de fósforo.

- d) Atualmente, dispõe-se de diversas alternativas de aproveitamento, tratamento e disposição da vinhaça, quais sejam: reciclagem, aplicação direta no solo, concentração para incineração ou para adição a ração animal, produção de proteína celular, tratamentos físico-químicos, digestão anaeróbia, outros tratamentos biológicos convencionais. Destas, a única que é realmente praticada em larga escala no Estado de São Paulo, é a disposição "in natura" na lavoura. Os métodos para se conseguir isso, entretanto, se resumem a aplicação por veículos tanque e fertirrigação, quase que exclusivamente.
- e) Os custos envolvidos na implantação e operação destes sistemas são elevados e devem sempre ser precedidos de uma análise particular de cada caso, seguida de um balanço econômico das alternativas selecionadas tecnicamente como as mais viáveis.
- f) As opções que nos parecem mais promissoras para os próximos anos, seriam: a produção de proteínas unicelulares, a digestão anaeró-

bia do vinhoto e a otimização do processo fermentativo de produção de álcool, todas elas, note-se, ligadas ao desenvolvimento da microbiologia e engenharia bioquímica.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- 1 — ALMEIDA, J. R. de. Composição, proporção e aplicação de vinhaça. 2.ª ed., In: **Semana de Fermentação Alcoólica**, 3. Piracicaba, Instituto Zimotécnico, 1966, v. 2, p. 370-383. APUD: **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, Instituto do Açúcar e do Alcool, 1 (Jan): 33-25, 1981.
- 2 — BITTENCOURT, V. C. et alii. Composição da vinhaça. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, Instituto do Açúcar e do Alcool, 4(out): 36-25, 1978.
- 3 — BOLSANELLO, J.; VIEIRA, J. R. Caracterização da composição química dos diferentes tipos de vinhaça da região de Campos — RJ. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, Instituto do Açúcar e do Alcool, 5(nov): 59-45, 1980.
- 4 — CALDAS, H. E. Os fenômenos microbiológicos nos solos tratados com calda de destilaria. **Boletim Técnico n.º 10**, Recife, Instituto Agronômico do Nordeste, 1960. APUD: **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, Instituto do Açúcar e do Alcool, 1(jan): 27, 1981.
- 5 — CENTURION, R. E. B. et alii. **Tratamento de despejos líquidos de usinas de açúcar**. VII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária, Salvador, CETESB, 1973.
- 6 — CENTURION, R.E.B.; TARALLI, G. **A experiência adquirida e os programas da CETESB relativos a tratamento e reutilização de águas residuárias de açúcar e álcool de cana**. XVI Congresso Interamericano de Eng. Sanit. e Ambiental, Santo Domingo, CETESB, 1978.
- 7 — COPERSUCAR. **Aproveitamento da vinhaça: viabilidade técnico-econômica**. CTC, Piracicaba, 1979.
- 8 — COPERSUCAR. **Combate à poluição: avaliação do programa Copersucar** — Publicação do Centro de Tecnologia Copersucar, p. 14,33, 1979.
- 9 — GLORIA, N. A. et alii. Composição dos resíduos de usina de açúcar e álcool e destilarias. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, Instituto do Açúcar e do Alcool, 81(jun), 78-87, 1973. APUD: **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, Instituto do Açúcar e do Alcool, 1(jan): 33-25, 1981.
- 10 — GLORIA, N. A. et alii. Composição dos resíduos de usina de açúcar e destilarias de álcool durante a safra canavieira. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, Instituto do Açúcar e do Alcool, 81(nov), 38-44, 1972. APUD: **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, Instituto do Açúcar e do Alcool, 1(jan): 33-25, 1981.
- 11 — GLORIA, N. A. **Emprego de vinhaça para fertilização**. Publicação interna da CODISTIL, São Paulo, 1977.
- 12 — GLORIA, N. A.; MAGRO, J. A. Utilização agrícola de resíduos da usina de açúcar e destilarias na Usina da Pedra. **Anais do IV Seminário Copersucar da Agroindústria Açucareira**, Águas de Lindóia, São Paulo, 5-9, abril, 1976.
- 13 — LEME, E. J. A. **Aplicação de vinhaça em cana de açúcar por aspersão**. Boletim técnico Planalsucar, 1(4): 3-42, Piracicaba, set. 1979.
- 14 — LIMA, U. A. **Possibilidade de reaproveitamento econômico dos vários tipos de resíduos**. Simpósio sobre resíduos da industrialização de açúcar. CETESB, 1969.
- 15 — NOGUEIRA, JR. **Experiência em vinhaça na Fazenda do Funil (Usina Ester-SP)**. Datil, 1981.
- 16 — ORLANDO F.º, J. et alii. **Aplicação de vinhaça em soqueiras de cana de açúcar: economicidade do sistema caminhões-tanque**. Boletim técnico Planalsucar, Piracicaba, 2(5): 5-35, set. 1980.
- 17 — RODELLA, A. A. et alii. Composição de vinhaça. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, Instituto do Açúcar e do Alcool, 1(jan): 33-25, 1981.
- 18 — RODELLA, A. A. et alii. **Composição de vinhaça de destilarias autônomas**. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, Instituto do Açúcar e do Alcool (no prelo). APUD: **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, Instituto do Açúcar e do Alcool, 1(jan): 33-25, 1981.
- 19 — RODELLA, A. A.; FERRARI, S. E. A composição da vinhaça e efeitos de sua aplicação como fertilizante da cana de açúcar. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, Instituto do Açúcar e do Alcool, 1(jul): 6-13, 1977. APUD: **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, Instituto do Açúcar e do Alcool, 1(jan): 33-25, 1981.
- 20 — Publicação CODISTIL — Construtora de Destilarias Dedini S. A. **Emprego da vinhaça para fertilização**. Cap. 2.
- 21 — SHEEHAN, G. J.; GREENFIELD, P. F. Utilization, treatment and disposal of distillery wastewater. **Water Research**, 14(3): 257-277, Pergamon Press, Great Britain, 1980.
- 22 — SILVA, A. G. M. et alii. Comportamento agroindustrial da cana de açúcar em solo irrigado e não irrigado com vinhaça. **Anais do IV Seminário Copersucar da Agroindústria Açucareira**, Águas de Lindóia, SP, 5-9, abril, 1976. APUD: **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, Instituto do Açúcar e do Alcool, 86(5): 11-17, nov. 1975.
- 23 — SOUZA, M. E. **Anotações particulares**.
- 24 — STUPIELLO, J. P. et alii. Efeitos da Aplicação da Vinhaça como Fertilizante na Qualidade da Cana de Açúcar. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, Instituto do Açúcar e do Alcool, setembro 1977, 41. APUD: **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, Instituto do Açúcar e do Alcool. —(6): 78-87, 1973.
- 25 — VASCONCELOS, N. V. et alii. **Sistemas de segurança para prevenir episódios agudos de poluição das águas no Estado de São Paulo**. 10.º Congresso Bras. Eng. Sanitária e Ambiental, Manaus, CETESB, 1979.