UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

GASPAR ANTÔNIO DA SILVA

AVALIAÇÃO DAS TECNOLOGIAS DE DISPOSIÇÃO DE VINHAÇA DE
CANA DE AÇÚCAR QUANTO AO ASPECTO DE DESENVOLVIMENTO
AMBIENTAL E ECONÔMICO

São Carlos
2012

GASPAR ANTÔNIO DA SILVA

**AVALIAÇÃO DAS TECNOLOGIAS DE DISPOSIÇÃO DE VINHAÇA DE
CANA DE AÇÚCAR QUANTO AO ASPECTO DE DESENVOLVIMENTO
AMBIENTAL E ECONÔMICO**

Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Mecânica.

Área de concentração: Térmica e Fluidos

Orientador: Prof. Dr. Josmar Davilson Pagliuso

São Carlos

2012

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

S586a Silva, Gaspar Antônio da.
Avaliação das tecnologias de disposição de vinhaça de cana de açúcar quanto ao aspecto de desenvolvimento ambiental e econômico. / Gaspar Antônio da Silva ; orientador Josmar Davilson Pagliuso. São Carlos, 2011.

Tese (Doutorado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e Área de Concentração em Termica e Fluidos)-- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2011.

1. Sustentabilidade. 2. Vinhaça de cana de açúcar. 3. Modalidades tecnológicas de disposição de vinhaça. 4. Fertirrigação com vinhaça. 5. Potássio. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro **GASPAR ANTONIO DA SILVA**

Título da tese: “**Avaliação das tecnologias de disposição de vinhaça de cana de açúcar quanto ao aspecto de desenvolvimento ambiental e econômico**”.

Data da defesa: 24/11/2011:

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. **Josmar Davilson Pagliuso (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

Prof. Dr. **Antonio Moreira dos Santos**
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

Prof. Titular **Geraldo Lombardi** (aposentado)
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

Dra. **Leny Borghesan Albertini Alberguini**
(Território Ambiental Ltda.)

Dr. **Sergio Antonio Veronez de Sousa**
(Veronez Projetos e Consultoria).

Resultado:

Aprovado

Aprovado

Aprovado

Aprovado

APROVADO.

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica:
Prof. Associado **Marcelo Areias Trindade**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:
Prof. Associado **Paulo Cesar Lima Segantine**

Dedico esse trabalho à minha esposa, meus filhos, meu pai, minha mãe, meus familiares e a todos que colaboraram com minha formação acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Ao nobre mestre, professor e orientador Prof. Josmar Davilson Pagliuso, pela dedicação, apoio e orientação.

Aos grandes Mestres Antônio Moreira dos Santos, Fernando Eduardo Milioli, Sérgio Rodrigues Fontes, Paula Cristina Garcia, Manoel Crnkovic, Lauralice de Campos Franceschini Canale, a todos os Mestres do Departamento de Térmica e Fluidos da USP de São Carlos, pelos conhecimentos a mim transmitidos.

Ao grande mestre Prof. Dr. Geraldo Lombardi, pelos seus ensinamentos técnicos e científicos, e também filosóficos da vida social firmado pelo projeto Geripa.

À Dra. Ivonete Àvila e a todos os colaboradores do laboratório de Térmica e Fluidos da USP de São Carlos, pela grande cooperação.

A Dra. Leny Borghesan Albertini e todos os colaboradores do Laboratório do laboratório de Química da USP de São Carlos pela grande colaboração.

À Da. Ana Paula e a todos os colaboradores da Secretaria da Engenharia Mecânica da USP de São Carlos, pela dedicação.

Ao grande Mestre Wiclef Marra pelos ensinamentos de Balanço de Massa e Energia e a todo o pessoal do Departamento de Hidráulica e Saneamento da EESC-USP de São Carlos.

Ao Professor Dr. Aldo Roberto Ometto, pelos grandes ensinamentos dos conceitos de sustentabilidade e a todos da Engenharia de Produção da USP de São Carlos

A USP – Universidade de São Paulo, FGV- Fundação Getúlio Vargas, à UFSCAR- Universidade Federal de São Carlos, à Escola de Engenharia de Araraquara (Logatte), a todas as Escolas pelas quais passei e aos professores que fazem parte do meu currículo acadêmico

Às empresas: Grupo Virgolino de Oliveira S/A Açúcar e Alcool, especialmente ao seu presidente Engenheiro Hermelindo Ruelle de Oliveira, ao seu Diretor Dr. José Luiz Zanetti; aos Gerentes Me. Adilson Giacomelli,

Engenheiro Agrônomo João Carlos Rocha Abdo, ao Dr. Armando José Dalben e a todos os seus colaboradores – pela amizade, apoio, motivação e disponibilização de recursos. À Cabrera Central Energética, especialmente ao seu presidente Ministro Antonio Cabrera Mano Filho e a todos os seus colaboradores, pela amizade, apoio, motivação e disponibilização de recursos. Ao Grupo Clealco, especialmente seu Diretor José Carlos Escobar, a todos os seus Diretores, Acionistas e colaboradores, pela amizade, apoio, motivação e disponibilização de recursos.

Ao pessoal da Copersucar e o CTC de Piracicaba, pelas informações e apoio.

À Dra. Livia Cristina Holmo Villela e a todos da Empresa SHS da Cidade de São Carlos, pelo companheirismo amizade e colaboração.

Ao Dr. Sergio Veronez de Souza, projetista e consultor da área de fertirrigação, pelo auxílio no estudo realizado, sobre vinhaça e a todos os profissionais que se dedicam a este fim.

Ao Engenheiro Agrônomo João Francisco Martins consultor da área ambiental pela amizade e contribuição técnica.

Às Minha Irmãs Roseli Aparecida da Silva e Maria José da Silva pela grande ajuda.

Aos meus pais, Vicente Joaquim da Silva e Maria Luiza Alves da Silva, pelos bons conselhos, dedicação e carinho.

À minha esposa Elenir, aos meus filhos Gaspar Filho e Laura Helena, aos parentes e amigos pela compreensão, auxílio, amor e apoio constante.

A DEUS, e à menina Santa Izildinha, pela constante proteção nos estudos. por ter me dado a fé, a força e o gosto pela busca do aprendizado, do conhecimento e da sabedoria.

RESUMO

SILVA, G.A. **Avaliação das tecnologias de disposição de vinhaça de cana de açúcar quanto ao aspecto de desenvolvimento ambiental e econômico.** 208p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

Uma das formas mais integradas com o meio ambiente, mais completas e eficazes para gestão de disposição de resíduos industriais é propiciar seu reaproveitamento em benefício da própria cadeia de processo produtivo, com a busca da sustentabilidade como melhor caminho e a avaliação econômica como a principal motivação. Diante disso, o presente trabalho assumiu estudar a vinhaça de cana de açúcar resultante do processo produtivo do álcool e principalmente do álcool etílico hidratado (etanol) combustível – alternativo entre os fósseis e com grande importância para o Estado de São Paulo e para o Brasil – reconhecido mundialmente como produção limpa e renovável, com grandes perspectivas no mercado internacional. A vinhaça – produzida em larga escala e liberada para uso agrícola com temperatura, DBO e DQO elevados – seu potencial poluidor é conhecido e controlado pela Norma Técnica da CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, P4. 231 do ano de 2006, através do balanço anual de potássio do solo agrícola. Este trabalho foi desenvolvido com a proposta de investigar as modalidades de disposição de vinhaça; a metodologia utilizada foi a análise de custo do hectare fertirrigado para cada alternativa de disposição estudada versus o custo do há tratado com adubação química de origem mineral. É consensual que a fertirrigação com vinhaça *in natura*, além de ser a mais proveitosa forma, é também indispensável nos casos de déficit hídrico da lavoura; no entanto, o custo do transporte requer adequações tecnológicas. O potássio oriundo da vinhaça pode suprir as necessidades de toda lavoura canavieira; dela pode provir boa parte do fósforo e do nitrogênio além dos benefícios incrementais que a ação microbiológica promove ao solo agrícola em relação à adubação química de origem mineral. Entre as conhecidas alternativas de disposição de vinhaça de cana de açúcar, a fertirrigação revelou ser excelente, por permitir o emprego de diferentes modalidades de transporte e distribuição que podem ser customizadas às peculiaridades geográficas de cada região ou da área em estudo. Pela ausência de conformidade econômica, a vinhaça ainda não atingiu um terço da área ocupada com cana de açúcar, fator que inibe o desenvolvimento ambiental. Deste modo, a fim de orientar as unidades produtoras de álcool para utilizarem a fertirrigação com grande desempenho ambiental, este trabalho indica alternativas que podem viabilizar economicamente a substituição do potássio e outros nutrientes químicos de origem mineral pela fertirrigação com vinhaça, que poderá ser depositada na totalidade da área ocupada com cana de açúcar.

Palavras-chaves: Sustentabilidade. Vinhaça de cana de açúcar. Modalidades tecnológicas de disposição de vinhaça. Fertirrigação com vinhaça. Potássio.

ABSTRACT

SILVA, G.A. **Evaluation of technologies for the disposal of sugarcane vinasse in terms of environmental and economic development.** 208p. PhD. Thesis - School of Engineering of Sao Carlos, University of Sao Paulo, Sao Carlos, 2011.

Reuse is one of the most environmentally responsible decisions and one of the most complete and effective ways to manage industrial waste disposal for the benefit of the production chain focusing on sustainability and economic evaluation. Therefore, the present study investigates sugarcane vinasse resulting from the industrial production of alcohol, especially hydrated ethyl alcohol (ethanol) – an alternative fossil fuel of great importance in the State of São Paulo and Brazil – recognized worldwide as a clean and renewable energy production with great prospects in the international market. The pollution potential of vinasse, which is produced in large scale and is approved for use in agriculture with high temperature, BOD, and COD, is known and controlled by the Technical Rule P4. 231 (2006) issued by CETESB – Environmental Sanitation Technology Company – through the annual measurement of potassium levels in the soil. This study was carried out aiming at investigating methods of disposal of vinasse. The methodology used was based on the cost analysis of each hectare of soil fertirrigated for each disposal alternative studied versus the cost of hectare of soil treated with mineral fertilizers. It is known that fertirrigation with *in natura* vinasse, besides being the most profitable way, is essential in cases of crop water deficit; however, the cost of transport requires technology adaptations. The content of potassium in vinasse can meet the needs of the whole sugarcane crop, which can provide phosphorus and nitrogen in addition to the incremental benefit of microbial activity to the agricultural soil regarding mineral fertilization. Among the existing methods for the disposal of vinasse generated from sugarcane, fertirrigation proved excellent for allowing the use of different modes of transport and distribution that can be tailored to the peculiarities of each region or geographic area under study. Due to non-economic conformity, the use of vinasse has not yet reached one third of the total sugarcane producing area, a factor that inhibits environmental development. Thus, in order to guide alcohol production units towards the use of fertirrigation achieving high environmental performance, this study proposes economically viable alternatives to substitute potassium and other mineral nutrients for fertirrigation with vinasse, which may be used in the whole area occupied with sugarcane.

keywords: Sustainability. Vinasse from sugarcane. Technology to dispose of vinasse. Fertirrigation with vinasse. Potassium.

Lista de Gráficos

Gráfico 01 – Evolução da Produção Nacional de Álcool - volumes anuais médios produzidos agrupados por quinquênios	25
Gráfico 02 – 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 quinquênios	26
Gráfico 03 – Produção brasileira de etanol, vinhaça e potássio, a partir da produção de etanol apresentada na pagina 22 deste trabalho considerando: 13m ³ de vinhaça para 1m ³ de álcool e 3kg de potássio para 1m ³ de vinhaça.	36
Gráfico 04 – Comparação de Custos.	172
Gráfico 05 – Comparação de Custos	173

Lista de Tabelas

Tabela 01– Produção Brasileira de etanol	21
Tabela 02– Composição físico - química de vinhaças conforme o tipo de mosto	49
Tabela 03 – Exportação e reposição de nutrientes - exigências de macro nutrientes para produção de 100t de cana	58
Tabela 04 – Redução percentual de volume em função da concentração, e a equivalente relação vinhaça por litro de álcool	92
Tabela 05 – Raio econômico de aplicação da vinhaça em função da concentração	95
Tabela 06 – Dados de vazão dos testes realizados em Maio de 2010	108
Tabela 07 – Brix	108
Tabela 08 – Concentrações de Etanol	109
Tabela 09 – Resultados dos testes realizados em junho de 2010	110
Tabela 10 – Resultados da Coluna Fucci versus resultados da coluna convencional	110
Tabela 11 – Características físico-químicas da vinhaça da Destilaria São João	120
Tabela 12 – Características físico-químicas da vinhaça da Destilaria São Martinho	124
Tabela 13 – Poder calorífico e peso específico do biogás de biodigestão, metano, GLP e gás natural.	125
Tabela 14 – Poder calorífero de vários produtos e subprodutos da cana	133
Tabela 15 – Resultados das análises do experimento realizado no período da manhã	149
Tabela 16 – Resultados das análises do experimento realizado no período da tarde	149
Tabela 17 – Alternativa 1	157 / 158
Tabela 18 – Alternativa 2	161 / 162
Tabela 19 – Alternativa 3	164 / 165
Tabela 20 – Demonstrativo das despesas das alternativas propostas	166 / 167
Tabela 21 – Comparação das alternativas – Benefícios da Fertirrigação	169
Tabela 22 – Resumo das Alternativas do Projeto	170

Lista de Figuras

Figura 01– Mapeamento da cana de açúcar via imagem de satélite de observação da terra.	19
Figura 02 – Mapeamento da cana de açúcar via imagem de satélite de observação da terra	20
Figura 03 – Efeito estufa.	27
Figura 04 – Balanço de CO ₂ .	28
Figura 05 – Produção de vinhaça saindo da indústria e entrando para o depósito para ser distribuída na lavoura como fertirrigação.	41
Figura 06 – Lavagem de cana.	42
Figura 07 – Compostagem de torta de filtro.	43
Figura 08 – Bagaço armazenado.	44
Figura 09 – Vinhaça da Usina Cerradinho de Potirendaba, saindo da indústria (destilaria de álcool) e entrando no tanque para distribuição na lavoura de cana.	45
Figura 10 – Aplicação da vinhaça através de caminhões tanque.	77
Figura 11 – Aplicação de vinhaça por aspersão.	79
Figura 12 – Aspersão através do sistema de carretel – rolão.	80
Figura 13 – Detalhe do canhão por aspersão.	81
Figura 14 – Quem adota a fertirrigação obtém resultados positivos.	81
Figura 15 – Concentrador Ecovin.	98
Figura 16 – Água resultante da concentração da vinhaça (permeado), no momento da operação do concentrador Ecovin.	98
Figura 17 – Aplicação no Campo – Vinhaça concentrada.	99
Figura 18 – Vista em corte do equipamento (coluna Fucci).	105
Figura 19 – Desenho esquemático adaptado de um reator tipo UASB.	114
Figura 20 – Vista da instalação de biodigestão da Destilaria São João.	120
Figura 21 – Vista do biodigestor instalado na Usina São Martinho.	123
Figura 22 – Desenho esquemático – Tecnologia de leite fluidizado.	132
Figura 23 – Câmara de combustão	134
Figura 24 – Desenho esquemático do processo de osmose reversa	144
Figura 25 – Equipamento e utensílios utilizados para realizar o teste.	145
Figura 26 – Fluxograma da máquina de osmose reversa.	146
Figura 27 – Membrana de osmose reversa	147
Figura 28 – Vinhaça <i>in natura</i> ; vinhaça concentrada e a água (permeado)	148
Figura 29 – Mapa geral da empresa estudada	152
Figura 30 – Mapa conforme alternativa 1.	155
Figura 31 – Mapa conforme estudo das alternativas 2;3 e 4.	159

Sumário

1 Introdução	19
1.1 Definição da Proposta, do Objetivo e do Escopo	23
1.2 Histórico dos Aspectos Ambientais e Econômicos da Vinhaça devido a Evolução da Produção do Alcool, Principalmente o Etanol	24
2 Revisão de Bibliográfica	39
2.1 A Vinhaça de Cana de Açúcar	39
2.1.1 Experimentos de Ordem Global na Utilização da Vinhaça	49
2.2 Pontos Fortes da Disposição de Vinhaça para o Solo Agrícola e a Lavoura Canavieira	57
2.3 Pontos Fracos da Disposição de Vinhaça para o Solo Agrícola e a Lavoura Canavieira	63
2.4 Aspectos Ambientais da Disposição de Vinhaça	64
2.4.1 Resíduos Classe I – Perigosos	65
2.4.2 Resíduos Classe II A – Não Inertes	66
2.4.3 Resíduos Classe II B – Inerentes	66
2.4.4 Quanto à Matéria Orgânica	67
2.4.5 Evolução Histórica da Consciência e da Normatização Ambiental Sobre a Disposição de Vinhaça	68
2.4.6 Desenvolvimento Tecnológico para a Distribuição da Vinhaça na Lavoura Canavieira - Fertilirrigação	73
2.5 Tecnologias Inovadoras de Disposição de Vinhaça	83
2.6 O Uso Da Tecnologia de Concentração de Vinhaça de Cana de Açúcar	85
2.7 Concentrador de Vinhaça de Cana de Açúcar da Usina Cerradinho – Unidade de Potirendaba, SP	96
2.8 Projeto de Concentração de Vinhaça Denominado Coluna Fucci	102
2.9 O Emprego da Tecnologia da Biodigestão na vinhaça de Cana de Açúcar	112
2.10 Combustão Direta ou Incineração de Vinhaça	129
2.11 Abordagem Teórica para Análises Econômicas	141
3 Materiais e Métodos	143
3.1 Primeiro Experimento – Utilização da tecnologia de osmose reversa para concentração de vinhaça de cana de açúcar visando redução do custo de transporte para a lavoura – Teste realizado na Usina Clealco, Clementina, São Paulo	143

3.1.1 Resultados e discussão	147
3.1.2 Conclusões do primeiro experimento	150
3.2 Segundo Experimento - Plano Diretor de Disposição de Vinhaça de Cana de Açúcar – Estudo de Caso na Usina Clealco, Clementina, SP	151
3.2.1 Análise de Inventário	152
3.2.1.1 Alternativa 1	155
3.2.1.2 Alternativa 2	158
3.2.1.3 Alternativa 3	162
3.2.1.4 Alternativa 4	165
4 Resultados e Discussão	166
4.1 Análise das Alternativas Propostas para a Empresa Estudada	166
4.2 Análise específica para cada modalidade de disposição de vinhaça estudada	171
5 Conclusões	174
6 Sugestões para Trabalhos Futuros	177
Referências	179
Anexo I	195

1. Introdução

Historicamente, a cana-de-açúcar tem sido um dos principais produtos agrícolas do país, cultivada desde a época da colonização. De acordo com o CENBIO (2002), praticamente 2/3 de sua energia é constituída pelo bagaço e pela palha. A cana de açúcar, que atualmente ocupa grande parte do território brasileiro, é reconhecida como uma das principais fontes de renda da área agrícola do Brasil, o Estado de São Paulo é o maior produtor do Brasil, com 60%, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística –IBGE (2010).

Na figura abaixo uma visão do espaço geográfico coberto pela cultura da cana na região centro sul do Brasil.

Figura 01 - Mapeamento da cana de açúcar via imagem de satélite de observação da terra.
Fonte: CANASAT, 2011.

A figura a seguir mostra a curva da expansão, bem como o percentual usado para cultura da cana de açúcar no Estado de São Paulo no período de 2003 a 2004.

Figura 02 - Nome da figura: mapeamento da cana de açúcar via imagem de satélite de observação da terra
Fonte: CANASAT, 2011.

Do seu processo de industrialização são produzidos principalmente: o açúcar e o álcool de vario tipos, em se tratando do álcool, a grande maioria e o etanol (álcool combustível). Vale dizer que este é de grande importância mundial uma vez que é reconhecido como produção limpa e renovável e também pelo fato de ser combustível alternativo entre os fósseis pelo conceito de produto ambientalmente correto.

O Brasil é o maior setor sucroalcooleiro no mundo, com os menores custos de produção e, também, o maior exportador desses produtos. Além das perspectivas já existentes com os acordos multinacionais de meio ambiente, os chamados Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL), ensejam que os produtos das usinas sucroalcooleiras representem um grande mercado potencial para os seus produtos e subprodutos.

A cogeração de energia a partir do bagaço de cana faz parte do contexto de Produção mais Limpa, além de ser considerado como de impacto positivo ao meio ambiente. O potencial de geração de energia a partir do bagaço de cana-de-açúcar brasileiro equivale a 25 mil Giga Watts/hora. Tal potencial equivale a 5,4% dos 461.029 GWh gerados no ano de 2006 por todas as fontes energéticas do País (SIMÕES, 2008).

Na safra de 2010/11, a produção do setor sucroalcooleiro foi de 623.720.096 toneladas de cana de açúcar; 763.487.42,00 sacas de 50 kg de açúcar; ou seja, 38.174.371,00 t. de açúcar; 8.027.283,00 m³ de etanol anidro; 19.575.401 m³ de etanol hidratado; contabilizando 27.602.684 m³ de etanol total. Somente o Estado de São Paulo é responsável pela produção de 361.723.270,00 toneladas de cana de açúcar – que significa 58,0% da produção total do Brasil. Segundo ANFAVEA¹ (2010), somente em 2009, foram licenciados no Brasil, 2.874.077 milhões de veículos com tecnologia bicombustível que representou 92,20% dos veículos e utilitários leves licenciados no Brasil.

A tabela abaixo mostra a produção de etanol em metros cúbicos das macro - regiões Brasileiras das safras a partir de 2006. Vale lembrar que, embora, na maioria das usinas já tenha terminado, a safra 2011/2012 (safra atual), ainda não está completa, pois, o ano agrícola finaliza em término do mês de março de 2012.

Tabela 01 – Produção Brasileira de etanol

Regiões <i>Regions</i>	Safras / <i>Crops</i>						m ³
	06/07	07/08	08/09	09/10	10/11	11/12(*)	
Norte/Nordeste <i>North/Northeast</i>	1.778.503	2.193.358	2.410.999	2.005.164	1.991.614	811.221	
Centro-Sul <i>Center-South</i>	16.160.925	20.252.621	25.270.240	23.733.511	25.612.506	19.218.909	
BRASIL <i>Brazil</i>	17.939.428	22.445.979	27.681.239	25.738.675	27.604.120	20.030.130	

Fonte: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA; Secretaria de Produção e Agroenergia - SPAE; Departamento de Cana-de-açúcar e Agroenergia - DCAA. 2011.

Deste processo fabril se obtém vários resíduos, dentre eles, os principais são derivados da própria matéria prima, a cana de açúcar. Estes resíduos podem ser considerados subprodutos, pois tratados ou *in natura* são totalmente reaproveitados no próprio cultivo da cana ou fornecidos como matéria prima para outras empresas ligadas ou não ao setor sucroalcooleiro, como por exemplo: a torta de filtro para compostos orgânicos ou adubos organominerais; o bagaço como combustível para produção de energia elétrica e outros, e também a vinhaça, exclusiva da produção do álcool, que este trabalho apresenta com excelência e com riqueza de detalhes.

Como já foi dito em (OMETTO, A. R. 2005), devido à intensa demanda e a intensificação da importância dos produtos do setor sucroalcooleiro no conceito

¹ Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores.

da sustentabilidade, o etanol um produto brasileiro, alternativo frente aos fósseis, de grande importância estratégica para o país e com a possibilidade de ser uma opção para os usuários dos combustíveis aliados ao mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL), estabelecido pelo protocolo de *Kyoto*². fica sinalizado que:

- a) Há possibilidade de transformação do setor sucroalcooleiro em um complexo energético mais eficiente, renovável e com melhores qualidades ambientais.
- b) O Brasil é o país que pode produzir álcool pelo menor custo, segundo Bacchi (2004), e tem Estado de São Paulo como o maior produtor nacional de álcool, principalmente o etanol, devido principalmente ao solo e clima propícios à cultura da cana, que tem motivado para modernas tecnologias e experiência para produzir o álcool combustível a partir da cana de açúcar.
- c) O álcool combustível apresenta alto potencial para ser ambientalmente correto.
- d) O álcool combustível apresenta níveis bem mais baixos de poluentes durante sua combustão em comparação com os combustíveis fósseis, conforme relatado por (COOPERSUCAR 1989).

Sob o aspecto ambiental para o setor produtivo de modo geral – o qual tem aumentado significativamente devido à demanda internacional, principalmente na Europa e Japão, no que respeita à fontes renováveis de energia estabelecida pelo Protocolo de Kyoto (1988) , ratificado em fevereiro de 2005, – o que na teoria, os

² O documento tem por objetivo estabelecer metas para a redução das emissões de gás carbônico por países industrializados, mais precisamente, reduzir os níveis de emissão de gases do efeito estufa em 5.2% em 2012 comparando-se com os níveis de 1990. Os Estados Unidos, responsáveis por mais de 35% das emissões de gases, se negavam a participar do acordo sem que fossem feitas alterações nas medidas exigidas pelo protocolo e, em 2001, se retiraram definitivamente das negociações. Apesar de existir o Protocolo de Kyoto, ele só foi implementado de fato em 2004 com a adesão da Rússia, segundo maior emissor de gases nocivos ao efeito estufa, atingindo assim a porcentagem de 55% países poluentes. O acordo começou a valer em Fevereiro de 2005.

países que assinaram³, diminuiriam as emissões globais de gases do efeito estufa causados, principalmente, pelo uso de combustíveis fósseis.

O processo de disposição da vinhaça é parte do ciclo de vida da produção do álcool cuja matéria prima é a cana de açúcar que requer correta destinação da vinhaça, da qual o potássio é o elemento principal.

1.1. Definição da Proposta, do Objetivo e do Escopo

O presente trabalho que nasce da hipótese de buscar um modo de uso adequado da vinhaça, tem por proposta descrever:

Um teste realizado na Usina Clealco – Unidade de Clementina, Estado de São Paulo, de concentração de vinhaça pelo processo de osmose reversa com a finalidade de redução do custo do transporte da vinhaça até a lavoura de cana de açúcar. Para realização deste teste houve a participação da empresa HS – Osmose Reversa do Estado do Recife.

Um estudo de caso onde foram estudadas quatro alternativas de um sistema de fertirrigação que contempla vinhaça *in natura* e vinhaça concentrada, utiliza como transporte da usina até a lavoura, adutoras de recalque e caminhões tanque com apuração do custo do há fertirrigado versus o custo da adubação química de origem mineral em função da distância da área fertirrigada, sendo que a vinhaça concentrada aborda uma alternativa que considera o custo do vapor consumido no processo de concentração, e outra alternativa sem considerar o custo deste vapor. O objetivo é de proporcionar um destino racional à vinhaça, não apenas do ponto de vista técnico, mas visa também, demonstrar que é factível preservar ou pelo menos minimizar a poluição hídrica. O propósito é fazer a aplicação da metodologia em áreas de plantio e soqueiras de cana-de-açúcar,

³Alemanha, Austrália, Áustria, Belarus, Bélgica, Bulgária, Canadá, Comunidade Européia, Dinamarca, Espanha, Estados Unidos, Estônia, Federação Russa, Finlândia, França, Grécia, Hungria, Irlanda, Islândia, Itália, Japão, Letônia, Lituânia, Luxemburgo, Noruega, Nova Zelândia, Países Baixos, Polônia, Portugal, Reino Unido da Grã-Bretanha e Irlanda do Norte, República Tcheca, Romênia, Suécia, Suíça, Turquia e Ucrânia.

para substituir, total ou parcialmente, a adubação mineral e atender possível déficit hídrico na cultura canavieira.

1.2. Histórico dos Aspectos Ambientais e Econômicos da Vinhaça devido a Evolução da Produção do Álcool, Principalmente o Etanol

Durante décadas, mesmo quando a vinhaça ainda não era gerada nos volumes atuais, ela já preocupava a comunidade científica e os órgãos de controle ambiental quanto aos seus impactos ambientais.

O trabalho de 1952 de Almeida⁴ (1955 *apud*, SZMRECSÁNYI, 1994), mostrou que desde os anos 40 e 50 o tema havia despertado a atenção de cientistas e era objeto de estudo, ocasião em que o resíduo era despejado nos mananciais de superfície e em "áreas de sacrifício".

Com a implementação do Programa Nacional do Álcool (PROALCOOL⁵), 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 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 Brasil. Com a implementação do ProAlcool, a produção nacional de etanol mudou de patamar. Dos 638 milhões de litros anuais, produzido em média na primeira

⁴ ALMEIDA, J.R. O problema da vinhaça. Brasil Açucareiro, v.46, n.2, p. 72-77, 1955.

⁵ O PROÁLCOOL foi um programa bem-sucedido de substituição em larga escala dos derivados de petróleo. Foi desenvolvido para evitar o aumento da dependência externa de divisas quando dos choques de preço de petróleo. De 1975 a 2000, foram produzidos cerca de 5,6 milhões de veículos a álcool hidratado. Acrescido a isso, o Programa substituiu por uma fração de álcool anidro (entre 1,1% a 25%) um volume de gasolina pura consumida por uma frota superior a 10 milhões de veículos a gasolina, evitando, assim, nesse período, emissões de gás carbônico da ordem de 110 milhões de toneladas de carbono (contido no CO₂), a importação de aproximadamente 550 milhões de barris de petróleo e, ainda, proporcionando uma economia de divisas da ordem de 11,5 bilhões de dólares (Fonte: biodieselbr.com/2011).

metade da década de 70, a produção aumentou significativamente e no final dos anos 90, atingiu o volume aproximado de 16 bilhões de litros anuais. Deste volume total, no dizer de Scheleder (1998), cerca de 15 bilhões é álcool combustível.

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, inevitavelmente provocou aumento da produção da vinhaça e, portanto, agravou, o problema do destino desse resíduo.

O gráfico a seguir mostra o crescimento acentuado da produção de álcool durante o período do programa PROALCOOL.

Gráfico 01 - Evolução da Produção Nacional de Álcool - volumes anuais médios produzidos agrupados por quinquênios.

Fonte: Reprodução dos dados do Workshop "Agroindústria Canaveira e o Novo Ambiente Institucional" (1998).

É amplamente conhecido – e repetiremos tal fórmula neste estudo – que, cada litro de álcool produzido dá origem a cerca de treze litros de vinhaça; portanto, o crescimento da produção deste resíduo tem sido vertiginoso.

Em nosso país, o volume de vinhaça gerado anualmente pode ser estimado, de acordo com dados apresentados por Hassuda (1989) com a informação que a produção atual de álcool, é estimada em algo em torno de 192

bilhões de litros por safra. Os dados sobre a evolução da geração de vinhaça (até 1998) são apresentados no Gráfico 2.

Cabe observar que, embora aperfeiçoamentos tecnológicos tenham tido lugar na agroindústria canaveira 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; esse fato as torna produtoras não apenas de álcool (e açúcar) mas, também, de imensas quantidades do resíduo.

Provavelmente, o fato de o setor sucroalcooleiro não ter direcionado esforços significativos no sentido de reduzir a proporção entre vinhaça e álcool provavelmente estará relacionado, por um lado, à sua natureza heterogênea e, por outro, à ausência de regulamentação ambiental mais restritiva.

Assim como o crescimento da produção do álcool durante o período do programa PROALCOOL, a figura a seguir mostra o crescimento acentuado da produção de vinhaça de cana de açúcar álcool durante.

Gráfico 02 - Evolução da produção anual de etanol e da geração de vinhaça pela agroindústria canaveira no Brasil, de 1967 a 1997. Médias calculadas em milhares de litros para safras agrupadas em quinquênios.

Fonte: Reprodução de dados apresentados no Workshop “Agroindústria Canaveira e o Novo Ambiente Institucional” 1998); em Hassuda (1989) e Gloeden et al. (1992).

É interessante notar que nos anos 80 – quando foram esboçados os primeiros elementos de dificuldades para o Programa Nacional do Alcool – a questão ambiental tendeu a se tornar tema de defesa do Programa, a exemplo da questão da independência energética nacional nos primeiros anos de sua implantação.

Autores como Cortez et al. (1998), ao descreverem os impactos ambientais da produção de etanol, indicaram como efeitos positivos: o balanço positivo de CO_2 , a geração de energia a partir de fonte renovável e a possibilidade de produção de energia elétrica por meio da cogeração nas usinas.

A figura a seguir demonstra um esquema com os principais agentes causadores do efeito estufa e como o fenômeno acontece.

Figura 03 – Efeito estufa.
Fonte: EFEITO estufa (2011).

As figuras a seguir mostram um balanço detalhado de CO_2 durante o ciclo de vida da produção do etanol e a grande vantagem sobre os combustíveis fósseis, o que fez dele um produto tão importante no conceito mundial de produção limpa e renovável.

		kg CO ₂ /TC
Atividades 1: Produção, colheita e transporte da cana		
Estas atividades têm como consequências para a taxa de emissão de CO ₂ :		
1.a A fixação (fotossíntese) de carbono da atmosfera		+ 694.7
1.b A liberação de CO ₂ pelo uso de combustíveis (diesel) na lavoura: tratos culturais, irrigação, colheita, transporte de cana		- 4.7
1.c A liberação de CO ₂ na queima do canavial (~80% das pontas e folhas)		- 198.0
1.d A liberação de outros gases de efeito estufa, na queima do canavial (principalmente metano)		- 1.0 a - 5.0
1.e A liberação de N ₂ O do solo pelo uso de adubação nitrogenada		- 3.2
1.f A liberação de CO ₂ (comb. fóssil) na produção dos insumos da lavoura (mudas, herbicidas, pesticidas, etc.)		- 6.7
1.g A liberação de CO ₂ (diesel, o.c.) na fabricação dos equipamentos agrícolas que serão usados na lavoura		- 2.4
1.h A oxidação dos resíduos não totalmente queimados, no campo		- 49.5
Atividades 2: Industrialização de cana: produção de açúcar e álcool (45% açúcar, 55% álcool)		
As consequências na taxa de emissão de CO ₂ são:		
		kg CO ₂ /TC
2.a A liberação de CO ₂ na fermentação alcoólica		- 38.1
2.b A liberação de CO ₂ na fabricação dos insumos da indústria(cal, H ₂ SO ₄ ,etc).		- 0.5
2.c A liberação de CO ₂ na produção dos equipamentos e prédios, instalações industriais		- 2.8
2.d A liberação de CO ₂ na queima de todo o bagaço, substituindo óleo combustível, na prod. de açúcar e álcool		- 231.6
2.e A emissão evitada de CO ₂ , pelo uso de bagaço na produção de açúcar (somente), em vez de óleo combustível ou carvão		+ 104.0
Atividades 3: Uso dos produtos finais, açúcar e álcool		
		kg CO ₂ /TC
3.a Em princípio, a médio prazo praticamente todo o carbono no açúcar é oxidado (metabolizado, etc.) e volta à atmosfera		- 97.0
3.b A liberação de CO ₂ na queima do etanol, em motores automotivos		- 79.1
3.c A emissão evitada de CO ₂ , pelo uso de etanol em motores automotivos, em vez de gasolina		+ 126.7
TOTAL: EMISSÕES EVITADAS		+ 206.8

Figura 04 – Balanço de CO₂.
 Fonte: Plec et al. (2007).

As emissões de CO₂ típicas por combustível podem ser comparadas entre si, onde o etanol além de ter um índice menor, combustível é reciclável através da fotossíntese:

- Etanol: 1,38 kg/litro (reciclável através da fotossíntese, se originado de biomassa).
- GNV: 1,96 kg/m³.
- Gasolina com 22% de etanol: 2,17 kg/litro.
- Gasolina pura: 2,35 kg/litro.
- Diesel: 2,62 kg/litro.

É importante conhecer também o balanço de CO₂ equivalente proporcionada pelos subprodutos da biomassa da cana de açúcar (KAHN, 2000).

BALANÇO DE CO ₂	10 ⁶ t C (equiv.)/ano
Uso de combustíveis fósseis na agroindústria	+ 1.28
Emissões de Metano na queima da cana	+ 0.06
Emissões de N ₂ O	+ 0.24
Substituição de gasolina por etanol.....	- 9.13
Substituição de óleo combustível por bagaço (ind. química, alimentos)	- 5.20
Contribuição líquida (redução na emissão de CO ₂)	- 12.74

Esta redução nas emissões de CO₂ (equiv.) corresponde a quase 20% de todas as emissões de combustíveis fósseis no Brasil.

Por razões como essas, o Proalccol foi elogiado pela Comissão Mundial para o Meio Ambiente e Desenvolvimento, e citado como exemplo de exploração de fonte renovável de energia.

Se o Proalccol em sua argumentação encontra razões favoráveis para sua continuidade, essa reforma no modo de produção do mundo capitalista vigente, segundo o trabalho de Souza⁶ (2000 *apud*, OMETTO, 2005), é uma das maneiras

⁶ SOUZA, M. P. (1993). Metodologia de Cobrança sobre os Usos da Água e sua aplicação como Instrumento de Gestão. São Paulo. Tese (Doutorado) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo.

de integrar, no setor decisório, as questões ambientais - inclusas nos conjuntos as sociais.

Nesta mesma ótica da reforma, outra modalidade, diz respeito à exigência do mercado consumidor quanto à aquisição de produtos ou de serviços ambientalmente adequados.

Até o final dos anos 70, crescentes volumes de vinhaça eram lançados nos mananciais superficiais. A proliferação de microrganismos promove a depleção e até mesmo o esgotamento do oxigênio dissolvido na água e, por conseqüência, há destruição da flora e fauna aquáticas, o que dificulta o uso dessa água para fins de abastecimento público. Além do mau cheiro, conforme Almeida⁷ (1955, *apud*, SZMRECSÁNYI, 1994) também alertam para o agravamento de endemias como a malária, a amebíase e a esquistossomose. Assim, essa deixou de ser uma questão “ecologicamente correta”, mas de o que fazer com tal material insalubre.

Os lançamentos de vinhaça nos mananciais de superfície eram de caráter sazonal, conforme 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. Após o choque inicial, com a diluição dos poluentes nas águas a população inicial de peixes voltava a sua normalidade.

A alternativa para a destinação da vinhaça foi encontrada nas chamadas "áreas de sacrifício", nome dado às áreas de superfície que recebem ou são "embebidas" com vinhaça não tratada. Como indica seu próprio nome: as "áreas de sacrifício" acabam por ser completamente inutilizáveis para quaisquer outras finalidades por considerável período.

Posteriormente, principalmente a partir dos anos 80, com a difusão da prática da fertirrigação – tratada em detalhes neste estudo – e com o uso ainda continuado de "áreas de sacrifício", o solo é o mais afetado elemento do ecossistema pela disposição da vinhaça.

Finalmente, é discutida a possibilidade de contaminação dos mananciais subterrâneos. Dada à natureza controversa desta discussão, ela será apresentada a seguir.

⁷ ALMEIDA, J.R. O problema da vinhaça. Brasil Açucareiro, v.46, n.2, p. 72-77, 1955.

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, especialmente potássio e, por conseguinte, evitar tanto o risco de salinização quanto o de contaminação dos lençóis freáticos.

Entretanto, a total ausência de controle sobre a fertirrigação, não possibilita confirmar a procedência deste argumento. Deste modo, há controvérsias sobre a salinização do solo e contaminação de aquíferos 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.

Como salienta Margulis (1982), o Proalcohol não foi precedido por um estágio de pesquisas com programas específicos e coordenados objetivando a otimização dos processos produtivos ou a minimização e aproveitamento dos resíduos – aos quais o país está sujeito à cada troca de governo ou liderança partidária; no entanto, neste trabalho, não é o caso de ser abordado, por ser debate político

Depois de estabelecidas as audaciosas metas de acréscimo da produção de álcool e, conseqüentemente, de vinhaça, vários centros de pesquisa se voltaram ao estudo do problema. Desta forma, apenas quando a imensa quantidade de vinhaça – que passou a ser gerada com a expansão da produção de etanol após o ProAlcohol – evidenciou o tamanho do problema de sua destinação, é que foram mobilizados esforços no sentido de serem desenvolvidas possibilidades tecnológicas para sua solução (CORAZZA, 2006).

De acordo ainda com o artigo desse autor essas possibilidades incluíam:

- Aerobiose,
- Reciclagem do efluente na fermentação,
- Fertirrigação,
- Combustão,
- Produção de levedura,
- Uso na construção civil, na fabricação de ração animal,
- Digestão anaeróbia.

A aerobiose, a reciclagem na fermentação e a fertirrigação constituem soluções mais simples do ponto de vista tecnológico porque, à época, eram

conhecidas pela agroindústria sucroalcooleira e, portanto, eram técnicas difundidas. 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 (CORAZZA, 2006).

Conforme descrito por Corazza (2006) a combustão, a produção de levedura, o uso na construção civil e na fabricação de ração animal, bem como a digestão anaeróbia, estavam em desenvolvimento; cada qual em graus diferenciados de amadurecimento e de intensidade de pesquisa. É possível que a sofisticação tecnológica dessas soluções tenha representado um obstáculo a sua difusão em um setor tradicionalmente pouco intensivo em tecnologia.

Como descrito a seguir, cada uma dessas alternativas, tem suas principais vantagens e, também possui áreas-problemas que são encontradas pelos esforços de desenvolvimento tecnológico. No item que apresenta a implantação tecnológica, também são descritas e analisadas as duas alternativas potencialmente mais promissoras: a fertirrigação, quanto à difusão de sua adoção; e a digestão anaeróbia, pelo fato de ter mobilizado competências e instituições e por constituir uma "aposta" na emergência da biotecnologia como paradigma tecnológico.

O estudo das tecnologias mencionadas permite que sejam classificadas em quatro grupos, 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.

Segundo Elliot⁸ (1994, *apud*, OMETTO, 2005), a relação ambiental começou a ser discutida internacionalmente a partir da década de 1960 – em 1968 com o clube de Roma, e em 1972, com a realização da 1ª conferência mundial sobre meio ambiente, em Estocolmo. Este feito representou um marco político na conscientização dos problemas ambientais e, como principal documento produziu a Declaração sobre o Ambiente Humano.

⁸ ELLIOT, J.A. (1994). *An Introduction to Sustainable Development*. London, Routledge. 121 p.

Segundo Delgarmo et al.⁹ (1990 *apud*, OMETTO, 2005), atualmente os conceitos ambientais englobam parâmetros de qualidade do meio ambiente e sua justa relação com a humanidade. A adequação ambiental em manufatura começa pelo seu entendimento como organismo que consiste em um bem maior, que transforma física e antropologicamente o meio ao seu redor e dele também recebe influência.

No conceito empresarial, tal demanda torna o aspecto ambiental uma oportunidade estratégica de negócio, o qual deve buscar não apenas a satisfação imediatista do cliente, mas também, a satisfação a social, por ser ponto pacífico que, futuramente, a humanidade terá o mesmo direito à qualidade ambiental que atualmente é usufruída.

Na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento – CNUMAD (1972) do Rio de Janeiro, foram assinados documentos importantes pelos países participantes, tais como: Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, Agenda 21, Princípio para Administração Sustentável para as Florestas, Convenção da Biodiversidade e Convenção sobre a mudança do Clima. Estes, se ratificados pelo Congresso ou pelo Parlamento do respectivo país, passam a ter força de lei vinte anos depois, em 1992, segundo Delgarmo et al.¹⁰ (1990 *apud*, OMETTO, 2005).

Na esfera nacional, também, existem regulamentações da área ambiental, pelas legislações nacionais (Constituição Federal, Lei Federal 6938/81, CONAMA 01/86, CONAMA 20/86, entre outras), estaduais e municipais com vista a controlar o avanço desenfreado das atividades humanas.

Os problemas da vinhaça no contexto ambiental, conforme discorrido nesta tese de acordo com os estudos constantes da pesquisa bibliográfica, podemos considerar que a cada m³ de vinhaça produzido há um ganho de 3 kg de potássio, então podemos deduzir que a vinhaça produzida por uma determinada área ocupada com cana de açúcar, é auto suficiente em potássio como nutriente.

⁹ DELGADO, AA.; BOVI, R.; MIOQUE, J.Y.L. A vinhaça oriunda de melaço de açúcar branco e demerara. Revista Usineiro, vA, n.20,p.21-24,1990

¹⁰ DELGADO, AA.; BOVI, R.; MIOQUE, J.Y.L. A vinhaça oriunda de melaço de açúcar branco e demerara. Revista Usineiro, vA, n.20,p.21-24,1990

A vinhaça *in natura*¹¹ é liberada do processo em alta temperatura; por isso, para ser transportada e distribuída na lavoura precisa ser resfriada. Seu armazenamento por períodos mais longos faz com que a ação microbiológica produza odor desagradável e, por outro lado, no lodo de proporções consideráveis propicia a criação da mosca do estábulo.

Sua alta carga de DBO (Demanda Biológica de Oxigênio) e DQO (Demanda Química de Oxigênio) coloca em risco a vida de animais, aquáticos. Se atingir mananciais durante seu percurso pode tornar a água imprópria para o consumo humano. Seu muito baixo pH¹² torna necessário o uso de materiais apropriados e resistentes durante seu manejo hidráulico. Sua distribuição desmedida provoca saturação do solo e pode contaminar o lençol freático.

Por esse motivo, para um bom retorno, as empresas do setor sucroalcooleiro devem se estruturar tecnologicamente e contar com recursos humanos qualificados. Assim, investimentos destinados ao desenvolvimento ambiental passam a ser entendidos como oportunidade de benefício custo.

A vinhaça de cana de açúcar há muito tem sido mal conduzida, da mesma forma, todos os potenciais energéticos que de início eram descartados sem qualquer preocupação com o meio ambiente e com o bem estar da sociedade, a partir da década de 1940 passou por evolução no aspecto legal, com a proibição do lançamento direto nos meios aquáticos.

Hoje, dadas às exigências do mercado, aos compromissos sociais, as leis e normas ambientais específicas para sua disposição colocaram as unidades produtoras do setor sucroalcooleiro rumo ao melhor aproveitamento dos seus benefícios.

Desta forma para amortização dos recursos financeiros empregados em sua destinação, a substituição de nutrientes minerais pela fertirrigação tem constituído uma relação de despesa-receita que possibilita um balanço econômico positivo e a adoção de uma postura pró ativa de minimizar os resíduos na fonte.

¹¹ A expressão *in natura* significa "na natureza, da mesma natureza".

¹² O pH, potencial hidrogeniônico ou potencial hidrogênio iônico, é um índice que indica a acidez, neutralidade ou alcalinidade de um meio qualquer.

Por consequência, seus impactos ambientais, caracterizam a atividade de fertirrigação em todo setor sucroalcooleiro que consiste em fertilizar e irrigar a lavoura canavieira em uma mesma operação.

A técnica da fertirrigação exigiu apropriados, equipamentos de transporte e de distribuição e demandou um orçamento anual representativo no custo final do álcool. Com isso, muitos estudiosos passaram a trabalhar incessantemente em busca de entender a melhor maneira quantitativa e qualitativa para uso da fertirrigação com o propósito de dar escoamento ao grande volume de vinhaça que é produzido e, ao mesmo tempo, melhorar as tecnologias de distribuição e transporte para amortizar os custos empregados no processo.

A fertirrigação resulta em muitos benefícios para solo agrícola canavieiro: matéria orgânica, alguns micronutrientes, o benefício da água que propicia operações de cultivo de cana soca e plantios temporão que necessitam de umidade em épocas de estiagem. Ademais substitui nutrientes de origem mineral: parcialmente o nitrogênio e o fósforo, e totalmente o potássio.

Muito progresso pode ser observado neste processo: praticamente foram totalmente banidas as áreas de sacrifício que deram lugar ao reaproveitamento e atingiu uma capacidade tecnológica, cujo ponto de equilíbrio econômico com a adubação mineral em função da distância a ser percorrida até a área a ser fertirrigada, satisfaziam as exigências legais, utilizando transporte via caminhões tanque e distribuição com hidrorrol e moto-bombas.

Esta marca prevalece até hoje na grande maioria das usinas do setor sucroalcooleiro que também praticam o sistema de transporte via adutoras de recalque, gravidade, canais a céu aberto ou adutoras móveis. Com certeza essa modalidade de transporte é mais econômica que os caminhões-tanque, porém, há muitas limitações geográficas: transposições de rios e estradas, terras de terceiros, terras arrendadas cujo contrato finaliza antes da amortização dos investimentos, etc., motivos pelos quais são utilizadas as duas modalidades.

Com a mais recente evolução ambiental para fertirrigação, a norma da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB (2006) que através do PAV (Plano Anual de Aplicação de Vinhaça) disciplinou o volume de vinhaça a ser lançado anualmente em função do balanço de potássio contido no

solo canavieiro – as usinas e destilaria do estado de São Paulo e de todo o Brasil, se deram conta que o raio economicamente viável para o transporte do potássio em vinhaça *in natura*, não mais abrange a área necessária para comportar todo o potássio produzido pelas unidades produtoras de açúcar e álcool que segundo a CETESB, requer abrangência geográfica de aproximadamente sessenta por cento da área ocupada com cana de açúcar.

O gráfico a seguir demonstra o volume de potássio produzido em função da produção de etanol e da vinhaça. Vale lembrar que a safra atual (2010/2011), confirmará os números em seu encerramento que será no término do mês de março de 2012. Vale salientar que o resultado final não será muito diferente do que está exposto na figura.

Gráfico 03 – Produção brasileira de etanol, vinhaça e potássio, a partir da produção de etanol apresentada na pagina 22 deste trabalho considerando: 13m³ de vinhaça para 1m³ de álcool e 3kg de potássio para 1m³ de vinhaça.

Fonte: Gaspar Antonio da Silva (2011).

É oportuno agora demonstrar um cálculo em função do potássio da vinhaça:

Em 1 hectare de terras cultivadas com cana de cana de açúcar produz se em média 80 t, que produz 83,3 litros de álcool/t, que produz 13 litros de vinhaça/litro de álcool, que produz 0,003 kg de potássio/ litros de vinhaça;

Logo: $1 \times 80 \times 83,3 \times 13 \times 0,003 = 259,896$ kg de potássio por ha de terras cultivadas com cana de açúcar, que é a média de potássio consumido na produção de cana anualmente, ou seja a vinhaça é suficiente em potássio para a totalidade da área ocupada com cana de açúcar para a produção de álcool, o que falta é desenvolvimento para se fazer uma disposição adequada, o que seria uma maravilha ambiental e uma satisfação econômica. Sem falar no Nitrogênio e outros nutrientes e os benefícios da parte microbiana.

Assim, o potássio da vinhaça passou a estar nas duas faces de uma mesma moeda: de um lado como elemento base da conformidade ambiental e, do outro, como o elemento chave do equilíbrio econômico.

Não por outro motivo, esta tese considera que não ha melhor forma de disposição de vinhaça de cana de açúcar, além do reaproveitamento em benéfico da própria cadeia de processos produtivo do açúcar e do álcool é, principalmente, o álcool etílico hidratado combustível, etanol.

Deste modo há uma proposta de solução para o problema do potássio com conformidade ambiental e benefícios econômicos, com o objetivo de tornar o processo de fertirrigação, um índice chave e crítico de desempenho nos ranques de investimentos do setor sucroalcooleiro, para que o desempenho ambiental deste não fique somente à margem da lei.

De modo específico, podem ser citadas algumas premissas que justificam a execução deste trabalho que poderá contribuir fortemente para a solução do problema do potássio:

- Os recursos financeiros destinados à sua disposição são representativos no custo final para a cadeia de processos como um todo e podem ser reduzidos com investimentos que proporcionem melhor aproveitamento de suas propriedades energéticas.
- É necessária a indicação de melhorias de suas atividades de modo integrado e não pontual.

- Há necessidade mundial de produtos com qualidade, em consonância com desenvolvimento ambiental durante todo seu ciclo de vida.

O objetivo precípua do trabalho é apresentar uma solução técnica para o problema econômico do transporte do potássio. Desta forma o desempenho ambiental fica harmônico ao fator financeiro do processo de destinação da vinhaça.

Os objetivos específicos são:

- a) Evidenciar a estrutura utilizada no processo de disposição de vinhaça da empresa estudada (Grupo Clealco).
- b) Confirmar o PAV (Plano de Aplicação de Vinhaça) da Usina Clealco, e assinalar no mapa firmado pelo departamento de Agrimensura e Cartografia da empresa estudada, as áreas que estão acima da distância econômica.
- c) Apresentar resultados econômicos entre as modalidades de transporte empregadas para as áreas fertirrigadas com vinhaça *in natura* e concentrada considerando ou não o custo do vapor consumido versus a adubação química de origem mineral.

O presente trabalho está estruturado em capítulos: a introdução, que apresenta e justifica o tema; em seguida a revisão bibliográfica que aborda conhecimentos sobre disposição de vinhaça de cana de açúcar, descreve os principais aspectos dos processos tradicionais, apresenta novas tecnologias de concentração e abre possibilidades para a sustentabilidade, onde o livro série Engenharia agrícola, Intitulado Vinhaça de Cana de açúcar, dos Autores Wesley Jorge Freire e Luís Augusto Barbosa Cortez, foi de suma importância como base da revisão bibliográfica deste trabalho.

Aqui está caracterizado o ambiente seletivo que atuou na escolha da fertirrigação como trajetória tecnológica "vencedora" para o problema da destinação da vinhaça, e acredita que a solução dos problemas ambientais está diretamente ligada às questões econômicas que podem ser facilmente resolvidas através do conhecimento científico das universidades e as empresas privadas do setor sucroalcooleiro.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. A Vinhaça de Cana de Açúcar

A indústria sucroalcooleira tem como principal resíduo líquido a vinhaça, que por sua vez tem como principal elemento o potássio, segundo Franco; Marques e Melo (2008).

A vinhaça é obtida em grande volume durante a produção industrial e contém substâncias dissolvidas que são utilizadas como fertilizantes na própria lavoura da cana de açúcar, tais substâncias permitem que a mesma seja vista como um fertilizante orgânico, conforme Luz (2005). A aplicação de vinhaça no solo atende a três objetivos principais: destinação adequada aos resíduos sob o ponto de vista do controle da poluição, melhoria das condições do solo para o cultivo da cana de açúcar, substituição de parte da adubação mineral, podendo trazer vantagens econômicas, segundo Agência Nacional de Águas - ANA (2009). Os fertilizantes orgânicos podem ser de origem vegetal ou animal. Se aplicado ao solo em quantidades, época e maneira adequada propiciam melhorias de suas qualidades físicas, químicas e biológicas, efetuando correções de reações químicas desfavoráveis ou de excesso de toxidez, e fornecendo às raízes nutrientes suficientes para produzir colheitas compensadoras com produtos de boa qualidade sem causar danos ao solo às plantas ou ao ambiente, relata Kiehl (1985) e Oliveira (2009). Tanto a matéria orgânica quanto os sais minerais contidos na vinhaça podem ser recuperados para uso direto como fertilizante ou sob forma de matéria-prima para outras aplicações. Assim, seu aproveitamento racional, além de representar uma reciclagem de recursos naturais com valor agregado, permite atender com muito mais eficiência aos requisitos da legislação de controle da poluição, conforme Sena (1998). Uma relação de equilíbrio pode ser estabelecida entre a quantidade de potássio presentes na vinhaça e a correspondente quantidade de fertilizante mineral, segundo Germek e Feigl (1987). A utilização da vinhaça deve obedecer a critérios, considerando que a sua utilização também está associada a aspectos negativos, segundo Resende (2006). A alta Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) para a vinhaça mostra o

seu grande poder poluente, relata Baptistela e Scaloppi (1986). Vários trabalhos foram publicados demonstrando o alto valor da vinhaça como fertilizante, como corretivo e condicionador do solo, mas persiste o problema de distribuir racionalmente no canavial, um líquido produzido em grandes quantidades durante a época de corte da cana, conforme Orlando Filho, Souza e Zambello Jr. (1980). Quando utilizado de forma indiscriminada foi constatado um efeito cumulativo de certos nutrientes no solo, em especial do elemento potássio, o que pode levar a uma contaminação do lençol freático e trazer reflexos negativos para o solo e para as culturas, coloca Manhães, Souza e Berto (2002). A partir da década de 80 pesquisas foram desenvolvidas visando à utilização do vinhoto *in natura* (não concentrado) em substituição à adubação mineral, ficando determinado que a viabilidade de aplicação do vinhoto, em total substituição da adubação mineral, pode ser analisada mediante confronto dos custos de ambas alternativas. O custo de aplicação de vinhaça cresce com a distância entre os pontos de carregamento e a área de aplicação, enquanto o custo para a adubação mineral pouco varia. Deste modo, é conveniente a utilização da vinhaça como fertilizante até certa distância, mesmo considerando ganhos de produtividade. A partir deste ponto, o custo por hectare decorrente da adubação mineral seria menor, incluindo preços do insumo, transporte e aplicação, vindo a desestimular a utilização da vinhaça, segundo Orlando Filho, Souza e Zambello Jr. (1980). A distribuição por veículo-tanque é empregada desde que se iniciou o uso da vinhaça como fertilizante. Os primeiros tanques eram feitos de madeira e posteriormente utilizou-se o aço carbono, aço carbono-naval, aço inoxidável ou fibra de vidro não era permitido a utilização da vinhaça *in natura* em distâncias superiores a 15 km, pois seria inviável economicamente, conforme Cortez et al. (2000). A utilização de técnicas para a sua concentração pode ser uma alternativa de disposição ambientalmente correta com benefícios econômicos, diminui o volume, preservando o conteúdo energético e possibilita maior abrangência geográfica.

Algumas características da vinhaça de cana de açúcar estão colocadas a seguir

- Vinhaça: resíduo rico em compostos orgânicos.
- Geração: 13 litros vinhaça / litro etanol.
- Elevado teor de potássio e quantidades menores de nitrogênio, cálcio, fósforo e magnésio.

- Boas propriedades como fertilizante.
- Dependendo das características do solo é possível a disposição de 100 a 300 m³ vinhaça/há.
- Geração de biogás: 1 m³ vinhaça pode gerar 10 m³ biogás.

A figura ilustra a vinhaça ao sair da indústria e entrar no reservatório para posterior irrigação da lavoura canavieira.

Figura 5 – Produção de vinhaça saindo da indústria e entrando para o depósito para ser distribuída na lavoura como fertirrigação.
Fonte: Costa (2011).

Nas destilarias anexas, a cana de açúcar, inteira ou picada, proveniente da lavoura, ao chegar à usina é lavada e moída para extração do caldo de cana; a seguir, sofre o processo de clarificação, concentração e centrifugação ou turbinagem para tratamento do caldo que contém sacarose em solução, glicose, levulose, matéria nitrogenada etc. Logo após são obtidos o açúcar comercial e o mel que passa pelo processo de cozimento a vácuo para obtenção do açúcar de segunda, que resulta em mel final, também conhecido como mel pobre ou melaço, segundo Braile e Cavalcanti (1979). O mel final, diluído e transformado em mosto de melaço, é conduzido para as dornas de fermentação e dele resulta um líquido denominado vinho que será centrifugado para recuperar o fermento

nas colunas de destilação; cujo resultado é álcool hidratado; que sobra deste processo de destilação é vinhaça – resíduo da destilação do vinho. Nas destilarias autônomas, o caldo vai direto para a produção de álcool.

A figura abaixo demonstra a lavagem de cana, procedimento comum das usinas e destilarias.

Figura 06 – Lavagem de cana.
Fonte: Cruz (2010).

Além de sua originalidade, a importância desta tese é mostrar que os impactos da aplicação da vinhaça no solo e na água subterrânea se constituem pelos excessos, cuja saturação pode variar de acordo com as condições fisiográficas da área, da composição química da vinhaça e do volume e da periodicidade de aplicação. Notadamente são contaminadoras as disposições em áreas de sacrifício, em canais de transporte de vinhaça, lagoas de acumulação e tanques de rejeitos sem impermeabilização.

Segundo a União dos Produtos de Bioenergia - UDOP (2007), a adoção de substitutos para adubos químicos como a torta e a vinhaça – pode acarretar diminuição dos custos em torno de US\$ 60 por hectare. Por isso, da mesma forma que a vinhaça, a torta de filtro tem sido utilizada para diminuir custos de

produção, e também, para dar destino a outro sub produto – não mais aos rios, como há décadas.

Na figura a seguir uma operação de compostagem de torta de filtro atividade comum nas usinas organizadas.

Figura 07 – Compostagem de torta de filtro.
Fonte: Google (2011).

O setor sucroalcooleiro, em variados casos, já realiza diversas atividades de produção mais limpa. O uso da vinhaça e dos outros subprodutos da Cana como a torta-de-filtro e o bagaço pode ser caracterizado como forma de produção mais limpa.

Na figura abaixo está um monte de bagaço da cana de açúcar.

Figura 8 – Bagaço armazenado.
Fonte: Lima (2011).

Uma das maiores preocupações das indústrias sucroalcooleiras é a grande produção de vinhaça, a partir de estudos realizados pela Coopersucar (1994) na safra 93/94 em várias usinas, foi constatado que 56,65% do volume de todos os resíduos sólidos é vinhaça, correspondendo a aproximadamente 566 kg/t de cana.

Este rico resíduo com grande potencial energético pode ser considerado um sub-produto com diversas formas de reaproveitamento, é também o principal efluente das destilarias de álcool, com elevada capacidade poluidora dos rios e lagos. Através de estudos e de muita pesquisa, foi descoberta sua capacidade fertilizadora para a própria cana de açúcar¹³.

A vinhaça – subproduto da fabricação do álcool – é principalmente composta por água (97%). A fração sólida é constituída principalmente por matéria orgânica e elementos minerais; o K representa cerca de 20% dos elementos presentes e constitui o fator limitante para a definição da dosagem a ser aplicada nos solos, segundo (MARQUES, 2006).

Segundo Freire e Cortez (2000), é produzida com temperatura de aproximadamente 107°C, com cheiro que se torna desagradável ao entrar em

¹³ALMEIDA, J. R. Ranzani, G. Valsecchi, O. O Emprego da Vinhaça na Agricultura. Instituto Zimotécnico, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1950

processo de putrefação, produz gases, que podem ser coletados para produção de energia. A vinhaça – principal efluente das destilarias de álcool dado o grande volume produzido e a potencialidade de seu uso – é conhecida por vários nomes: vinhoto, calda, restilo, garapão, vinhote, caxixi, mosto, *stillbottoms*, *slops*, *vinasse*, *dunder*, *stillage*, *cachaza*, etc. Possui DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), na ordem de 12000 a 20000ppm e é produzida e em média 13 litros de vinhaça para um litro de álcool. A vinhaça é conhecida como um líquido marrom escuro de natureza ácida, poluente e corrosiva. Ela sempre constituiu problema nas usinas e destilarias de álcool e açúcar.

De acordo com a CETESB, em função do volume de água utilizado para a lavagem da cana-de-açúcar (8 m³/t), e do volume de vinhaça resultante do processo, se for considerado que do total de cana moída, 55% é destinado à produção de álcool (entre 80 e 90 litros/t) – são gerados 13 litros de vinhaça por litro de álcool produzido, segundo a CETESB (2006).

Na figura a seguir, um tanque de vinhaça da Usina Cerradinho em Potirendaba, SP.

Figura 09 – Vinhaça da Usina Cerradinho de Potirendaba saindo da indústria (destilaria de álcool) e entrando no tanque para distribuição na lavoura de cana.
Fonte: Jornal da Cana/junho/2007.

Em contraponto, por sua riqueza em potássio, matéria orgânica, nitrogênio, enxofre, cálcio e teor de água, a vinhaça tem sinalizado a possibilidade de grande sucesso econômico ao ser aplicada como fertilizante nas lavouras de cana. Sua aplicação no cultivo da cana, bem como a fertirrigação, são práticas que têm sido adotadas por praticamente todas as usinas e destilarias, com uso de tecnologia conhecida e bem definida, que tem logrado resultados positivos na produtividade agrícola e na conformidade ambiental. É importante salientar que a utilização da vinhaça para fertirrigação não tem mau cheiro até 12 horas de armazenamento.

De todos os resíduos resultantes da fabricação do açúcar e do álcool, a vinhaça é o mais rico em nutrientes: em pequenas quantidades são obtidos cálcio, magnésio, fósforo, manganês, nitrogênio orgânico e, principalmente, potássio em grande volume. Com C/N (Relação Carbono/Nitrogênio) igual a 15, a vinhaça pode ser caracterizada como rica em proteínas, afirma Cerri et al. (1988).

Quanto às características hidráulicas da vinhaça, para Pizarro et al. (1988), ao serem projetados circuitos hidráulicos, para a determinação das vazões balanço hídrico, devem ser considerados valores médios de 10 a 15m³ de vinhaça para cada m³ de álcool produzido. Peres e Suzaki (1988) especificaram que a massa específica da vinhaça *in natura* é muito próxima à da água limpa, por isso podem ser utilizados os mesmos recursos matemáticos.

Satto et al. (1994), determinaram os coeficientes de vazão médios da vinhaça *in natura* e da vinhaça concentrada a 5,5% e verificaram que eles pouco diferiram entre si, assim como os coeficientes da vinhaça *in natura* e da água.

Satto et al. (1996), estudaram o comportamento reológico da vinhaça *in natura* e da vinhaça concentrada até 21%, e concluíram que a vinhaça apresenta comportamento de fluido homogêneo.

O potássio, a matéria orgânica e a água merecem destaque por seus volumes em relação aos outros componentes da vinhaça, são encontrados em maior quantidade na vinhaça de mosto de melaço e em menor na vinhaça de mosto de caldo. Aproximadamente 60% da vinhaça produzida é de mosto de caldo e 40% de mosto misto.

Estudo feito por Rodella e Ferrari (1977), que analisaram vinhaça de 27 usinas diferentes comprovou haver variação muito grande nos teores de

nutrientes da vinhaça o que dificulta o estabelecimento de dosagem fixa – no ato da aplicação na lavoura – em substituição, parcial ou total, da adubação mineral.

A quantidade de elementos contidos na vinhaça, por exemplo: o volume de potássio depende principalmente do tipo de mosto que pode ser definido como todo líquido apto a fermentar; vinhos são os líquidos resultantes da fermentação e vinhaça é o que resta da destilação dos vinhos. A composição química da vinhaça é apresentada na Tabela 1, supracitada.

A composição química da vinhaça varia em função do processo empregado, da qualidade da matéria prima, do tipo da levedura utilizada, tipo de flegma separada etc. afirmam Gloria e Orlando Filho (1984); Silva e Orlando Filho (1981), através de análises, comprovaram que a composição química da vinhaça também varia de região para região devido ao tipo de matéria prima, ao modo de preparo do mosto, à época de amostragem e tipo de processo utilizado para a fabricação do álcool conforme conclusões a seguir:

1. A vinhaça proveniente de mosto de melaço é mais rica em matéria orgânica e elementos minerais que a de mosto misto e de caldo.
2. Potássio é o elemento predominante, seguido pelo cálcio e sulfato (teores razoáveis), e por nitrogênio, fósforo e magnésio (baixos teores).
3. Dos micronutrientes, o ferro aparece em maior concentração, seguido do manganês, cobre e zinco, em pequenas concentrações.
4. Os teores mais ou menos elevados dos elementos contidos na vinhaça são devidos à prioridade da produção, álcool ou açúcar, que varia em função do mercado em diferentes momentos.
5. Em virtude da proporção de vinhaça, de mosto misto e de caldo, utilizados no processo pode haver redução desses teores em torno de 60%, dos quais quatro vezes aproximadamente na vinhaça de caldo de cana.

Conforme a Coopersucar (1994), os resíduos oriundos da fabricação do álcool, aproximadamente 99,6%, ou seja, 681,7 kg/t. de cana, não são considerados perigosos, motivo pelo qual podem ser racionalmente distribuídos na lavoura de cana de açúcar, com destaque para a vinhaça.

Bittencourt et al. (1978), concluíram, por várias correlações, que as concentrações dos vários elementos nos caldos, e também na vinhaça, na maioria das vezes dependem do caráter varietal do clima local e do solo, que da própria planta, pelo fato de receber influência do processo de fabricação.

A porcentagem de cinzas é altamente correlacionada com a concentração de potássio e, também, com os teores de outros elementos, motivo pelo qual – para controlar a qualidade do caldo para fins tecnológicos a determinação analítica direta do potássio – é mais confiável que a porcentagem de cinzas.

Os mesmos autores estudaram e estabeleceram coeficientes de correlações entre potássio x cinzas condudimétricas: $r = 0,96$ para carbono orgânico x acidez; $r = 0,75$ para carbono orgânico x cinzas condudimétricas; $r = 0,75$ para potássio x enxofre; $r = 0,88$ para carbono orgânico x nitrogênio.

Na Tabela 2 são apresentadas as composições químicas de vinhaças oriundas de diferentes tipos de mostos.

Tabela 02 - Composição físico - química de vinhaças conforme o tipo de mosto

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 ₂) ^①	25.000	6.000 - 16.500	19.800
DQO (mg/l O ₂) ^②	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 ₂ O ₅)	100 - 290	10 - 210	9 - 200
Potássio (mg/l K ₂ 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 ₄)	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
Subst. redutoras (mg/l)	9.500	7.900	8.300

(1) DBO: Demanda bioquímica de oxigênio.

(2) DQO: Demanda química de oxigênio.

Fonte: Reprodução Embrapa/2011 de Marques (2006).

2.1.1. Experimentos de Ordem Global na Utilização da Vinhaça

Os desastres ecológicos provocados pelo descarte da vinhaça nos cursos de água deram início ao desenvolvimento de estudos para descobrir meios racionais que buscassem o aproveitamento desse resíduo. Entre as diversas alternativas, vale destacar seu uso como fertilizante. Tecnologia que intentam usar de forma racional os recursos naturais porque que impede que ela seja jogada nos rios e possibilita a fertilização dos solos agricultáveis.

Gloria (1975), que já era um defensor da aplicação de vinhaça ao solo ao se da conta que em quantidade excessiva ela era prejudicial, passou então a defender a aplicação racional de vinhaça a partir do conhecimento de sua composição básica, da topografia dos terrenos e de considerações econômicas.

Silva (1986), também considerou que, entre as alternativas para a utilização da vinhaça como fertilizante, do ponto de vista operacional e econômico, a fertirrigação é a forma mais adequada.

Atualmente a conservação ambiental usufrui significativamente dos investimentos e esforços administrativos em todos os segmentos da atividade econômica – é uma questão estratégica que envolve inovação, adoção de tecnologia de ponta e aumento da produtividade.

Ademais essa preocupação com a utilização e manejo sustentável dos recursos naturais, com o direcionamento correto dos resíduos industriais e agrícolas e com os impactos das práticas agressivas são de extrema importância para as gerações futuras.

Uma usual definição para desenvolvimento sustentável é que o referido desenvolvimento esteja baseado no triângulo sociedade – economia - meio ambiente. O diálogo entre governo, sociedade civil e iniciativa privada deve abordar a inter-relação dos três fatores para delinear um desenvolvimento mais sadio e sustentável.

Uma das propostas para que as usinas sucroalcooleiras sejam sustentáveis e inovadoras, está alicerçada na crença que pequenas ações podem evitar maiores agravos ao meio ambiente e, ainda, gerar economia.

Para o setor sucroalcooleiro ser sustentável é preciso:

- a) redução de custos;
- b) otimização energética;
- c) otimização hídrica;
- d) maior eficiência no projeto de planta.

Essas ações foram classificadas pela empresa de “seis bios”: bioaçúcar, bioetanol, bioeletricidade, biodiesel, biofertilizantes e bioágua.

No Brasil ainda existem usos inexplorados da vinhaça; vale citar o exemplo dos Fabricantes de *Uísque* no *Tennessee*, USA, que experimentaram utilizar a vinhaça como ração animal para bovinos de corte, com sucesso (CORTEZ et al., 2000).

De acordo com Visconti et al. (1981) foi cogitado o lançamentos da vinhaça ao mar para, juntamente com os sais inorgânicos presentes para servir de alimentos para os peixes.

Rotenberg, Antonaccio e Iachan (1979), referem que significativas quantidades de glicerina e ácidos orgânicos lácticos e succínico, além de tanino, são separáveis da vinhaça por resinas catiônicas fortemente ácidas e resinas aniônicas básicas.

Quanto à massa seca e proteína alimentar, Carneiro (1965); a Coopersucar (1978) e Camhi (1979), mostraram a possibilidade de uso de vinhaça para produção de leveduras como componente para alimentação animal, e acreditam que poderão chegar à alimentação humana.

Segundo Almeida (1970) de modo geral, para a fabricação de 60 kg de açúcar cristal, são produzidos 28,0 kg de mel residual; 8,51 de álcool; 11,0 de vinhaça e 0,9 kg de levedura, importante fonte de proteína para a dieta humana e animal. Gambale (1978), também chamou a atenção para produção de leveduras a partir da vinhaça.

Srur e Aquarone (1983) utilizaram vinhaça suplementada com resíduo de fermentação glutâmica, como substrato para o crescimento de uma linhagem de levedura *Rhodotorula gracilis* visando à produção de massa seca e proteína alimentar.

Alves (1987) cultivou levedura da espécie *Cândida utilis* no meio da vinhaça como fonte alternativa de biomassa forrageira.

A vinhaça concentrada pode ser utilizada na composição de ração de animais, afirmaram Urban (1976); Menezes e Medina (1978) e Silva e Orlando Filho (1981).

Aguiar (1992) estudou e certificou que vinhaça pode contribuir no preparo de solo para pavimentação de estradas.

Aguiar (1992) e Silva e Freire (1992) não constaram efeito algum sobre a massa específica aparente seca máxima e a umidade ótima do ensaio de compactação. Silva e Freire (1992) verificaram aumentos de 91,5% e 108,5% nos valores da resistência à compressão simples.

Segundo Rolim (1996), é possível utilizar tratamento com vinhaça (solo-vinhaça) para fabricar tijolos de construção.

O pequeno efeito da vinhaça sobre a estabilidade de agregados em água, álcool e benzeno, é atribuído a quantidade de material orgânico contido na vinhaça que não é suficiente para promover agregação das partículas do solo ou então, pelo fato de ser altamente biodegradável, não consegue atuar como agente cimentante ou cimentador. Mesmo assim, aplicada ao solo, a vinhaça promove melhoria dos seus atributos físicos, principalmente em sua porosidade total, conforme Longo; Boni e Espíndola (1996).

Para Gloria et al. (1972), a neutralização da vinhaça com calcário somente é viável com calcário dolomítico pela elevada finura que acontece sob grande e constante agitação do líquido.

Segundo Gloria e Mattiazzo (1976a), a matéria orgânica da vinhaça não exerce qualquer efeito na solubilização de fosfatos, no solo arenoso ou argiloso até a profundidade de aproximadamente 2,5 metros. Constataram, através de experimentações, que a adição de vinhaça conservou o fosfato de cálcio adicionado por mais tempo. Concluíram então que o pH do solo se eleva principalmente pela oxidação da matéria orgânica que se dá pela atividade microbiana.

Para solos argilosos profundos, existe uma grande camada para adsorção do potássio. Cunha et al. (1986) estudaram lixiviados de um solo no qual foi aplicada uma dose de $800 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ de vinhaça e não encontraram movimento do K^+ no solo após 40 cm de profundidade. Como a cana-de-açúcar, em especial as soqueiras têm um sistema radicular bem profundo, o aproveitamento do K pode ocorrer mesmo que ele sofra lixiviação para camadas mais profundas.

Orlando Filho et al. (1995), estudaram a lixiviação de espécies nitrogenadas, NO_3^- , NH_4^+ em solo arenoso, com aplicação de nitrogênio mineral (60 kg/ha) e variadas doses de vinhaça (0, 150, 300 e $600 \text{ m}^3/\text{ha}$). Os resultados de quatro períodos de amostragens em três diferentes profundidades de solo (até 2 metros) mostraram não ter havido lixiviação de nitrogênio até 25 semanas após a aplicação.

Cruz et al. (1990), relataram os resultados de estudo de longa duração sobre a influência da vinhaça aplicada na dosagem de 300m³/há/ano, nas propriedades do solo (até 1,50m de profundidade) e água sub-superfície. O experimento avaliou períodos de 0, 5, 10 até 15 anos. Eles verificaram a melhoria da fertilidade do solo ao longo dos anos. O teor de matéria orgânica e de P aumentaram na camada superficial. Os teores de Ca, Mg e S aumentaram não apenas na superfície como, também, nas camadas mais profundas. Foi encontrado nitrato na água de sub-superfície, porém em concentração abaixo do limite prejudicial à saúde humana.

Gloeden et al. (1990), avaliaram a influência da aplicação de vinhaça nas doses de 150 e 300m³/ha em solo arenoso de baixa CTC, na fertilidade do solo e na lixiviação de íons no lençol freático. Os pesquisadores constataram que, na água, do lençol ocorreu aumento dos íons: cloreto, amônia, C orgânico e formas de N orgânico. O K permaneceu retido no solo, foi absorvido pela cana e não atingiu o lençol freático no período do estudo. Contudo, os autores alertaram para o fato de formas orgânicas de N terem sido encontradas, as quais poderiam ter gerado nitratos.

Glória (1987), descreveu um sistema de distribuição de vinhaça denominado bi carga, que permite aproveitar o retorno do caminhão que traz cana para a indústria, para ser carregado com vinhaça que será transportada para frente de corte. Esse sistema processa a descarga da vinhaça, diretamente em tanques escavados nos solos não revestidos.

Charm¹⁴ (1978) e Cheng¹⁵ (1985, *apud*, FREIRE e CORTEZ, 2000), observaram que a evaporação da água com uso de evaporadores de múltiplo efeito é a tecnologia mais difundida e bastante utilizada na indústria de açúcar em todo o mundo.

Em Quebec, Canadá, foi verificado que na faixa de 2 até 15% de sólidos, a tecnologia de osmose reversa pode ser empregada economicamente e se ela for comprovada viável para concentrar vinhaça, este fato pode representar diminuição do volume inicial em até sete vezes. Pelo fato de poder ser aplicada ao solo, logo após o corte da cana, a matéria orgânica da vinhaça concentrada

¹⁴ CHARM, S.E. *The fundamentals of food engineering*. 3.ed. Westport: Avi Publishing, 1978. 646p.

¹⁵ CHENG, J.C.P. *Cane sugar handbook*. New York: John Wylen & Sons, 1985. 1134p.

serve como alimento aos microrganismos do solo; a parte mineral, rica em potássio, repõe ao solo os macro nutrientes indispensáveis ao crescimento da cana, segundo Freire e Cortez (2000).

Urban (1976) apresentou algumas vantagens para a concentração da vinhaça como tratamento alternativo desse resíduo: aproveitamento da riqueza em substâncias orgânicas e minerais da vinhaça *in natura*, proteção dos recursos hídricos regionais contra a poluição e obtenção de um xarope estável concentrado que pode ser utilizado como fertilizante.

Germek e Feigl (1987) relacionaram técnicas associadas aos diferentes processos de concentração de vinhaça: o aquecimento indireto do aparelho de destilação permite a redução de aproximadamente 20% do volume de vinhaça; o aquecimento indireto com evaporação da vinhaça permite a redução de 40% do volume produzido; o tratamento do caldo contribui para o aumento dos teores de açúcares no mosto com elevação nos teores alcoólicos do vinho; e aumento de produção de álcool permite a redução de 40% do volume, o concentrador permite a concentração da vinhaça até 60°Brix.

Segundo Cook (1983); Garlick (1983) e Jackman (1981), a vinhaça pode ser parcialmente utilizada na diluição do caldo de cana que antecede a fermentação. O Brix do caldo, ou da mistura caldo-melaço, deve ser ajustado para permitir o crescimento das leveduras até que ser completada a fermentação e concentração por evaporação, e relacionaram algumas opções que facilmente podem ser implantadas, tais como: a separação da flegma, o trabalho com vinhos com grau alcoólico elevado, o uso de aquecedor indireto na coluna A e a reciclagem da vinhaça. A adoção de quaisquer desses processos implica na concentração ou elevação do teor de sólidos da vinhaça.

O aquecimento da coluna A com o auxílio de um trocador de calor (refervedor ou *reboiler*) permite a recuperação de todo o condensado e seu retorno às caldeiras, com conseqüente redução do volume de vinhaça. Por último, o resfriamento da vinhaça até 28°C e sua utilização na diluição do melaço ou caldo concentrado, também provoca redução do volume de vinhaça igual à percentagem de recirculação adotada, conforme Freire e Cortez. (2000).

Segundo Glória (1975), a concentração da vinhaça por meio de secagem até a obtenção de vinhaça seca é um processo exequível. Para tanto, a vinhaça *in natura* passa por um processo de concentração por evaporação até ser obtido um xarope de cerca de 25 a 30°Brix; a seguir, este xarope é submetido à secagem em um sistema chamado *spray-drying* que o transforma em um pó fino altamente higroscópico que conserva suas características de material orgânico.

Rittner (1980), descreveu um processo de concentração de vinhaça através do qual é obtida vinhaça concentrada líquida (60 a 65% de sólidos) ou vinhaça concentrada granulada (85 a 88% de sólidos). Para isso é utilizado, um conjunto de evaporadores de quádruplo efeito, de tal sorte que o processo de concentração de vinhaça passa pela obtenção de um produto intermediário com 30 a 35% de sólidos e a seguir é concentrado em um evaporador de contato direto com gases, para a obtenção de outro produto intermediário com 60% de sólidos e, por fim, secagem deste último produto intermediário é feita em secador rotativo a vapor, para obtenção do produto final com 88% de sólidos e aglomeração do mesmo na forma de pallets. Assim preparada, a vinhaça concentrada serve para uso posterior em rações ou adubos.

Loffredo (1955), reportou o uso experimental de um evaporador de aço inoxidável de seis efeitos, alimentado com caldo pré-evaporado a 21°Brix, com capacidade de evaporar 2,7t/h de água aquecida a vapor sob pressão de 0,7 kgf/cm². Tal evaporador, colocado em operação na Usina São Martinho, em Pradópolis, SP, permitiu a concentração de caldo de cana-de-açúcar de 21 a 65°Brix.

Quanto à concentração da vinhaça, é sabido que a vinhaça *in natura* possui baixos teores de sólidos, os quais podem variar de 2 a 10%, em função da matéria-prima usada na fabricação de álcool.

São conhecidos três meios principais de diminuir a proporção de vinhaça em relação ao álcool produzido nas destilarias:

1. Concentrar a vinhaça *in natura* pela evaporação da água.
2. Reciclar a vinhaça utilizando parte dela na diluição do caldo a ser fermentado.

3. Desenvolver novas linhagens de leveduras que suportem teores de álcool mais elevados no mosto.

De acordo com Glória e Orlando Filho (1984), a concentração da vinhaça pode ser alcançada por quaisquer meios que resultar em aumento do conteúdo de sólidos totais da vinhaça.

Segundo, o Jornal Cana (Julho de 2009), o aumento dos preços dos fertilizantes e as pressões pelo uso de insumos agrícolas não prejudiciais ao meio-ambiente motivaram o desenvolvimento de novas tecnologias para a produção agrícola sustentável.

Uma delas é o biofertilizante organomineral que está em fase de experimentação, sob condição de casa de vegetação, na Esalq/USP (Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"), em Piracicaba, SP.

O biofertilizante é produzido a partir da vinhaça concentrada, torta de filtro, cinzas de caldeira e fuligem da chaminé. Para se equivaler às fórmulas utilizadas para a adubação nos canaviais, há necessidade de complementação com nutrientes de adubos minerais. O produto garante a liberação gradual de nutrientes para as plantas, ocasionando menor lixiviação.

O uso agrícola da vinhaça e os benefícios oriundos do solo são indiscutíveis, tanto do ponto de vista agrônomo e econômico, quanto social. O benefício imediato decorrente do uso racional desse resíduo nas lavouras canavieiras acontece pelo aumento da produtividade, que ocorre com mais intensidade em solos mais pobres e em regiões mais secas. Também é preciso mencionar a economia de fertilizantes e a preocupação cada vez maior da sociedade com o risco que esse material altamente poluente possa causar aos cursos de água superficiais.

As tecnologias aqui apresentadas visam mais que obter amortização dos investimentos com sua implementação; além de cumprir as normas e leis ambientais, também, abrem espaço como estratégia de resultados econômicos elas são grande maioria invenções tecnológicas antigas, mas permaneceram adormecidas pela ausência de planos diretores para adequá-las aos vários ambientes: geográfico, tecnológico, pedológico, topológico social, social e

econômico que são peculiares de cada empresa e pode ainda variar em micro regiões da própria empresa em questão.

2.2. Pontos Fortes da Disposição de Vinhaça para o Solo Agrícola e a Lavoura Canavieira

Nos relatos a seguir é possível concluir que as citações elencadas evoluíram e convergiram para resultados econômicos. É fácil admitir que o desenvolvimento ambiental promova a motivação por resultados econômicos, pois as empresas dependem do balanço econômico equilibrado em seus processos para que se mantenha no mercado e cumpra com seu papel social e quando o próprio “resíduo” proporciona essa oportunidade como é o caso da vinhaça e constitui um subproduto, daí, a sustentabilidade se torna factível.

O uso direto da vinhaça como fertilizante é vantajoso devido à riqueza de matéria orgânica e vários nutrientes. Porém, a vantagem adicional da concentração é a redução dos custos de transporte a grandes distâncias, principalmente as destilarias estiverem muito afastadas das áreas agrícolas. Além disso, como a vinhaça concentrada adquire estabilidade biológica, ela pode ser armazenada por longo período para ser aplicada ao solo quando se fizer necessário, explica REZENDE¹⁶ (1984 *apud*, GLORIA, 2003).

A vinhaça usada como fertilizante permite alcançar o objetivo de não poluir o ambiente, uma vez que todo resíduo formado é devolvido à cultura, orienta (COPERSUCAR, 1978), Esse uso poderá, ainda, reduzir o custo de produção agrícola e, em parte, substituir a adubação mineral. Coelho (1986), desta que os benefícios oriundos do uso agrícola da vinhaça são indiscutíveis – tanto do ponto de vista agrônomo e econômico, quanto social.

Exigências de macronutrientes p/ produção de 100t de cana, segundo Orlando Filho, Souza e Zambello Jr. (1980).

¹⁶REZENDE, Joelito de Oliveira (Coordenador). Vinhaça: Outra Grande Ameaça ao Meio Ambiente. UFBA, 1984

Adubações de plantio:

N: varia de 40 até 70 kg/ha de acordo com o ambiente de produção e formulação utilizada

P: entre 80 até 150 kg/ha de acordo com análise de solo

K: entre 80 até 150 kg/ha de acordo com análise de solo.

Adubações de soca:

N: varia de 90 a 120 kg/ha de acordo com o ambiente de produção produtividade esperada

P: entre 25 até 30 kg/ha de acordo com o ambiente de produção produtividade esperada

K: entre 100 até 150 kg/ha de acordo com o ambiente de produção e produtividade esperada.

Quadro com exigências de macronutrientes para as partes da cana de cana, segundo Orlando Filho, Souza e Zambello Jr. (1980).

Tabela 03 – Exportação e reposição de nutrientes - exigências de macro nutrientes para produção de 100t de cana

Partes da Planta	N	P	K	Ca	Mg	S
Kg						
Colmos	83	11	78	47	33	26
Folhas	60	8	96	40	16	18
Colmos + Folhas	143	19	174	87	49	44

Fonte: Orlando Filho, Souza e Zambello Jr. (1980).

O aumento da produtividade, que ocorre com mais intensidade em solos mais pobres e em regiões mais secas, como também a economia de fertilizantes, são benefícios imediatos decorrentes do uso racional desse resíduo nas lavouras canavieiras.

A fertirrigação é um processo conjunto de irrigação e adubação, ou seja, consiste na utilização da própria água de irrigação para conduzir e distribuir o adubo orgânico ou químico na lavoura, conforme Vieira (1986).

Os benefícios oriundos da aplicação da vinhaça podem ser assim resumidos:

- a) A utilização da vinhaça *in natura*, através da fertirrigação em quantidades racionais, apresenta efeitos altamente positivos sobre a produtividade agrícola;
- b) A aplicação desse resíduo em doses compatíveis com as características físicas e químicas do solo, devido ao incremento de produtividade agrícola, também aumenta a produção de açúcar por hectare, o que a torna um importante fator econômico principalmente para a agroindústria sucroalcooleira;
- c) O incremento de produtividade é mais acentuado à proporção que é aumentado o número de cortes;
- d) Há significativo aumento na longevidade dos ciclos;
- e) Do ponto de vista econômico, a fertirrigação com vinhaça – principalmente por aspersão (montagem direta) – apresenta custo inferior ao da adubação mineral correspondente.

Monteiro, Pexe e Stupiello (1979) aplicação de vinhaça influiu no aumento da produtividade de colmos.

Marinho et al. (1982) que mencionam a aplicação, por caminhão-tanque, misto e de adubação mineral sobre a cana-soca constataram aumentos de produções de cana e de açúcar.

A proposta apresentada por Glória (2003), baseada em determinadas premissas, procura garantir a adequada resposta da cultura da cana-de-açúcar e, ao mesmo tempo, preservar a condição ambiental. Essas premissas a serem consideradas é o fato que a vinhaça deve ser vista como recuperadora da fertilidade do solo, inclusive em profundidade. Neste sentido é recomendado alguns esclarecimentos necessários:

1. A maioria dos solos cultivados com cana-de-açúcar apresenta baixa fertilidade, principalmente em sub-superfície.
2. Tem sido constatado que o aumento da produtividade está relacionado ao aumento do volume de exploração radicular, inclusive em profundidade, como mostrado nos trabalhos de Morelli et al.¹⁷ (1987;1992 *apud*, GLÓRIA, 2003), em cana-de-açúcar, nos latossolos de textura média.

Na pesquisa desenvolvida por Glória (2003), foram citados elementos fundamentais resultantes de estudos desenvolvidos por vários autores, a saber:

1. Raij¹⁸ (1988 *apud*, GLORIA,2003), descreveu que o desenvolvimento radicular em profundidade está correlacionado com o teor de Ca⁺⁺ (cálcio);
2. Souza e Ritchey¹⁹ (1986 *apud*, GLORIA, 2003), mostram que o uso do gesso, associado ou não ao calcário, tem promovido o enriquecimento em profundidade em Ca⁺⁺ e Mg⁺⁺ que tem favorecido a absorção de umidade pelas raízes do milho até a faixa de 100 – 120 cm de profundidade em latossolo argiloso; e em cana-de-açúcar , afirmam Morelli et al.¹¹ (1987 *apud* GLORIA, 2003).

Nestes estudos os autores determinaram a distribuição do sistema radicular até a profundidade de um metro e constataram que essa distribuição não seguiu o modelo clássico encontrado na literatura, no qual a maioria das raízes se localiza nas camadas superficiais. Neste caso, a maior concentração de raízes estava localizada na segunda camada do solo e, na faixa de 50 a 100 cm de profundidade, foram encontrados 29% do sistema radicular da planta;

1. Koffler²⁰ (1986 *apud*, GLORIA, 2003) salientou que a profundidade explorada pelo sistema radicular da cana em alguns países do mundo

¹⁷ MORELLI, J.L.; NELLI, E.J.; DEMATTÊ, J.L.I.; DALBEN, A.E. Efeito do gesso e do calcário nas propriedades químicas de solos arenosos álicos e na produção de cana de açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 4.,1987, Olinda. **Anais...** São Paulo: Editora, 1987. p. 86-93.

¹⁸ RAIJ, B. van. Calibração de potássio trocável em solos para feijão, algodão e cana-de-açúcar. *Ciência e cultura*, São Paulo, v.26, n.6, p.575-576, 1974.

¹⁹ SOUZA, D. M. G.; RITCHEY, K. D. Uso do gesso no solo do Cerrado. In: Seminário sobre Uso do Fosfogesso na Agricultura, 1, 1986, Brasília. **Anais...** Brasília: EMBRAPA, 1986. p.119-144.

²⁰KOFFLER, N. F.; LIMA, J.F.W.F.; LACERDA, M.F.; SANTANA, J.F.; SILVA, M.A. Caracterização edafo-climática das regiões canaveiras do Brasil. Piracicaba: Instituto do Açúcar e do Alcool (IAA) – Planalsucar, 1986. 78p.

atinge 160 cm de profundidade, enquanto que no Brasil a profundidade média constatada é de 60 cm. Segundo este autor a menor profundidade de enraizamento da cultura de cana no Brasil é devido a baixa fertilidade do solo;

2. Penatti²¹ (1999 *apud*, GLORIA, 2003) – em solo argiloso de mineralogia caulinitica e oxidica de baixa fertilidade (Latossolo Roxo) – avaliou a aplicação de quantidade crescente de vinhaça durante 4 safras nos quais constatou enriquecimento, principalmente de potássio e enxofre, nas camadas de até 50 cm de profundidade.

A vinhaça, utilizada principalmente nas soqueiras, devido à época em que é produzida na agroindústria, fornece todo o K₂O, parte do nitrogênio necessário à cana e outros nutrientes que normalmente não são contabilizados devido à pequenas proporções disponível. Em muitos solos são necessário complementar a vinhaça com adubos nitrogenados.

A aplicação de vinhaça em doses adequadas oferece uma série de benefícios, como:

- Melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo;
- Aumento da matéria orgânica e microflora do solo;
- Facilita a mineralização do nitrogênio;
- Melhoria nas condições gerais de fertilidade do solo;
- Aumento do poder de retenção de água;
- Aumento da produtividade da cana.

Em seus estudos, Almeida²² (1955 *apud*, GLORIA, 2003) enumerou grandes benefícios energéticos provenientes da vinhaça, pelo fato de ser resíduo rico em matéria orgânica coloidal, ela aumenta a fertilidade do solo.

Muitos autores seguem a idéia, e comprovaram em suas pesquisas que o tratamento com vinhaça enriquece o solo quanto ao padrão de fertilidade.

Camargo, Valadares e Geraldi (1983), referem que a vinhaça quando lançada ao solo promove grandes benefícios à fertilidade e aumenta a estabilidade estrutural do solo Latossol Vermelho-Escuro.

²¹PENATTI, C.P. Doses de vinhaça versus doses de nitrogênio em cana-soca durante quatro safras. Relatório Interno Copersucar, Usina São Luiz S.A., solo argiloso (LR-2). 1999a.

²² ALMEIDA, J.R. (1955). O Problema da vinhaça. *Brasil Açucareiro*, v.46, n.2, p. 72-77.

Almeida, Ranzani e Valsechi (1950); Almeida e Camargo (1971); Valsechi (1955), que investigaram as características da vinhaça com a acidez do solo – constataram ter havido aumento do pH do solo arenoso.

Segundo Cruz, Righetto e Leopoldo (1993), a aplicação continuada de vinhaça por aproximadamente 15 anos provoca elevação do pH, reduz o teor de alumínio trocável e aumenta a soma de base da porcentagem de saturação de bases.

De acordo com Agujaro (1979), a irrigação com vinhaça diluída em água e combinada com Nitrogênio e Fósforo com dosagens elevadas, pode enriquecer o solo e melhorar o padrão de fertilidade.

Coleti et al. (1983), acrescentam que a aplicação de vinhaça aos solos mais arenosos melhora o padrão de fertilidade, aumenta pH (grandeza que indica a acidez, neutralidade ou alcalinidade de uma solução aquosa) e reduz o alumínio.

Para Robaina et al., (1984), solo fertirrigado e complementado com adubos minerais traz maiores respostas na produção da cana-soca e açúcar em t/ha.

É importante lembrar que a vinhaça é um material de origem orgânica, sem a presença de metais ou outros contaminantes que impeçam seu uso agrícola. Neste sentido, é perfeitamente aceita pela agricultura orgânica, e não existem restrições ao seu uso como fonte de nutrientes pelas certificadoras. A vinhaça representa uma importante fonte de K a ser considerada na atividade da agricultura orgânica. Para a produção do açúcar orgânico, a vinhaça pode suprir todo o N e todo o K necessários para a cana.

Em seus estudos, Almeida (1955), sugeriu o aproveitamento da vinhaça como irrigação da cana de açúcar principalmente em épocas de *déficit* hídrico. Comentou, também, que a cana de áreas fertirrigadas com vinhaça pode aumentar sua riqueza sacarina e pureza do caldo, e que o excesso de vinhaça em áreas de cana fertirrigada, aumenta o ciclo vegetativo, retarda a maturação e propicia a adequação de manejo em função da logística de colheita.

Ranzani et al. (1953), utilizaram vinhaça com uma adubação mineral à base de nitrogênio-fósforo-potássio (NPK) no cultivo de leguminosas com excelentes resultados.

Sengik, Ribeiro e Condé (1988), que estudaram os efeitos da aplicação de doses crescentes de vinhaça quanto a algumas propriedades químicas de dois solos diferentes, concluíram que os efeitos da aplicação de vinhaça sobre as propriedades químicas de ambos os solos estudados ficaram restritas às suas camadas superficiais, com a ocorrência de maiores acréscimos de bases trocáveis, redução de teores de alumínio e hidrogênio trocáveis e aumento de pH.

Sengik et al. (1996 *apud*, Freire e Cortez, 2000), em estudos sobre os efeitos da vinhaça no crescimento do sorgo granífero, concluíram que a vinhaça promoveu acréscimos de área foliar e de produção de matéria seca das raízes e da parte aérea.

A necessidade da adubação das soqueiras de cana de açúcar é indiscutível, tendo em vista que, em cada ciclo, a planta retira do solo quantidades apreciáveis de nutrientes que necessitam ser restituídos através da adubação. A vinhaça tem possibilidades de fornecer parte desses nutrientes requeridos pela soqueira, então seu emprego deve ser prioritário, pelo fato de sua disponibilidade ocorrer no período da safra, relata Santana (1985).

2.3. Pontos Fracos da Disposição de Vinhaça no Solo Agrícola e na Lavoura Canavieira

Segundo Piacente (2005), tal subproduto pode ser muito poluente, quando não armazenado e aplicado de modo adequado. Da mesma forma que a vinhaça, a torta pode acarretar sérios danos à manta freática bem como ao solo em que tenha sido depositada, se usado incorretamente. Uma forma de armazenar corretamente a torta sem que a mesma cause impactos negativos ao meio ambiente é seu depósito sobre lonas plásticas ou com alguma forma de impermeabilização.

Quanto à fertirrigação dos canaviais, Freire e Cortez (2000), observaram que: excesso de vinhaça provoca modificações na fisiologia da cana-de-açúcar, fato que pode influenciar negativamente no processo industrial. Também comentaram a redução do teor de sacarose como consequência do retardamento da maturação.

Rodella e Ferrari²³ (1977 *apud*, Freire e Cortez, 2000), constataram aumento no teor de cinzas e no teor de potássio do caldo da cana, o que torna o melassigênico e faz resultar problemas na fabricação do açúcar.

Gentil (1979), observou que a cana-de-açúcar passa a elaborar sacarato de potássio ao invés de sacarose, produto não fermentescível na produção de álcool e não cristalizável na produção de açúcar, o amido da cana-de-açúcar aumenta a viscosidade, o que prejudica o processo de recuperação do açúcar.

Segundo Cesar, Delgado e Gaban (1978), o teor de cinzas do amido aumenta a clarificação do caldo e se incrusta nos cristais do açúcar, comprometendo a filtrabilidade e a eficiência da refinação.

Stupiello et al. (1977), informaram ter havido decréscimo de pol, Brix e pureza do caldo e que aumentaram os teores de açúcares redutores e de cinzas no caldo – fatos que evidenciam que a vinhaça seja um fator de desenvolvimento vegetativo da cana-de-açúcar. Nesses casos, porém, como já apresentado no presente estudo, há ressalvas a serem consideradas, em virtude da maneira como são utilizadas por muitas empresas sucroalcooleiras.

Sengik et al.²⁴ (1996 *apud*, Freire e Cortez, 2000), em estudos sobre os efeitos da vinhaça constaram que, em solos arenosos, aplicações excessivas de vinhaça, podem promover salinização e desbalanceamento catiônico, com redução da produção vegetal.

2.4. Aspectos Ambientais da Disposição de Vinhaça

A Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (ABNT, 1987), classifica como resíduos sólidos, aqueles resíduos nos estados sólidos e semissólidos, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição, incluindo os resíduos

²³ RODELLA, A.A.; FERRARI, S.E. A composição da vinhaça e efeitos de sua aplicação como fertilizante na cana-de-açúcar. Brasil Açucareiro, v.90, n.1, p.6-13, 1977.

²⁴ SENGIK, E.; CANO, M.A.O.; SILVA, C.C.; RIBEIRO, A.C. Efeitos da vinhaça sobre o crescimento do sorgo granífero. In: UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ, CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS. Anuário CCA: 1995/1996. Maringá, 1996. p.163-166.

cujo lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos de água é inviável, ou exijam soluções técnicas economicamente inviáveis face à melhor tecnologia disponível.

Os resíduos são classificados, de acordo com a NBR 10.004/04, como:

- Resíduos Classe I – Perigosos.
- Resíduos Classe II – Não Perigosos.
- Resíduos Classe II A – Não Inertes.
- Resíduos Classe II B – Inertes.

2.4.1. Resíduos Classe I – Perigosos

São aqueles que apresentam periculosidade e características como inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade. Um resíduo é considerado inflamável quando: seu líquido tiver ponto de fulgor inferior a 60°C; se estiver na forma líquida, mas for capaz de produzir fogo por fricção, absorção de umidade ou por alterações químicas nas condições de temperatura e pressão de 25°C e 1atm; ser um oxidante definido como substância que pode liberar oxigênio ou ser um gás comprimido inflamável.

Um resíduo é caracterizado como corrosivo se ele for aquoso e apresentar pH inferior ou igual a 2 ou superior ou igual a 12,5 ou se sua mistura com água, na proporção de 1:1 em peso, produzir uma solução que apresente pH inferior a 2 ou superior ou igual a 12,5, se estiver na forma líquida ou se misturado em peso equivalente ao da água, produzir um líquido e corroer o aço a uma razão maior que 6,35 mm ao ano, à temperatura de 55°C.

Um resíduo é considerado como reativo se normalmente for instável e reagir de forma violenta e imediata, sem detonar; se reagir violentamente com a água, formar misturas potencialmente explosivas com a água, gerar gases, vapores e fumos tóxicos em quantidades suficientes para provocar danos à saúde pública ou ao meio ambiente.

Quando misturados com a água, em sua constituição possuir os íons CN⁻ ou S²⁻ em concentrações que ultrapassem os limites de 250 mg de HCN liberável por quilograma de resíduo, ou 500 mg de H₂S liberável por quilograma de resíduo, se for capaz de produzir reação explosiva ou detonante sob a ação de forte estímulo, ação catalítica ou temperatura em ambientes confinados, se for capaz de produzir, prontamente, reação ou decomposição detonante ou explosiva a 25° C e 1 atm., ou, ainda, ser explosivo – definido como substância fabricada para produzir um resultado prático, através de explosão ou efeito pirotécnico, esteja ou não esta substância contida em dispositivo preparado para este fim.

Um resíduo é caracterizado como patogênico se uma amostra representativa dele contiver ou se houver suspeita de conter, microrganismos patogênicos, proteínas virais, ácidos desoxirribonucléicos (ADN) ou ácido ribonucléico (ARN) recombinante, organismos geneticamente modificados, plasmídeos, cloroplastos, mitocôndrias ou toxinas capazes de produzir doenças em homens, animais ou vegetais, conforme ABNT (2011).

2.4.2. Resíduos Classe II A – Não Inertes

São aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I – Perigosos ou de resíduos classe II B – Inertes. Os resíduos classe II A – Não inertes podem ter propriedades como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

2.4.3. Resíduos Classe II B – Inertes

São quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizadas, à temperatura ambiente não tiverem qualquer de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de

potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor, conforme anexo G da NBR 10.004/04.

2.4.4. Quanto à Matéria Orgânica

Devido à grande quantidade de matéria orgânica coloidal da vinhaça com DBO na ordem de 12000 a 20000ppm, se colocada nos cursos de água, rouba quase todo ou todo oxigênio disponível para sua oxidação e transformação em compostos estáveis e inócuos, segundo Freire e Cortez, 2000

É sabido que durante a década de 50 a vinhaça podia ser lançada diretamente nos cursos de água, até mesmo nos rios de grande importância, como o rio Piracicaba; mas atualmente esse recurso já não é válido, não é recurso válido, ao contrário, é vedado por força de legislação.

A Copersucar²⁵ (1993 *apud*, FREIRE e CORTEZ, 2000), considera a vinhaça um resíduo predominantemente líquido o qual se enquadra na definição de resíduo sólido, segundo os critérios da ABNT (1987) por falta de um tratamento convencional. Em 1994, a copersucar enquadrrou a vinhaça como resíduo classe II não inerte, ou seja não perigoso, baseado em suas características físico – químicas, na adequação do sistema de aplicação ao solo.

Almeida²⁶ (1955 *apud*, FREIRE e CORTEZ, 2000), caracteriza a vinhaça sob diferentes aspectos e selecionou vários pontos fracos: Se entrar nos cursos de água causará vários problemas ambientais por possuir ação redutora e exigir grande taxa de oxigênio contido nessa água para ser estabilizada; é produzida em grandes proporções devido à própria natureza do processo; é altamente ácida para os animais aquáticos; a vinhaça é prejudicial para peixes, sapos e crustáceos e pode comprometer a fauna piscosa da água doce, afugentar a fauna marítima comprometer a desova, prejudicar os peixes larvófagos, a microflora, ou seja, causar desequilíbrio biológico de muitas das espécies.

²⁵ COPERSUCAR. Resíduos sólidos da agroindústria sucro-alcooleira. Piracicaba,1993. 60p. (Relatório Técnico RT- 561-92/93).

²⁶ ALMEIDA, J.R. O problema da vinhaça. Brasil Açucareiro, v.46,n.2, p. 72-77, 1955.

A vinhaça ocasiona danos quando sua disposição é mal administrada e pode ocorrer eventuais acidentes durante seu transporte até a lavoura; produzir mau cheiro com formação de gases fétidos; quando depositada por períodos acima de 12 horas ou ficar empoçada na lavoura; por possuir DBO de aproximadamente 20.000 PPM tornando as águas impróprias para o consumo humano devido ao cheiro e gosto desagradáveis; por conter turbidez elevada: propiciar doenças endêmicas e a proliferação de insetos.

Atualmente, em algumas usinas de certas regiões de clima favorável tem ocorrido a proliferação da mosca-dos-estábulo (*Stomoxys calcitrans*). Suas larvas são depositadas no lodo da vinhaça a partir do momento que a parte líquida dos canais a-céu-aberto e as águas de poças evaporarem ou infiltrarem no solo, principalmente nos lugares onde ocorrer a fertirrigação sobre o colchão de palha resultante da colheita mecanizada sem que tivesse sido feito desadeiramento. A ausência de luz solar para a redução da umidade do lodo e o calor resultante da ação bacteriana torna o ambiente propício à proliferação desse inseto.

Esses acontecimentos de inconformidade ambiental levam a crer que o valor econômico da vinhaça ainda não esteja de fato certificado, pois todos os problemas enumerados traduzem desperdício. Por esses motivos a vinhaça mal administrada provoca descontentamentos de ordem social denigre a imagem da indústria do álcool e da aguardente. Se for levado em conta o valor econômico que ela tem, há um grande interesse em não desperdiçar vinhaça e por consequência, esses problemas serão eliminados.

2.4.5. Evolução Histórica da Consciência e da Normatização Ambiental Sobre a Disposição de Vinhaça

O governador Herculano Bandeira do Estado do Pernambuco, em 1908, enviou mensagem à Assembléia Legislativa Estadual reportando, em caráter pioneiro o lançamento de vinhaça em cursos de água.

Em 23 de janeiro de 1934, o lançamento dos resíduos industriais das usinas nos rios principais, cursos de água, lagoas ou águas paradas, foi regulamentado pelo Decreto nº 23.777. Em 10 de julho de 1934 foi aprovado o Código das Águas pelo Decreto Federal 24.643. Em 19 de outubro de 1938 foi baixado o Código de Pesca com o Decreto-Lei nº 794. Em 3 de março de 1943 foi expedida a Portaria nº 69 pela Divisão de Caça e Pesca do Ministério da Agricultura que proibia expressamente o lançamento da vinhaça nas águas, segundo Coutinho²⁷ (1955 *apud*, Freire e Cortez, 2000). O primeiro Decreto Estadual foi expedido em 31 de julho de 1946 (Decreto Lei nº 1421), quando foi criada a Comissão Permanente de Proteção aos Cursos D'Água, relata Rocha²⁸ (1967 *apud*, FREIRE e CORTEZ, 2000).

Em 21 de maio de 1961, Jânio da Silva Quadros, então Presidente do Brasil baixou o Decreto Federal nº 50.877 que permitiu o lançamento de resíduos sólidos às águas com a condição de não poluir as mesmas. Logo depois, Jânio Quadros baixou o Decreto-Lei nº 303, de 28 de fevereiro de 1967 que proibiu o lançamento da vinhaça *in natura* nos rios, lagos e baixios, para evitar a poluição das águas do meio ambiente obrigando os usineiros a providenciarem outras formas de disposição de vinhaça.

Segundo Freire e Cortez (2000), em 31 de maio de 1976, o governo do Estado de São Paulo promulgou a Lei Estadual 997 e o Decreto 8.468 de 8 de setembro de 1976 que instituíram o Sistema de Prevenção e Controle da Poluição do Meio Ambiente coibindo a presença, lançamento ou a liberação nas águas, no ar ou no solo de quaisquer materiais que fossem: impróprios, nocivos ou ofensivos à saúde, inconvenientes ao bem estar público, danosos aos materiais, à fauna e à flora, prejudiciais à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade.

Posteriormente, aos 10 de março de 1979, o Ministério do Interior publicou a Portaria G. M. – MINTER nº 53, o que proibiu a queima de resíduos ao ar livre e, também, a aplicação de resíduos *in natura* na agricultura; proibiu ainda seu uso para alimentação de animais e lançamento em corpos de água. Por último, a

²⁷ COUTINHO, N. Tratamento de resíduos das destilarias. Brasil Açucareiro, v.45, n.5, p. 52-58, 1955.

²⁸ ROCHA, F.D.M. A propósito de um problema: a poluição dos rios do açúcar. Brasil Açucareiro, v.69, n.1, p. 25-27, 1967.

Constituição Federal de 5 de outubro de 1993 determinou ser competência comum da União Federal, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios, proteger o meio ambiente e combater a poluição em quaisquer de suas formas. Atualmente, a CETESB (2006), veio disciplinar a disposição da vinhaça de cana de açúcar no solo agrícola.

A dosagem de vinhaça a ser aplicada no canavial deve ser definida com base no seu teor de potássio e na análise química do solo. Para o Estado de São Paulo, a CETESB, por meio da Norma Técnica P4.231, definiu a dosagem a ser aplicada para cada talhão em função da saturação de potássio no cálculo da capacidade de troca catiônica (CTC).

De acordo com a CETESB (2006), a vinhaça é um líquido derivado da destilação do vinho, resultante da fermentação do caldo da cana-de-açúcar ou melaço.

Outras definições constantes na referida norma da CETESB, são apresentadas a seguir:

- Águas subterrâneas – são águas que ocorrem natural ou artificialmente no subsolo, de forma suscetível de extração e utilização pelo homem, ou as águas que ocorrem naturalmente ou artificialmente no subsolo;
- Aquífero - é toda formação geológica que armazena e transmite água subterrânea natural ou artificialmente captada;
- Solo - é o material que ocorre a partir da superfície do terreno, constituído por horizontes gerados pela alteração do material original (rocha, sedimento ou outro solo) por ação do intemperismo. São partes integrantes do solo as partículas minerais, o ar, a água intersticial das zonas não saturadas e saturadas, a fração orgânica e a biota;
- Solo agrícola - é a superfície de terra utilizada para a exploração agro-silvopastoril;
- Nível d'água - é a altura em determinado tempo e local, da superfície freática ou potencio métrica de um aquífero.

- Superfície potencial métrica livre ou lençol freático - é a superfície superior da zona saturada, ao longo da qual a pressão é igual à pressão atmosférica.

A norma CETESB (2006) estabelece as seguintes condições para a aplicação da vinhaça no solo:

- I. Não estar contida no domínio das Áreas de Preservação Permanente – APP ou de reserva legal, definidas no Código Florestal – Lei Federal nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, modificada pela Lei Federal nº 7.803, de julho de 1989, nem nos limites da zona de amortecimento definidos para as unidades de conservação de proteção integral;
- II. No caso de a área estar localizada no domínio de Área de Proteção Ambiental – APA, a aplicação de vinhaça não poderá estar em desacordo com os seus regulamentos;
- III. No caso de a área estar localizada no domínio de APA estadual não regulamentada, a aplicação de vinhaça deverá ser aprovada pelo seu órgão gestor;
- IV. Não estar contida no domínio de área de proteção de poços;
- V. Não estar contida na área de domínio das ferrovias e rodovias federais ou estaduais;
- VI. Estar afastada, no mínimo, 1.000 (um mil) metros dos núcleos populacionais compreendidos na área do perímetro urbano. Essa distância de afastamento poderá, a critério da CETESB, ser ampliada quando as condições ambientais, incluindo as climáticas, exigirem tal ampliação;
- VII. Estar afastada, no mínimo, 6 (seis) metros das Áreas de Preservação Permanente – APP, e com proteção por terraços de segurança;
- VIII. A profundidade do nível d'água do aquífero livre, no momento de aplicação de vinhaça deve ser, no mínimo, de 1,50m (um metro e cinquenta centímetros);

- IX. No caso de áreas com declividade superior a 15%, deverão ser adotadas medidas de segurança adequadas à prevenção de erosão;
- X. Nas áreas com declividade superior a 15%, além das práticas conservacionistas, deverá ser efetuada a escarificação do solo. Se, após a escarificação, a dosagem de aplicação de vinhaça for superior à capacidade de infiltração do solo, a aplicação deverá ser parcelada.

A norma da CETESB (2006) recomenda que os seguintes parâmetros sejam pesquisados quando da caracterização da vinhaça:

- pH;
- resíduo não filtrável total;
- dureza;
- condutividade elétrica;
- nitrogênio nitrato;
- nitrogênio nitrito;
- nitrogênio amoniacal;
- nitrogênio Kjeldhal;
- sódio;
- cálcio;
- potássio;
- magnésio;
- sulfato;
- fosfato total;
- DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio);
- DQO (Demanda Química de Oxigênio).

A Referida norma da CETESB define a fórmula para o cálculo da dosagem de potássio a ser colocada no solo. Vale dizer que esta fórmula não evita a saturação do solo, uma vez saturado, ela permite adicionar a quantidade que a cana consome no corrente ano.

A dosagem máxima de vinhaça a ser aplicada no tratamento de solos agrícolas em cultura de cana-de-açúcar será determinada pela equação:

$$\text{m}^3 \text{ de vinhaça/ha} = [(0,05 \times \text{CTC} - \text{ks}) \times 3744 + 185] / \text{kvi}$$

onde:

0,05 = 5% da CTC.

CTC = Capacidade de Troca Catiônica, expressa em cmolc/dm^3 , dada pela análise de fertilidade do solo realizada por laboratório de análise de solo e utilizando a metodologia de análise do solo do Instituto Agronômico.

ks = concentração de potássio no solo, expresso em cmolc/dm^3 , à profundidade de 0 a 0,80 metros, dada pela análise de fertilidade do solo realizada por laboratório de análise de solo utilizando metodologia de análise de solo do Instituto Agronômico (IAC).

3744 = constante para transformar os resultados da análise de fertilidade, expressos em cmolc/dm^3 ou meq/100cm^3 , para kg de potássio em um volume de 1 (um) hectare por 0,80 metros de profundidade.

185 = massa, em kg, de K_2O extraído pela cultura por hectare, por corte.

kvi = concentração de potássio na vinhaça, expressa em kg de $\text{K}_2\text{O/m}^3$, apresentada em boletim de resultado analítico, assinado por responsável técnico.

2.4.6. Desenvolvimento Tecnológico para a Distribuição da Vinhaça na Lavoura Canavieira - Fertirrigação

Entre as várias alternativas apresentadas para o uso da vinhaça, a que mais revelou ser econômica e eficiente do ponto de vista agrícola e que, por esse motivo, passou a ser difundida e adotada pela maioria das usinas, foi o uso na fertirrigação dos canaviais.

A aplicação de vinhaça na lavoura é tida como fertirrigação, processo conjunto de irrigação e adubação que consiste na utilização da própria água para conduzir e distribuir o fertilizante químico ou orgânico na lavoura, e pode ser realizado por qualquer sistema de irrigação (VIEIRA, 1986).

Neste contexto, o termo fertirrigação, no que concerne à vinhaça não está totalmente correto, porque faz mais referência ao método de irrigação empregado e, de fato, não constitui mais que um processo de aplicação de fertilizante e molhamento, sem controle prático da lâmina hídrica aplicada e muito menos da frequência das aplicações; interessa mais a quantidade de potássio carregada e transferida para o solo. Muito utilizado no setor no caso da vinhaça, o termo diz respeito à aplicação do resíduo líquido que também causa o molhamento do solo, conforme Freire e Cortez (2000).

Para Orlando Filho et al. (1980, 1981, 1983), a fertirrigação pode ser feita por inundação, por sulcos de infiltração, por aspersão com equipamento semi-fixo e por aspersão com canhão hidráulico.

Porém, segundo a Copersucar²⁹ (1978 *apud*, FREIRE e CORTEZ, 2000), a vinhaça utilizada como fertilizante permite alcançar o objetivo de não poluir o ambiente, uma vez que todo resíduo formado é devolvido à cultura. Dessa forma, pode substituir parte da adubação mineral e diminuir custos. As primeiras experiências sobre aplicação de vinhaça na lavoura canavieira datam de 1918, afirma Vieira (1986).

De acordo com Glória e Orlando Filho (1984), os solos agrícolas ocupados com cana de açúcar possuem características diferentes – conforme a região em que esteja a unidade processadora e conforme o tipo do solo – são diferentes as dosagens de vinhaça a serem administradas.

Segundo Orlando Filho, Souza e Zambello Jr. (1980) as quantidades de vinhaça a serem aplicadas, são determinadas levando em conta a fertilidade do solo para não haver desperdício.

Quando a fertirrigação é processada via infiltração por sulcos, a vinhaça é recalçada para o campo através de tubulações de ferro, PVC rígido revestido externamente com fibra de vidro e resina poliéster, ou tubos de argamassa de resina termo estável reforçada por filamentos de fibra de vidro e areia. Em função da topografia do terreno e da distância, a vinhaça diluída é bombeada através de tubulações para posterior distribuição por canais de terra. Era necessária a declividade de 0,2 a 0,5%. Os sulcos eram abertos nas entrelinhas da cana.

²⁹ COPERSUCAR. Aproveitamento da vinhaça: viabilidade técnico econômica. **Boletim Técnico Copersucar**, p.1-66, 1978.

De acordo com Orlando Filho (1981) e Orlando Filho et al., (1983) os tanques de decantação, áreas de infiltração, decantação da fração sólida e a evaporação da fração líquida, material decantado para ser utilizado posteriormente para fins agrícolas, são tanques de grande área superficial e pequena profundidade localizados onde o solo tenha baixa capacidade de infiltração. Nas áreas de infiltração, por outro lado, o solo é sulcado em desnível de 0,2 a 0,5%, 0,3m de profundidade e 0,45m de largura, e a vinhaça é nele liberada para infiltração.

Quanto às áreas de despejo, segundo Mاتيoliه Menezes³⁰ (1984); Mاتيoli et al.³¹ (1988b *apud*, Freire e Cortez, 2000), elas funcionam, como órgãos de segurança para outros sistemas de aplicação de resíduos líquidos – o excedente de vinhaça que os caminhões-tanque não distribuíram. Essas áreas de sacrifício são dimensionadas em função da capacidade de absorção do solo e localizadas próximo ao pátio industrial sem qualquer outra finalidade a não ser a de dar vazão aos resíduos líquidos. O risco de contaminação do lençol freático existe e esta prática não representa um uso racional dos resíduos em questão.

De acordo com Ruas e Leme (1987), na década de 87 a vinhaça de 19% das destilarias do Brasil era infiltrada no solo em áreas de sacrifício, porém, muitas faziam boa distribuição substituindo o N P K (Nitrogênio; Fósforo; Potássio). Também era utilizada vinhaça em conservação de estradas e para enriquecimento de ração animal.

Atualmente, qualquer forma de depositar vinhaça de forma permanente é obrigatória a impermeabilização do solo. Esta norma veio descaracterizar por completo a metodologia de disposição de vinhaça que compreenda áreas de sacrifício.

³⁰ MATIOLI, C.S.; MENEZES, J.A. Otimização dos sistemas de aplicação de resíduos líquidos na lavoura. In: REUNIÃO TÉCNICA AGRONÔMICA, Piracicaba, 1984. **Anais**. Piracicaba: Copersucar, 1984. p.67-70.

³¹ MATIOLI, C.S.; LAZO, M.E.P.; GUAZZELLI, M.A.N. Otimização de sistemas de aplicação de resíduos líquidos. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 4., Piracicaba, 1988. **Anais**. Piracicaba: Copersucar, 1988b. p.159-168.

As inovações tecnológicas para a aplicação da vinhaça modificaram os antigos e rudimentares sistemas de aplicação por inundação e por sulcos de infiltração, conforme Rossetto³² (1987 *apud*, Freire e Cortez, 2000).

Inicialmente, a vinhaça era transportada e aplicada através de caminhões tanques, os quais entravam no talhão de cana e deixavam a vinhaça cair no solo por gravidade ou com auxílio de bombas. Existiam duas situações, que permanecem até hoje: aplicação da vinhaça *in natura* ou diluída com água e outros efluentes das usinas (águas de lavagem da cana, água de condensação, água de colunas barométricas, água de lavagem de pisos *etc.*, conhecidas como águas residuais ou residuárias).

A figura que segue demonstra um caminhão tanque de distribuição direta na lavoura, o mesmo trafega no meio do canavial para fazer a aplicação.

³² ROSSETTO, R.; SANTIAGO, A.D. (2007). *Adubação – resíduos alternativos*. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_39_711200516717.html>. Acesso em: 02/11/2011.

Figura 10 - Aplicação da vinhaça através de caminhões tanque.
Fonte: Rossetto e Santiago (2007).

Segundo a Coopersucar (1978), a utilização de Vinhaça como fertilizante somente é viável sob o ponto de vista técnico e econômico, quando aplicada com o auxílio de veículos, a saber: caminhões-tanque (CT) ou o sistema conjugado VDV (Veículo Distribuidor da Vinhaça). CT de queda-livre com tanque de aço-carbono eficiente o sistema VDV.

Em relação à fertirrigação comparada à adubação mineral, segundo Santana (1985), concluiu que a distribuição de vinhaça por aspersão apresenta vantagem sobre o sistema de distribuição com caminhões-tanque e sobre o sistema de aspersão do tipo montagem direto, por apresentar menor custo, sem prejuízo das quantidades de nutrientes aplicadas. De acordo com o autor, o sistema de aplicação com caminhões-tanque que distribui a vinhaça pelo sistema "queda-livre", é economicamente viável até 6,94 km.

Este sistema que diz respeito ao caminhão que transporta um só tanque de $15,6 \text{ m}^3$ por viagem, não é mais praticado por conta de alternativas tecnológicas visando a redução do volume e preservação dos nutrientes da vinhaça para economia de transporte.

Furlani Neto et al. (1985), apontam desuniformidade de dosagem da vinhaça aplicada em queda-livre por caminhão, isso acontece por conta da variação da quantidade segundo a velocidade do caminhão, com reflexos negativos na produtividade da cana-soca.

Esse sistema se mostrava difícil e ineficiente, uma vez que a aplicação da vinhaça era muito irregular. Posteriormente, no final dos anos 70, passaram a utilizar os sistemas de aspersão com equipamentos semi-fixos, nos quais a vinhaça era bombeada dos canais principais por moto bombas, que alimentavam tubulações laterais nas quais eram acoplados os aspersores. Esse sistema já permitia maior controle das doses de vinhaça aplicadas. Nos anos 80 a vinhaça passou a ser aplicada, por aspersão com canhão hidráulico que se deslocava em pequenos carregadores ao lado dos canais que traziam a vinhaça.

OMETTTO(1988b), dedicaram-se ao estudo da otimização dos sistemas de aplicação de vinhaça na lavoura canavieira, visando adequação ambiental com amortização dos custos com aproveitamento máximo do potencial nutricional.

Geraldi Filho et al.³³ (1988 *apud*, FREIRE e CORTEZ, 2000), mostraram que algumas usinas contribuíram para o desenvolvimento de sistemas mais econômicos de transporte e aumentou o volume transportado por viagem e, também, de sistemas de distribuição com descarga direta e melhorou o aspecto ambiental e econômico.

³³ GERALDI FILHO, L.; CORRÊA, W.J.; HENRIQUE, J.L.P.; MIKLÓS, J.E.W. Aplicação de vinhaça através do caminhão-extensão. **STAB**, v.6, n.93, p.28-33, 1988.

A seguir foto ilustrativa de fertirrigação do canavial.

Figura 11- Aplicação de vinhaça por aspersão.
Fonte: Wordatlaspedia (2009).

Posteriormente a introdução do carretel enrolador (hidrorrol) foi um avanço tecnológico para a aplicação da vinhaça. Nesse carretel a aspersão é feita por um equipamento auto propelido com tubulação de polietileno de média densidade, que permite maior automação, maior rendimento operacional, maior eficiência, menor uso de mão de obra e menor número de mudanças e transporte de equipamentos.

Vale dizer que as inovações tecnológicas ainda estão em andamento através de testes de uma barra irrigadora de 36 a 54m de largura com aspersores *spray* para vazão de 25 a 150m³/h. A barra é adaptada na extremidade da mangueira do carretel enrolador e permite redução na pressão de aplicação, e melhora a uniformidade. Equipamentos de pivô central rebocável também têm sido testados para aplicação de vinhaça.

O sistema de aplicação por aspersão com carretel enrolador ilustrado na figura 12 a seguir, embora represente um menor investimento inicial frente a outros sistemas de irrigação, é o que apresenta o maior custo operacional para seu funcionamento, afirma Hernandez (2006).

Figura 12 - Aspersão através do sistema de carretel – rolão.
Fonte: Google imagens, 2011.

Em uma pesquisa realizada em 54 usinas do Brasil (25 no Estado de São Paulo), representando 22,5% da cana moída no Brasil, Nunes Jr. et al. (2005), verificaram que, atualmente, a vinhaça é distribuída preferencialmente por canais e aplicada por aspersão através do sistema de carretel-rolão.

Segundo Abreu e Pareja (1980), o conjunto de montagem direta com aspersor tipo canhão é o mais racional e econômico dos métodos existentes de distribuição de vinhaça nos canaviais. Tal conjunto compreende uma unidade moto bomba diesel e um aspersor canhão, montados sobre rodas, que é deslocado ao longo dos canais, rebocado por tratores, até locais convenientes, onde são estacionados e postos a operar.

Na figura abaixo, a fertirrigação por canhão aspersão

Figura 13 - Detalhe do canhão por aspersão.
Fonte: Google imagens, 2011.

Este sistema, que não utiliza caminhões, existe em todas as destilarias, porém não atende toda demanda e todas as condições topológicas e topográficas.

Leme et al. (1979) confirmaram vantagens quanto ao método de aplicação de vinhaça por aspersão com canhão hidráulico em áreas com transporte via adutoras.

Na figura abaixo, fertirrigação por canhão aspersão em pós colheita.

Figura 14 - Quem adota a fertirrigação obtém resultados positivos.
Fonte: Jornal Cana/junho, 2007.

Coelho e Azevedo (1986), recomendaram fertirrigação por aspersão, e que o teor de potássio na vinhaça ou mistura seja inferior a 2 kg/m^3 .

Gurgel e Guimarães (1976), salientaram que a Coopersucar desenvolveu um sistema de aplicação de vinhaça que consiste em ser acoplado um conjunto moto bomba a um caminhão-tanque que distribui a vinhaça sob pressão constante, através de barra com bicos de vazão controlada e quebra-jatos reguláveis, o rápido e uniforme resfriamento da vinhaça reduz a compactação do solo, fato que resulta em menor consumo de combustível por área aplicada.

Menezes, Paixão e Sirio (1984), estudaram o transporte da vinhaça através de tubulações ou canais, que além de reduzir a distância média de transporte por caminhões-tanque, também reduz os custos de aplicação na lavoura e a própria frota de caminhões-tanque.

No que tange ao projeto e operação de circuitos hidráulicos, em Pizarro et al. (1988), afirmaram ser o sistema misto de transporte (linhas de recalque com estações de carregamento de caminhões tanque) necessário para atender ao fator econômico e ambiental. Atualmente, esta combinação tecnológica é feita na grande maioria das usinas e destilarias do Brasil.

Na safra 1986/87, a taxa de aplicação foi, em média, $154 \text{ m}^3/\text{ha}$, o sistema de aplicação por aspersão foi o que mais evoluiu em relação à safra 1983/84, crescendo 99,4% na área aplicada das destilarias anexas e 248,9%, nas autônomas³⁴.

Matioli et al. (1988), propuseram uniformidade de distribuição de vinhaça na lavoura e sistema de computador para evitar desperdício, saturação do solo.

É importante salientar que historicamente e até hoje as tecnologias utilizadas na fertirrigação com vinhaça tem se desenvolvido em função da necessidade de se amortizar os custos dos investimentos que se fazem necessários à medida do acirramento das leis ambientais. Este estudo pretende despertar um desempenho ambiental e social espontâneo através da motivação econômica.

³⁴Destilaria anexa (produz álcool e açúcar), destilaria autônoma (produz somente álcool).

2.5. Tecnologias Inovadoras de Disposição de Vinhaça

Há uma corrida histórica de pesquisadores em busca de tecnologias e usos da vinhaça no sentido do aproveitamento dos potenciais energéticos dada a visão de balanceamento econômico ao ônus das possíveis melhorias ambientais. Quando os órgãos governamentais começaram a coibir o lançamento desenfreado da vinhaça em mananciais de superfície. As usinas e destilarias começaram a correr em busca de tecnologias que viabilizassem formas de disposição com aproveitamento das suas propriedades energéticas como acontece em alguns países onde por algum motivo de força maior não se pratica a fertirrigação da lavoura com *vinhaça in natura*.

Vale ressaltar o grande problema da falta de incentivo e aprofundamento em pesquisas, para os quais são necessários estímulos ao desenvolvimento de novas tecnologias de tratamento, redução e usos alternativos da vinhaça, em detrimento da fertirrigação, pois a elevada e crescente geração desse efluente não comportará apenas uma forma de destinação, segundo Pereira (2003).

Camhi³⁵ (1979 *apud*, FREIRE e CORTEZ, 2000) sugeriu alternativa de tratamento para vinhaça além do seu retorno à lavoura como substituta parcial ou total dos adubos minerais:

- I. Concentração da vinhaça mediante evaporação ou secagem, para uso na alimentação animal.
- II. Fermentação aeróbia, por meio de leveduras, bactérias ou fungos, visando a produção de proteínas unicelulares.
- III. Fermentações anaeróbias, utilizando bactérias metanogênicas, para a produção de biogás.

Este trabalho visa utilizar tais tecnologias que possam minimizar o custo do transporte da vinhaça e viabilizar a disposição na totalidade dos canais, não descaracteriza a fertirrigação por compreender que não se pode perder o benefício da água contida na vinhaça durante a formação da lavoura e no cultivo da cana soca na maioria dos casos, mesmo em proporções menores. Como a

³⁵ CAMHI, J.D. Tratamento do vinhoto, subproduto da destilação de álcool. Brasil Açucareiro, v.94, n.1, p.18-23, 1979.

receita vem do potássio contido na vinhaça, reduzir a quantidade de água minimiza o seu custo e aumenta a distância de transporte economicamente viável em relação à adubação química de origem mineral. Os ganhos ambientais vêm da não saturação do solo por vinhaça e também da grande redução da aplicação dos adubos minerais.

Segundo Coutinho³⁶ (1955 *apud*, FREIRE e CORTEZ, 2000), na década de 40 eram conhecidos cinco diferentes métodos para tratamento de vinhaça com reaproveitamento industrial, visando:

1. Processo de evaporação ou incineração mediante pulverização da vinhaça nos gases de combustão.
2. Processo de destilação destrutiva, ou destilação pirogenosa contínua sob pressão, com recuperação de metanol, acetona, ácido acético, amoníaco e derivados alifáticos.
3. Tratamento químico, combinando centrifugação com precipitação química e tratamento químico com depuração biológica.
4. Processos biológicos de depuração, ou fermentação anaeróbia;
5. Processo de decantação e irrigação.

Para minimizar os problemas com custos e torná-los suportáveis frente às leis que começaram a surgir, na década de 50, há registros que foram buscadas alternativas com tentativas de concentrar vinhaça, conforme Hollanda Filho³⁷ (1955 *apud*, Freire e Cortez, 2000).

Para Polack, Day e Cho (1981), as alternativas para tratamento de vinhaça são: combustão da vinhaça concentrada com recuperação das cinzas rica em potássio para ser usada como fertilizante; osmose reversa para remoção da água da solução diluída visando a concentração da vinhaça; ultra filtração ou filtração em escala molecular com o objetivo de filtrar moléculas poliméricas (amidos, gomas e dextranas) que interferem na cristalização do açúcar; e, outros tratamentos tais como secagem em reator de leito fluidizado, secagem solar e *spray-drying*.

³⁶ COUTINHO, N. Tratamento de resíduos das destilarias. Brasil Açucareiro, v.45, n.5, p. 52-58, 1955.

³⁷ HOLLANDA FILHO, M.M. Sugestão para solucionar o problema das caldas residuais das destilarias. Brasil Açucareiro, v.46, n.6, p.60-61, 1955.

Silva (1981a, 1981b), propôs fazer um composto orgânico de vinhaça com bagaço, adicionando cal para elevar o pH e separando a água para reuso na indústria.

De acordo com Camhi³⁸ (1979 *apud*, FREIRE e CORTEZ, 2000), algas e bactérias, atuam sobre a matéria orgânica da vinhaça, transformando-a em biofertilizante (biomassa ou concentrado protéico).

Nicolaiewsky (1981), tratou vinhaça por floculação adicionando cal para reduzir a DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) e a DQO (Demanda Química de Oxigênio).

2.6. O Uso Da Tecnologia de Concentração de Vinhaça de Cana de Açúcar

As vantagens da concentração da vinhaça visando sua aplicação ao solo são: a maior estabilidade do produto e a redução do volume a ser transportado, e este é o fator responsável pela amortização dos investimentos necessários ao transporte do produto, da destilaria à plantação, para Sena (1998).

A vinhaça *in natura* possui um teor de sólidos muito baixos, mas que varia de 2 a 10% conforme a matéria-prima usada na fabricação de álcool. Nos processos em que só o caldo extraído da cana é utilizado na fabricação do álcool, o teor de sólidos da vinhaça é normalmente o mais baixo, o que resulta em volumes ainda maiores de vinhaça a ser descartada pela destilaria. Esse enorme volume de vinhaça, por sua vez, acarreta custos de transporte também muito elevados e, quando a fertirrigação já não é viável, a vinhaça é despejada em áreas de sacrifício. Assim, conhecem-se três meios principais de diminuir a proporção de vinhaça em relação ao álcool produzido nas destilarias: Concentrar a vinhaça *in natura* por evaporação da água nela contida; Reciclar a vinhaça utilizando parte dela na diluição do caldo a ser fermentado; Desenvolver novas linhagens de leveduras que suportem teores de álcool mais elevados no mosto.

³⁸ CAMHI, J.D. Tratamento do vinhoto, subproduto da destilação de álcool. **Brasil Açucareiro**, v.94, n.1, p.18-23, 1979.

Concentrar a vinhaça significa retirar água desse efluente sem perda dos sólidos dela constituintes, com conseqüente redução de volume. Esta redução, tomada em função da concentração (expressa em termos de °Brix), assume a forma de uma curva assintótica, segundo Germek e Feigl (1987). A evaporação da água utilizando-se evaporadores de múltiplo efeito é a tecnologia mais difundida e já bastante utilizada na indústria de açúcar em todo o mundo, conforme Cheng (1985). Esta tecnologia é utilizada na indústria açucareira para concentrar o caldo clarificado antes de iniciar o processo de cristalização do açúcar contido no xarope. A evaporação em múltiplos efeitos é também muito utilizada em outras indústrias de alimentos, segundo Charm³⁹ (1978 *apud* FREIRE e CORTEZ, 2000), e representa um importante método de racionalizar o uso de vapor de processo. O número de efeitos que compõe um sistema de evaporação normalmente varia de 4 até 7, mas os mais comum são as unidades de 4 a 5 efeitos. Quanto mais cara a energia, mais se justifica um maior número de efeitos.

Embora não se trate de evaporação, sabe-se que a tecnologia de osmose reversa pode ser também empregada para elevar a concentração de caldas e xaropes e sua eficiência é tanto maior quanto mais baixas forem as concentrações do caldo, na entrada, e do xarope, no final da concentração. Nos experimentos realizados com concentração de seiva de ácer (*maple syrup*), usando a tecnologia de membranas para osmose reversa, em Quebec, Canadá, verificou-se que na faixa de 2 até 15% de sólidos, esta tecnologia pode ser empregada economicamente. Se isto realmente se comprovar viável para concentrar vinhaça, isto pode representar uma diminuição do volume inicial em até sete vezes.

O aproveitamento da riqueza em substâncias orgânicas e minerais da vinhaça *in natura*, a proteção dos recursos hídricos regionais contra a poluição e a obtenção de um xarope estável concentrado que pode ser utilizado como fertilizante e componente para ração animal, são as vantagens que Urban⁴⁰ (1976 *apud*, FREIRE e CORTEZ, 2000), apresentou para a concentração da vinhaça como tratamento alternativo desse resíduo. Podendo ser aplicada ao solo, logo

³⁹ CHARM, S.E. *The fundamentals of food engineering*. 3.ed. Westport: Avi Publishing, 1978. 646p.

⁴⁰ URBAN, E. Concentração de vinhaça. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE TRATAMENTO DE VINHOTO. Anais. Rio de Janeiro: Instituto Nacional de Tecnologia, 1976. p. 4; 45-4; 51. ZARPELON, E Redução do volume de vinhoto. STAB, v.1, n.2,p.28-35, 1982.

após o corte da cana, a matéria orgânica da vinhaça concentrada serve de alimento aos microrganismos do solo, ao mesmo tempo em que a parte mineral, rica em potássio, repõe ao solo os macronutrientes indispensáveis ao crescimento da cana-planta, desde que complementada com nitrogênio e fósforo. A utilização da vinhaça como componente substituto do melaço, em rações balanceadas, é prática há muito tempo difundida na Europa, garantindo excelente palatabilidade às rações além de um aumento do poder de aglutinação dos componentes da ração. A concentração da vinhaça é uma forma de reduzir os custos do transporte em caminhões-tanque até o campo para fins de fertilização, afirma Hulett (1980). Embora os custos de uma concentração por evaporação sejam elevados, o autor relatou que o uso de evaporadores de alto índice de transferência e mínima incrustação reduz tais custos ao mínimo e, como soluções ao problema apresentaram quatro sistemas viáveis, a saber, evaporador de duplo efeito com recirculação de flegmassa⁴¹, evaporador de triplo efeito com pré-evaporador, evaporador de quádruplo efeito, e um sistema que se utiliza de um pré-evaporador de simples efeito, constituído por quatro corpos de evaporação em paralelo. A concentração de vinhaça a 30 °Brix não apenas reduz a quantidade a transportar em cerca de 80%, como também assegura o mínimo aparecimento de incrustações.

Segundo Freire e Cortez (2000), a vinhaça concentrada foi utilizada em larga escala na Holanda, Bélgica e França, como componente de ração animal, tendo sido incorporada à ração em quantidades variáveis de 8 a 30%, sendo em seguida peletizada. Na Holanda, particularmente, a vinhaça concentrada foi empregada na alimentação dos animais à razão de 10%, quando destinada a bovinos; de 4%, quando a suínos; e de 2 a 3%, no caso de aves.

Mantendo uma reciclagem contínua para os tanques ou domas de fermentação, se reduz o efeito inibidor do álcool sobre a atividade das leveduras permitindo que substratos mais concentrados sejam usados e que o teor de sólidos solúveis (Brix) possa ser aumentado nas domas de fermentação. O nível também elevado de leveduras nas domas é mantido centrifugando as leveduras do fluxo de reciclagem e retomando-as à doma de fermentação.

⁴¹ Flegmassa: é um resíduo aquoso impuro, proveniente da coluna a, composto basicamente de água do flegma mais o vapor condensado na coluna, que não deve ser misturado com a vinhaça, mas incorporado à sobra das águas condensadas da usina.

Antes de colocar o mosto na coluna, aquece-se o fluxo de reciclagem até o *flashíng poínt*, usando um trocador de placas o fluxo que retoma à doma é, assim, resfriado até a temperatura de fermentação.

Ainda, segundo Freire e Cortez (2000), o fluxo de reciclagem (mosto aquecido) é introduzido na parte superior da coluna de onde a maior parte do etanol é removido. Na parte inferior da coluna de destilação remove-se o fundo da coluna e divide-se esse fluxo com retorno da maior parte às domas (fluxo de retomo) e a menor parte vai para a segunda destilação, também chamada de coluna de retificação.

A quantidade de vinhaça que retoma à doma de fermentação é função da proporção de material fermentável em relação ao não-fermentável no fluxo e controla a quantidade e concentração de vinhaça produzida. A esta concentração, a vinhaça torna-se resíduo estável, até mesmo por longos períodos, isso viabiliza seu uso para fins de arração animal. A alimentação da vinhaça diluída é feita automaticamente em função do Brix de saída da evaporação. O consumo de vapor é da ordem de 0,22 a 0,27 kg/litro de água evaporada (1kgf/cm²) e o de energia elétrica 0,0134 kW/litro; consome-se, também, 0,013 m³ de água da refrigeração/litro de água evaporada (30°C).

Continuando com Freire e Cortez (2000), as experiências com evaporação de vinhaça não são muitas. Vários projetos de evaporadores foram desenvolvidos em colaboração com empresas da área de combustão, como é o caso da empresa sueca ALFA LAVAL, tradicional indústria de equipamentos, que desenvolveu uma *joint-venture* com a finlandesa A. Ahlstrom AB, especialista em sistemas de combustão. O caso da empresa holandesa HCG difere um pouco pois esta desenvolveu um programa de longo prazo, desde 1947, para esse fim instalou em 1979 na Tailândia, uma unidade que teve evaporadores construídos pela empresa *Vogelbusch* e caldeiras pela empresa Tate & Lyle. Já a empresa *Copeland* desenvolveu ambos os sistemas (evaporadores e incineradores) na unidade designada *Copeland Fluidized Bed System*.

Mas, em todas estas unidades, a parte do sistema de evaporação é fundamental pois, não se consegue queimar vinhaça *in natura* dado o elevado teor de água que não permite alcançar um poder calorífico suficiente para a combustão. Há, também, muitas destilarias de álcool no exterior que instalaram evapora dores de vinhaça para minimizar o volume produzido e a sua disposição.

Segundo, Freire e Cortez (2000), a empresa ALFA LAVAL desenvolveu um evaporador a placas, de filme ascendente, comercializado com o nome EC 500, apresentado em dois modelos: o padrão, para plantas de evaporação tradicionais, e o com saídas abertas, ambos podendo ser usados para qualquer tipo de instalação. Feito normalmente de aço inox, o evaporador a placas é um trocador de calor compacto, de 3,0 a 4,5 m de altura, de fácil manutenção, eficiente com pequenos gradientes de temperatura e exigindo investimento reduzido. O evaporador a placas foi projetado para uma vazão do produto de 50 m³/h e um coeficiente global de troca de calor da ordem de 4.250 W / m²K.

Apesar das grandes vantagens apresentadas pela tecnologia do processo BIOSIL, não se sabe ao certo as razões que levaram as destilarias a não adotarem esta tecnologia.

A diluição do caldo para a fermentação tem por objetivo manter suficientemente elevada a cinética da reação até o final desse processo, a fim de minimizar o tempo total da reação e minimizar o tamanho dos tanques e, dessa maneira, o custo do processo.

Nota-se que, simultaneamente à conversão de açúcar, a quantidade de álcool presente no mosto aumenta proporcionalmente. No final da fermentação, a concentração de álcool no mosto deve ser da ordem de 8 a 9% em volume (7,0% em massa).

Descreve, Freire e Cortez (2000), no início do PROÁLCOOL, em 1975, a fermentação durava até 24 h. Este processo recebeu muitas melhorias, sendo mais bem compreendida, sua dinâmica, assim como novas linhagens de leveduras foram produzidas. Possivelmente, o principal avanço foi o desenvolvimento da fermentação semi-contínua, que permitiu a redução do tempo de fermentação para até 5 h.

No entanto, ainda há muito por ser feito no que diz respeito ao desenvolvimento de linhagens de leveduras mais resistentes ao álcool. Só assim será possível diluir menos o caldo e efetivamente reduzir a proporção vinhaça/álcool produzido.

No Brasil, a empresa CODISTIL-DEDINI instalou uma unidade de demonstração de concentração de vinhaça usando o processo BIOSIL na Usina São Luiz, em Pirassununga, SP. Segundo a CODISTIL-DEDINI, o volume de

vinhaça produzido poderia ser reduzido de 13 litros de vinhaça/litros de álcool para menos de 1 litro de vinhaça/litro de álcool com concentrações de até 60% sólidos, o que representaria um grande avanço neste campo. O aquecimento da coluna A com o auxílio de um trocador de calor (refervedor ou reboiler) permite a recuperação de todo o condensado e seu retorno às caldeiras, com conseqüente redução do volume de vinhaça. Por último, o resfriamento da vinhaça até 28°C e sua utilização na diluição do melaço ou caldo concentrado, também provoca uma redução do volume de vinhaça igual à percentagem de recirculação adotada.

A concentração da vinhaça pode ser alcançada por quaisquer meios que resultem em aumento do conteúdo de sólidos totais da vinhaça e, conseqüentemente, da sua concentração em nutrientes; a separação da vinhaça dos demais efluentes da destilaria, o aumento do teor alcoólico do vinho, a recirculação da vinhaça, a adoção de fervedor, e o resfriamento, são medidas que podem contribuir para a redução dos custos de sua aplicação na lavoura, segundo Glória e Orlando Filho (1984).

Neste sentido, Charm⁴² (1978 *apud*, Freire e Cortez, 2000) e Cheng (1985), apresentam todos os cálculos envolvidos nos balanços de massa e energia, assim comodão condições de calcular o uso de vapor de processo para um problema de concentração como o da vinhaça. Além disso, essas referências apresentam o cálculo dos coeficientes globais de transferência de calor com base em parâmetros empíricos, o que permite o projeto dos trocadores que constituem o sistema de evaporação.

As primeiras unidades industriais para concentração da vinhaça foram instaladas na Áustria, desde a segunda Guerra Mundial, pela empresa *VOGELBUSCH*, para operarem tanto com vinhaça obtida de álcool do melaço de beterraba, como também com vinhaça do melaço de cana-de-açúcar, relata Urban⁴³ (1976 *apud*, Freire e Cortez, 2000).

De entre os diferentes processos de concentração de vinhaça, Germek e Feigl (1987) relacionaram os seguintes, pelas vantagens técnicas e operacionais a eles associadas: aquecimento indireto do aparelho de destilação: permite a

⁴² CHARM, S.E. The fundamentals of food engineering. 3.ed. Westport: Avi Publishing, 1978. 646p.

⁴³ URBAN, E. Concentração de vinhaça. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE TRATAMENTO DE VINHOTO. Anais. Rio de Janeiro: Instituto Nacional de Tecnologia, 1976. p. 4; 45-4; 51.

redução de aproximadamente 20% do volume de vinhaça em relação ao processo de borbotagem; permite o aproveitamento do vapor condensado diretamente na caldeira de geração de vapor, sem necessidade de tratamento químico de água e com economia de bagaço; pode ser instalado em qualquer aparelho de destilação existente sem alteração de produção; aquecimento indireto com evaporação da vinhaça: permite a redução de 40% do volume de vinhaça produzida; permite, sem ônus, o aproveitamento do vapor condensado; o custo total do processo não é elevado; tratamento do caldo para o aumento dos teores de açúcares no mosto, com elevação nos teores alcoólicos do vinho e aumento de produção de álcool; permite a redução de 40% do volume da vinhaça; é mais dispendioso que os anteriores; vale-se do processo de equalização do mosto para normalizar o fluxo de saída de matéria-prima (mosto) para a fermentação com uma concentração de açúcares constante; reduz a carga microbiana do mosto e a degradação das proteínas, causadoras das espumas no processo fermentativo; permite o reaproveitamento do vapor condensado para as caldeiras geradoras de vapor; concentrador de vinhaça: permite a concentração da vinhaça até 60 °Brix, pela simples evaporação do efluente; utiliza-se de concentradores de múltiplos efeitos; exige a injeção de vapor adicional; pode ser dimensionado para operar em outros níveis desejáveis de evaporação; processo integrado: emprega, de maneira racionalizada, os equipamentos e processos anteriormente descritos, otimizando o processo de produção do álcool; melhora as condições do mosto para a fermentação alcoólica; reduz a carga microbiana; padroniza a concentração de açúcares; reduz o consumo de anti-espumante; pode ser instalado nas destilarias existentes; aumenta a eficiência da instalação; não apresenta incrustações; é de fácil operação e versatilidade; não exige consumo adicional de vapor; não perde álcool, nem açúcares; reduz o consumo de água no processo; aumenta o raio econômico de distribuição da vinhaça na lavoura.

A tabela abaixo demonstra a redução percentual de volume em função da concentração, e a equivalente relação vinhaça por litro de álcool

Tabela 04 – Redução percentual de volume em função da concentração, e a equivalente relação vinhaça por litro de álcool

Concentração (°Brix)	Relação vinhaça/álcool	Redução de volume (%)
3	13	0,00
5	7,8	40,00
10	3,9	70,00
15	2,6	80,00
20	1,95	85,00
25	1,56	88,00
30	1,30	90,00
35	1,11	91,46
40	0,97	92,53
45	0,87	93,30
50	0,78	94,00
55	0,71	94,53
60	0,65	95,00

Fonte: Germek e Feigl (1987)

A concentração por evaporação da vinhaça de caldo de cana é mais interessante do que a concentração da vinhaça de melaço de cana ou de mandioca, devido à grande disponibilidade de bagaço que poderia ser usado como combustível em caldeiras; todavia, o menor teor de sólidos totais (se comparado com o melaço de cana) e o mais curto período de safra (se comparado com a mandioca) afetam desfavoravelmente a relação custo/benefício, conforme Thiago (1980).

Além do mais, o baixo teor de fósforo da vinhaça concentrada pode ser contornado com a adição de fosfatos naturais, enquanto que os problemas relativos ao poder corrosivo podem ser atenuados pela adição de calcário ou torta de filtro, até se alcançar um pH aproximadamente igual a 5,5, ou de leite de cal, até a neutralidade, afirma Chenu (1976).

Segundo, Cook (1983); Garlick (1983) e Jackman (1981) a vinhaça pode ser parcialmente utilizada na diluição do caldo de cana que antecede a fermentação. O processo BIOSIL, desenvolvido pela empresa ALFA LAVAL, não requer pré-clarificação ou esterização do substrato usado na fermentação. Este passa apenas por um ciclone, um dreno e uma diluição, antes de ir para o tanque de fermentação. O Brix do caldo ou da mistura caldo-melaço deve ser ajustado

para permitir o crescimento das leveduras até que se complete a fermentação. É importante lembrar que a diluição é necessária para garantir que, ao final da fermentação, o etanol produzido não iniba a cinética da reação de conversão dos açúcares em etanol. O substrato que entra no tanque de fermentação deve ser continuamente medido e monitorado quanto aos seus nutrientes e ar, de forma a ter-se aproximadamente: materiais fermentáveis (0,2%); etanol (4,5 a 6,0% em massa); e temperatura (32°C).

Estas são, segundo Garlick (1983), as condições que prevalecem ao final da fermentação por batelada. Quanto aos custos, comparando-se o processo BIOSIL versus o sistema convencional e mostrava que o sistema poderia diminuir em até 15% os custos industriais de fabricação de álcool pelos seguintes motivos: o processo BIOSIL não requer as etapas de clarificação e esterilização; o uso de uma única dorna de fermentação provoca economias de tancagem, tubos, válvulas e instalação; o processo reduz os requerimentos de clarificação e evaporação da vinhaça.

Este sistema de retroalimentação ajuda a economizar energia e água, produzindo um efluente com um teor de sólidos mais elevados, de até 16%. Com este processo, pode-se obter um teor de sólidos na vinhaça de até 15%, disse Kujala (1979), mas o nível de reciclagem e o teor final de sólidos dependerão em grande parte da matéria-prima utilizada.

Embora não se constitua em um método, propriamente dito, pode-se eliminar o uso do vapor direto nas colunas de destilação. O uso de tal vapor, chamado de vapor de borbotagem, conforme COPERSUCAR (1978) e Freire e Cortez, (2000), pode variar de 2 a 4 kg/litro de álcool produzido. Essa quantidade, que ajuda a diluir ainda mais a vinhaça pode ser simplesmente eliminada pela instalação de aquecedores indiretos tipo serpentina ou trocadores de calor convencionais semelhantes aos empregados nas colunas de retificação. Há também outros métodos, como o uso de gases efluentes nas caldeiras, segundo COPERSUCAR⁴⁴ (1978 *apud*, FREIRE e CORTEZ, 2000), mas ao que se sabe, este tipo de trocador é muito caro justamente por envolver fluxo de gases de combustão.

⁴⁴ COPERSUCAR. Aproveitamento da vinhaça: viabilidade técnico econômica. Boletim Técnico Copersucar, p.1-66, 1978.

A redução do volume de vinhaça sem recorrer-se aos sistemas de concentração por evaporação foi estudada por Zarpelon (1982), que relacionou algumas opções que podem ser facilmente implantadas, tais como: a separação da flegmaça, o trabalho com vinhos com grau alcoólico elevado, o uso de aquecedor indireto na coluna A e a reciclagem da vinhaça. A adoção de quaisquer desses processos implica na concentração ou elevação do teor de sólidos da vinhaça.

A flegmaça é, originariamente, água do flegma com traços de álcool e óleo fúsel, sendo produzida a razão de 2,4 litros/litro de álcool para um vinho com teor alcoólico de 8°GL. Apresenta DQO da ordem de 300 a 700 mg/litro, pH variável de 4,0 a 4,5, podendo ser utilizada na usina como água quente em geral, afirma Zarpelon (1982). A separação da flegmaça reduz o volume de vinhaça de 15,4 para 13,0 litros por litro de álcool produzido, quando se trabalha com vinho de 8° GL. Quando o grau alcoólico do vinho é maior (10° GL), o volume de vinhaça produzido é ainda menor (10,3 litros/litro de álcool).

A concentração da vinhaça por meio de secagem até obtenção de vinhaça seca foi descrita por Glória (1975) que considerou o processo exeqüível. Para tal, a vinhaça *in natura* passa por um processo de concentração por evaporação até se obter um xarope de cerca de 25 a 30 °Brix; este xarope é, em seguida, submetido à secagem em um sistema chamado *spray-drying* que o transforma em um pó fino altamente higroscópico que conserva suas características de material orgânico.

A concentração da vinhaça até 60 °Brix pode ser realizada a baixo custo, circulando-a em um lavador de gases de caldeira, resfriando esses gases até a temperatura aproximada de 100°C e, conseqüentemente, fazer com que ela se evapore. Parcialmente concentrada, a vinhaça é, então, passada sobre uma peneira que retém a maior parte das fuligens arrastadas, sendo, em seguida, recirculada no lavador de gases. O ciclo é repetido tantas vezes quantas necessárias, podendo-se, no momento oportuno, retirar parte da vinhaça concentrada e substituí-la por uma quantidade equivalente de vinhaça *in natura*, segundo Chenu (1976).

A concentração da vinhaça a 60° Brix requer o uso de equipamentos especiais para sua distribuição no campo, o que encarece o sistema como um

todo. Por esse motivo, Germek e Feigl (1987) somente recomendam o emprego de concentradores de múltiplos efeitos, os quais, por sua vez, exigem um adicional de vapor em relação aos demais processos, quando essa vinhaça concentrada a 60 °Brix for utilizada na composição de rações, na queima com geração de adubo potássico, ou para qualquer outra finalidade que não seja sua distribuição na lavoura. Neste caso, a concentração mais vantajosa está em se atingir níveis de até 25 °Brix. Os autores reproduzem, trabalhos, que permitem avaliar os custos e investimentos comparativos de aplicação de vinhaça a várias concentrações, expressos através do raio econômico de aplicação. Pode-se inferir que a concentração da vinhaça mais adequada para fins de distribuição na lavoura é aquela que não ultrapassa os 25 °Brix.

A tabela que segue relaciona o raio econômico de aplicação da vinhaça em função da concentração.

Tabela 05 - Raio econômico de aplicação da vinhaça em função da concentração

Vinhaça concentrada (°Brix)	Raio econômico de distribuição (km)
03	30
05	35
10	39
15	40
20	40
25	41
30	41
35	41
40	41
45	41
50	41
55	41
60	41

Fonte: Germek e Feigl (1987).

Katz (1979), descreveu o funcionamento de um sistema de evaporação por múltiplo efeito, com os evaporadores dispostos em série, sendo a vinhaça parcialmente concentrada em cada um deles e o vapor, resultante de cada efeito, empregado como meio de aquecimento do efeito seguinte.

Esta forma de concentração da vinhaça foi criticada por Camhi (1979), que a considerou antieconômica pelo fato de consumir 2 litros de óleo combustível por litro de efluente concentrado, isto sem contar o enorme volume de água a ser evaporada. Melhor alternativa para o autor seria aquela utilizando recompressão mecânica de vapor, de custo operacional relativamente baixo e que, em termos

energéticos, é não apenas eficiente (18,81 kcal/kg de água evaporada contra 539 kcal/ kg consumidas no evaporador de múltiplo efeito), mas, também, sistema ideal para a evaporação de grandes volumes de água (maiores de 50.000 kg/h).

Rittner⁴⁵ (1980 *apud*, FREIRE e CORTEZ, 2000) descreveu um processo de concentração de vinhaça através do qual se obtém vinhaça concentrada líquida (60 a 65% de sólidos) ou vinhaça concentrada granulada (85 a 88% de sólidos). Para tal, um conjunto de evaporadores de quádruplo efeito é utilizado, de tal sorte que o processo de concentração de vinhaça passa pela obtenção de um produto intermediário com 30 a 35% de sólidos que, em seguida, é concentrado num evaporador de contato direto com gases, para obtenção de outro produto intermediário com 60% de sólidos e, por fim, secagem deste último produto intermediário em secador rotativo a vapor, para obtenção do produto final com 88% de sólidos e aglomeração do mesmo na forma de pellets. Assim preparada, a vinhaça concentrada serve para uso posterior em rações ou adubos.

Loffredo (1955) reportou o uso experimental de um evaporador de aço inoxidável de seis efeitos, alimentado com caldo pré-evaporado a 21 °Brix, e com capacidade de evaporar 2,7 t/h de água aquecida a vapor sob pressão de 0,7 kgf/cm². Tal evaporador, colocado em operação na Usina São Martinho, em Pradópolis, SP, permitiu a concentração de caldo de cana-de-açúcar de 21 a 65 °Brix.

2.7. Concentrador de Vinhaça de Cana de Açúcar da Usina Cerradinho – Unidade de Potirendaba, SP

Segundo, o Jornal Cana (Julho de 2009), a unidade agroindustrial do Grupo Cerradinho instalou em 2008 um equipamento para o tratamento e concentração de vinhaça. O equipamento denominado Ecovin evapora parte da água reduzindo o volume do efluente. A usina utiliza o produto concentrado apenas para fertirrigação. No entanto o produto final também pode ser usado para solidificação, queima, biodigestão, composição de ração animal, entre outros. O

⁴⁵ RITTNER, H. Vinhoto: o velho problema vai dar lucro. Química e Derivados, n.167, p.28-32, 1980.

equipamento foi fabricado pela Citrotec, empresa com a matriz em Araraquara, SP, que desenvolve tecnologias em engenharia, produção, montagem e assistência em equipamentos industriais. O Ecovin usa como princípio de evaporação, a névoa turbulenta descendente acelerada termicamente, com alta taxa de evaporação e com baixo índice de incrustação. O equipamento é construído em aço inoxidável, possui sistema de limpeza CIP (*Clean in Place*), processo automático que utiliza produtos químicos para eliminação de resíduos. A Usina Cerradinho, utiliza soda cáustica na limpeza, realizada semanalmente. O concentrador funciona totalmente agregado COI (Centro Operacional Integrado), da indústria. O evaporador de concentração possui múltiplos efeitos e reduz em até dez vezes o volume de vinhaça, e aproveita o vapor de baixa pressão (V1), possui condensadores evaporativos autônomos e não necessita de fontes externas de água e torres de resfriamento, com relativo baixo consumo energético. A Cerradinho foi a primeira unidade industrial do setor sucroalcooleiro a testar o equipamento da Citrotec, à uma vazão de 100 m³/h, com 22°Brix, 30,70 Kg/m³ de potássio e 4,20 Kg/m³ de Nitrogênio.

Ainda segundo, o Jornal Cana (Julho de 2009), a água resultante do processo de concentração em 78% não foi aproveitada naquela safra, já que o sistema não possuía um sistema de condensação integrado, na safra seguinte foram instaladas torres de resfriamento do condensador (65 para 35°C) que passou a ser 100% utilizado para o tratamento do levedo e diluição do mosto. Na safra seguinte a vazão média de entrada da vinhaça no Econvin foi de 105 m³/h, com 4,5°Brix. A vazão de saída do líquido concentrado é de 27m³/h, com 17°Brix. Com a instalação das torres de resfriamento, o pH ficou em 3,5 reduzindo o consumo de ácido no processo de fermentação. O novo sistema agregado ao Ecovin também permitiu que uma das antigas torres de resfriamento da vinhaça que abastecia os tanques externos fosse reaproveitada em outra área da indústria. Agora apenas uma torre é suficiente para reduzir a temperatura da vinhaça, concentrada ou *in natura*, antes de entrar para os tanques.

Na figura a seguir, está o aparelho concentrador de vinhaça modelo Ecovin da Empresa Citrotec, exemplar daquele instalado na Usina Cerradinho em Potierendaba, SP.

Figura 15 – Concentrador Ecovin.
Fonte: CITROTEC (2011).

Na figura a seguir, está representado um momento do aparelho concentrador de vinhaça Ecovin em funcionamento na Usina Cerradinho em Potirendaba, SP. A visão principal é da água (permeado) que está sendo retirada da vinhaça.

Figura 16 – Água resultante da concentração da vinhaça (permeado), no momento da operação do concentrador Ecovin.
Fonte: Jornal da Cana/julho, 2009.

Continua segundo, o Jornal Cana (Julho de 2009), a Usina Cerradinho, conta com quatro caminhões adaptados para aplicação da vinhaça concentrada como biofertilizante da lavoura. Em 2008, apenas um veículo com capacidade de 15 m³ foi utilizado, nas safras seguintes passou a operar com outros três caminhões com capacidade de 12 m³, cada caminhão foi adaptado para fertilizar sete ruas ao mesmo tempo, com vazão variável de 5 a 10 m³ por hectare. Os caminhões com capacidade de 12m³ aplicam 1,2 hectares por tanque, o veículo com capacidade de 15 m³ percorre 1,5 hectares por tanque de vinhaça concentrada. A velocidade de trabalho varia de 9,5 a 10 Km/h. Cada veículo fertiliza aproximadamente 40 hectares por dia.

Na figura a seguir está o caminhão adaptado para efetuar a aplicação de vinhaça concentrada enquanto mesmo efetuava a operação em uma das fazendas de cana da Usina Cerradinho.

Figura 17 - Aplicação no Campo – Vinhaça concentrada.
Fonte: Paiva (2009).

Segundo, o Jornal Cana (Julho de 2009), a Usina Rio Pardo, localizada no município de Cerqueira César, SP, Conta, também, com um evaporador de concentração de vinhaça que trabalha com uma vazão de entrada de vinhaça *in natura* de 100 m³/h para uma saída de aproximadamente 20 m³/h de vinhaça

concentrada. O equipamento Ecovin é o mesmo utilizado na Usina Cerradinho, o sistema integra duas torres de resfriamento do condensado que será usado em circuito fechado para o tratamento das leveduras e diluição do mosto. De acordo com o diretor da Usina Rio Pardo, José Meyer, a decisão pela instalação do evaporador da Citrotec foi motivada pela condição agrícola da unidade, que possui áreas descontínuas e relativamente distante, com isso a redução do volume de vinhaça usada como biofertilizante nos canaviais reduz a possibilidade de contaminação em regiões onde o lençol freático é próximo à superfície, conforme determina CETESB (2006).

Também segundo, o Jornal Cana (Julho de 2009), a Cosan testou uma destilaria com o evaporador acoplado, onde às A e B com opção da C, que permite a produção de etanol com a vinhaça já concentrada e com um pequeno adicional de consumo de vapor comparado ao equipamento da Usina Cerradinho e Rio Pardo. Este projeto inovador da Citrotec (Econvin JL), foi desenvolvido em parceria com o consultor Jaime Lacerda de Almeida, falecido em novembro de 2008, aos 85 anos. O equipamento que possui as mesmas características dos outros Ecovin anteriormente instalados, permite a obter apenas 1 litro de vinhaça para cada litro de etanol produzido, possui também as colunas A e B que rendem o dobro de produção para o mesmo diâmetro de coluna. A taxa de refluxo da coluna B é , aumenta assim a produção do destilador em até 50% para o mesmo diâmetro. O consumo global de vapor também é baixo com 3,50 Kg para cada litro de etanol. O equipamento pode ser adaptado nas colunas já existentes na usina, chega a produzir até 60% a mais de etanol.

Podemos perceber neste relatório que o termo fertirrigação não aparece e foi trocado por biofertilização, talvez pela notável redução da água que não se pode mais considerar uma correção do déficit hídrico da cultura da cana se for o caso da época em que se realiza o cultivo. Se analisarmos por este aspecto, é conveniente não concentrar toda vinhaça e ter a possibilidade de manejar mais ou menos concentrada.

Outro fator importante a ser observado é que a opção de concentrar a vinhaça veio principalmente pela falta de área disponível para *vinhaça in natura* com raio economicamente viável, o que acontece também com a Usina Cerradinho – Unidade de Potirendaba.

Os fatores econômicos ligados a correção do déficit hídrico da lavoura de cana de açúcar são muito importante para a maioria dos anos agrícolas do setor sucroalcooleiro, pois a grande força dos trabalhos de plantios e de cultivo de soqueira da cana acontece em períodos com índice pluviométrico insuficiente. É preciso medir criteriosamente estes índices críticos e chaves de desempenho para se obter uma boa decisão econômica da melhor forma de disposição da vinhaça.

2.8. Projeto de Concentração de Vinhaça Denominado Coluna Fucci

José Ricardo Fucci (2011) responsável técnico da Solema P&D - Soluções em Energia e Meio Ambiente Ltda desenvolveu projeto de Concentração de Vinhaça, cujo equipamento inclui coluna de destilação para separação dos sólidos concentrados e parte da água resultante do esgotamento, poderá ser empregado particularmente nas indústrias sucroalcooleiras, químicas em geral, petroquímicas, farmacêuticas e outras para vários tipos de misturas, desde que sejam utilizados os devidos solventes, com adequada volatibilidade, para separar o que se faz necessário e posteriormente retirá-los dos solventes. Nesta invenção, particularmente, utilizar-se-á como exemplo o aplicativo na indústria sucroalcooleira. O projeto tem como objetivo principal a destilação alcoólica, de onde é possível desidratar a vinhaça, fazendo com que o equipamento separe a mistura hidro-alcólica do esgotamento, dividindo-o em água reaproveitável e vinhoto com alta concentração. Neste aplicativo, o equipamento viabiliza o etanol hidratado como sendo um combustível ecologicamente correto, pois a água retirada do processo retorna limpa ao meio ambiente e a vinhaça concentrada, rica em sais minerais e substâncias pode ser empregada em diversos usos conhecidos, principalmente como fertilizantes para a cana de açúcar com os custos de transporte reduzidos.

Como é de conhecimento dos afeitos à matéria, em uma coluna de fracionamento é possível a separação dos produtos mais voláteis dos menos voláteis, como também de alguns produtos pesados que venham a se acumular em alguma região da coluna e que podem ser retirados através de tomadas, como já se faz, por exemplo, com o óleo fúsil em um aparelho clássico de destilação alcoólica.

O processo convencional de destilação do vinho para produção do álcool, principalmente o etanol, é realizado de forma contínua em duas colunas denominadas colunas A que faz a separação inicial e produz uma mistura com cerca de 50% de etanol e a coluna B que concentra o álcool até aproximadamente 95%. Na coluna A convencional, o vinho entra pelo topo e o vapor pelo fundo da coluna e os dois fluxos transitam em contra corrente através de um sistema de pratos com borbulhadores e extravasores. Assim é produzida

uma mistura de vapores de etanol e água que sai pelo topo da coluna e uma corrente líquida com o que restou da água e sólidos em suspensão que deixa a coluna pelo fundo. A esta última corrente se chama vinhaça ou vinhoto. Para aumentar a eficiência de separação da Coluna A, parte de condensado de água e álcool, denominada “refluxo” é retomada à coluna entrando pela parte de cima em mistura com o vinho. Desta forma, o refluxo engrossa o caudal de vinhaça.

Na Coluna A convencional, o vinho de refluxo, como é chamado o retorno de condensado, são despejados nas bandejas superiores e descem misturados por um conjunto de vertedores até o fundo da coluna de onde saem como vinhaça. O vapor escoa de baixo para cima através dos borbulhadores e sai pelo topo, como mistura de álcool e vinho. Pelo fundo sai a corrente de vinhaça.

Na coluna Fucci, vinho e refluxo também entram pelo topo da coluna, porém em conjunto de bandejas separadas e, embora ambos os fluxos tenham contato com o vapor, vinho e refluxo nunca se misturam. Isto é assegurado pelo sistema de vertedores que *bypassam* as bandejas intermediárias, como resultado, tem-se dois, e não apenas um fluxo no fundo da coluna. Um dos fluxos é vinhaça e o outro é água.

O volume total nos dois casos é o mesmo, porém na coluna Fucci, água e vinhaça estão separadas. Isto torna a vinhaça mais concentrada no sentido de que tem mais sólidos em suspensão e menos água do que teria na coluna convencional. Na coluna Fucci não separa água da vinhaça, o que ela faz é não misturar. Como não há água para evaporar, os benefícios energéticos são evidentes.

Uma grande vantagem é que deste projeto, é que não precisa ter consumo extra de vapor, eletricidade, mão de obra e outros. Adicionalmente, o investimento de capital é semelhante ao da compra de uma coluna convencional, diferindo em muito daquele necessário à aquisição e instalação de um sistema de evaporação atônomo/dedicado.

A coluna de destilação Fucci combina diversas funções em uma só coluna, onde é possível: a separação por esgotamento ou concentração dos sólidos em um processo de destilação (vinhaça) e parte da água resultante do esgotamento (condensado). A invenção se destaca por uma carenagem ou reservatório (2)

dotado em sua secção inferior de (3), na parte externa, de sifão de saída de água reaproveitável (4) e de saída do vinhoto concentrado (5), constituindo a parte de esgotamento, ao passo que a região de concentração é composta predominantemente pelas bandejas (9), bem como por secção superior (6) que incorpora tubulações de entrada de vinho ou produto a ser destilado (7) e de retorno do condensador (8), sendo que o equipamento requer o fornecimento de energia na base.

O equipamento é compreendido por um corpo principal, forma uma espécie de carenagem ou reservatório que possui uma secção inferior dotada de sifão de saída de água reaproveitável e outro de saída de vinhaça concentrada; ao passo que a secção superior incorpora tubulações de entrada de vinho ou qualquer solvente e de retorno para o condensador, sendo que, internamente à dita carenagem ou reservatório, são dispostos, em diferentes níveis, diversos conjuntos de bandejas dotadas superiormente de borbulhadores; referidas bandejas interligadas através de dutos de refluxo, posicionados de forma alternada e separadas, as bandejas, por bloqueadores de respingos, se necessário; na parte inferior do reservatório está disposto um trocador de calor indireto com tubulação de saída.

Portanto, o aparelho é constituído de uma coluna de destilação contendo bandejas calotadas destinadas a impedir que o material de um conjunto de bandejas desça para outro na fase líquida, fazendo com que o material na fase líquida somente possa descer pelo tubo de retrogradação, o que evita a mistura dos materiais. Com essa construção, o material em fase líquida em um grupo de bandejas somente entra em contato com os demais grupos de bandejas, abaixo, na fase de vapor. A colocação de um anteparo no sentido transversal, ou bloqueador de respingo, cobrindo toda a área onde ocorre o enchimento, impede que respingos possam ser arrastados pelos vapores, evitando, desta forma, a possível mistura entre as fases líquidas dos materiais contidos nos grupos de bandejas.

Na figura a seguir, a vista em corte do equipamento (coluna Fucci), sem considerar as quantidades de bandejas, que podem variar, bem como os demais dimensionamentos.

Figura 18 - Vista em corte do equipamento (coluna Fucci).
Fonte: José Ricardo Fucci (2011).

O equipamento compreende um corpo principal (1) constituído a partir de uma carenagem ou reservatório (2) dotado em sua secção inferior de (3), na parte externa, de sifão de saída de água reaproveitável (4) e de saída do vinhoto concentrado (5), constituindo a parte de esgotamento; enquanto a secção superior (6) incorpora tubulações de entrada de vinho ou produto a ser destilado (7) e de retorno do condensador (8), sendo que, internamente à dita carenagem ou reservatório (2), são previstos diversos conjuntos de bandejas (9) sobrepostas em vários níveis, providas, cada qual, superiormente, de borbulhadores (10) e interligadas através de dutos de refluxo (11) posicionados alternadamente, sendo as mencionadas bandejas (9) separadas por bloqueadores de respingos (12), ao passo que, na referida secção inferior, em sua parte interna, está prevista uma caldeira de vapor (14) com entrada de vapor (15) e saída de vapor condensado na base da mesma, e pode usar vapor direto ou indireto.

Os dutos de refluxo (11) são dispostos alternadamente, porque os mesmos são posicionados em lados alternados e opostos no interior do corpo principal (1).

Assim, o vinho ou outro produto a ser destilado (7) ao entrar no interior do reservatório ou carenagem (2), cai na bandeja (9) e desce descendo pelos tubos de refluxo (11), e troca calor com os vapores que sobem pelos borbulhadores (10), arrasta os mais voláteis para o topo da coluna, enquanto o vinho desce pelo conjunto de bandejas (9), e o produto mais volátil, junto com a água, para o outro conjunto de bandejas (9) intercaladas, se torna cada vez mais concentrado, até passar pelo trocador de calor (14), quando que, neste ponto, não possui mais produto volátil, e sai pelo sifão (5) enquanto parte dos vapores condensados desce pelo sifão (8), e percorre as bandejas intercaladas (9) onde perde os mais voláteis que sobem com o vapor, e incorpora os menos voláteis, até saírem pelo sifão (4), este produto será água, enquanto pelo sifão (5) sairá vinhaça concentrada.

As bandejas deverão ser calotadas para impedir que o líquido em um conjunto de bandejas (9) desça para outro.

Tem sua origem como aplicativo para cachaça, segmento onde traz enormes vantagens. Ou seja, nesta concepção, a inserção de água de forma homogênea sobre a superfície das últimas bandejas de concentração dissolverá o carbamato de etila e outros produtos solúveis, menos voláteis que o álcool, e estes descerão junto com a água limpa, e vem possibilitar um destilado de boa qualidade e um resíduo de água sem vinhoto, com concentração de carbamato muito pequena, não prejudicando a saúde, pois o carbamato de etila desce pela coluna por possuir alto ponto de ebulição e ser extremamente solúvel na água inserida sem resíduos sólidos e não voláteis contidos no vinhoto que também é separado de forma concentrada; é só dimensionar o equipamento para isso. A inserção de água (solvente) deve ser feita de maneira uniforme por sobre a bandeja situada na região de concentração da coluna (inferior), para que o contato com a água inserida e da água contida no vapor seja bem eficaz.

Deve-se salientar, ainda, que, o equipamento promove a separação da água e do vinhoto. Este equipamento possui um trocador de calor indireto, ou caldeira de vapor (14), para que se possa adicionar bastante vapor e reduzir o volume de água no vinhoto, levando-a para o outro conjunto de bandejas do

equipamento, que está isento de material sólido e outros pouco voláteis. Ou seja, pelo ponto de ebulição da água e do vinhoto, torna-se possível tal operação.

Os vapores que sobem pelos borbulhadores (10) atravessam os conjuntos de bandejas (9) (vinhoto e água).

Para complementar o entendimento, deve-se considerar que o bloqueador de respingos (12) tem por objetivo uma melhor divisão das duas etapas; ao passo que, quanto maior for o calor no trocador indireto (14), mais desidratado sairá o vinhoto pelo sifão.

Portanto, quanto maior o refluxo do condensador (8), mais cheias ficarão as bandejas intercaladas (9) sem vinhoto, e possibilita melhor eficiência na desidratação do conjunto com o vinhoto.

O equipamento em questão pode ser composto por vários conjuntos de bandejas de destilação (9) interligados pelos respectivos tubos de retrogradação ou refluxo (11), pode assim favorecer a separação de vários componentes e usar os solventes necessários, como a água no caso do carbamato de etila, ou simplesmente para separar o vinhoto concentrado, conforme exemplificados. Por ser inovador e até então não compreendido no estado da técnica, se enquadra dentro dos critérios que definem a patente de invenção.

Uma coluna Fucci piloto com 23 bandejas de 0,6m de diâmetro foi instalada e operada por algumas semanas no ano de 2010 na Usina Nardini, localizada em Vista Alegre do Alto. Foram duas campanhas de testes, uma em maio e outra em junho. Os resultados obtidos nos cinco testes realizados em Maio são mostrados nas tabelas 05 e 06.

Tabelas 06 – Dados de vazão dos testes realizados em Maio de 2010

Teste N°	Data	Hora	Vazões e descargas		Vazões calculadas		Pressão do vapor (kgf/cm ²)
			Vinho (L/h)	Vapor (Kg/h)	Etanol (L/h)	Destilado (L/h)	
11	May 12, 2010	4:00 AM	500	170	46.5	57,2	0.43
12	May 12, 2010	11:30 AM	600	130	60.2	73,4	0.45
13	May 12, 2010	2:23 PM	600	140	57.6	70,8	0.45
14	May 12, 2010	6:32 PM	600	180	51.0	69.0	0.46
Média			575	155	56.3	71.0	0.45
Média geral			570	147	53.2	67.8	0.42

Teste N°	Consumo de Vapor para			Razão do Vinho	
	Vinho (kg/l)	Etanol (kg/l)	Destilado (L/L)	Etanol (L/L)	Vapor (L/kg)
1	0.17	1.89	8.97	11.36	6.00
2	0.17	1.89	8.94	11.36	6.00
Média Geral	0.26	2.78	8.55	10.88	4.25

Tabela 07 – Brix

Tabela 07 – Brix			Brix				Razão
Teste N°	Data	Hora	Na água		Na Vinhaça		Fucci/Conv.
			Coluna Fucci	Usina	Coluna Fucci	Convencional	(adim.)
11	May 12, 2010	4:00 AM	0.029	0.001	7.92	1.00	7.92
12	May 12, 2010	11:30 AM	0.006	0.001	9.11	1.00	9.11
13	May 12, 2010	2:23 PM	0.019	0.001	8.97	1.10	8.15
14	May 12, 2010	6:32 PM	0.008	0.001	6.73	1.10	6.12
Média			0.016	0.001	8.18	1.05	7.14
Média geral			0.010	0.001	7.41	1.21	6.40

Fonte: Fonte: José Ricardo Fucci (2011)

Em maio foram cinco testes que processaram em média 570 litros/h de vinho utilizou 147 kg/h de vapor, deve como resultado 67,8 litros/h de destilado. A concentração média de etanol no vinho foi 9,2% e no destilado 78,6% (tabela 06), resultando em uma produção de 53,20 litros/h de etanol. O consumo médio de vapor por litro de etanol foi 2,78 kg/litro. Observou-se que a coluna A

convencional produz um destilado com concentração de etanol em torno de 50%, ao passo que a coluna Fucci mostrou valores próximos a 80%.

Tabela 08 – Concentrações de Etanol

Teste N°	Data	Hora	% de Etanol			
			Vinho	Destilado	Vinhaça	Água
11	May 12, 2010	4:00 AM	9.3	81.31	0.0710	0.0060
12	May 12, 2010	11:30 AM	10.0	82.11	0.0410	0.0560
13	May 12, 2010	2:23 PM	9.6	81.38	0.0260	0.0000
14	May 12, 2010	6:32 PM	8.5	73.95	0.0240	0.0010
Média			9.4	79.69	0.0405	0.0158
Média geral			9.2	78.60	0.0207	0.0079

Fonte: José Ricardo Fucci (2011)

Para avaliar a perda de etanol na vinhaça e na água da coluna Fucci, as concentrações foram medidas em todos os testes. As respectivas medidas foram 0,0207 e 0,0079% (tabela 07), pode evidenciar perda irrelevante de etanol para estes dois caudais e corroborou para alta eficiência de separação.

A tabela 06 mostra outros indicativos que vão na mesma direção. Nela vê-se que o Brix da vinhaça produzida pela coluna convencional da usina era 1,21 ao passo que na coluna Fucci o Brix elevou-se para 7,41 isto é, foi cerca de 6,4 vezes maior. Na água da usina o Brix era 0,001 e na água da coluna Fucci 0,01, novamente colocou em evidência de separação da coluna.

Durante estes testes a coluna Fucci operou com uma pressão de vapor bastante modesta, de 0,42 kgf/cm².

Outra sequência de testes foram realizados em junho de 2010, agora medindo as vazões de vinhaça, destilado e água. Os resultados são apresentados nas tabela 08, onde também foi feita a comparação entre os testes de maio e junho, e verificou-se a grande semelhança entre ambos. Nos testes de junho o consumo específico de vapor é um pouco menor, o valor médio é 2,4 kg de vapor por litro de etanol, contra 2,78 kg/litro de maio, e a produção de etanol um pouco maior, cerca de 60 litros/h contra 53 dos testes de maio. A redução de água na vinhaça alcança uma média de 33,2%.

Tabela 09 – Resultados dos testes realizados em junho de 2010

Fluxo	Data do teste				Médias		Unidade
	Jul 13, 2010	Jul 15, 2010	Jul 19, 2010	Jul 21, 2010	Julho	Maio	
Vinhaça	328.5	328.5	292.4	312.0	315	---	L/h
Água	147.0	135.5	172.0	173.3	157	---	L/h
Destilado	93.0	58.1	58.4	97.5	77	68	L/h
Vinho (como soma)	568.5	522.1	522.8	582.8	549	575	L/h
Vapor (indireto)	---	120.0	100.0	---	110	147	kg/h
Etanol *	73.1	45.7	45.9	76.6	60	53	L/h
Consumo de vapor por L de							
Vinho		0.23	0.19		0.21	0.26	kg/L
Destilado		2.07	1.71		1.89	2.18	kg/L
Etanol		2.63	2.18		2.40	2.78	kg/L
Proporções							
Destilado/vinho	0.16	0.11	0.11	0.17	0.14	0.12	adim.
Etanol/vinho	0.13	0.09	0.09	0.13	0.11	0.09	%
Água/Vinhaça	0.45	0.41	0.59	0.56	0.50	---	kg/kg
Água/Vinho	0.26	0.26	0.33	0.30	0.29	---	
Vinhaça/Etanol					5.2		
Pressão do vapor		0.5	0.71		0.6	0.4	kgf/cm2
Redução de água	30.9	29.2	37.0	35.7	33.2		%

Fonte: José Ricardo Fucci (2011)

Finalmente, a tabela 09 compara as colunas Fucci e convencional e utiliza dados de uma unidade de Clementina, SP em alguns parâmetros fundamentais de operação. Nota-se que a produção de vinhaça por litro de etanol é cerca da metade. A faixa de consumo de vapor por litro de álcool (2,6 a 3,0 kg/litro), é típica de vários processos e não específica da unidade de Clementina.

Tabela 10 – Resultados da coluna Fucci versus resultado da coluna convencional

Parâmetro	Coluna		
	Fucci	Convencional	
		Aparelho 1	Aparelho 2
Consumo específico de vapor*	2.59		2.6 a 3.0 kg/L de etanol
Produção específica de vinhaça	5.23	13.0	13.0 m3/m3 de etanol
Produção específica de etanol	0.101	0.091	0.091 m3/m3 de vinho

Fonte: José Ricardo Fucci (2011)

A coluna Fucci certamente terá um custo um pouco mais elevado que uma coluna A convencional, entretanto a comparação correta parece ser aquela feita entre os custos de uma coluna convencional mais uma unidade de evaporação/concentração associada a ela e o custo de uma coluna Fucci, e aqui as vantagens são evidentes.

Enquanto o custo de uma coluna está na faixa de dois milhões de reais, um sistema de evaporação de porte equivalente custaria aproximadamente quinze

milhões de reais, ou seja sete vezes mais, além de ter outros custos adicionais com operação, manutenção, reposição de partes, energia elétrica e espaço físico.

A coluna Fucci pode ser otimizada, algumas possibilidades são: Reduzir a altura entre bandejas no fluxo limpo ou de água uma vez que não há possibilidade de formação de espuma e carreamento de sólidos outros materiais indesejáveis nesta parte do equipamento, além disso, os requisitos de acesso para manutenção devem ser menores; diminuir proporcionalmente o número de bandejas, ou seja, o número de bandejas da coluna Fucci não seria o dobro daquele utilizado em uma coluna A convencional mas menor, talvez algo em torno de 32. Isto seria possibilitado pela separação dos caudais que facilita o contato etanol/vapor e portanto a destilação, como os números dos testes preliminares incam; utilizar escalonamento de chapa utilizando espessuras maiores apenas onde é requerido, com isto reduz-se também diferenciais de pressão e outros custos associados.

Atualmente, o projeto intitulado coluna Fucci, é bastante promissor, está patenteado e necessita de uma unidade produtora de etanol que conceda espaço físico e estrutura necessária para que a coluna que estava na Usina Nardini em Vista Alegre do Alto possa ser instalada novamente para proceder aos testes que faltam para que sua viabilização técnica seja definitiva e com isto possa ser colocada no mercado. Vale salientar que o custo desse projeto vai eliminar as questões de ordem econômica do transporte da vinhaça, fale ter em mente que produtos para concentrar vinhaça que estão no mercado mesmo sendo muitas vezes mais caros se viabilizam economicamente para condições geográficas complicadas para fertirrigar com vinhaça *in natura*.

2.9. O Emprego da Tecnologia da Biodigestão na vinhaça de Cana de Açúcar

O departamento técnico da Coopersucar, em 1978, se dispôs a orientar as usinas e destilarias cooperadas quanto às principais alternativas de aproveitamento da vinhaça, como tecnicamente viáveis para produção de biomassa e de metano, além de permitir sua utilização como fertilizante.

Segundo Freire e Cortez (2000), para vinhaça, de elevada DQO, baixo teor de sólidos e produção em grandes quantidades, é recomendada a biodigestão anaeróbia, que é um método empregado com bastante sucesso no tratamento de efluentes líquidos com baixo teor de sólidos, como por exemplo no Brasil no campo da indústria de alimentos e, em especial, no setor de cervejarias, é importante citar que a biodigestão anaeróbia da vinhaça não é um método de tratamento que elimina totalmente o caráter poluidor deste efluente, o efluente da biodigestão também possui uma DBO considerável, porém em níveis mais baixos que da vinhaça in natura. Dessa forma, o efluente da biodigestão anaeróbia ainda requer outro tratamento, por exemplo, aeróbio ou uma disposição via fertirrigação. É também importante salientar que um tratamento aeróbio do efluente da biodigestão anaeróbia é um processo que tem custos razoavelmente elevados. A biodigestão anaeróbia de efluentes é um processo de degradação bioquímica que se dá na presença de bactérias, o resultado do processo de biodigestão é a degradação da matéria orgânica presente no efluente com a conseqüente produção de biogás (majoritariamente CH_4 , CO_2 e pequenas quantidades de H_2S), além de um efluente mais pobre em matéria orgânica, mas ainda bastante rico nos elementos presentes no substrato. Normalmente, o processo de biodigestão é empregado no tratamento de efluentes e também para a produção de energia a partir do resíduo tratado. O processo de biodigestão anaeróbia ocorre em diferentes fases, basicamente a fase acidogênica e a fase metanogênica, com a participação de diferentes grupos de bactérias. O biogás produzido na biodigestão anaeróbia da vinhaça pode ser empregado energeticamente para a produção de frio (em sistemas de refrigeração por absorção) de calor (pela queima direta) e de potência mecânica (em motores de combustão interna e em caldeiras do Ciclo *Rankine*, tais como as que integram os sistemas de geração de vapor das destilarias de álcool) além de outros possíveis

usos. O biogás possui um valor energético importante, embora por possuir um teor de CO_2 bastante elevado seja considerado um gás de baixa densidade energética ou gás pobre. Apesar da presença do CO_2 reduzir o valor energético específico do biogás, a sua eliminação não se faz necessária quando se trata de queima direta em caldeiras, fornos ou bicos em fogões, por exemplo. Uma simples adaptação para facilitar uma melhor mistura do ar com o biogás pode resolver o problema de uma chama fraca resultante de uma má queima. O desenvolvimento do *Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor*, conhecido como reator UASB, permite o tratamento de efluentes líquidos com uma baixa DQO, tal como é o caso da vinhaça. Os biodigestores UASB são empregados com maior sucesso na biodigestão anaeróbia de vinhaça ou de outros efluentes líquidos, como já foi mencionado anteriormente. Isso se deve ao fato de a vinhaça *in natura* apresentar um teor de sólido bastante baixo o que possibilita bombeamento, recirculação e, portanto, a obtenção de um tempo de residência hidráulico bastante baixo, de apenas algumas horas, ao contrário do encontrado em biodigestores convencionais, tipo indiano ou chinês, que não se adéquam a esta finalidade. O princípio de operação do biodigestor UASB baseia-se na recirculação de baixo para cima da vinhaça através de uma manta fixa de microrganismos localizada no meio do reator. O reator UASB é caracterizado por ter uma seção superior separada para as fases líquida e gases, o que permite o retorno de parte do líquido enquanto mantém as bactérias fixas no leito do reator. A vinhaça é, portanto, bombeada externamente e introduzida na parte inferior do reator passando pela manta de lodo onde se encontram os microrganismos responsáveis pela conversão da matéria orgânica presente na vinhaça em CH_4 e CO_2 . O efluente líquido resultante sai pela parte lateral superior do reator, enquanto que a parte gasosa (CH_4 e CO_2) é confinada com a ajuda de defletores que a leva a espaços localizados também na parte superior do reator. Esses reatores são normalmente cilíndricos. Entretanto, a biodigestão de vinhaça reúne a vantagem da disposição *in situ* enquanto garante a produção de biogás para fins energéticos e a produção de um bom fertilizante com o potássio ainda todo disponível. O valor energético do biogás, combinado à redução da poluição pelo tratamento anaeróbio, faz da biodigestão um processo que merece continuidade nas pesquisas e na aplicação. Isto é particularmente interessante para o setor

sucro-alcooleiro que busca minimizar os impactos ambientais, reduzir o uso de combustíveis fósseis e reduzir os custos de produção do açúcar e do álcool.

A figura a seguir mostra um desenho esquemático adaptado de um reator tipo UASB.

Figura 19 – Desenho esquemático adaptado de um reator tipo UASB.
Fonte: Freire e Cortez (2000)

Além do tipo de reator utilizado, os fatores que mais influenciam a cinética das reações bioquímicas que ocorrem no processo de biodigestão anaeróbia da vinhaça são: temperatura, pH, composição, presença de substâncias tóxicas e agitação do substrato. Para a biodigestão anaeróbia da vinhaça sabe-se das vantagens proporcionadas em trabalhar na faixa termofílica, especialmente porque assim aproveita-se a energia nela contida quando esta sai da destilação. O pH é importante pois regula a disponibilidade de nutrientes aos microorganismos que atuam no processo. Portanto, a acidez e a alcalinidade são fatores fundamentais na biodigestão anaeróbia. Normalmente, o pH deve ser mantido entre 6 e 8, sendo 7 a 7,2 o valor considerado ótimo. Em um reator anaeróbio, o controle do pH é função da alcalinidade devido ao acúmulo de bicarbonato, da fração de CO_2 da parte gasosa, da concentração em ácidos voláteis ionizados e da concentração de nitrogênio sob a forma de amônia. A presença de elementos essenciais como o ferro (30-50 mg/litro) e os micronutrientes, tais como o níquel e o cobalto (5-50 mg/litro), demonstra efeitos positivos na produtividade de metano. Já o enxofre, em grande quantidade, aumenta a produção de H_2S . A presença de substâncias tóxicas pode inibir o processo de biodigestão. As substâncias mais

freqüentes são o cloro e a amônia, encontrados em desinfetantes e detergentes, respectivamente. A influência de alguns compostos químicos sobre as bactérias é função da concentração. Além desses, a agitação é um fator muito importante inerente aos reatores tipo UASB. Nesse sentido, seu projeto assim como a erosão dos grânulos que contêm as bactérias representa um aspecto importante na biodigestão anaeróbia da vinhaça. A disposição de vinhaça tem se beneficiado do desenvolvimento tecnológico dos avanços no tratamento dos efluentes líquidos. A biodigestão pode reduzir a alta carga poluente da vinhaça e, ao mesmo tempo, gerar metano e fertilizantes.

Continua, Freire e Cortez (2000), como vantagens do processo de biodigestão anaeróbia, Lucas Jr.; Cortez e Silva (1997) citam: menor consumo de energia em relação aos processos de tratamento aeróbios tradicionais; menor produção de lodo (bactéria) em relação aos processos aeróbios; aceita taxas maiores de matéria orgânica; o metano produzido pode ser usado como combustível; o efluente do tratamento da vinhaça pode ainda ser utilizado como fertilizante, dado que todos os nutrientes presentes na vinhaça in natura encontram-se também presentes no efluente. Na fase ácida os compostos orgânicos complexos (gorduras, carboidratos e proteínas) são hidrolisados resultando em compostos mais simples, isto é, com cadeias menores (açúcares, aminoácidos e ácidos graxos). Esses compostos mais simples são submetidos a uma oxidação biológica sendo convertidos em ácidos orgânicos, como os ácidos acéticos (CH_3COOH) e propiônico ($\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-COOH}$). Uma população heterogênea de bactérias facultativas anaeróbias é responsável por estas reações. A redução da DQO ocorre neste estágio. Na fase metanogênica, os microrganismos anaeróbios produtores de metano convertem ácidos em CH_4 , CO_2 e ácidos orgânicos, ou reduzem o CO_2 para formar CH_4 . Como a fase ácida é muito mais rápida do que a fase metanogênica, esta última é a etapa controladora da velocidade do processo anaeróbio. Como a fase metanogênica controla a taxa de conversão, é importante manter as condições favoráveis a ela. As várias experiências realizadas na área de biodigestão anaeróbia indicam uma correlação entre a produtividade do processo e a faixa de temperatura de operação. Sendo o processo eminentemente biológico, os microrganismos que participam das reações podem ser classificados em: termofílicos, em processos que ocorrem

acima de 45°C; Mesofílicos, entre 20 e 45°C; Psicrofílicos, quando a temperatura é inferior a 20°C. O equilíbrio químico do meio é controlado pelo sistema bicarbonato-dióxido de carbono. A capacidade dos íons HCO_3^- de fixar cátions Na^+ , K^+ , Mg^{+2} e sobretudo os íons NH_4^+ que se encontram em solução no reator, permite a formação de um excelente tampão. Em laboratório, este poder tampão é medido pela quantidade de ácido necessária para baixar o pH de uma amostra até 3,7. A composição da vinhaça afeta diretamente a taxa de produção de biogás e, proporcionalmente, a redução da DQO. Quanto maior for o teor de sólidos voláteis (SV) e a disponibilidade de nitratos, fosfatos e sulfatos, tanto mais rápido será o processo.

Uma equação proposta por Foree em 1968, apresentada em Lucas Jr., Cortez e Silva (1997), para o cálculo da produção de metano nas condições normais de temperatura e pressão é a seguinte:

$$\text{DQO (mg)} = 2,86 \text{ CH}_4 \text{ (ml)}$$

Segue, Freire e Cortez (2000), a concentração adequada de nutrientes N/P no substrato é igual a 5. Uma relação entre 10 e 15 para C/N é geralmente apropriada. A presença de N sob a forma de proteína, ácidos de amidos e uréia, é favorável, pois a mineralização conduz à formação de amônia que é útil no estabelecimento da alcalinidade. O gás H_2S produzido no processo de biodigestão anaeróbia, pela redução de sulfatos e pela biodegradação de proteínas, é tóxico para as bactérias metanogênicas. Assim como a amônia (NH_4), o H_2S está em equilíbrio na forma de HS^- segundo o pH do substrato. A um pH de 7,5, são encontrados 22,5% de H_2S e 77,5% de íons H_2S^- . Concentrações de gás H_2S superiores a 200 mg/litro são consideradas tóxicas. Devido ao relativamente baixo valor energético do biogás, quando comparado, por exemplo, ao GLP, recomenda-se a sua purificação (eliminação do CO_2) e compressão para uso em motores de combustão interna. Uma tecnologia recomendada para esse fim é a absorção do CO_2 em água fria comprimida (LUCAS JR. e SILVA, 1990).

A tecnologia convencional de efluentes líquidos pode somente tratar efluentes com uma DQO de 2 a 4 mg/m^3 reator/dia. Já reatores UASB podem tratar efluentes com até 30 kg de DQO/ m^3 reator/dia e essa é a razão porque essa tecnologia se difundiu e foi assimilada e aplicada tão rapidamente no Brasil para o

tratamento de vinhaça (CRAVEIRO et al., 1986; HIRATA; VIANA; SCHIMIDELL, 1988).

Segundo Pinto (1999), no Brasil a primeira experiência com a digestão anaeróbia de vinhaça não utilizou os reatores UASB, mas um modelo tipo indiano modificado. Em 1981 foi implantado na Destilaria Central Jaques Richer, em Campos, RJ, um biodigestor de 330 m³. O biodigestor operou até o fechamento da destilaria em 1982, obtendo uma redução da DQO de 62% com a produção de 16,5 l de biogás (com 55% de CH₄) por 1 de vinhaça. O biogás foi queimado numa caldeira sem nenhuma modificação nos queimadores originalmente projetados para óleo combustível. Apesar da biodigestão ter-se revelado um método de tratamento tecnicamente viável, ela somente foi utilizada em algumas destilarias no Brasil (Usina São Martinho, Pradópolis, SP; Destilaria São João, São João da Boa Vista, SP; Usina São Luiz, Pirassununga, SP, com um reator de 120 m³ instalado em 1984, e Usina Santa Tereza, dois reatores de 2.510 m³, ambos instalados em 1991). De 1984 a 1991 os sistemas METHAX-BIOPAQ foram vendidos a 25 clientes diferentes no Brasil, mas principalmente para cervejarias e para a indústria de refrigerantes. Outras empresas, em particular o setor da indústria de alimentos, também têm instalado esses sistemas no tratamento de seus efluentes. O tratamento de vinhaça através do método da biodigestão é ainda usado em poucas destilarias de álcool no Brasil. Os casos mais notórios são ainda, o da Destilaria São João, que recentemente descontinuou sua operação, e o da Usina São Martinho, ambas no Estado de São Paulo. Na Usina São Martinho, a vinhaça é tratada num processo termofílico contínuo. O efluente resultante é usado como fertilizante e o biogás é queimado em um forno gerador de gás quente, para a secagem de leveduras. Ambos os sistemas, apesar de produzirem razoáveis resultados energéticos, têm nos custos o ponto mais desfavorável.

Segundo Freire e Cortez (2000), algumas iniciativas conduzidas pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), no início da década de 80, permitiram ganhar uma experiência considerável na aplicação da tecnologia de biodigestão para o tratamento de vinhaça com o uso da tecnologia de biodigestores de fluxo ascendente, como o projeto de biodigestão da Destilaria Paise em Alagoas. Este projeto foi coordenado pelo Banco Nacional de

Desenvolvimento Econômico e Social- BNDES e visava a controlar a tecnologia de biodigestão de vinhaça. Os reatores de laboratório foram financiados por várias agências governamentais e pela empresa Tigre fibra Industrial S/A. Outro reator de fluxo ascendente (UASB) com capacidade de 100 m³ foi também construído pela Destilaria Adálcool com financiamento da Sociedade dos Produtores de Açúcar e de Álcool (SOPRAL), Metalúrgica Santin, e pelo fundo FIPEC do Banco do Brasil. Também em meados da década de 80, o grupo CODISTIL- DEDINI, o maior fabricante brasileiro de equipamentos para a indústria de açúcar e de álcool, adquiriu uma tecnologia holandesa para reatores UASB de grande porte, para operar com bactérias mesofílicas, o processo METHAX-BIOPAQ. A primeira unidade de grande porte foi instalada em 1986 na Destilaria São João, no município de São João da Boa Vista, SP. O projeto foi parcialmente financiado pelo BNDES. A idéia básica era desenvolver a tecnologia da biodigestão de vinhaça que pudesse ser, sem dificuldades, adotada por outras destilarias. Na Destilaria São João foi instalado um reator contínuo de grande porte, em 1986, o qual degradava o material orgânico produzia biogás e reduzia a DQO em 85%. O processo mesofílico (temperatura mantida em cerca de 35 a 37°C foi usado neste caso. Após o tratamento por biodigestão, a vinhaça pode ainda ser usada como fertilizante, pois ainda contém muitos dos seus minerais, principalmente o K, que têm maior valor econômico. O biogás era, naquele caso, usado para mover uma frota de caminhões para o transporte de cana-de-açúcar do campo para a indústria. A Destilaria São João produzia 300 m³ de etanol/ dia, correspondendo a uma produção de 3.000 m³ de vinhaça/dia. Aquela unidade empregava um sistema *METHAX-BIOPAQ* o qual tratava, por biodigestão, cerca de 1/3 da vinhaça produzida, ou seja, 1.000 m³/dia. O projeto de biodigestão da Destilaria São João operou por 13 anos. O reator tinha uma capacidade de 1.500 m³ e o gasômetro, uma capacidade de 600 Nm³ de biogás. O biogás gerado era composto por 70% de metano e 30% de dióxido de carbono com traços de impurezas. O biogás era então purificado e comprimido até 220 atm (22 MPa) em reservatórios com capacidade total de 400 Nm³. A produção diária biogás chegou a alcançar de 6.500 Nm³ (96% de metano). Dessa maneira, o fator de conversão biogás/vinhaça era de 11 Nm³/m³. O CH₄ comprimido era usado para mover 41 veículos (29 caminhões e 12 veículos utilitários), representando 50% da frota de caminhões da destilaria e 40% dos utilitários.

Na planta de biodigestão *METHAX*, construída na destilaria São João, a composição do efluente indica a produção de 328 kg de N/dia, 100 kg de P/dia e 2246 kg de K/dia para aproximadamente 2.340 m³ de vinhaça tratada/dia.

A viabilidade econômica da vinhaça ainda requer uma redução de custos. Estudos conduzidos na Destilaria São João levaram à decisão de abandonar o uso de biogás como combustível da frota de caminhões a partir da safra 1997/98, principalmente por causa do baixo preço de mercado do óleo diesel. Entretanto, novos desenvolvimentos tecnológicos podem ajudar a tornar a biodigestão de vinhaça mais atraente, especialmente se os investimentos iniciais e as despesas de custeio puderem ser diminuídos para compensar o baixo preço do diesel.

Conforme Freire e Cortez (2000), os resultados de biodigestão anaeróbia de vinhaça de cana em processos mesofílicos e termofílicos em larga escala, na Destilaria São João e Usina São Martinho, respectivamente, mostram que em ambos os casos há uma redução significativa da DQO. Após o tratamento, a DQO era 3.750 mg/litro e 9.000 mg/litro, respectivamente, apesar das eficiências variarem de 85% na São João a 69% na São Martinho. O tempo de retenção foi de 13 horas e a taxa de aplicação 23 kg de DQO/m³ de reator/dia para a São João, e 9,8 horas e 30 kg de DQO/m³ de reator/dia para a São Martinho, o que mostra os efeitos positivos relativos ao processo termofílico, apesar do o efluente ainda apresentar uma carga poluidora relativamente elevada. O metano obtido da biodigestão da vinhaça é viável como substituto do óleo diesel no transporte da cana à usina segundo a experiência da Destilaria São João, tendo sido demonstrado que esta via foi muito promissora quando foram adaptados os motores da frota de caminhões, no entanto, ainda se faz necessário o aprimoramento da tecnologia do uso do biogás em caminhões para carga pesada. Essas pesquisas incluíam o conhecimento da confiabilidade dos motores nessas condições.

A figura abaixo mostra a instalação de biodigestão da Destilaria São João.

Figura 20 - Vista da instalação de biodigestão da Destilaria São João.
Fonte: Dedini (2010)

A tabela abaixo demonstra as características físico-químicas da vinhaça da Destilaria São João

Parâmetro	Vinhaça "in natura"	Efluente após a biodigestão
pH	3,7 a 4,9	6,8 a 7,5
DQO(mg/l)	25.000	3.750
DBO (mg/l)	14.000	1.300
N total (mg/l)	400	95
MgO (mg/l)	93	83
P205 (mg/l)	58	54
CaO (mg/l)	174	171
K ₂ O (mg/l)	2.000	1.800

Fonte: Cortez et al. (1998)

Segundo o Jornal Cana (1989), havia a utilização de gás metano obtido da biodigestão de vinhaça extraída do álcool produzido pela Destilaria São João em São João da Boa Vista, SP. A destilaria pertencia ao Grupo Dedini e o gás era fornecido à empresa de ônibus pela Companhia Brasileira de Petróleo Ipiranga, em uma experiência inédita. Foi firmado acordo de cooperação técnica entre a Petróleo Ipiranga, o Grupo Dedini, Através de suas empresas Codistil S/A Dedini Agroindústria, a viação Santa Cruz e a prefeitura de São João da Boa Vista. O gerente de desenvolvimento da Dedini Paulo Roberto Lamo explicou que para cada litro de álcool, são extraídos 13 litros de vinhaça, e para cada litro de vinhaça sete metros cúbicos de metano ou, como também conhecido, de biogás,

uma tonelada de cana produz 80 litros de álcool e um hectare de cana oito mil litros de álcool e a destilaria São João destina 8700 hectares de plantação de cana. A empresa Petróleo Ipiranga já estendia pelo País 29 caminhões e 12 veículos operando com gás metano. Até o fim daquele ano se esperava a conversão de 44 mil veículos de carros a álcool para gás metano, diz o diretor de Operações da Companhia Brasileira de Petróleo Ipiranga, José Luiz Orlandi, e observou que a matéria orgânica da qual se extrai a vinhaça não é fundamental à lavoura. Para início de operação somente 30% da vinhaça produzida ia para a biodigestão. O biogás destilado tem 70% de metano e o restante de outros gases. Lamo (1989)⁴⁶ explicou: se a destilaria produzir uma quantidade de álcool, 7 ou 8% vão para movimentação da frota própria. A vinhaça substitui com vantagem essa percentagem. A gasolina expõe 15 miligramas de gás carbono por quilômetro, enquanto o gás metano, dois miligramas. O emprego de mão de obra significaria aumento considerável. Segundo Lamo (1989), o projeto seria feito a nível regional, a viabilidade dependeria do interesse do governo federal que se negava a estabelecer o preço do gás natural, o que facultaria de uma maneira mais prática visualizar o futuro econômico do plano, no entanto, Lamo (1989) esperava que a Petrobrás não colocasse empecilhos, o gás metano seria a única alternativa barata e ecológica para os veículos de todo o mundo.

A Escola de Engenharia de São Carlos (USP), pertencente à Universidade de São Paulo (USP), testou o uso do gás metano em um trator Massey Ferguson. A experiência foi inédita no País porque utilizou gás extraído a partir do vinhoto, subproduto final da destilação do álcool e foi feita a partir de acordo de cooperação técnica entre a escola e a destilaria São João de São João da Boa Vista (SP), que fornecia o combustível. Segundo José Francisco Torres, assessor do Centro de Apoio Tecnológico de São Carlos, a utilização de metano deveria ficar 14% mais cara que o diesel, por hora de uso do trator. Embora o preço do gás de vinhoto ainda não tinha sido definido, o gerente do departamento de gás da Ipiranga, Ricardo Tombi, acreditava que o derivado do álcool custasse 79,61% do diesel, cada metro cúbico do gás era equivalente a 0,86 litro de diesel. Na primeira semana de teste, o trator consumiu 7,5 metros cúbicos de gás para uma hora de uso, enquanto gasta 6,5 litros de diesel pelo mesmo tempo de uso. Para

⁴⁶ LAMA, Paulo Roberto. Gás metano opera transporte coletivo em São João da Boa Vista. *Jornal da Cana*.30, p. 15. 30/07/1989.

que passasse a consumir metano, o motor perkins do trator, originalmente a diesel e modelo A-4.236, foi transformado em motor de ciclo Otto, o mesmo dos veículos a álcool. O kit de conversão custava naquela época NCz\$ 1,5 mil.

A conversão, segundo Dr. Antonio Moreira Santos, professor do departamento de engenharia mecânica - Laboratório de Eng. Térmica e Fluidos da USP de São Carlos, pode trazer ganho de até 10 CV de potência e redução considerável na emissão do dióxido de carbono, em função da combustão do metano no Ciclo Otto.

Relata Freire e Cortez (2000), que desde 1987 a Usina São Martinho desenvolve um processo termofílico (55°C) para a biodigestão de vinhaça usando um reator piloto tipo UASB com uma capacidade de 75 m^3 . Após 5 anos, a tecnologia foi considerada totalmente desenvolvida. O reator termofílico foi operado com uma carga orgânica aplicada à uma taxa de $30\text{ kg de DQO/m}^3\cdot\text{dia}$ produzindo 10 Nm^3 de biogás/ $\text{m}^3\cdot\text{dia}$, sob condições estáveis de operação. Esses valores são considerados duas vezes maiores do que os apresentados na literatura para o processo mesofílico (35°C). Em experimentos conduzidos na planta-piloto da Usina São Martinho, a vinhaça foi enviada a um tanque de mistura que também recebeu parte do efluente reciclado pelo biodigestor com alguns produtos químicos (uréia, ácido fosfórico e soda), quando necessários. Do tanque de mistura, o material foi bombeado através de um trocador de calor e enviado para o biodigestor. O efluente do biodigestor foi enviado a um decantador o qual tem a função de reter o lodo biológico excedente. O biogás, coletado na parte superior do biodigestor, foi enviado a um sistema de desumidificação (remoção da umidade) e então a sua vazão foi medida antes que fosse queimado. O efluente reciclado foi produzido a uma taxa de 50%, tendo um tempo de retenção hidráulico de aproximadamente dois dias. O projeto em escala comercial da Usina São Martinho utiliza a biodigestão termofílica em um reator UASB à temperatura controlada de 55°C . A vinhaça chega ao processo vinda da coluna de destilação à 85°C . O reator de biodigestão tem uma capacidade de 5.000 m^3 e um tempo de retenção hidráulica de um dia. A indústria utiliza 75% da vinhaça remanescente como fertilizante junto com o material biodigerido (e fluente do biodigestor). Cerca de 50% do biogás produzido da biodigestão da vinhaça é usado na secagem de leveduras o qual tem uma capacidade de cerca de 40 t. O

biogás excedente é queimado em caldeiras convencionais a bagaço, gerando um excedente de bagaço equivalente a 16.000 t por safra. A composição média do biogás é 60% de CH_4 e 40% de CO_2 com um poder calorífico de 21.500 kJ /Nm³.

A Usina São Martinho aumentou o tratamento de vinhaça via biodigestão, da produção de efluente biodigerido, biogás, e leveduras secas, a partir da biodigestão de vinhaça na Usina São Martinho, safras de 1995 a 1999, afirmam Cortez et al. (1998).

Considerada como outra fonte de renda importante derivada do biogás, os números obtidos junto à Usina São Martinho mostram que a operação de uma unidade industrial de 9.000 t de leveduras secas/ safra custa US\$111,6/t de levedura seca comparado a US\$ 170/t quando vapor de processo é usado. A taxa interna de retorno desse investimento é calculada em 36%, e o período de retorno em 3,6 anos.

A figura abaixo mostra o biodisgestor instalado na Usina São Martinho

Figura 21 - Vista do biodigestor instalado na Usina São Martinho.
Fonte: Pinto (1999).

A tabela a seguir mostra as características físico-químicas da vinhaça da Usina São Martinho.

Tabela 12 – Características físico-químicas da vinhaça da Destilaria São Martinho

Parâmetro	Vinhaça "in natura"	Efluente após a biodigestão
pH	4,0	6,9
DQO (mg/l)	29.000	9.000
N total (mg/l)	550	600
N amônia (mg/l)	40	220
P total (mg/l)	17	32
Sulfato (mg/l)	450	32
K(mg/l)	1.400	1.400

Fonte: Cortez et al. (1998).

Continua Freire e Cortez (2000), Apesar da Destilaria São João ter demonstrado a viabilidade técnica da biodigestão mesofílica de vinhaça em larga escala, o fator econômico continuava sendo o maior obstáculo. Nesse sentido, na safra 1997/8, o uso de biogás como combustível da frota foi suspenso e passou a ser utilizado apenas na secagem de levedura, a exemplo do que fez a Usina São Martinho. Hoje, no entanto, a unidade de biodigestão de vinhaça da Destilaria São João encontra-se desativada.

O balanço energético global biogás/levedura, usando vinhaça com um teor de sólidos de 27%, é obtido com 40 t de levedura com 95% de matéria seca para cada 2.000 m³ de etanol produzido. O sistema usa 4.600 kJ para evaporar 1 kg de água, portanto necessitando de 0,21 Nm³ para evaporar 1 kg de água ou 0,54 Nm³ por kg de levedura seca. Além da recuperação da energia e da produção de fertilizante, a biodigestão também mostrou ser um método efetivo para reduzir os efeitos da corrosão. Há duas razões para a baixa competitividade do biogás como combustível em motores para caminhões: baixo preço praticado no mercado interno do óleo diesel, o qual é fortemente subsidiado, e dificuldades em obter partes sobressalentes para os motores diesel modificados usados na frota de caminhões. A empresa Mercedes Benz, que fabrica caminhões em Campinas, SP, poderia eventualmente suprir essas peças especialmente construídas para motores a gás para este fim, mesmo assim, o mercado seria limitado se a tecnologia não fosse adotada por outras destilarias.

A tabela abaixo relaciona o poder calorífico e peso específico do biogás de biodigestão, metano, GLP e gás natural.

Tabela 13 – Poder calorífico e peso específico do biogás de biodigestão, metano, GLP e gás natural.

Característica Parâmetro	Biogás	Metano	GLP	Gás Natural seco
Composição	65% CH ₄ + 35% CO ₂	CH ₄	Propano, butano e outros(')	Metano e Outros('')
Poder Calorífico Inferior	19,5 MJ/m ³	36 MJ/m ³	n.d.(')	n.d.(')
Peso Específico	1,2 kg/m ³	0,72 kg/m ³	552	n.d.(')
Poder Calorífico Superior	23,4 MJ/m ³	50 MJ/m ³	93 MJ/m ³	38,7 MJ/m ³

Fonte: Lucas Jr. e Silva (1990) e MME (1999).

Do ponto de vista do efluente da biodigestão anaeróbia há ainda um importante avanço a ser realizado no nível de desenvolvimento tecnológico a fim de se produzir um efluente com menor, ou se possível DBO zero. Hoje ainda se utiliza este efluente misturado à vinhaça in natura na fertirrigação.

Quanto ao desenvolvimento recente da tecnologia de biodigestão anaeróbia no Brasil, a empresa CODISTIL/DEDINI propôs nos últimos anos um novo projeto, mais avançado, de biodigestores tipo UASB projetado pela empresa holandesa Paques Environmental Technology (Driessen et al., 1996). Nesta nova concepção, chamada de reatores IC (internal circulation reactors) há uma maior atividade do lodo, que é obtida através de um maior contato do substrato com o lodo. O projeto deste reator é a grosso modo, um reator UASB de dois estágios. Comparado ao UASB convencional os reatores IC conseguem tratar carga duas vezes maior com um tempo de retenção hidráulica de aproximadamente 50%. Apesar das vantagens mencionadas, e do custo de instalação ser cerca 20% menor, este tipo de reator ainda não foi aplicado em destilarias de álcool no Brasil.

E ainda conforme Freire e Cortez (2000), a biodigestão econômica de vinhaça depende de diferentes parâmetros técnicos que afetam o tempo de residência do resíduo no biodigestor, assim como o uso final e o valor dos seus subprodutos principais, o biogás e o biofertilizante. Um primeiro estudo econômico energético, realizado por Dias (1981), já apontava para a necessidade de estudos mais aprofundados no que diz respeito a estimar, com mais exatidão, tanto os custos como os benefícios da biodigestão de vinhaça.

Numa avaliação preliminar, Silveira (1985) estudou os benefícios econômicos de uma planta completa conjugada a uma destilaria com capacidade

produtiva de 75.000 litros de etanol/dia. O sistema de biodigestão tratava vinhaça in natura (pH 3,7 a 4,5; DQO 15.000 a 33.000 ppm; DBO 6.000 a 16.500 ppm; sólidos totais 20.000 a 25.000 ppm; temperatura 50°C) produzindo 1.170 m³ de efluente e 6.200 Nm³ de biogás (95% metano), num período de 24h. O *input* energético era de 225 kWh de eletricidade e 72 m³ de água a cada 24 horas e um requerimento de 1 operador em 3 turnos e 1 supervisor em 1 turno. Na análise econômica foi considerada uma vida útil de 10 anos e juros de 15% a.a. Os benefícios econômicos anuais foram calculados e verificaram-se equivalentes a uma taxa interna de retorno de 17,22% do investimento total, quando o metano era comprimido e usado como combustível em motores diesel convertidos da frota de caminhões da destilaria.

Uma análise similar foi conduzida por Ribeiro (1985), para uma destilaria de 150 m³ de etanol/dia, tratando cerca de 1.305 m³ de vinhaça/dia e produzindo 4.760 Nm³ (71,7% metano) para uso automotivo, e 16.033 Nm³ para combustão em caldeira. O investimento total foi calculado em cerca de US\$ 686.690 incluindo os biodigestores, recheios, bombas, resfriador de vinhaça, materiais complementares (como tubos e conexões) e também a montagem. A purificação do biogás custou US\$167.350 e a unidade de compressão custou US\$152.100. O sistema de distribuição de metano custou US\$ 171.000. Para que o metano seja usado como combustível em caminhões diesel, o motor tem que ser convertido para o Ciclo Otto, resultando num custo adicional de US\$ 260.300. Assim, o investimento total foi US\$ 1,437 milhões. Os custos anuais operacionais e de manutenção somaram cerca de US\$ 97.000. O período de retorno (*payback*) calculado foi então de 6,6 anos, representando uma economia anual de cerca de US\$ 203.674. Esta planta de biodigestão produziu combustível suficiente para mover 65 caminhões, 48 tratores, 16 carregadeiras e treze outros veículos utilitários.

Três casos (lixo, esgoto e vinhaça) foram analisados para a mesma capacidade de 6.000 Nm³/dia de biogás purificado e 4.920 volumes de óleo diesel equivalente 1/ dia segundo de Gomes (1985).

Os valores apresentados dão um período de retorno de aproximadamente dois anos. Além de seu uso em motores Diesel modificados para operar em veículos que utilizam o Ciclo Otto com 100% de biogás, este combustível pode

ser usado em solda e maçarico (substituindo o acetileno), gerando um rendimento extra para a destilaria de etanol, apesar de nenhum exemplo prático ter ainda sido reportado nesse campo de aplicação.

Estudos, realizados por Johansson et al. (1993) e citados por Souza e Paula Jr. (1999), estimam em US\$ 0,03 a 0,05/Nm³ os custos operacionais do biogás produzido, sendo que para plantas de grande porte esses custos baixariam até US\$ 0,02/Nm³. Considerando-se também os custos de investimento, para uma vida útil da instalação de 15 anos e uma taxa de juros de 10% a.a., os custos totais seriam de US\$ 0,05 a 0,09/Nm³. Ainda segundo Souza e Paula Jr. (1999), numa comparação desses custos com outros energéticos em termos de US\$/tEP (valores de 1995), os custos do biogás seriam de US\$ 80 a 146/tEP enquanto que US\$ 327/tEP para o diesel, 436 para a gasolina e 237 para o álcool. Já quando comparados a combustíveis para caldeiras, os custos para o óleo combustível são de US\$ 150/Nm³, 103 para o gás natural, 203 para o GLP e 26 para o carvão mineral.

É importante observar que a realidade energética é bastante dinâmica e que, de 1995 para cá, houve um gradativo encarecimento dos preços dos energéticos, notadamente dos derivados do petróleo, função do aumento do preço do petróleo no mercado internacional e também da desvalorização do real no início de janeiro de 1999. Assim, qualquer análise mais cuidadosa deve tentar considerar séries históricas e, na medida do possível, tentar prever tendências futuras, tanto do preço internacional do petróleo como da própria economia brasileira. O setor sucroalcooleiro brasileiro tem realizado esforços significativos para equacionar o problema da disposição da vinhaça produzida. Quando o PROALCOOL foi implantado em meados da década de 70, este foi identificado como um sério problema que necessitava solução urgente, do contrário a poluição causada iria mais do que dobrar a carga poluidora nos rios da região produtora. Pode se dizer que em grande medida, a fertirrigação conseguiu responder satisfatoriamente àquela premência. No entanto, outras formas de disposição de vinhaça merecem maior atenção e podendo resultar em benefícios possivelmente maiores que aqueles da fertirrigação. A biodigestão anaeróbia da vinhaça aparece assim como uma boa alternativa, pois resolve *in situ* o problema da poluição, beneficia o meio ambiente, melhora o balanço energético do álcool e cria mais

uma renda com o biogás e ainda possibilita o uso do efluente como fertilizante. A biodigestão de vinhaça permanece um processo muito promissor para o tratamento de vinhaça em larga escala, particularmente no Brasil onde não somente vários outros métodos vêm sendo utilizados (principalmente a fertirrigação), mas onde a legislação ambiental deve se tornar mais rigorosa de modo a impedir sua disposição indiscriminada, com as áreas de sacrifício sendo simplesmente eliminadas. Todavia, embora no Estado de Pernambuco⁴⁷, ainda seja usada a prática de armazenamento da vinhaça, no Estado de São Paulo as legislações e suas aplicações são mais severas, o que impede essa situação de crime ambiental. Por isso, a vinhaça deveria ser totalmente utilizada no processo de biodigestão durante os meses de safra, sem qualquer armazenamento em açude, o que elevaria os custos de investimentos, e seria o necessário haver uma tarifa de comercialização de energia em torno de R\$ 155 /MW/h, segundo Rego e Hernandez, (2006).

Desta forma, Rego e Hernandez (2006), deram o projeto como economicamente inviável, pelo fato de não aceitar a estocagem da vinhaça, uma vez que as conseqüências, mesmo sob a ótica keynesiana, não são mensuráveis financeiramente. “Não há preço que pague os impactos ambientais de um tratamento imprudente da vinhaça”.

É lamentável que a questão ambiental não tenha sido considerada pelo MME quando da contratação dos projetos do PROINFA, o qual, em seu início aceitava qualquer forma de biogás, mas restringiu a tecnologia ao biogás de aterro, eles descrevem que um mês antes de os interessados se apresentarem à ELETROBRÁS, foi perdida uma oportunidade para o biogás da vinhaça de cana-de-açúcar, naquele mesmo ano.

Vale aqui citar que o setor sucroalcooleiro brasileiro tem realizado esforços significativos para equacionar o problema da disposição da vinhaça produzida, porém, tem havido dificuldades no que tange as questões econômicas dos processos e das tecnologias até hoje experimentadas, e os empresários do setor não querem pagar o preço do pioneirismo no desenvolvimento ou em melhoramentos das tecnologias. Falta um programa de incentivo do governo,

⁴⁷ De acordo com artigo publicado de Rego e Hernandez (2006), a disposição da vinhaça por biodigestão anaeróbia ainda era freqüente no Estado de Pernambuco.

quem sabe uma forma de investimento para desenvolvimento tecnológico com intercâmbio das universidades e alunos com as empresas privadas e seus colaboradores.

2.10. Combustão Direta ou Incineração de Vinhaça

A combustão direta ou incineração é uma tecnologia que permite uma disposição quase que completa e uma eliminação definitiva do potencial poluidor da vinhaça. Apesar dessas vantagens, não se tem notícias de experiências recentes que dela fazem uso, especialmente no que se refere à vinhaça de cana de açúcar.

A idéia de queimar vinhaça está possivelmente relacionada com a queima do licor negro, derivado do processo de produção de papel (método kraft) , segundo Merriam (1982). Naquele processo, o licor ou lixívia negra é incinerado ou queimado em fornos de recuperação, como são chamados, pois recuperam, por assim dizer, os sais presentes na lixívia. Dentre esses sais, o grupo mais importante é o representado pelos sais de sódio, que, recuperados, são novamente utilizados no processo de branqueamento do papel, produzindo, também, pela combustão da matéria orgânica, um excedente energético ao processo. Dessa forma, a incineração da lixívia se presta aos seguintes fins: eliminação do efluente e, portanto, do seu poder poluente; recuperação econômica dos sais; aproveitamento energético.

Com a vinhaça, as vantagens seriam as mesmas, com a diferença que o elemento que se deseja recuperar é basicamente o potássio. O potássio, fundamental elemento fertilizante usado na produção da cana-de-açúcar, tem alto valor econômico e é a principal justificativa econômica da fertirrigação, hoje amplamente praticada. Dessa maneira, com a queima ou incineração da vinhaça, seus sais poderiam ser recuperados e utilizados como fertilizantes com a vantagem do custo reduzido e também da eliminação das áreas de sacrifício.

No entanto, como foi dito anteriormente, não são muitas as experiências com combustão de vinhaça de cana. Na literatura, encontram-se os trabalhos realizados por Nilsson (1981), Spruytenburg (1982) e Cortez e Brossard Perez (1997). Esses trabalhos referem-se à vinhaça de cana concentrada, mas, sem aditivos, e também às emulsões de vinhaça concentrada misturada com combustíveis líquidos convencionais, como óleo diesel e óleo combustível. Apesar da tecnologia de incineração de vinhaça ter sido apresentada como comercialmente viável por duas empresas, no início da década de 80 (ALFA LAVAL e HCG), atualmente não se tem notícia de projetos bem sucedidos neste campo.

A conversão térmica de um combustível está bastante ligada à natureza e às características físico-químicas do mesmo. Assim, um combustível sólido, como a madeira, por exemplo, pode ser queimado diretamente, ou então transformado em carvão para queima posterior. Já um combustível gasoso como, por exemplo, o gás natural, é usualmente queimado *in natura* dado suas excelentes propriedades térmicas.

Segundo, Freire e Cortez (2000), com a vinhaça, o problema principal para uma possível queima está relacionado à quantidade muito grande de água que a compõe, o que faz dela um produto de poder calorífico muito baixo. Assim, a primeira necessidade que se tem para viabilizar a queima da vinhaça, é proceder a uma redução no seu teor de água. Este assunto, o da concentração da vinhaça será tratado em seção específica neste texto. No entanto, o que é muito discutível é até que ponto ou até que teor de sólidos é economicamente interessante se concentrar a vinhaça. Os testes de queima já realizados, e apresentados a seguir, consideram que a vinhaça, quando apresenta um teor de sólidos acima de 60%, já tem um poder calorífico suficiente para a queima. Esta concentração seria considerada um "bom compromisso" entre uma boa fluidez (viscosidade relativamente baixa), permitindo ainda uma razoável atomização da vinhaça em caldeiras convencionais, além da utilização de uma quantidade de energia não muito grande para sua evaporação, ainda que se usassem métodos econômicos para esse fim. No entanto, testes realizados por Polack, Day e Cho (1981) e por Cortez e Brossard Perez (1997) não mostraram sucesso naquele procedimento, muito provavelmente pela inadequação do combustível ao método de queima.

Para continuar utilizando a atomização como técnica de queima, optou-se por trabalhar com vinhaça não tão concentrada (40%) e misturada com óleo combustível. Isso garantiria uma viscosidade ainda mais baixa associada a um poder calorífico da mistura muito mais elevado.

Dentre as tecnologias que se conhece para a queima de combustíveis líquidos, a atomização é, provavelmente, a mais empregada. No entanto, a atomização é muito utilizada para combustíveis como óleos, que têm um elevado poder calorífico e praticamente só carbonos voláteis, tornando muito fácil sua combustão. Já a atomização de vinhaça representa um desafio, pois suas características reológicas mudam muito conforme se aumenta sua concentração de sólidos, compromete, portanto, uma boa atomização e conseqüente combustão. Portanto, é preciso aquecer a vinhaça concentrada antes de atomizá-la no forno para diminuir sua viscosidade e se conseguir obter um padrão de gotas uniforme e suficientemente pequeno para facilitar o contato com o oxigênio do ar de combustão, método, aquecimento-bombeamento-atomização-queima da vinhaça e ou emulsões vinhaça-óleo.

Há, contudo, também a tecnologia de queima usando um reator de leito fluidizado. Esta tecnologia é empregada na queima de produtos viscosos, como restos de sopas, efluentes pastosos que apresentam dificuldade em quebrarem-se em partículas pequenas via atomização, e também requerem, como a vinhaça, um contato térmico muito eficiente para sua queima.

Cupta et al. (1968) foram provavelmente os pioneiros no uso da tecnologia de queima por leito fluidizado para vinhaça de cana. A vinhaça foi preparada de 30 a 40 °Brix e queimada a 700°C. Um processo semelhante foi descrito por Dubey (1974) usando vinhaça e bagaço queimados juntos.

Wheeler (1976), apontou algumas vantagens da tecnologia de leito fluidizado, e estimou em alguns milhões de m² a área de transferência de calor num reator com apenas 1 m de diâmetro e partículas com granulometria menor do que 1 mm. O mesmo autor afirmou que a vinhaça pode ser queimada neste tipo de reator com um teor de sólidos entre 30 e 35% sem uso de combustível auxiliar. Finalmente, o autor propôs um sistema de incineração para vinhaça baseado na tecnologia de leito fluidizado. O sistema proposto foi designado Copeland

Fluidized Bed System. O custo instalado da unidade foi de \$ 500.000 para cerca de 22.000 litros de vinhaça/dia produzindo 160 kg de cinzas/h.

A figura a seguir mostra o esquema do Sistema de leito Fluidizado Copeland Fluidized Bed System

Figura 22 – Desenho esquemático – Tecnologia de leito fluidizado.
Fonte: Freire e Cortez (2000)

Considera-se, no entanto, que, tão importante, ou mais, do que o método de queima são as características do combustível que se pretende queimar.

Dentre as propriedades mais importantes para a caracterização de um combustível está o poder calorífico, as quantidades e a proporção de carbono fixo e volátil. Estas características podem ser evidenciadas quando realizadas as análises elementar e imediata deste combustível. Embora os valores apresentados se refiram a apenas uma vinhaça e não representem valores médios para destilarias brasileiras, os valores encontrados para carbono volátil indicam que as amostras apresentaram um bom potencial para sua aplicação energética via combustão / incineração. O poder calorífico da vinhaça depende, como já era esperado, fortemente da concentração da vinhaça. Os valores publicados por Kujala (1979) foram de 7.800 kJ/kg para vinhaça de melaço com 45 °Brix. Segundo o mesmo autor, os valores para vinhaça totalmente seca indicaram um poder calorífico de até 14.390 kJ/kg. Já, quando se trata de

misturas ou emulsões com óleo combustível, o poder calorífico dependerá não somente do teor de sólidos da vinhaça utilizada, como também da proporção de vinhaça/óleo empregada. Usando vinhaça de melaço com 45° Brix e os valores publicados por Kujala (1979), Cortez e Brossard Perez (1997) desenvolveram uma equação para o poder calorífico dessas misturas (equação 1). Para o óleo

A tabela abaixo mostra o poder calorífico de vários produtos e subprodutos da cana.

Tabela 14 - Poder calorífico de vários produtos e subprodutos da cana.

Produto/Subproduto	Poder Calorífico (kJ/kg)
Etanol (96%) (')	27.837
Bagaço de cana seco (n)	18.600-20.935
Bagaco umidade 50% (')	9.434
Vinhaca seca ('-)	12.560-15.070
Vinhaça 60% sólidos ('-)	7.600

Fonte: Cortez et al. (1998).

Combustível, os autores adotaram um poder calorífico médio de 43.350 k/kg, calculado a partir de dados publicados pela ASHRAE.

$$PCI_{\text{emulsão}} = 7.800V + 43.350 OC$$

$PCI_{\text{emulsão}}$ = é o poder calorífico inferior da emulsão, kJ/kg.

V = é a fração de vinhaça com 45° BRIX usada na emulsão.

OC = é a fração de óleo combustível usada na emulsão.

Outro importante parâmetro na combustão é a temperatura adiabática de chama do combustível, também conhecida como temperatura teórica de chama. Este parâmetro, fortemente dependente da composição do combustível, foi calculado por Cortez e Brossard Perez (1997), para a vinhaça obtida da destilaria Shepherd Oil baseando-se na composição da vinhaça. Assim, a fórmula química aproximada da vinhaça, considerando-se apenas os elementos C,H, N e O é:

$$C \ 0,0331 \quad H \ 0,0860 \quad N \ 0,0012 \quad O \ 0,0194;$$

O peso molecular calculado a partir da fórmula acima, de aproximadamente 13,4 g,

Com esses valores pode-se calcular a temperatura adiabática de chama, utilizando uma relação ar/combustível de 7,621 kg de ar/kg de combustível seco - sem cinzas. Os valores são de 700°C para vinhaça com 50% sólidos e de 793°C para vinhaça com 60% sólidos.

Os primeiros testes encontrados na literatura foram os publicados por Kujala et al. (1976), da empresa sueca ALFA LAVAL. No entanto, desde a Primeira Guerra Mundial as empresas *Whitaker* e *US Industrial Chemicals Inc.* desenvolveram os fornos "Porion", Em seguida, Reich (1945), propôs a concentração da vinhaça em evaporadores de quádruplo efeito até um teor de sólidos de 70 a 80% com uma subsequente combustão a 343°C e recuperação do potássio nas cinzas.

O mesmo princípio foi usado em Lucknow, na Índia, por *Chakrabarty* (1964) na destilaria *Dyer Meaking Breweries Ltd*, quando uma planta piloto foi construída para recuperar os sais de potássio da vinhaça obtida da fabricação de álcool a partir de melaço. No país, tem-se notícia que duas plantas de incineração foram instaladas em Pernambuco há mais de 50 anos, mas foram fechadas em seguida por razões econômicas, relata Monteiro, (1975)..

Apesar dos referidos textos indicarem sucesso técnico nas experiências realizadas, há uma falta de informação de como essas foram conduzidas. Tal fato se verifica também nos trabalhos publicados e nos contatos realizados por empresas como a ALFA LAVAL e a HCG. Essa falta de informação dificulta a adoção da tecnologia de combustão que poderia se converter em uma importante alternativa de disposição da vinhaça,

Sheehan e Greenfield (1980) e Yamauchi et al. (1977), realizaram experimentos de combustão de vinhaça a 21 % de sólidos misturada com óleo combustível. Naquele teste os gases da combustão foram utilizados como fonte de calor e as cinzas, como fertilizante.

A empresa holandesa HCG (*Hollandse Construtie Groep B. V.*), que diz desenvolver sistemas para queima de vinhaça de beterraba desde 1947, publicou (HCG, 1980; SPRUYTENBURG, 1982), resultados completos sobre combustão de vinhaça de cana com concentração de até 60% de sólidos, em caldeiras especialmente projetadas para aquele fim pela empresa *Tate & Lyle*. Em julho de

1981, a empresa HCG instalou em Bangkok, Tailândia, uma planta de incineração de vinhaça de cana. A destilaria produzia 90.000 litros de álcool/dia e 1.000 m³ de vinhaça *in natural* dia. A vinhaça era então evaporada em evaporadores de múltiplo efeito Vogelbusch e queimada com 60% de sólidos. A empresa HCG também afirma ter instalado um segundo sistema de incineração na mesma planta para uma destilaria de 180.000 litros de álcool/dia.

A empresa sueca ALFA LAVAL também publicou, segundo Nilsson (1981), resultados de uma *joint-venture* com a finlandesa A. *Ahlstrom* AB, especialista em combustão, que indicam a viabilidade técnica e econômica da combustão de vinhaça. Nos trabalhos publicados menciona-se o uso da tecnologia de combustão *swirl* (turbilhão) para queimar vinhaça com 60% de sólidos. No sistema *Ahlstrom Stillage-Fired Boiler*, a vinhaça concentrada deve ser aquecida até perto do ponto de ebulição e bombeada para dentro da zona de combustão da caldeira. O ar é introduzido tangencialmente, produzindo o turbilhão que rapidamente seca e então queima as gotas de vinhaça, arremessando as partículas de cinzas contra uma parede resfriada com água, de onde caem. Um gás quente passa na seção principal de aquecimento da caldeira removendo as cinzas. Ciclones e precipitadores eletrostáticos removem mais cinzas dos gases efluentes, obtendo-se uma eficiência de recuperação das cinzas da ordem de 99%. Segundo o autor, combustível adicional é necessário somente no início do processo de aquecimento da caldeira. Entretanto, nenhum dos trabalhos anteriormente mencionados apresenta detalhes sobre a queima da vinhaça os quais permitam reproduzir com sucesso os experimentos realizados.

Polack, Day e Cho (1981), mostraram que a vinhaça de cana obtida na Louisiana, EUA, é um efluente difícil de ser queimado. Segundo os autores, foi utilizado um forno desenvolvido por Harper (1980) o qual teria sido adaptado e equipado com um atomizador (queimador de óleo Eclipse Convecto Flame modelo 168 HCF-CGO) e alimentado com pressões de 51 cm de água a 1,4 MPa. O forno foi mantido entre 760 e 927°C e pré-aquecido com gás natural. A vinhaça foi pré-aquecida até 50°C e foi atomizada em diferentes concentrações variando de 64 a 73°Brix. Segundo Polack, Day e Cho (1981), no conjunto, pode-se dizer que os testes realizados não apresentaram resultados positivos. Isso indicou que a via de pesquisa a ser seguida para queimar vinhaça deveria ser a queima

através de misturas ou emulsões vinhaça-óleo como possível combustível alternativo.

Conforme, Freire e Cortez (2000), testes foram realizados entre 1984 e 1987 no laboratório de Combustão do Departamento de Engenharia Mecânica da *Louisiana State University*, localizada em *Baton Rouge*, La, EUA. Naquele laboratório há uma infra-estrutura completa para combustão composta de um fomo (câmara de combustão) com superfície refratária sem superfícies de transferência de calor. Esta câmara tem dimensões internas de 1,52 m x 1,52 m x 3,28 m. O fomo é equipado com um sistema completo de resfriamento à água que confere segurança à instalação. No fundo da câmara há um pórtyco que permite observação visual da combustão e visualização da chama. O sistema de alimentação de combustível (vinhaça concentrada e/ou emulsões vinhaça-óleo). Esse sistema consiste de dois tanques onde o combustível é estocado e aquecido, sendo bombeado diretamente para o fomo. A temperatura do fomo no momento do início dos testes era de aproximadamente 750 °C. O sistema de atomização era composto de uma camisa para o ar de atomização que tinha a finalidade de produzir partículas ou gotículas de vinhaça para facilitar sua queima. A injeção de um ar secundário garantiria oxigênio suficiente para a combustão. A pressão de alimentação da mistura vinhaça-óleo combustível foi de 0,34 MPa. Os experimentos de combustão realizados variaram as proporções de vinhaça e de óleo combustível. As proporções foram utilizadas de maneira a queimar inicialmente somente óleo combustível e, a partir daí, quantidades crescentes de vinhaça na mistura (10; 12,5; 15; 25; 40 e 50%). Testes utilizando óleo diesel não foram realizados pela dificuldade em se conseguir uma mistura homogênea e estável, uma vez aquecida. O excesso de ar nos gases efluentes foi monitorado através de medições de CO e de O₂. Os resultados apresentados mostraram que há uma tendência clara em se estabilizar o teor de CO nos gases efluentes quando a proporção de vinhaça nas emulsões é aumentada. Os dados obtidos também indicam o efeito do O₂ em diminuir a concentração de CO nos gases efluentes dá bons resultados quando óleo combustível é queimado a 100%, o mesmo não ocorrendo para nenhuma das emulsões. Neste último caso, emulsões com 20% de vinhaça ou mais alcançam um nível de CO praticamente constante de 105 a 110 ppm, independentemente do O₂ presente nos gases. Isto significa

que a colocação de vinhaça nas misturas representa uma combustão mais difícil, provavelmente pelo padrão de emulsão formado quando da mistura. A presença de uma proporção crescente de uma fase não-combustível (principalmente água) em volta das gotas de óleo representa um obstáculo para o acesso do O_2 , prejudicando a combustão. Dessa forma, o aumento de O_2 na queima das emulsões funciona bem dentro de certos limites, dependendo da proporção de água nas misturas.

A figura abaixo mostra uma câmara de combustão com os principais componentes usados nos testes de combustão de emulsões vinhaça-óleo combustível.

Figura 23 - Câmara de combustão
Fonte: Cortez e Brossard Perez (1997)

Quando o teor de água é elevado (maior que 20%), o teor de CO nos gases efluentes atinge também patamares elevados, uma vez que o O_2 não consegue mais acessar o óleo combustível. Há ainda muito a ser realizado neste campo de estudos e muito a ser aprendido no terreno da queima de vinhaça, seja pela combustão de vinhaça concentrada, seja através de emulsões com óleos ou misturas com outros combustíveis convencionais.

Continua Freire e Cortez (2000), por ser um combustível in natura que apresenta um teor de sólido muito baixo, a vinhaça precisa ser concentrada e este, possivelmente, seja o maior problema técnico ligado à incineração ou queima da mesma. O processo de concentração requer muita energia e o balanço energético é favorável, como será visto a seguir na análise econômica da combustão da vinhaça. Mais estudos são, contudo, necessários por especialistas em combustão e recuperação de sais, assim como se faz necessário um desenvolvimento tecnológico nos mesmos moldes do que ocorreu com a queima do licor negro da indústria do papel.

Infelizmente, muito pouco tem sido realizado no país que, aparentemente, tem se contentado com a solução da fertirrigação. Alguns países da Europa, mas principalmente a França (IRIBIOM - *Institut de Biomasse* em cooperação com CNRS, ADEME e CIRAD), tem trabalhado com combustão de emulsões de vinhaça obtida da destilação de beterraba fermentada misturada com óleo #2 (diesel). Segundo informações obtidas daquele instituto, localizado em Órleans, a proporção óleo/vinhaça foi de 10:1. Os objetivos daquele grupo de pesquisa eram os seguintes: determinar a porcentagem máxima de vinhaça que é possível incorporar ao óleo combustível (#2 e #6), e otimizar os parâmetros de combustão e verificar os efeitos da diferença de poder calorífico entre os dois combustíveis e medir a quantidade de água nos gases efluentes; verificar o impacto da combustão de vinhaça sobre diferentes tipos de refratários; verificar o nível de incrustação nas paredes da caldeira; medir as emissões de alguns poluentes resultantes da combustão.

E ainda, Freire e Cortez (2000), além dos problemas mencionados, há que se considerar que, para uma efetiva recuperação das cinzas, a temperatura da queima deverá se situar numa faixa que considere o baixo ponto de fusão das cinzas.

Apesar dos problemas mencionados acredita-se que caldeiras convencionais a bagaço possam queimar óleo combustível ou gás natural e que a vinhaça poderia ser queimada nestas caldeiras utilizando um combustível auxiliar, desde que garantidas as condições necessárias para a queima.

Segundo Freire e Cortez (2000), embora a tecnologia de combustão de vinhaça ainda não esteja disponível comercialmente, como quiseram crer as

empresas ALFA LAVAL e HCG, estas mesmas empresas publicaram, nos artigos já mencionados, estimativas econômicas baseadas em: economia de energia pela não queima de bagaço; economia de fertilizantes (principalmente o K) pela recuperação e uso das cinzas. Essas estimativas de viabilidade econômica da combustão ou incineração da vinhaça concentrada eram baseadas no custo, representado pelo investimento necessário para adquirir todo o sistema de combustão/incineração, e quanto aos benefícios, os itens já mencionados (vapor de processo e potássio economizados).

Para a planta de 90.000 litros de álcool/dia, a empresa HCG instalou um sistema de incineração de vinhaça de 60% de sólidos com capacidade de 9 t/h. A vinhaça é queimada em três unidades de incineração com capacidade de 3 t/h cada. Cada tonelada de vinhaça concentrada produz 2,8 t de vapor saturado com 16 bar quando queimada a 60% de sólidos, requer 0,16 t de vapor/t de água evaporada. Portanto, para se obter 1t de vinhaça concentrada, 5,5 t de água deve ser evaporada, o que significa um consumo de 0,9 t de vapor/t de vinhaça concentrada. Portanto, a quantidade líquida de vapor disponível para a destilaria é $2,8 - 0,9 = 1,9$ t para cada t de vinhaça concentrada queimada. Calculado em termos de um custo do vapor a US\$ 20/t, a economia anual (300 dias) de energia na destilaria excedeu US\$ 2 milhões/ano, para valores de 1980. Uma vantagem adicional é a recuperação do potássio nas cinzas. A quantidade de cinzas varia de acordo com a vinhaça incinerada. No caso da destilaria tailandesa, as cinzas recuperadas eram da ordem de 15%, contendo potássio (K_2SO_4 , KCl e K_2CO_3), além de outros componentes como CaO, MgO, etc. Mesmo sem refino, as cinzas podem ser aplicadas como fertilizante. Cerca de 75% das mesmas são solúveis em água. A quantidade total produzida para a planta de 90.000 litros/dia é da ordem de 25 t/dia, significa cerca de 13 t de K/dia. Assumindo-se um valor de US\$100/t para as cinzas sem refino, obtém-se uma renda de US\$ 750.000/ano. Com esses valores, o tempo de retorno para este investimento foi calculado em aproximadamente 2,5 anos, sem considerar outros benefícios como a eliminação da poluição causada pela disposição da vinhaça.

Outra análise foi realizada por Nilsson (1981), para uma destilaria de 60.000litros de álcool/dia a partir de melaço, produzindo 31,2 t de vinhaça/h com 8% de sólidos. Para concentrar a até 60% de sólidos, foram retiradas 27 t de

água/h, requerendo para isso 6,2 t/h de vapor. A subsequente combustão da vinhaça gera 9,6 t/h de vapor, resultando um excedente líquido de 3,4 t de vapor/h. Assumindo um valor de US\$ 23/t de vapor e 300 dias de operação anual, o benefício representado pelo excedente líquido de vapor representa US\$ 560.000. Quanto às cinzas, foram produzidas 0,9 t de cinzas/h contendo 0,33 t/h de K, a um valor de US\$ 225/t de K, representando um benefício de US\$ 500.000/ano, e totalizando US\$ 1.060.000/ano. No entanto, o autor pondera que se for utilizada uma vinhaça mais concentrada, por exemplo 17,2 t/h de vinhaça com 14,5% de sólidos, para a mesma destilaria, o vapor requerido seria de 2,9 t/h para secá-la até 60% de sólidos, resultando em um excedente de vapor de 6,7 t/h valendo US\$ 1.100.000, e totalizando US\$ 1.600.000/ano. O tempo de retorno do investimento então seria de 3,9 anos para uma destilaria de 60.000 litros de álcool/dia ou de 2,4 anos para uma destilaria de 180.000 litros de álcool/dia. Para se obter a vinhaça a 14,5% de sólidos, o autor recomenda a reciclagem da vinhaça na fermentação (processo BINSTIL patenteado pela empresa ALFA LAVAL), o que evidentemente requer um substrato de melhor qualidade, além de outros cuidados microbiológicos.

A combustão direta ou incineração é uma tecnologia que permite a disposição quase completa e a eliminação definitiva do potencial poluidor da vinhaça, porém, é perdida toda água que poderia ser reutilizada no processo industrial ou na irrigação da lavoura. Para saber da viabilidade econômica necessitaria medir essa perda e suas conseqüências, por exemplo: quanto custa a perda de determinada área plantada por falta de irrigação enquanto já havia água disponível. Para um poder calorífico requerido para a queima, é necessário concentrar, e vinhaça concentrada é uma boa forma de disposição sem perda total do benefício da água.

Vale ressaltar não ser conveniente adicionar aos tratamentos alternativos de vinhaça, qualquer produto que não seja do mesmo processo fabril, para evitar sobrecarga de poluentes. Em todos os relatos não houve a ponderação do custo do transporte dos nutrientes até a lavoura, nem foram feitas menções quanto a adequação de equipamentos para aplicação na lavoura.

2.11. Abordagem Teórica para Análises Econômicas

A recuperação total do capital investido é a chave para a determinação da viabilidade de um projeto, a qual depende do tempo de vida do sistema, da taxa de retorno anual e do tempo necessário para a sua implementação. Assim, o objetivo central do estudo da viabilidade de um projeto é determinar se o resultado que ele produz compensa a soma dos esforços e recursos despendidos na atividade produtiva, definida fisicamente pela etapa de engenharia, segundo Buarque (1984). Para responder a essa questão e poder comparar produtos e insumos, é necessário “transformar” os múltiplos componentes do processo produtivo em seus correspondentes valores monetários estimados. Um dos métodos de avaliação econômica de projetos é o método do Valor Presente Líquido. Segundo Buarque (1984), o valor presente líquido (VPL) de um projeto é estimado a uma taxa de desconto correspondente ao custo de oportunidade do capital. Para um valor presente líquido superior a zero, o projeto apresenta um mérito positivo e numa comparação entre dois projetos ou duas alternativas de um mesmo projeto, o melhor, em princípio, é aquele com maior VPL resultante. E assim, o investimento inicial, quando se define o VPL nos casos em que os investimentos se concentrem integralmente em torno do ano zero (primeiro ano). Para o investidor, o custo de colocar certa quantidade de capital em um projeto corresponde ao que ele deixa de ganhar ao não aproveitar alternativas de investimento viáveis. O custo de oportunidade de capital pode ser definido como a taxa de rentabilidade que o capital pode ganhar na melhor alternativa de utilização; além do projeto, afirma Buarque (1984), como, alguma aplicação no mercado financeiro, por exemplo. Então, para atualizar os fluxos do projeto ao longo de sua vida útil, como taxa de descontos, o avaliador deve utilizar, a taxa de rentabilidade da melhor alternativa disponível de investimento, denominada taxa mínima de atratividade. A Taxa Interna de Retorno (TIR) é a taxa de desconto que torna nulo o Valor Presente Líquido do projeto, e pode ser utilizado como outro parâmetro para a tomada de decisão. Em princípio, um projeto será tão mais desejável quanto maior a sua TIR, pois tanto maior seria a taxa de juros que seria aceitável pagar pelo empréstimo do capital inicial, segundo Faro (1995).

Como este é o grande diferencial do setor, a gestão de custos é de grande relevância às usinas, por representar uma significativa racionalização nos processos de produção, com economia de recursos naturais e, também, por proporcionar melhor resultado financeiro, traduzido em aumento da margem operacional e capacidade de investimento de capital. Desta forma, para haver eficiência (com adequação à normas) é essencial que sejam conhecidos os custos ocorridos e suas origens, bem como sua estrutura e impactos no resultado, visto que as empresas no caso, Usinas estão sujeitas a riscos operacionais que são determinados, entre outros fatores pela estrutura de custos da empresa, e a riscos financeiros, determinados pela forma como a empresa financia suas operações (se com capital próprio ou de terceiros), que não serão abordado neste estudo por não ser o foco da pesquisa.

3. Materiais e Métodos

A análise, sob o ponto de vista, de que a adoção de tecnologias com foco somente nos aspectos ambientais são pontuais e meramente corretivas, indica ser preciso ter em mente, que ao propiciar desempenho econômico, essas mesmas tecnologias também são estratégicas, preventivas e socialmente sustentáveis. No decorrer deste estudo foi percebido que historicamente o fator econômico inibe a motivação para investimentos requeridos pelos aspectos ambientais. Este trabalho vem demonstra através de uma revisão bibliográfica, experimentações e estudo de caso que é possível conciliar os aspectos ambientais e econômicos promovendo grande desempenho e desenvolvimento com processo de melhoria contínua para o setor sucroalcooleiro no processo de disposição da vinhaça.

3.1. Primeiro Experimento – Utilização da tecnologia de osmose reversa para concentração de vinhaça de cana de açúcar visando redução do custo de transporte para a lavoura – Teste realizado na Usina Clealco, Clementina, São Paulo

A osmose reversa é um processo de filtração. A membrana de osmose reversa atua como uma barreira seletiva a todos os sais dissolvidos, moléculas orgânicas e inorgânicas. A rejeição típica de sais no processo vai de 95% a 99%. Comparada ao processo de troca iônica, muito utilizado para o abrandamento (remoção de dureza) de águas industriais, a osmose reversa tem a vantagem de dispensar a etapa de regeneração, um processo que interrompe a produção e ao mesmo tempo consome uma grande quantidade de soluções químicas. Como desvantagem em tratamentos convencionais, existe a geração de um fluxo de rejeito, solução com elevada concentração de sais em volumes de até 50% da alimentação total, segundo Osmose Reversa Dow Química (2011).

Para a aplicação da tecnologia de osmose reversa em vinhaça *in natura* as substâncias contidas (fluxo de rejeito) possuem o efeito fertilizante, em princípio, presentes no produto concentrado.

A aplicação do processo de osmose reversa no tratamento da vinhaça para visar concentração dos sólidos como meio de redução do custo dos transportes para distribuição adequada ambientalmente e de maneira confortável economicamente tem sido cogitada por muitos pesquisadores do setor sucroalcooleiro, como se pode ver na revisão bibliográfica deste trabalho, no entanto, não há registros de usinas e destilarias do Brasil que fazem uso deste processo de disposição de vinhaça.

Este trabalho consiste na realização de um teste de concentração de vinhaça de cana de açúcar por osmose reversa utilizando o espaço industrial da Usina Clealco e a concessão de uma máquina de osmose reversa da empresa HS Osmose Reversa.

Para realização do experimento foi utilizado o princípio de funcionamento dos sistemas de osmose reversa (Figura 24) que consiste na inversão do fenômeno do equilíbrio osmótico, com geração de gradiente de pressão para levar o solvente da fase mais concentrada para a menos concentrada através de uma membrana semipermeável.

Na figura a seguir, está demonstrado o esquema do processo de osmose reversa utilizado na realização do teste.

Figura 24 – Desenho esquemático do processo de osmose reversa
Fonte: Dow Química (2010).

Foram utilizados: equipamentos, utensílios e dispositivos das instalações do parque industrial da Usina Clealco (Figura 25). Vinhaça *in natura* coletada na saída da coluna da destilaria de álcool com temperatura de 106°C, como fluxo de alimentação a ser processado. Foram utilizadas 2 “bombonas” para transportar a vinhaça *in natura* da saída da coluna de destilação de álcool até a máquina de osmose reversa, como reservatório de alimentação da máquina utilizou-se tambores de 200 litros sendo 2 cheios até a boca e 1 até o meio totalizando 500 litros ou seja 0,50 m³, 1 balde para abastecimento dos tambores (reservatórios), 1 termômetro do laboratório da usina para monitorar a temperatura da vinhaça até a temperatura recomendada (40°C), 1 mangueira de ar para resfriamento da vinhaça, 1 caminhonete para fácil transporte e comodidade sobre a qual foi instalada a máquina de osmose reversa.

Na figura 25 a seguir, estão ilustrados os materiais e utensílios utilizados para a realização do experimento de concentração de vinhaça pelo processo de osmose reversa.

Figura 25 – Equipamento e utensílios utilizados para realizar o teste.
Fonte: Gaspar Antonio da Silva (2011).

Uma unidade de demonstração (Figura 26) da empresa HS Osmose Reversa configurada da seguinte forma: membrana semipermeável de osmose-

reversa composta de três camadas onde a primeira é um suporte de poliéster que garante a resistência mecânica do conjunto e a segunda é uma camada de polisulfona com característica de membrana de ultrafiltração com objetivo de funcionar como suporte para a fixação da terceira camada que é a membrana de osmose e uma película ultrafina de poliamida, que estabelece a barreira de rejeição dos sais, disposta na conformação em espiral (Figura 27) para agregar uma área maior em menor volume e simplicidade e instalação, onde duas folhas de membranas são unidas com uma tela em seu interior e suas laterais coladas, enroladas ao redor de um tubo e separadas externamente por mais uma tela. Uma das telas forma o canal de coleta de permeado, a outra, o canal de alimentação com fluxo tangencial. Vaso de pressão para assegurar o suporte e a proteção mecânica do elemento de membrana. Bomba de alimentação de alta pressão para injetar continuamente o fluxo de alimentação, no caso a vinhaça *in natura*, na membrana com energia suficiente para superar a pressão osmótica. Válvulas na tubulação de concentrado para controlar relação de fluxos.

Na figura 26 a seguir, está demonstrado o fluxograma da máquina de osmose reversa utilizada no experimento

Figura 26 – Fluxograma da máquina de osmose reversa.
Fonte: HS - Osmose Reversa (2011).

Na figura 27 abaixo, está em evidência, a montagem de uma membrana de osmose reversa.

Figura 27 – Membrana de osmose reversa.
Fonte: Osmose Reversa Dow Química (2011).

Foram realizados dois experimentos sendo um no período da manhã e outro à tarde: Ao circular paralelamente à membrana, parte da vinhaça *in natura* foi permeada atravessando a membrana e saindo água limpa, o restante, incluindo os sólidos remanescentes foi arrastado para fora dos filtros criando uma segunda saída de concentrado ou rejeito. Foram coletadas 3 amostras: uma de vinhaça *in natura*, 1 de água limpa (permeado) e 1 de vinhaça concentrada. Foram utilizados os equipamentos do próprio laboratório da usina para análises e caracterização das referidas amostras.

3.1.1. Resultados e Discussão

Na figura 28 a seguir, uma visão do resultado do processo, onde é possível observar as amostras que foram analisadas no próprio laboratório da Usina Clealco onde ocorreu o experimento: à esquerda está a vinhaça *in natura*, ou

seja, sem passar pelo processo de osmose reversa, ao centro está uma amostra do concentrado e a direita, uma amostra da água que resultou da operação (permeado)

Figura 28 – Vinhaça *in natura*; vinhaça concentrada e a água (permeado).
Fonte: Gaspar Antonio da Silva.

Foi cronometrado o tempo gasto para o processamento de todo volume de vinhaça *in natura* ($0,50 \text{ m}^3$), registrando 40 minutos, ou seja, 0,67 horas. Pode-se então verificar uma capacidade de $0,74 \text{ m}^3/\text{h}$, ou ainda aproximadamente 750 litros/h., demonstrando capacidade de tratamento em escala industrial. Dos 500 litros de vinhaça processada saíram 125 litros de permeado (“água limpa”) e 375 litros de rejeito (concentrado), demonstrando que é possível reduzir 22% do volume que é transportado até a lavoura para fertirrigação. Visualmente pode-se constatar uma cor mais escura do concentrado comparado à da vinhaça *in natura*, e também, uma cor bem clara do permeado próxima à cor de uma água limpa, dando motivação para possíveis usos desta água no próprio processo industrial. Nos resultados das 3 amostras coletadas (Tabela 13 e 14): vinhaça *in natura*

(testemunha); vinhaça concentrada (rejeito) e o permeado (água limpa), pode-se observar:

Tabela 15. Resultados das análises do experimento realizado no período da manhã

Amostra	Potássio (PPM)	Ph	Turbidez (NTU)	Condutividade (us/cm)	Dureza Total ppm	STD
Vinhaça <i>In Natura</i>	1.8	4.27	Não deu leitura	13160	2040	11817
Concentrada	1.9	4.20	Não deu leitura	13630	2080	12168
Limpa	0.1	4.22	44.4	1240	660	1115

Fonte: Gaspar Antonio da Silva

Tabela 16. Resultados das análises do experimento realizado no período da tarde

Amostra	Potássio (PPM)	Ph	Turbidez (NTU)	Condutividade (us/cm)	Dureza Total ppm	STD
Vinhaça <i>In Natura</i>	1.8	4.22	Não deu leitura	13170	1080	11853
Concentrada	2.2	4.18	Não deu leitura	15470	1380	13923
Limpa	0.1	4.97	24.2	775	140	678

Fonte: Gaspar Antonio da Silva

O potássio da vinhaça concentrada ficou com 22,22% acima do potássio da vinhaça *in natura* (testemunha). O potássio da água limpa (permeado) ficou próximo de zero, um resultado excelente tendo em vista que é o elemento chave para o objetivo proposto neste trabalho tanto para a solução do problema ambiental, quanto econômico. Com relação ao pH que expressa a intensidade da condição ácida, cuja acidez foi levemente intensificada para a vinhaça concentrada e acentuadamente reduzida chegando próxima da neutralidade para a água limpa (permeado) em relação à vinhaça *in natura* (testemunha). A turbidez (NTU), Característica física da água, decorrente da presença de substâncias em suspensão, não deu leitura para a vinhaça concentrada assim como para vinhaça *in natura* (testemunha) devido ao alto índice de lodo e matéria orgânica, característica da própria vinhaça, enquanto que para água limpa (permeado) os níveis foram muito baixos em relação à testemunha. A Condutividade Elétrica que também expressa grande quantidade de sólidos presentes na vinhaça

concentrada ficou um pouco acima da vinhaça *in natura* (testemunha), enquanto que na água limpa (permeado), o resultado foi de baixa condutividade, ou seja, pouco sólido em relação à testemunha. Com relação à Dureza Total, devida à presença de cátions metálicos, íons causadores de dureza que para este caso são micronutrientes que se acentuaram para vinhaça concentrada e reduziram-se abruptamente para a água limpa (percolado) em relação à vinhaça *in natura* (testemunha). Com relação à quantidade de sólidos dissolvidos (STD), houve uma pequena elevação para vinhaça concentrada em relação à vinhaça *in natura*, para água limpa apresentou um valor pequeno em relação à testemunha.

3.1.2. Conclusões do Primeiro Experimento

Ficou constado ao final do experimento que é uma alternativa promissora para desenvolvimento ambiental e econômico da disposição de vinhaça. Com algumas adaptações desta máquina de osmose reversa para tratamento de vinhaça, pode-se ter um equipamento de grande eficiência, e pode vislumbrar a reutilização da água (permeado), no próprio processo industrial. Por preservar quase totalmente os componentes da vinhaça *in natura* no concentrado, dá segurança do aproveitamento total na agricultura canavieira, os sólidos se transformam em matéria orgânica, em forma seca, ou seja, adubo sólido. Observou-se que a eficiência da máquina diminuía durante o processamento tendo como causa o acúmulo de impurezas minerais contidas no filtro. Para a implantação do sistema para uso em vinhaça, haverá a necessidade de um pré-tratamento eficiente para remoção deste material que poderá ser utilizado para enriquecimento do solo agrícola como parte de compostos orgânicos, tecnologia muito comum no setor sucroalcooleiro atualmente. A receita gerada pela economia de transporte da vinhaça com o teor de potássio elevado é evidente, porém, deve-se estudar também o custo do processo de osmose reversa em relação a outros processos de concentração.

3.2. Segundo Experimento – Plano Diretor de Disposição de Vinhaça de Cana de Açúcar – Estudo de Caso na Usina Clealco, Clementina, SP

O presente trabalho tem como desenvolvimento metodológico o estudo de caso da fertirrigação como melhor forma de aproveitamento – de forma sustentável – do insumo da cana, porque a parte dispensada do produto pode e deve ser reaproveitada para a própria lavoura, interpretado como o melhor recurso econômico, ambiental e agrônômico. O método de pesquisa utilizado é uma pesquisa bibliográfica, de caráter qualitativo e quantitativo, no qual foi trabalhada a liderança na equipe da Usina Clealco bem como a participação exclusiva do Dr. Sergio Antônio Veronez de Souza como consultor técnico do planejamento, dimensionamento hidráulico e desenvolvimento de um projeto de disposição de vinhaça.

Na figura a seguir está o mapa geral da empresa estudada, utilizado no plano PAV (Plano Anual de Aplicação de Vinhaça conforme a Norma Técnica da CETESB, P4.231 do ano de 2006, referente à safra de 2011/2012 da empresa estudada onde as áreas na cor laranja são áreas fertirrigadas com uso de transporte rodoviário através de caminhões tanque, na cor azul, as áreas fertirrigadas utilizando o transporte duto viário. Vale dizer que as áreas na cor laranja que estão fora do círculo, estão inviáveis economicamente, apesar de precisar delas para o cumprimento da referida norma da CETESB atualmente.

Figura 29 – Mapa geral da empresa estudada
 Fonte: Gaspar Antonio da Silva

Este estudo visa buscar alternativas tecnológicas que possam viabilizar 100% dessas áreas para fertirrigação, com isso promover desenvolvimento ambiental e econômico.

3.2.1. Análise de Inventário

Os trabalhos foram feitos procurando respeitar as peculiaridades da geografia local da Usina, bem como as áreas que fazem parte do estudo que foi, então, denominado Plano Diretor de ampliação do sistema de aplicação da vinhaça e águas residuárias na lavoura, procurou-se inserir comparações técnicas e econômicas e, principalmente, com a proposta de não apenas atender a norma ambiental vigente mas, também, contemplar a viabilidade do tratamento de áreas até então consideradas economicamente inatingíveis.

Na grande maioria das unidades produtoras de álcool, a água residuária é utilizada para irrigação do canavial, ou diluída com a vinhaça, quer seja nos plantios ou na cana soca. Devido ao irrelevante teor de nutrientes, não há regulamentação para sua disposição uma vez que a CETESB (2006) controla o volume através do balanço de potássio do solo agrícola. Sendo assim, ela não interfere na quantidade de hectares necessários, porém os materiais, produtos e serviços deste estudo, foram dimensionamento para levar essa água até a lavoura somente via transporte duto viário. Por essa razão, de agora em diante, aborda-se somente a vinhaça e o potássio.

São contempladas neste estudo as alternativas: 1; 2; 3 e 4, onde cada uma dela será comparada economicamente com a adubação química de origem mineral. Os resultados obtidos também permitem a comparação econômica entre as diferentes modalidades de disposição de vinhaça abordadas neste trabalho.

São claros e notórios os ganhos ambientais tanto pela redução de adubação química, quanto pela a distribuição do mesmo volume de vinhaça em mais áreas agrícolas e, ainda, por não utilizar adutoras constituídas de canais permanentes - a- céu-aberto.

Atualmente, a Usina estudada faz a distribuição da vinhaça e utiliza um sistema misto de transporte; uma parte é conduzida por adutoras fixas e móveis e a outra tem a distribuição feita com uso de caminhões. Foi estudada a adequação do sistema de distribuição da vinhaça e águas residuárias em função da ampliação da indústria, com moagem de cana de 6.000.000,00 de toneladas por safra. Foi considerado um mix de produção de 50% açúcar e 50% álcool, temos 3.000.000 de toneladas de cana destinadas para a produção de etanol. Ao contar com 274 dias de safra, e ao trabalhar com números arredondados, chega-se a 10.949 toneladas de cana processadas por dia. Sabendo que são 83,5 litros de álcool por tonelada de cana moída, calcula-se 914.242 litros de etanol produzidos por dia que multiplicado por 13 litros de vinhaça para cada litro de álcool produzido, encerra-se em 11.885.146 litros de vinhaça por dia, que dividindo por 24 horas, obtém-se 495.214 litros de vinhaça por hora, ou seja, 495 m³ de vinhaça por hora. Precisa-se levar em conta os picos de produção causados por: problemas mecânicos na parte da produção de açúcar que forçam uma maior produção de álcool e vinhaça; o clima pode em certas épocas trazer a matéria

prima com maior produção de vinhaça por litro de etanol, etc. Por essas razões, achou-se por bem considerar uma produção máxima de 560 m³ de vinhaça por hora, pois toda vinhaça produzida precisa ser conduzida antes de entrar em processamento microbiano, isso evita complicações ambientais, principalmente o odor desagradável.

A quantificação do total necessário de áreas de fertirrigação para assegurar conformidade ambiental perante a legislação vigente, levou-se em conta a quantidade de potássio gerada, a partir da vinhaça, ou seja 3,0 kg por m³. Vale salientar que estes valores vêm da literatura e também de dados históricos da empresa estudada.

Prosseguindo com os cálculos:

- Vazão de vinhaça: 560 m/hora.
- Dias de safra: 274
- Total de vinhaça: 3.682.560 m³ por safra
- Teor de K₂O na vinhaça: 3,0 Kg/m³
- Total de K₂O: 11.047.680 kg por safra

Pela dosagem média de 250 kg e k₂O por hectare, serão necessárias 44.190,72 ha de áreas de fertirrigação que pela decisão de trabalhar com números inteiros contamos 44.190 ha

Ao seguir a tendência dos novos projetos de distribuição dos efluentes líquidos na lavoura canavieira, a distribuição dos mesmos será feita com a utilização de tubos móveis de alumínio. Neste tipo de *layout*, não serão utilizados canais permanentes em terra para condução de vinhaça e conseqüentemente, não existirão canais a serem revestidos nas fases de ampliação do projeto, no qual foi considerada uma dose de aplicação de vinhaça de 85 m³/há que é a média da necessidade de potássio da área de cana contemplada neste estudo. Vale dizer que o nitrogênio é contabilizado por ser significativo em volume, porém, a quantidade contida nos 85 m³ de vinhaça é insuficiente e necessita neste caso ser complementado por outras fontes.

Assim foram elaborados os estudos das quatro alternativas.

3.2.1.1. Alternativa 1

Essa alternativa pretende ampliar a área fertirrigada de forma que: As áreas em cor amarela, serão fertirrigadas com vinhaça utilizando transporte duto viário; as áreas em cor verde, serão fertirrigadas com vinhaça utilizando transporte rodoviário (caminhões tanque).

Figura 30 – Mapa conforme alternativa 1.
Fonte: Gaspar Antonio da Silva.

A adutora de recalque AR-1, existente, deve ser substituída, pois a mesma não seria capaz de atender às novas vazões, tanto em função do diâmetro, quanto das classes de pressão. Neste caso, a nova adutora deve ter o diâmetro de 400 mm.

As duas estações de carregamento de caminhões existentes na Usina permanecem em uso. Nesta situação, a distância média ponderada de transporte

nas áreas internas da usina, abrangidas por caminhões é de 25 km, e serão necessários 17 caminhões para fazer a distribuição da vinhaça na lavoura.

Foi considerada a utilização do sistema de tubos móveis de engate rápido (Caminhão + Extensão) e também foram consideradas as seguintes áreas e respectiva dosagem de potássio (K_2O):

- Sistema Dutoviário: 250 Kg de K_2O /ha x 7300 ha = 1.825.000 Kg de K_2O
- Caminhões: 250 Kg de K_2O /ha x 36.890 ha = 9.222.500 Kg de K_2O
- Total Consumido: 11.047.500 Kg de K_2O (potássio)

A tabela 16 a seguir mostra a relação de materiais e serviços de montagem, máquinas e equipamentos necessários para execução desta alternativa, bem como: especificação; unidade, quantidade; valor unitário e valor total em reais. Esses valores foram obtidos através do dimensionamento hidráulico e a partir do perfil elaborado tendo como base o levantamento topográfico planialtimétrico da área abrangida por este estudo, e os custos dos materiais a partir de orçamentos junto às empresas dos respectivos seguimentos.

Tabela 17 - Alternativa 1

Itens de Investimento – Tubulação				
Descrição	Unid.	Qtd.	Valor Unit. (R\$)	Valor Total (R\$)
Tubos de RPVC PBA DN = 400 mm Classe 14	M	6734.0	167,00	1.124.578,00
Tubos de RPVC PBA DN = 400 mm Classe 12	M	6734.0	147,00	989.898,00
Tubos de RPVC PBA DN = 400 mm Classe 10	M	6734.0	130,00	875.420,00
tubos de Engate Rápido de Alumínio DN = 8"	M	12000.0	86,00	1.032.000,00
Carreta de Transporte de Tubos	Um	4	25.000,00	100.000,00
Conjunto de Assessórios	Um	2	120.000,00	240.000,00
Subtotal				4.361.896,00
Itens de Investimento – Outros				
Descrição	Unid.	Qtd	Valor Unit. (R\$)	Valor Total (R\$)
Montagem de Adutora	M	20202	18,00	363.636,00
Disp. De proteção de Adutora – Vinhaça	Cj	1	200.000,00	200.000,00
Conjunto Moto Bomba – FIXA	Cj	3	70.000,00	210.000,00
Conjunto Moto Bomba - Móvel (240m ³ /hora)	Cj	3	100.000,00	300.000,00
Conjunto Moto Bomba - Móvel (120m ³ /hora)	Um	3	65.000,00	195.000,00
Torres de Resfriamento de Vinhaça	Um	3	70.000,00	210.000,00
Válvulas e Peças	Um	3	150.000,00	300.000,00
Travessa de Rodovia por Adutora de Vinhaça	Cj	1	150.000,00	150.000,00
Estação de Carregamento de Caminhões	Um	1	150.000,00	150.000,00
Depósitos de Vinhaça com Revestimento (Campo)	Um	1	50.000,00	50.000,00
Subtotal				1.828.636,00

Fonte: Gaspar Antonio da Silva.

Tabela 17 - Alternativa 1 (Continuação).

Itens de Investimento – Caminhões				
Descrição	Unid	Qtd	Valor Unit. (R\$)	Valor Total (R\$)
Caminhão para transporte de equipamentos	Cj	1	200.000,00	200.000,00
Caminhão para transporte de vinhaça	Cj	17	370.000,00	6.290.000,00
Conjunto semi-reboque 60m ³	Cj	17	290.000,00	4.930.000,00
				11.420.000,00
Itens de investimento - Autopropelido e Trator				
Descrição	Unid	Qtd	Valor Unit. (R\$)	Valor Total (R\$)
Autopropelido (Sem Bomba)	Cj	8	69.000,00	552.000,00
Trator para reboque do Rolão	Cj	4	118.000,00	472.000,00
Subtotal				1.024.000,00
Eventuais (5%)				931.726,60
TOTAL GERAL				19.566.258,60

Fonte: Gaspar Antonio da Silva.

3.2.1.2. Alternativa 2

Essa alternativa pretende ampliar a área fertirrigada de forma que: As áreas em cor amarela, serão fertirrigadas com vinhaça com transporte dutoviário, as áreas em cor verde, serão fertirrigadas com vinhaça com transporte rodoviário.

Obs: Para as alternativas 3 e 4 em seguida, é o mesmo mapa com a mesma configuração de áreas, porém foi contemplado uma concentradora de vinhaça.

Figura 31 – Mapa conforme estudo das alternativas 2;3 e 4.
Fonte: Gaspar Antonio da Silva.

Para a alternativa 2 foi considerada, manutenção e ampliação da adutora de recalque AR1 existente, pois a mesma não seria capaz de atender as áreas a ser abrangidas via transporte duto viário. E também foi considerada a implantação da adutora de recalque AR2. Neste caso, as duas novas adutoras deverão ter o diâmetro de 350 m.

Foram consideradas as duas estações de carregamento de caminhões existentes na Usina e mais uma terceira estação deve ser implantada.

Tendo em vista que nesta situação, a distância média ponderada de transporte nas áreas da Usina, abrangidas por caminhões será de 20 Km, serão necessários 13 caminhões pra fazer a distribuição da vinhaça na lavoura.

Foi considerada a utilização do sistema de tubos moveis de engate rápido (Caminhão + Extensão).

Foram consideradas as seguintes áreas e respectivas dosagens de potássio:

- Sistema Duto viário: 250 Kg de K_2O /há x 12.000 ha. = 3000.000 Kg.
- Caminhões: 250 Kg de K_2O /ha x 32.190 ha = 8.047.500 Kg.
- Total Consumido: 11.047.500 Kg de potássio (K_2O).

A tabela 16 a seguir mostra: a relação de materiais, serviços de montagem, máquinas e equipamentos necessários para execução da alternativa 2, bem como: especificação; unidade, quantidade; valor unitário e valor total em reais. Esses valores foram obtidos através do dimensionamento hidráulico a partir do perfil elaborado tendo como base o levantamento topográfico planialtimétrico da área abrangida por este estudo, e os custos dos materiais a partir de orçamentos junto às empresas dos respectivos seguimentos.

Tabela 18 - Alternativa 2.

Itens de Investimento – Tubulação				
Descrição	Unid	Qtd	Valor Unit. (R\$)	Valor Total (R\$)
Tubos de RPVC PBA DN = 350 mm Classe 14	M	14234.0	130,00	1.850.420,00
Tubos de RPVC PBA DN = 350 mm Classe 12	M	14234.0	126,00	1.793.484,00
Tubos de RPVC PBA DN = 350 mm Classe 10	M	14234.0	116,00	1.651.144,00
tubos de Engate Rápido de Alumínio DN = 8"	M	12000.0	86,00	1.032.000,00
Carreta de Transporte de Tubos	Um	4	25.000,00	100.000,00
Conjunto de Assessórios	Um	2	12.000,00	240.000,00
Subtotal				6.667.048,00
Itens de Investimento – Outros				
Descrição	Unid.	Qtd	Valor Unit. (R\$)	Valor Total (R\$)
Montagem de Adutora	M	42702	18,00	768.636,00
Disp. De proteção de Adutora – Vinhaça	Cj	2	200.000,00	400.000,00
Conjunto Moto Bomba – FIXA	Cj	3	70.000,00	210.000,00
Conjunto Moto Bomba - Móvel (240m3/hora)	Um	3	100.000,00	300.000,00
Conjunto Moto Bomba - Móvel (120m3/hora)	Um	3	65.000,00	195.000,00
Torres de Resfriamento de Vinhaça	Um	3	70.000,00	210.000,00
Válvulas e Peças	Cj	2	150.000,00	300.000,00
Travessa de Rodovia por Adutora de Vinhaça	Um	3	150.000,00	450.000,00
Estação de Carregamento de Caminhões	Um	1	150.000,00	150.000,00
Depósitos de Vinhaça com Revestimento (Campo)	Um	3	50.000,00	150.000,00
Subtotal				3.133.636,00

Fonte: Gaspar Antonio da Silva.

Tabela 18 - Alternativa 2. (Continuação)

Itens de Investimento – Caminhões				
Descrição	Unid.	Qtd	Valor Unit. (R\$)	Valor Total (R\$)
Caminhão para transporte de equipamentos	Cj	1	200.000,00	200,00
Caminhão para transporte de vinhaça	Cj	13	370.000,00	4.810.000,00
Conjunto semi-reboque 60m ³	Cj	13	290.000,00	3.770.000,00
				8.780.000,00
Itens de investimento - Autopropelido e Trator				
Descrição	Unid.	Qtd	Valor Unit. (R\$)	Valor Total (R\$)
Autopropelido (Sem Bomba)	Cj	8	69.000,00	552.000,00
Trator para reboque do Rolão	Cj	4	118.000,00	472.000,00
Subtotal				1.024.000,00
Eventuais (5%)				980.234,20
TOTAL GERAL				20.584.918,20

Fonte: Gaspar Antonio da Silva

3.2.1.3. Alternativa 3

Para a alternativa 3, foi mantida a adutora de recalque AR1, existente, e considerou a implantação da adutora de recalque AR2 que, neste, caso deverá ter o diâmetro de 350 mm. Neste caso, as duas novas adutoras deverão ter o diâmetro de 350 mm.

Serão utilizadas as duas estações de carregamento existente na usina e mais uma terceira estação deve ser implantada.

Foi avaliada a utilização de uma concentradora de vinhaça, com capacidade de 200m³/hora. Essa concentradora vai diminuir a quantidade de vinhaça in natura. Nas áreas de vinhaça concentrada, como a aplicação será feita diretamente sobre a linha de cana, a dose de potássio aplicada será de 150 Kg de K₂O. Assim, caso a opção seja pela concentradora, o total de área de fertirrigação terá que ser aumentado, conforme mostra a seguir.

Nesta situação, é possível ser avaliado que a distância média ponderada de transporte nas áreas da Usina, abrangidas por caminhões será de 20 Km. Serão necessários 8 caminhões para fazer a distribuição da vinhaça na lavoura. Também serão necessários mais dois caminhões para o transporte da vinhaça concentrada até o ponto de sua aplicação; assim, nesta alternativa, serão necessários 10 caminhões. Foi considerada a utilização do sistema de tubos moveis de engate rápido (Caminhão + Extensão).

Foram levadas em consideração: as seguintes áreas e respectivas doses:

- Sistema duto viário: $250 \text{ kg/ha} \times 12.000 = 3.000.000 \text{ kg}$.
- Caminhões Vinhaça *in natura*: $250 \text{ kg/ha} \times 16.000 = 4.000.000 \text{ kg}$.
- Caminhões Vinhaça Concentrada; $150 \text{ kg/ha} \times 26.985 = 4.047.750 \text{ kg}$.
- Total de Consumo: $11.047.750 \text{ m}^3$.

A tabela 18 a seguir mostra: a relação de materiais, serviços de montagem, máquinas e equipamentos necessários para execução da alternativa 3, bem como: especificação; unidade, quantidade; valor unitário e valor total em reais. Esses valores foram obtidos através do dimensionamento hidráulico a partir do perfil elaborado tendo como base o levantamento topográfico planialtimétrico da área abrangida por este estudo, e os custos dos materiais a partir de orçamentos junto às empresas dos respectivos seguimentos.

Tabela 19 - Alternativa 3

Itens de Investimento – Tubulação				
Descrição	Unid.	Quant.	Valor Unit. (R\$)	Valor Total (R\$)
Tubos de RPVC PBA DN = 350 mm Classe 14	m	7500.0	130,00	975.000,00
Tubos de RPVC PBA DN = 350 mm Classe 12	m	7500.0	126,00	945.000,00
Tubos de RPVC PBA DN = 350 mm Classe 10	m	7500.0	116,00	870.000,00
tubos de Engate Rápido de Alumínio DN = 8"	m	6000.0	86,00	516.000,00
Carreta de Transporte de Tubos	un	2	25.000,00	50.000,00
Conjunto de Assessorios	un	1	120.000,00	120.000,00
Subtotal				3.476.000,00
Itens de Investimento – Outros				
Descrição	Unid.	Quant.	Valor Unit. (R\$)	Valor Total (R\$)
Montagem de Adutora	m	22500	18,00	405.000,00
Disp. De proteção de Adutora – Vinhaça	cj	1	200.000,00	200.000,00
Conjunto Moto Bomba – FIXA	cj	3	70.000,00	210.000,00
Conjunto Moto Bomba - Móvel (240m ³ /hora)	un	2	100.000,00	200.000,00
Conjunto Moto Bomba - Móvel (120m ³ /hora)	un	3	65.000,00	195.000,00
Torres de Resfriamento de Vinhaça	un	2	70.000,00	210.000,00
Válvulas e Peças	cj	1	150.000,00	150.000,00
Travessa de Rodovia por Adutora de Vinhaça	un	2	150.000,00	300.000,00
Estação de Carregamento de Caminhões	un	1	150.000,00	150.000,00
Depósitos de Vinhaça com Revestimento (Campo)	un	3	50.000,00	150.000,00
Subtotal				2.170.000,00
Itens de Investimento – Caminhões				
Descrição	Unid.	Quant.	Valor Unit. (R\$)	Valor Total (R\$)
Caminhão para transporte de equipamentos	cj	1	200.000,00	200.000,00
Caminhão aplicador de vinhaça concentrada	cj	3	180.000,00	540.000,00
Caminhão para transporte de vinhaça	cj	10	370.000,00	3.700.000,00
Conjunto semi-reboque 60m ³	cj	10	290.000,00	2.900.000,00
Subtotal				7.340.000,00

Fonte: Gaspar Antonio da Silva.

Tabela 19 - Alternativa 3 (continuação.)

Itens de investimento – Concentradora de Vinhaça				
Descrição	Unid.	Quant.	Valor Unit. (R\$)	Valor Total (R\$)
Autopropelido (Sem Bomba)	cj	1	12.000.000,00	12.000.000,00
Subtotal				12.000.000,00
Itens de Investimento – Autopropelido e Trator				
Descrição	Unid.	Quant.	Valor Unit. (R\$)	Valor Total (R\$)
Autopropelido (Sem Bomba)	cj	6	69.000,00	414.000,00
Trator para reboque do Rolão	cj	3	118.000,00	354.000,00
Subtotal				768.000,00
Eventuais (5%)				1.287.700,00
TOTAL GERAL				27.041.700,00

Fonte: Gaspar Antonio da Silva.

3.2.1.4. Alternativa 4

Na alternativa 4 foram feitas as mesmas considerações técnicas da alternativa 3. O custo do vapor a ser despendido na concentração da vinhaça não foi considerado, opção do corpo técnico da indústria, pelo fato de o mesmo estar disponível, porém sem programação para ser usado na cogeração ou em qualquer outro processo industrial, portanto, não teria valor econômico. Vale salienta que foi respeitada esta proposta, porém do ponto de vista técnico e econômico não existe vapor sem custo.

4. Resultados e Discussão

4.1. Análise das Alternativas Propostas para a Empresa Estudada

Os resultados obtidos no estudo das alternativas propostas estão dispostos em tabelas e gráficos e foi traçado um comparativo dos custos totais das modalidades de disposição de vinhaça. Na tabela 19, o demonstrativo das despesas por hectare fertirrigado por ano com custos fixos, custos variáveis e custo total.

Tabela 20 – demonstrativo das despesas das alternativas propostas

Investimento Total (R\$)	Tipo de Transporte	Áreas de Fertirrigação	Custo Fixo Misto (R\$/ha/ano)	Custo Variável (R\$/ha/ano)	Custo Total (R\$/ano)
ALTERNATIVA 1					
19.586.258,60	Dutoviário	7.300		278,19	2.470.466,00
	Caminhões				
	Natura	36.890	60,23	201,00	9.636.774,70
TOTAL		44.190			12.107.240,70
CUSTO POR HECTARE					R\$ 273,98
ALTERNATIVA 2					
20.584.918,20	Dutoviário	12.000		190,73	3.032.640,00
	Caminhões				
	Natura	32.190	61,69	170,48	7.479.990,30
TOTAL		44.190,00			10.512.630,30
CUSTO POR HECTARE					R\$ 237,90

Fonte: Gaspar Antonio da Silva

Tabela 20 – demonstrativo das despesas das alternativas propostas (continuação)

ALTERNATIVA 3					
Investimento Total (R\$)	Tipo de Transporte	Áreas de Fertirrigação	Custo Fixo Misto (R\$/ha/ano)	Custo Variável (R\$/ha/ano)	Custo Total (R\$/ano)
	Dutoviário	12.000		190,73	3.277.320,00
	Caminhões				
	Caminhões				
	Concentrada com custo adicional de vapor.	26.985		269,72	9.501.418,50
TOTAL					16.824.498,50
CUSTO POR HECTARE					R\$ 305,98
ALTERNATIVA 4					
	Dutoviário	12.000		190,73	3.277.320,00
	Caminhões				
27.041.700,00	Natura	16.000	82,38	170,48	4.045.760,00
	Caminhões				
	Concentrada				
	Sem custo adicional de vapor	26.985		69,27	4.092.275,25
TOTAL					11.415.355,25
CUSTO POR HECTARE					R\$ 207,61

Fonte: Gaspar Antonio da Silva

Pode ser observado que: a alternativa 2 apresentou o menor custo total, apresentou um investimento superior de aproximadamente R\$ 1.000.000,00 em relação à alternativa 1, porém, apresentou custos variáveis menores, em função da maior área do sistema duto viários, e da conseqüente menor distância de transporte para as áreas de caminhões.

As alternativas 3 e 4, apresentaram o maior investimento, no entanto abrangem maior área de fertirrigação, pois ao ser aplicada a vinhaça concentrada diretamente na linha da cana foi possível considerar um melhor aproveitamento e possibilitou dosagem menor. Vale observar que a Alternativa 3 apresenta alto

custo variável nas áreas de vinhaça concentrada, pelo fato de neste cálculo, ter sido considerado o custo do vapor.

Segundo informações de Usinas, foi levado em consideração: um consumo de 34 toneladas de vapor/hora, para concentrar 200 m³/hora de vinhaça e que cada tonelada de vapor cogeraria 0,1613 MW. Em 274 dias de safra, deixaria de cogerar: 36.064,10 MW/safra ao custo de R\$ 150,00/MW. Sendo assim, o custo total do vapor na safra é de R\$ 5.409.614,88.

O restante do custo variável corresponde ao custo do transporte e da aplicação da vinhaça concentrada.

Na Tabela 20, está apresentado os benefícios financeiros em reais por hectare por ano das receitas que foram passíveis de contabilização: o adicional de cana obtido pela fertirrigação é de 4 t/ha e o preço médio da tonelada de cana é de R\$ 29,50/t, por conta da reposição do déficit hídrico; a economia de adubo e o benefício de não ser necessário fazer cultivo mecânico nessas áreas, o custo do cultivo (dados fornecidos por usinas) é de R\$ 90,00 por hectare.

Tabela 21 - Comparação das alternativas – Benefícios da Fertirrigação

Investimento Total (R\$)	Tipo de Transporte	Áreas de Fertirrigação	Adicional de cana Misto (R\$/ha/ano)	Economia de Adubo (R\$/ha/ano)	Economia de Cultivo (R\$/ha/ano)	Custo Total (R\$/ano)
ALTERNATIVA 1						
19.586.258,60	Dutoviário	7.300	118,00	214,00		2.423.600,00
	Caminhões					
	Natura	36.890	118,00	214,00		12.247.480,00
TOTAL		44.190				14.671.080,00
CUSTO POR HECTARE						R\$ 332,00
ALTERNATIVA 2						
20.584.918,20	Dutoviário	12.000	118,00	214,00		3.964.000,00
	Caminhões					
	Natura	32.190	118,00	214,00		10.687.080,00
TOTAL		44.190,00				14.671.080,00
CUSTO POR HECTARE						R\$ 332,00
ALTERNATIVA 3						
27.041.700,00	Dutoviário	12.000	118,00	214,00		3.984.000,00
	Caminhões					
	Natura	16.000	118,00	214,00		5.312.000,00
	Caminhões					
	Concentrada	26.985	118,00	214,00	90,00	11.387.670,00
TOTAL		54.985				20.683.670,00
CUSTO POR HECTARE						R\$ 376,17
ALTERNATIVA 4						
27.041.700,00	Dutoviário	12.000	118,00	214,00		3.984.000,00
	Caminhões					
	Natura	16.000	118,00	214,00		5.312.000,00
	Caminhões					
	Concentrada	26.985	118,00	214,00	90,00	11.387.670,00
TOTAL		54.985				20.683.670,00
CUSTO POR HECTARE						R\$ 376,17

Fonte: Gaspar Antonio da Silva

Vale destacar que a adoção da vinhaça concentrada somente deverá ser feita após a avaliação da disponibilidade técnica da sua implantação na usina, cuja maior preocupação é a disponibilidade de vapor, pois, como será visto a seguir, o valor econômico do vapor será de fundamental importância na decisão de usar ou não a concentração de vinhaça.

Na sequência na Tabela 21 é apresentado um resumo dos custos para cada uma das alternativas estudadas: custo total (despesa por ha por ano); o benefício econômico total (receita por ha pro ano); o resultado (ganho por ha por ano) e tempo de amortização do investimento (número de anos para que tenha o retorno financeiro do projeto).

Tabela 22 - Resumo das Alternativas do Projeto

Alternativa de Expansão	Investimento Total (R\$)	Custo Total (R\$/ha/ano)	Benefício Total (R\$/ha/ano)	Resultado (R\$/ha/ano)
ALTERNATIVA 1	19.566.258,60	273,98	332,00	58,02 - 12 anos
ALTERNATIVA 2	20.584.918,20	237,90	332,00	94,10 - 7 anos
ALTERNATIVA 3	27.041.700,00	305,98	376,17	70,16 - 10 anos
ALTERNATIVA 4	27.041.700,00	207,61	376,17	168,56 - 4 anos

Fonte: Gaspar Antonio da Silva.

Através do estudo realizado foi possível constatar que a viabilidade econômica da concentração da vinhaça está diretamente ligada ao custo do vapor. Se o seu custo for considerado, a Alternativa 3 apresenta resultado inviável comparado ao da Alternativa 2. Neste caso, a melhor alternativa seria a alternativa 2, com retorno médio de R\$ 94,10/ha/ano; e o retorno financeiro do projeto seria de 7 anos. Pela análise da área total do projeto de 44.190 ha, o benefício anual da fertirrigação será de R\$ 4.158.279.

Caso não seja considerado o custo do vapor, a Alternativa 4 apresenta resultado bem superior ao da alternativa 2. Neste caso, a concentração de

vinhaça estudada é alternativa viável. A alternativa 4, terá um retorno médio de R\$ 168,56/ha/ano e o retorno financeiro do projeto será de 4 anos. Considerando a área total do projeto de 54.985 ha, o benefício anual da fertirrigação seria de R\$ 9.268.271,60.

Os resultados econômicos, somente seriam válidos se a distância média das áreas de aplicação de vinhaça *in natura* for mantida em 20 km. Vale destacar que deverão ser considerados 20km a partir das estações de carregamento, como foram consideradas neste estudo. Caso estas distâncias forem alteradas e ficarem diferentes de 20km, será necessária uma frota maior ou menor que impactaria os custos fixos e também nos custos variáveis.

Independente da adoção da concentração de vinhaça, a implantação das adutoras de recalque AR1 e AR2, seriam fundamentais, pois todas as análises de distâncias foram feitas com as duas adutoras implantadas.

Estas adutoras também seriam fundamentais no manejo do sistema por permitir com manobras de válvulas a aplicação de águas residuárias e enchimento dos caminhões apenas com vinhaça pura.

Vale destacar que as análises acima são válidas para o caso de áreas próprias e arrendamentos, nas quais todo o benefício da economia de adubo e adicional de cana pertence à Usina.

4.2. Análise específica para cada modalidade de disposição de vinhaça estudada

Nos gráficos 4 e 5 a seguir, estão demonstrados a distância limite para as modalidades de disposição de vinhaça estudadas. A referida distância limite, é o ponto onde as linhas da fertirrigação se cruzam com a linha da adubação química mineral convencional, neste ponto o custo se equipara. Para as áreas mais distantes deste ponto a fertirrigação é mais cara que a adubação convencional, quanto maior a distância maior é a perda econômica. Para as distâncias menores,

a fertirrigação é mais viável a partir do referido ponto, quanto menor a distância maior o ganho econômico.

No gráfico 4 a seguir, está apresentado um comparativo de custos da fertirrigação com vinhaça *in natura* e respectiva complementação com nitrogênio e ganhos adicionais em função da distância para o sistema caminhão extensão, versus, o custo da adubação química convencional.

Gráfico 4 - Comparação de Custos.
Fonte: Gaspar Antonio da Silva.

No gráfico 5 a seguir, está apresentado um comparativo de custos entre: da fertirrigação com vinhaça *in natura*; vinhaça concentrada com o custo do vapor e vinhaça concentrada sem o custo do vapor e respectiva complementação com nitrogênio e ganhos adicionais em função da distância para o sistema caminhão extensão, versus, o custo da adubação química convencional.

Gráfico 5 - Comparação de Custos

Fonte: Gaspar Antonio da Silva

5. Conclusões do Segundo Experimento

Uma das formas mais integradas, completas e eficazes para gestão de disposição de resíduos industriais é propiciar seu reaproveitamento em benefício da própria cadeia de processo produtivo, e com isso sempre buscar a sustentabilidade.

A revisão bibliográfica deixa claro que não faltam alternativas tecnológicas para uma disposição da vinhaça ambientalmente adequada, e leva a crer que falta motivação econômica para as empresas. Este trabalho mostrou que o desenvolvimento ambiental e o econômico são complementares entre si. Neste contexto, a disposição da vinhaça colabora com índices-chaves e críticos de desempenho o que alerta para que os conceitos econômicos das usinas e destilarias sejam estratégicos e preventivos.

Os relatos mostraram que – em seu desenvolvimento – as citações elencadas convergiram para resultados econômicos. Podemos observar que a evolução da legislação ambiental com início na década antecedente à de 40, tem sido gradativa; embora apenas a norma da CETESB (2006) tenha trabalhado o balanço do potássio do solo agrícola, norma que, apesar de admitir o máximo que o solo suporta e não o que a planta necessita, despertou incentivos para que todas as tecnologias conhecidas, sejam revisadas, e as novas invenções serão bem vindas na busca da sustentabilidade.

Pode ser observado que a abrangência de maior área: reduz a distribuição de produtos químicos; reduz os riscos e elimina problemas ambientais considerados crônicos na prática de disposição de vinhaça, proporciona ganhos de rendimento da cana de açúcar e minimiza os problemas que os excessos de nutrientes trazem ao processo industrial.

A revisão bibliográfica mostra claramente que o potássio da vinhaça produzida pelas usinas e destilarias de álcool do Brasil pode substituir todo o potássio de origem mineral e, ainda, boa parte do Nitrogênio e Fósforo, que são os dois outros nutrientes indispensáveis para a produção da cana de açúcar. Este trabalho mostrou que isso pode ser viável economicamente.

O trabalho mostrou a existência de grande espaço a ser conquistado, com vasto campo a ser estudado e pesquisado na inserção de novas tecnologias, na adequação das tecnologias existentes em função do espaço geográfico em questão.

A disposição de vinhaça mal administrada pode provocar danos ambientais, em contraponto, o seu bom uso viabiliza grande potencial de desempenho com várias perspectivas a serem observadas através de tecnologias de concentração de vinhaça.

Existe uma proverbial corrida de pesquisadores em busca de tecnologias e usos da vinhaça no sentido de aproveitamento dos potenciais energéticos que poderão atingir o equilíbrio das despesas de adequação ambiental. Até aqui, os estudos tecnológicos a respeito da vinhaça contribuíram muito para buscar soluções para a sua disposição e de tal forma que, até hoje, satisfazem as obrigações ambientais de transporte e de distribuição.

A distância dos locais de produção de vinhaça tornam inviáveis o seu transporte *in natura* para a disposição final, motivo pelo qual foram feitos estudos para sua concentração.

Vinhaça *in natura* é indispensável para salvamento de plantio que correm riscos de perda por ausência de umidade, e também para evitar perdas de produtividade da cana soca dando oportunidade para operações de cultivo em épocas de restrições pluviométricas.

Quanto ao modo de transportar a vinhaça da unidade produtora até a área a ser distribuída para deposição, o emprego de redes de adutoras constitui um circuito hidráulico é mais viável que os caminhões tanque, porém em muitos casos, os aspectos geográficos, culturais e ambientais podem limitar o quadro das opções.

Em usinas e destilarias com áreas muito distantes e com indisponibilidade de vapor na planta industrial, não é descartada a tecnologia de secagem e combustão de vinhaça como uma alternativa de disposição de vinhaça.

O estudo nos mostra que, não existe tecnologia melhor; todas são passíveis de investigação e complementação com outras. A capacidade

investigativa do corpo técnico das usinas e destilarias e universidades é que pode fazer a diferença.

6. Sugestões para Trabalhos Futuros

- Desenvolver e implementar sistemas de tratamento e de disposição de vinhaça de cana-de-açúcar que possam propiciar desenvolvimento ambiental e econômico para as usinas de açúcar e destilarias de álcool, tais como: bio-digestão, concentração por evaporação, concentração por osmose reversa, irrigação ou fertirrigação por gotejamento buscando os seguintes resultados:

- Aproveitamento do gás metano para uso como combustível de máquinas e equipamentos canavieiros.
- Produção de energia elétrica.
- Separação do lodo para reutilização em compostos orgânicos.
- Redução do odor desagradável.
- Purificação do efluente propiciando melhor escoamento hidráulico para outros processos.
- Redução de vinhaça por litro de etanol produzido.
- Economia de transporte do potássio até o campo.
- Reutilização da água no processo industrial.
- Reutilização da água na irrigação da lavoura canavieira.

— Desenvolver e implementar sistemas de descarga de vinhaça transportada por caminhões tanque por uma única saída visando ganho do volume transportado por unidade de tempo trabalhado, menor desgaste mecânico e maior rendimento operacional.

— Desenvolver produtos orgânicos que minimizem a proliferação de insetos visando principalmente combater a mosca do estábulo.

— Desenvolver sistemas que proporcionem melhorias da uniformidade de distribuição de vinhaça na lavoura visando garantia da qualidade da nutrição na substituição dos produtos minerais.

- Desenvolver tubos que possam surtir o mesmo efeito dos canais por gravidade a céu aberto, substituindo-os por plantação de cana visando: aumento de produtividade do canavial, melhor controle de erosão, menor consumo de produtos químicos utilizados no combate às ervas daninhas.

REFERÊNCIAS

- ABNT. Resíduos sólidos: classificação; NBR 10.004. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1987. '63 p.
- ABREU, T.A.S.; PAREJA, R.R Aproveitamento da vinhaça na aspersão da cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 10., Campinas, 1980. Anais. Campinas: Sbea, 1980. v.1, p. 42-49.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. (2009). *Manual de conservação e reúso de água na agroindústria sucroenergética*. Brasília: Agência Nacional de Águas; Federação das Indústrias do Estado de São Paulo; União da Indústria da Cana-de-açúcar; Centro de Tecnologia Canavieira.
- AGUIAR, M.A. Incorporação de vinhaça ao solo: efeitos sobre as características de resistência do material obtido. Campinas, 1992. 74p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Economia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas.
- AGUIRRE JR., J.M.; ARRUDA, H.V.; RODRIGUES FILHO, A.J. A preliminary note on the field experimentation of the sugar cane section, Instituto Agrônomo, São Paulo, Brasil. In: INTERNACIONAL SOCIETY OF SUGARCANE TECHNOLOGIST, 6., 1939, Louisiana. *Proceedings...* [S.l.:s.n]. 1939, p.672-679.
- AGUIJARO, R. O uso de vinhaça na Usina Tamoio como fertilizante. *Saccharum*, n 4, p.23-27, 1979.
- ALBUQUERQUE, G.A.C.; MARINHO, M.L. Efeito cumulativo de doses de vinhaça e adubação mineral sobre socas de cana-de-açúcar em Alagoas. Piracicaba: Planalsucar, 1984. p. 11-18. (Caderno 2)
- ALCOOLEIROS DO, BRASIL CONGRESS, Águas de São Pedra, 1993. *Proceedings*. Águas de São Pedro, 1993. p.205-211.
- ALMEIDA, J.R. O problema da vinhaça. *Brasil Açucareiro*, v.46, n.2, p. 72-77, 1955.
- ALMEIDA, J.R.; CAMARGO, R. Influência da vinhaça sobre a reação do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA SOLO, 7., Piracicaba, 1959. Anais. Rio de Janeiro: CBCS, Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo, 1971. p. 66-67.
- ALMEIDA, J.R.; RANZANI, G.; VALSECHI, O. La vinasse dans agriculture. Piracicaba: USP, ESALQ, Instituto Zimotéc. 1950. 21p. (Boletim1)
- _____. O. L'emploi de l'vinasse dans l' agriculture. Piracicaba: USP, ESALQ, 1952. p.r 70. (Boletim, 11)
- ALMEIDA, L. Vinhaça: fonte de proteína. *Brasil Açucareiro*, v.76,n.5, p.23-24, 1970.
- ALVAREZ, R.; ARRUDA, H.V.; WUTKE, A.P.C. (1965). Adubação de cana-de-açúcar. X - Experiência com diversos fosfatos (1959-60). *Bragantia*, v.24, p.1-8.
- ALVES, M.F. Vinhoto: fonte alternativa de biomassa forrageira. *STAB*, v.5, n.3, p.43-48, 1987.
- ASHRAE: fundamentals handbook. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 1997. chapter 17, p.17.6.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10.004: Resíduos sólidos: classificação*. Rio de Janeiro: ABNT. 1987.

AYALA, I.A.C. et al. *Manual de fertilización de la caña de azúcar en Cuba*. Cuba: Publinica, 2002.

BABCOK E WILCOX. *Steam: its generation and use*. New York: The Babcock & Wilcox Company, 1978.

BAJPAI, P.D.; DUA, S.P. Studies on the utility of distillery effluent (spent wash) for its manurial value and its effect on soil properties. *Indian Sugar*, v.21, n.10, p.687-689, 1972.

BAPTISTELA, J.B.; SCALOPPI, E.J. Aspectos técnicos e econômicos da aplicação de efluentes por aspersão em cana-de-açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 7. *Anais*. [S.l.:s.n.]. Brasília, 1986

BAYMA, C. Tecnologia do Açúcar: 11. Cozimento, cristalização e turbinação, o produto, mel final e sua utilização, resíduos. Rio de Janeiro: Instituto do Açúcar e do Alcool, 1974. p. 262-268 (Coleção Canavieira, 15): A calda ou vinhaça.

BITTENCOURT, V.C. et al. Composição da vinhaça. *Brasil Açucareiro*, 1978.v.92, n.4, p.25-36.

BRAILE, P.M.; CAVALCANTI, J.E.W.A *Manual de tratamento de águas residuárias industriais*. São Paulo: CETESB, 1979. cap.9, p. 175-218: Usinas de açúcar e álcool.

BRIECER, F. Observações sobre a distribuição de vinhaça ou caldo de destilaria no Estado de São Paulo. *Brasil Açucareiro*, v.90, n.5, p.23-30, 1977.

CAMARGO, O.A.; VALADARES, J.M.A.S.; BERTON, R.S.; TEÓFILO SOBRINHO, J.; MENK, J.R.F. Alteração de características químicas de um latossolo vermelho-escuro distrófico pela aplicação de vinhaça. Campinas: Instituto Agrônomo, 1987b. 23p. (Boletim Científico, 9)

CAMARGO, O.A.; VALADARES, J.M.A.S.; GERALDI, R.N. Características químicas e físicas de solo que recebeu vinhaça por longo tempo. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. 30p. (Boletim Técnico, 76)

CAMARGO, O.A.; VALADARES, J.M.A.S.; BERTON, R.S.; TEÓFILO SOBRINHO, J. Aplicação de vinhaça no solo e efeito no teor de nitrogênio, fósforo e enxofre inorgânicos e no de alguns metais pesados. Campinas: Instituto Agrônomo, 1987a. 15p. (Boletim Científico, 8)

CAMBUIM, F.A.; CORDEIRO, D.A. Ação da vinhaça sobre pH, acidez total, acumulação e lixiviação de nutrientes em solo arenoso. *STAB*, v.4, n.4, p.27-33, 1986.

CAMHI, J.D. Tratamento do vinho to, subproduto da destilação de álcool. *Brasil Açucareiro*, v.94, n.1, p.18-23, 1979.

CANASAT. Mapeamento da cana via imagens de satélite de observação da Terra. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/laf/canasat/mapa.html>> Acessado em 10.10.2011.

Caracterização edafo-climática das regiões canavieiras do Brasil. Piracicaba: Instituto do Açúcar e do Alcool (IAA) – Planalsucar, 1986. 78p.

CARNEIRO, W. Os subprodutos da indústria açucareira. *Brasil Açucareiro*, v.65, n.2, p.82-84, 1965.

CENBIO - CENTRO NACIONAL DE REFERÊNCIA EM BIOMASSA. Estado da Arte 2002.

CERRI, c.c.; paLa, A; ANDREUX, E; LOBO, M.e.; EDUARDO,B.P. Resíduos orgânicos da agroindústria canavieira: 1. Características físicas e químicas. *STAB*, v.6, n.93, p.34-37, 1988.

CESAR, M.A.A.; DELGADO, A.A.; GABAN, L.c. Aumento do nível de amido e de potássio no caldo de cana, decorrente da aplicação sistemática de vinhaça ao solo. *Brasil Açucareiro*, v.92, n.1, p.24-29, 1978.

CHAKRABARTY, R.N. Potash recovery: a method of disposal of distillery wastes and saving foreign exchange. In: SYMPOSIUM ON ETHYL ALCOHOL PRODUCTION.

CHARM, S.E. The fundamentals of food engineering. 3.ed. Westport: Avi Publishing, 1978. 646p.

CHENG, J.c.P. Cane sugar handbook. New York: John Wylen & Sons, 1985. 1134p.

CHENU, P. Concentração de vinhaça. In: SEMINÁRIO COPERSUCAR

CITROTEC. (2011). *Ecovin®*: evaporador de concentração de vinhaça. Disponível

em:<http://www.citrotec.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=74%3Aecovin&catid=39%3Aprodutos-sucroenergeticos&Itemid=53>. Acesso em: 01/11/2011.

CLAY, D.T.; KARNOFSKI, M.A Black liquor solid formation during oil-flash evaporation. *Tappi Journal*, v.64, n.12, p.45-48, 1981.

COELHO, M.B.; AZEVEDO, H.J. Utilização da vinhaça na irrigação da cana-de-açúcar. *STAB*, v.4, n.95, p.49-52, 1986.

COLETI, J.T.; LORENZETTI, J.M.; GASPARINI, c.T.; DEMATTE,J.L.I.; FREITAS, P.G.R. Efeito da aplicação de vinhaça nas propriedades dos solos da Usina São José - Macatuba. *STAB*, v.1, n. 93, p.12-17, 1983.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL: Vinhaça: critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola. São Paulo: CETESB. 2006.

Composição, proporção e aplicação da vinhaça. *Brasil Açucareiro* v.59, n.5/6, p.10-22, 1962.

COMPOSTAGEM de tora de filtro [Imagem]. (2011). Disponível em:<http://www.mzweb.com.br/saomartinho2009/web/images/SMTO_Torta_de_filtro.jpg>. Acesso em: 11/10/2011.

COOK, R. Biostil: a breakthrough in distillery design; propaganda. *Sugar y Azúcar Yearbook*, p.96-99, 1983.

COPERSUCAR Aproveitamento da vinhaça: viabilidade técnico-econômica. Piracicaba, 1978. 66p. (Boletim Técnico)

COPERSUCAR Informações obtidas na empresa. São Paulo, 1997.121p.

COPERSUCAR PROALCOOL: fundamentos e perspectivas. São Paulo, 1989. 121p.

COPERSUCAR. Aplicação de vinhaça à soqueira da cana-de-açúcar em três anos consecutivos. Boletim Técnico Copersucar, n.12, p.2-5, 1980.

_____. Aproveitamento da vinhaça: viabilidade técnico econômica. Piracicaba, 1978. p.65- 66p. (Boletim Técnico)

_____. Inventário de resíduos sólidos na agroindústria sucro-alcooleira. Piracicaba, 1994. 23p. (Relatório Técnico do Projeto nº 9.301.623).

_____. Resíduos sólidos da agroindústria sucro-alcooleira, Piracicaba, 1993. 60p. (Relatório Técnico RT- 561-92/93).

CORAZZA, R. I. Impactos ambientais da vinhaça: controvérsias científicas e lock-in CORTEZ, L.; FREIRE, w.J.; ROSILLO-CALLE, E Biodigestion of vinasse in Brazil. International Sugar Journal, v.100, n.1196, p.408-413, 1998.

CORTEZ, L.A.B.; BROSSASRD PEREZ, L.E. Experiences on Vinasse Disposal: III. Combustion of vinasse-#6 fuel oil emulsions. Brazilian Journal of Chemical Engineering, v.14, n.1, p.9-18, 1997.

COSTA, L. (2011). *Vinhaça ajuda a despoluir água têxtil*. Disponível em: <<http://www.estadao.com.br/noticias/impresso,vinhaca-ajuda-a-despoluir-agua-textil,702253,0.htm>>. Acesso em: 09/10/2011

COUTINHO, N. Tratamento de resíduos das destilarias. Brasil Açucareiro, v.45, n.5, p. 52-58, 1955.

CRAVEIRO, A.M.; SCHIMIDELL NETTO, W.; VILLEN, RA.; HIRATA, Y.S. Anaerobic digestion of stillage at low retention time-energy and treatment efficiencies. In: INTERNATIONAL ALCOHOL FUEL TECHNOLOGY SYMPOSIUM, 5., Auckland, 1986. Proceedings. s.1.: s.ed., 1986. 6p.

CRAVEIRO, AM. Avaliação do vinhoto como substituto do óleo diesel e outros usos. São Paulo: SOPRAL, 1985. p. 5-16. (Coleção, 10)

CRUZ, M.A. (2010). *Técnica permite reuso da água na produção de etanol e açúcar*. Disponível em: <<http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=reuso-agua-etanol-acucar&id=020125100923>>. Acesso em: 09/10/2011

CRUZ, R.L.; RIGHETTO, A.M.; LEOPOLDO, P.R. Efeito da aplicação de vinhaça sobre a acidez do solo (Latosolo Vermelho Escuro, álico). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22., Ilhéus, 1993. Anais. Ilhéus: Sbea/Ceplac, 1993.v. 4, p. 2555-2568.

CRUZ, R.L.; RIGHETTO, A.M.; NOGUEIRA, M.A. Experimental investigation of soil and groundwater impacts caused by vinasse disposal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22., Ilhéus, 1993. Anais. Ilhéus: Sbea/Ceplac, 1993.v. 4, p. 2555-2568.

D' ARCE, RD.; MACHADO, P.E Resíduos agroindustriais da cana-de-açúcar na alimentação de ruminantes. In: D' ARCE, RD.; BOIN, c.; MATTOS, W.RS. Utilização de resíduos de cana-de-açúcar na alimentação de ruminantes. Piracicaba: FEALQ, 1985. p.1-17.

DAAGROINDUSTRIA AÇUCAREIRA, 4., Águas de Lindóia, 1976. Anais. São Paulo: Copersucar, 1977. p.123-125.

DAF /DQOI. Novas perspectivas para o tratamento microbiológico do vinhoto. Informativo da Divisão de Açúcar e Fermentação. Divisão de Química Orgânica Industrial. Instituto Nacional de Tecnologia, v.II, n.19, p. 3-8, 1978.

DAF. Produção de biomassa fúngica do vinhoto. Informativo da Divisão de Açúcar e Fermentação. Instituto Nacional de Tecnologia, v.10, n.14, p.12-19, 1977.

DEDINI, Indústria de Base. Cogeneration – a new source of income for sugar and ethanol mills, or...bioelectricity: a new business.27. Congresso. Vera Cruz, México. 11/03/2010.

DELGADO, AA.; BOVI, R.; MIOQUE, J.Y.L. A vinhaça oriunda de melaço de açúcar branco e demerara. Revista Usineiro, vA, n.20,p.21-24,1990.

DIAS, CAB. Análise preliminar da possibilidade de utilização do vinhoto como recurso energético. Brasil Açucareiro, v.97, n.6, p.29-37, 1981.

DOW QUÍMICA (2010) <http://www.dow.com/brasil/la/bra/pt/> acessado em: 21/06/2011

DRIESSEN, A.J.M., VAN DE VOSSENBERG, J.L.C.M. KONINGS, W.N. 1996. Membrane composition and ion-permeability in extremophiles. *FEMS Microbiological Reviews* 18:139-148.

DUBEY, R.S. Distillery effluents-treatment and disposal. Sugar News, n.6, p. 9-26, 1974.

EFEITO estufa. (2011). Disponível em:< <http://efeitoestufa-cehas.blogspot.com>>. Acesso em: 09/10/2011.

ELLIOT, J.A. *An Introduction to Sustainable Development*. London, Routledge. 1994. 121 p.

FERRAZ, M.H.A; SALLES FILHO, M. Produção de biomassa fúngica do vinhoto. Informativo do Instituto Nacional de Tecnologia, p. 12-19,1977.

FREIRE, W.J.; CORTEZ, L.A.B. Vinhaça de cana-de-açúcar. Ed. Agropecuária, Guaíba. 2000. 203p.

FREIRE, W.J.; ROLIM, W.J. Efeito da vinhaça concentrada sobre a estabilidade estrutural dos agregados do solo. Engenharia Agrícola, v.16, n.3, p.77-83, 1997.

FUCCI, J.R. Coluna de Destilação de Etanol com Menor Produção de Vinhaça – Redução da água na vinhaça sem consumo adicional de vapor. São Carlos: Solema P&D - Soluções em Energia e Meio Ambiente Ltda.2011.

GAMBALE, V. Efeito da adição de K₂S₀₄ em cultura de leveduras em vinhaça. Brasil Açucareiro, v.95, n.1, p.35-37, 1980.

GARLICK, L.K. Continuous fermentation using BIOSIL system.Florida: Alcohol Fuels, Epcot, LakeBuenavista, 1983. 12p. (Documento interno)

GASCOM. Fertirrigação de vinhaça: processo de dosagem homogeneizada por gravidade. STAB, v.3, n.6, p.57-58, 1985. GENTIL, L.v. Vinhaça: um assunto controvertido. A Granja, p. 76-78, jan. 1979.

GASEIFICAÇÃO. São Paulo, Centro Nacional de Referência em Biomassa. Setembro de 2002.

GENTIL, L.v. Vinhaça: um assunto controvertido. A Granja, jan., p.76-78, 1979.

GERALDI FILHO, L.; CORREA, W.J.; HENRIQUE, J.L.P.; MIKLÓS, J.E.W. Aplicação de vinhaça através do caminhão-extensão. ST AB, v.6, n.93, p.28-33, 1988.

GERMEK, H.A.; FEIGL, G.E Processos de redução de vinhaça. ST AB, v.5, nA, pA2-50, 1987.

GLOEDEN, E. *et alii*. The behaviour of vinasse constituents in the unsaturated zones in the Botucatu aquifer recharge area. Water Science and Technology, v. 24, n° 11, pp. 147-157. 1992.

GLOEDEN, E.; CUNHA, R. C.; FRACCAROLI, M. J. B.; CLEARY, R. W. The behavior of vinasse constituents in the unsaturated and saturated zones in the Botucatu Aquifer recharge area. São Paulo: CETESB, 1990, 11p.

GLÓRIA, A.M. Usina Costa Pinto: o sistema bi-carga. Revista Usineiro, v.2, n.7, p. 21-27, 1987.

_____. Usina Costa Pinto: o sistema bi-carga. Revista Usineiro, v.2, n.7, p. 21-27, 1987. CHARM, S.E. The fundamentals of food engineering. 3.ed. Westport: Avi Publishing, 1978. 646p.

_____. Proposta da dosagem de vinhaça a ser aplicada anualmente em solos agrícolas. AGROSERV, Piracicaba São Paulo, 2003.

_____. Emprego da vinhaça na adubação. In: SEMINARIO INTERNACIONAL SOBRE TRATAMENTO DE VINHOTO. Anais. Rio de Janeiro: Instituto Nacional de Tecnologia, 1976a. p. 453; 457.

_____. *Emprego da vinhaça para fertilização*. Piracicaba: Codistil. 1976b.

_____. Utilização agrícola da vinhaça. *Brasil Açucareiro*, 1975 v.86, n.5, p.11-17.

_____. Utilização agrícola da vinhaça. *Brasil Açucareiro*, v.86, n.5, p.11-17, 1975.

GLÓRIA, N.A.; DELGADO, A.A.; SANTA ANA, A.G. Neutralização da vinhaça com calcário (1). *Brasil Açucareiro*, v.79, n.2, p.31 - 38, 1972.

GLÓRIA, N.A.; MATTIAZZO, M.E. Efeito da matéria orgânica na solubilização de fosfatos no solo: 11. Efeito de resíduos de usinas de açúcar e destilarias (bagaço de cana, torta de filtro e vinhaça). *Brasil Açucareiro*, v.88, n.5, p.22-31. 1976a.

_____. Efeito da matéria orgânica na solubilização de fosfatos no solo: m. Efeitos de resíduos de destilarias (vinhaça). *Brasil Açucareiro*, v.87, n.1, p.55-62, 1976b.

GLÓRIA, N.A.; ORLANDO FILHO, J. Aplicação de vinhaça: um resumo e discussões sobre o que foi pesquisado. *Álcool e Açúcar*, vA, n.15, p.22-31, 1984.

GLÓRIA, N.A.; DELGADO, A.A.; SANTA ANA, AG. Neutraliza da vinhaça com calcário (1). *Brasil Açucareiro*, v.79, n.2, p.31. 1972.

GLÓRIA, N.A; MAGRO, J.A Utilização agrícola de resíduos da usina de açúcar e destilaria na Usina da Pedra. In: SEMINÁRIO COPERSUCAR DA AGROINDUSTRI A AÇUCAREIRA. Águas de Lindóia, 1976. Anais. São Paulo: Copersucar, 1977. p.163-180.

GLÓRIA, N.A; ORLANDO FILHO, J. Aplicação de vinhaça: um resumo e discussões sobre o que foi pesquisado. Álcool e Açúcar, vA, n.15, p.22-31, 1984.

GOMES, I.C Avaliação do vinho to como substituto do óleo diesel e outros usos. São Paulo: SOPRAL, 1985. p.67-76. (Coleção, 10)

GUPTA, S.E.; SHULA, J.P.; SHULA, N.P. Recovery of crude potassium salts from spent wash of molasses distilleries fluidized incineration. In: ANNUAL CONVENTION SUGAR TECHNOLOGY ASSOCIATION, 36., India, 1968. Proceedings. s.l.: s.ed., 1968. p.XLIII-1; XLIII-7.

GURGEL, M.N.A; GUIMARÃES, E. Um sistema de aplicação de vinhaça. Boletim Técnico Copersucar, p.3-76, 1976.

HARPER, G.L. Combustion System Development for Firing of Pulverized Bagasse. Baton Rouge, 1980. Thesis (M.S.C.) Mechanical Engineering Department, Louisiana State University.

HASSUDA S.. Impactos da infiltração da vinhaça de cana no Aquífero Bauru. São Paulo, Tese de Mestrado. Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo. 1989.92 p.

HEELER, CM., The Incineration of Stillage in Fluidized-Bed Systems. In: SEMINARIO INTERNACIONAL SOBRE TRATAMENTO DE VINHOTO. Anais. Rio de Janeiro: Instituto Nacional de Tecnologia, 1976. p. 4-61; 4-69.

HERNANDEZ, F.B.T. Irrigação aumenta produtividade e qualidade da cana, http://www.agr.feis.unesp.br/rcn_abril2006. , acesso em 27/10/2011.

HIRATA, Y.S.; VIANA, CE.; SCHIMIDELL, W. Anaerobic treatment of sugar cane stillage in semi-industrial uasb reactor. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ALCOHOL. IPEA/INPES, 1982.

HOLLANDA FILHO, M.M. Sugestão para solucionar o problema das caldas residuais das destilarias. Brasil Açucareiro, v.46, n.6, p.60-61, 1955.

HOLLANDSE CONSTRUCTIE GROEP B.v. Energy saver: nem vinasse fired boiler. Intemational Sugar Journal, v.82, n.978, 1980.

HULETT, D. Concentração do vinhoto. Sugar y Azúcar do Brasil, v.I, p.35-36, 1980.

INSTITO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISCAS.IBGE – Cidades. 2010 Disponível em <www.ibge.gov.br> Acesso em: 02/06/2011.

JACKMAN, E.A. Next generation distilleries. Sugar y Azúcar, v.76,n.8, pA2-43; 46-48,1981.

JOHANSSON, T. B., KELLY, H., REDDY, A. K. N. & WILLIAMS, R. H.,(1993), "Renewable Energy Sources for Fuels and Electricity". Island Press, Washington. 1160p.

JORNAL CANA <http://www.jornalcana.com.br/Conteudo/EdicoesAnteriores.asp> acessado em: 17/06/2011

KATZ, G.M. Concentração de vinhaça até 60Q Brix: processo que habilita seu emprego como fertilizante. *Revista de Química Industrial*, vA8, n.572, p.390-392, 1979.

KHAN, M.J., et al. "River current energy conversion systems: Progress, prospects and challenges". *Renew Sustain Energy Rev* (2000), oi:10.1016/j.rser.2000.04.016.

KIYAN, C. Utilização de vinhaça de cana para produção de biomassa de *Aspergillus niger* e *A. oryzae*. *STAB*, v.7, n.2, p.55-58, 1988.

KUGELMAN, I.J.; CHIN, K.K. Toxicity, synergism and antagonism in anaerobic waste treatment processo *Advances in Chemistry Series*, n.105, p.55-65, 1971.

KUJALA, E; HULL, R; ENGSTROM, E; JACKMAN, E. Alcohol from molasses as a possible fuel and the economics of distillery effluent treatment. *Sugar y Azucar*, v.71; p.28-39, 1976.

KOFFLER, N. F.; LIMA, J.F.W.F.; LACERDA, M.F.; SANTANA, J.F.; SILVA, M.A.KUGELMAN, I.J.; CHIN, K.K. Toxicity, synergism and antagonism in anaerobic waste treatment processo *Advances in Chemistry Series*, n.105, p.55-65, 1971.

KUJALA, E; HULL, R; ENGSTROM, E; JACKMAN, E. Alcohol from molasses as a possible fuel and the economics of distillery effluent treatment. *Sugar y Azucar*, v.71; p.28-39, 1976

KUJALA, P. Distillery fuel savings by efficient molasses processing and stillage utilization. *Sugar y Azucar*, p.13-16, Oct. 1979.

_____. Distillery fuel savings by efficient molasses processing and stillage utilization. *Sugar y Azucar*, p. 13-16, Oct. 1979.

_____. Distillery fuel savings by efficient molasses processing and stillage utilization. *Sugar y Azucar*, p.13-16, Oct. 1979. LOFFREDO, EN. A modern concept in the cane juice concentration. *STAB*, v.13, n.6, p.60-62, 1995.

KUJALA, P.; HULL, R.; ENGSTROM, E; JACKMAN, E. Alcohol from molasses as a possible fuel and the economics of distillery effluent treatment. *Sugar y Azucar*, v.71, p.28-39, 1976.

LAMO, P.R. USP testa gás metano em trator movido a diesel. *Jornal da Cana*. Julho/1989, p.15.

LEME, E.J.A Montagem Direta Otimizado: o sistema para reduzir consumo de energia. In: *REUNIAO TECNICA SOBRE INOVAÇÕES TÉCNICAS NA APLICAÇÃO DE VINHAÇA POR ASPERSÃO*. Araras: IAA, Planalsucar, 1987. 36p.

LEME, E.J.A.; ROSENFELD, v.; BAPTISTELLA, J.R. Aplicação de vinhaça em cana-de-açúcar por aspersão. **Boletim Técnico Planalsucar**, Série B, v.1, n.4, p.3-42, 1979.

LEME, E.J.A; SILVA, V.E.; HENRIQUE, J.L.P.; MICKLOS, J.E. O uso do auto-propelido na aplicação de vinhaça por aspersão: viabilidade tecno-econômica. Piracicaba: IAA, Planalsucar, 1987. 65p. (Boletim)

LIMA, D.A. A vinhaça e a bacia do rio Piracicaba. Piracicaba: USP; ESALQ, Instituto Zimotécnico, Referata e Seminários do Instituto Zimotécnico, USP, ESALQ, v.2, n.6, pA-5, 1955.

LIMA, L.I.A. (1955). *A Vinhaça e a bacia do rio Piracicaba*. Piracicaba: USP/ESALQ/Instituto Zimotécnico, Referata e Seminários do Instituto Zimotécnico, v.2, n.6, p.4-5.

LIMA, M. (2011). *Pesquisadores da UFSCar substituem areia por cinza de cana-de-açúcar na produção de concreto*. Disponível em: <<http://www.piniweb.com.br/construcao/tecnologia-materiais/pesquisadores-da-ufscar-substituem-areia-por-cinza-de-cana-de-acucar-na-185258-1.asp>>. Acesso em: 01/11/2011.

LONGO, RM.; BONI, N.R; ESPÍNDOLA, CR Efeito da vinhaça" natura" e biodigerida em propriedades físicas de um solo eu] vado com cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO I ENGENHARIAAGRICOLA, 25., Bauru, 1996. Resumos. BaU! Unesp/Sbea, 1996.10 p.

LOPES, C.H. Lavagem de cana e tratamento de seus efluentes. *Saccharum*, v.6, n.27, p.26-31, 1983.

LUCAS JR, J.; SILVA, EM. Biogás: produção e utilização. Jaboticabal: UNESP, FCA, 1990.

LUCAS JR., J.; CORTEZ,L.AB.; SILVA, A Biodigestão. In:CORTEZ, L.AB.; SILVA-LORA, E. (Coord.) Tecnologias de conversão energética de biomassa. Manaus: Ed. Universidade do Amazonas, 1997. Cap. 10, 527p. (Série Sistemas Energéticos, 2)

LUZ, P.H.C. (2005). Novas tecnologias no uso da vinhaça e alguns aspectos legais. In: SIMPÓSIO DE TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR, 2., 2005, Piracicaba. *Anais...* [S.l.:s.n] p.311-338.

_____. Formas de cultivo da cana-soca: associação à utilização agrícola da vinhaça com adubação mineral. *STAB*, v.3, n.6, p.46-52, 1985.

MAGNANI, M. *Abordagem integrada de aspectos conceituais relacionados à adequação ambiental em manufatura*. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

MAGRO, J.A.; GLORIA, N.A. Adubação de soqueira de cana-de-açúcar com vinhaça; complementação com nitrogênio e fósforo. *Brasil Açucareiro*, v.90, n.6, p.31-34, 1977.

MARINHO, M.L.; ALBUQUERQUE, G.A.c.; ARAUJO FILHO, J.T. Efeitos de doses de vinhaça e adubação mineral sobre a cana-soca em dois solos de Alagoas. *Brasil Açucareiro*, v.99, n.2, p.39-49, 1982.

MARTELLI, H.L.; SOUSA, N.O. Obtenção de biomassa de *Cândida utilis* crescendo em vinhoto de cana. *Revista Brasileira de Tecnologia*, v.9, n.3/4, p.157-164, 1978.

MATIOLI, C.S.; MENEZES, J.A. Otimização dos sistemas de aplicação de resíduos líquidos na lavoura. In: REUNIÃO TÉCNICA AGRONÔMICA, Piracicaba, 1984. *Anais*. Piracicaba: Copersucar, 1984. p.67-70.

MATIOLI, E.S.; GUAZZELLI, M.A.N.; GAVA, D.A; GAZON, AL.; MANOEL, L.A Controle e manejo de sistemas de fertirrigação. M Boletim Técnico Copersucar, nA8, p.3-7, 1989.

MATIOLI, E.S.; LAZO, M.E.P.; GUAZZELLI, M.A.N. Otimização de sistemas de aplicação de resíduos líquidos. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONOMICA, 4., Piracicaba, 1988. Anais. Piracicaba: Copersucar, 1988b. p.159-168.

MATIOLI, E.S.; LAZO, M.E.P.; OLIVEIRA, M.A; GUAZZELLI, M.A.N. Distâncias máximas de aplicação de vinhaça com caminhões-tanques. Boletim Técnico Copersucar, n.41, p.41-51, 1988c.

MATIOLI, E.S.; MENEZES, J.A Otimização dos sistemas de aplicação de resíduos líquidos na lavoura. In: REUNIÃO TÉCNICA AGRONOMICA, Piracicaba, 1984. Anais. Piracicaba: Copersucar, 1984. p.67-70.

MATIOLI, E.S.; GUAZZELLI, M.A.N.; LAZO, M.E.P.; GAVA, D.A. Uniformidade de distribuição de vinhaça com caminhão-tanque. e Menezes, 1984; Matioli et al., 1988b). In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÓMICA, 4., Piracicaba, 1988. Anais. Piracicaba: Copersucar, 1988a. p.249-269.

MATTIAZZO, M.E.; GLÓRIA, N.A Efeito da vinhaça na acidez solo. STAB, vA n.2, p.35-40, 1985.

_____. Fracionamento de fósforo solos incubados com vinhaça. Brasil Açucareiro, v.95, n.2, p.: 37, 1980.

MENEZES, J.A; PAIXAO, A.E.S.; SIRIO, K.J. Transporte dutoviário de vinhaça. Boletim Técnico Copersucar, n.25, p.21-23, 1984.

MENEZES, T.B.; MEDINA, J.c. O estado atual sobre o tratamento e aproveitamento da vinhaça e perspectivas futuras. Campinas: ITAL, 1978. 10 p.

MERRIAM, R.L. Simulation analysis of liquor-firing and combustion processes in kraft recovery furnaces. Tappi Journal, p.112-116, Sept. 1982.

MINHONI, M.T.A; CERRI, CC Decomposição de vinhaça em s(sob diferentes níveis de umidade: liberação de CO₂, formação biomassa microbiana e imobilização do nitrogênio adiciona(Revista Brasileira de Ciência do Solo, n.II, p.25-30, 1987.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA; SECRETARIA DE PRODUÇÃO E AGROENERGIA - SPAE; DEPARTAMENTO DE CANA-DE-AÇÚCAR E AGROENERGIA - DCAA. Produção Brasileira de Etanol. Disponível em <http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Desenvolvimento_Sustentavel/Agroenergia/estatisticas/producao/OUTUBRO_2011/Etanol/05_%20prod_etanol_br.pdf> . Acesso em 10.11.2011.

MIOQUE, J. A irrigação da cana-de-açúcar com vinhaça. Revista Tecnologia das Bebidas, v.18, n.6, p.16-18, 1966.

M.M.E. Balanço energético nacional BEN-1999: ano base 1998. Brasília: Ministério das Minas e Energia, 1999. 153p.

MONTEIRO, CE. Brazilian experience with the disposal of waste water from the cane sugar and alcohol industry. Process Biochemistry, p.33-41, Nov. 1975.

MONTEIRO, H.; PEXE, C.A.; STUPIELLO, J.P. Emprego de vinhaça complementada com nitrogênio e fósforo em soqueira de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) Brasil Açucareiro, n4, p.22-27, 1979.

MORELLI, J.L.; NELLI, E.J.; DEMATTÊ, J.L.I.; DALBEN, A.E. Efeito do gesso e do calcário nas propriedades químicas de solos arenosos álicos e na produção de cana de açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 4.,1987, Olinda. **Anais...** São Paulo: editora, 1987. p. 86-93.

NEVES, M.CP.; LIMA, LT.; DOBEREINER, J. Efeito da vinhaça sobre a microflora do solo. Revista Brasileira de Ciência do 50n.7, p.131-136, 1983.

NICOLAIEWSKY, E. Tratamento físico-químico do vinhoto: floculação, sedimentação e filtração. Brasil Açucareiro, v.98, nA,p.23-30, 1981.

NILSSON, M. Energy Recovery from Distillery Wastes, fram Alfa-Laval AB. Intemational Sugar Joumal, v.83, n.993, p.259-261,1981.

NUNES JR., D. Efeitos da elevada deposição de vinhaça sobre variedades de cana-de-açúcar. Boletim Técnico Copersucar, n.37,p.38-44,1987.

ORLANDO FILHO, J. Sistemas de aplicação de vinhaça em cana-de-açúcar. Álcool e Açúcar, v.1, n.1, p.28-36, 1981.

ORLANDO FILHO, J.; BITTENCOURT, V.e.; ALVES, M.e. Aplicação de vinhaça em solo arenoso do Brasil e poluição do lençol freático com nitrogênio. STAB, v.13, n.6, p.14-16, 1995.

ORLANDO FILHO, J.; SILVA, G.M.A.; LEME, E.J.A. Utilização agrícola dos resíduos da agroindústria canavieira. In: PROGRAMA NACIONAL DE MELHORAMENTO DA CANA-DE-AÇUCAR. Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil. Piracicaba 1983. cap.10, p. 229-264. (Coleção Planalsucar, 2).

ORLANDO FILHO, J.; SILVA, G.M.A.; LEME, E.J.A. Utilização agrícola dos resíduos da agroindústria canavieira. In: PROGRAMA NACIONAL DE MELHORAMENTO DA CANA-DE-AÇÚCAR. Vinhaça de cana-de-açúcar Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil. Piracicaba, 1983. cap.10, p. 229-264. (Coleção Planalsucar, 2).

ORLANDO FILHO, J.; SOUZA, I.C.; ZAMBELLO JR., L. Aplicação de vinhaça em soqueiras de cana-de-açúcar: economicidade do sistema caminhões-tanques. Boletim Técnico Planalsucar, v.2, n.5, p.1-35, 1980.

_____. Aplicação de vinhaça em soqueiras de cana-de-açúcar: economicidade do sistema caminhões-tanques. Boletim Técnico Planalsucar, v.2, n.5,p.1-351980.

ORLANDO FILHO, J.; ZAMBELLO JR., E; AGUJARO, R.; ROSSETTO, AJ. Efeito da aplicação prolongada da vinhaça nas propriedades químicas dos solos com cana-de-açúcar: estudo exploratório. STAB, v.1, n.6, p.28-33, 1983b.

PAIVA, L.A. Utilização de vinhaça concentrada. In: SIMPÓSIO DE TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇUCAR, 4., 2009, Piracicaba. Disponível em: <<http://www.gape.esalq.usp.br/cana2009/painel4/1.pdf>>. Acesso em: 02/11/2011.

PENATTI, C.P. Doses de vinhaça versus doses de nitrogênio em cana-soca durante quatro safras.Relatório Interno Copersucar, Usina São Luiz S.A., solo argiloso (LR-2). 1999a.

PENATTI, C.P.; CAMBRIA, S.; BANI, P.S.; ARRUDA, E.C.O.; MANOEL, L.A. Efeitos da aplicação de vinhaça e nitrogênio na soqueira da cana-de-açúcar. *Boletim Técnico Copersucar*, n.44, p.32-38, 1988.

PERES, J.G.; SUZAKI, S. Bombeamento de vinhaça: um estudo sobre perda de carga. *Brasil Açucareiro*, v.106, n.3, p.2-8, 1988.

PERES, J.G.; SUZAKI, S. Bombeamento de vinhaça: um estudo sobre perda de carga. *Brasil Açucareiro*, v.106, n.3, p.2-8, 1988.

PIACENTE, F.J. Agroindústria Canavieira e o Sistema de Gestão Ambiental: o caso das usinas localizadas nas Bacias Hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí. 2005. 181p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Econômico)

PINTO, C.P. Tecnologia de biodigestão anaeróbia de vinhaça e desenvolvimento sustentável. Campinas, 1999. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas.

PIZARRO, M.E.; GUAZZELLI, M.A.N.; MATIOLI, C.S. Circuitos hidráulicos para transporte de resíduos líquidos: projeto e operação. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 4., S. Piracicaba, 1988. Anais. Piracicaba: Copersucar, 1988. p.187-247.

PLEC, O. et al. Mecanização do corte da cana-de-açúcar como fator de sustentabilidade ambiental no Paraná: uma análise de cenário. *Revista Ciências Empresariais da UNIPAR*, v.8, n.1/2, p.53-72, jan./dez. Disponível em: <<http://revistas.unipar.br/empresarial/article/viewFile/2673/2037>>. Acesso em: 02/11/2011.

POLACK, J.A.; DAY, D.E.; CHO, Y.K. Gasohol from sugar cane: stillage disposition. Baton Rouge: Audubon Sugar Institute/ Louisiana State University, Department of Natural Resources, 1981. 47p. (Report to Louisiana)

PONTES, J.F. A "calda" e seus principais elementos minerais. *Brasil Açucareiro*, v.53, n.1, p.H-15, 1959.

RAIJ, B. van. Calibração de potássio trocável em solos para feijão, algodão e cana-de-açúcar. *Ciência e cultura*, São Paulo, v.26, n.6, p.575-576, 1974

RANZANI, G. Conseqüências da aplicação do restilo ao solo (I). *Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"*, v.12-13, p.57-68, 1955/56.

_____. Conseqüências da aplicação do restilo ao solo (I). *Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de .Queiroz"*, v.12~p.57-68, 1955/56.

RANZANI, G.; BRASIL SOBRINHO, M.O.C.; MALA VOLTA, E.; COURRY, T. Vinhaça e adubos minerais (I). *Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"*, v.10, p. 97-108, 1953.

REGO, Erik Eduardo and HERNANDEZ, Francisco Del Moral. Eletricidade por digestão anaeróbia da vinhaça de cana-de-açúcar: contornos técnicos, econômicos e ambientais de uma opção. In *Proceedings of the 6. Encontro de Energia no Meio Rural*, 2006, Campinas (SP, Brazil) [online]. 2006 [cited 24 February 2012]. Available from: http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022006000100053&lng=en&nrm=iso Acesso em: 16/08/2011

REICH, G.T. Production of carbon and potash from mol asses distillers' stillage. Transactions of the American Institute of Chemical Engineers, v.41, p.233-251, 1945.

_____. Reprodução dos dados do Workshop "Agroindústria Canavieira e o Novo Ambiente Institucional" 1998. Disponível em <<http://www.ige.unicamp.br/geopi/documentos/7.pdf>>. Acesso em: 02/11/2011

REZENDE, Joelito de Oliveira (Coordenador). Vinhaça: Outra Grande Ameaça ao Meio Ambiente. UFBA, 1984.

RIBEIRO, I. S. Avaliação do vinhoto como substituto do óleo diesel e outros usos. São Paulo: SOPRAL, 1985. p.45-66. (Coleção, 10)

RITTNER, H. Vinhoto: o velho problema vai dar lucro. Química e Derivados, n.167, p.28-32, 1980.

ROBB, I.O. Microemulsions. New York: Plenum Press, 1982. 259p.

ROBAINA, A.A.; VIEIRA, J.R.; AZEREDO, D.E; BOLSANELLO, J.; MANHÃES, M.s. Doses e complementação mineral da vinhaça em socas de cana-de-açúcar. Brasil Açucareiro, v.102, n.1, p.26-33, 1984.

ROCHA, F.D.M. A propósito de um problema: a poluição dos rios do açúcar. Brasil Açucareiro, v.69, n.1, p. 25-27, 1967.

RODELLA, A.A.; FERRARI, S.E. A composição da vinhaça e efeitos de sua aplicação como fertilizante na cana-de-açúcar. Brasil Açucareiro, v.90, n.1, p.6-13, 1977.

ROLIM, M.M. Avaliação físico-mecânica do material solo-vinhaça concentrada e sua utilização para fins de fabricação de tijolos. Campinas, Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Economia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. 1996. 90p.

ROLIM, M.M.; FREIRE, W.J. Solo-vinhaça concentrada: aplicação na fabricação de tijolos. In: WORKSHOP RECICLAGEM E RE-UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL, São Paulo, 1996. Anais. São Paulo: ANTAC, 1997. p.118-123.

ROSENBERG, L.O. Perspectiva de produção do setor sucroalcooleiro. *Idea News*, n.6 p.17, jun./jul. 2001.

ROSS, S.; MORRISON, I.O. Colloidal systems and interfaces. New York: John Wiley & Sons, 422p. 1988.

ROSSETTO, R.; SANTIAGO, A.D. (2007). *Adubação – resíduos alternativos*. Disponível em:<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_39_711200516717.html>. Acesso em: 02/11/2011.

ROTENBERG, B.; ANTONACCIO, L.D.; IACHAN, A. Determinação da constituição química do vinhoto do melaço de cana-de-açúcar: 1. Ácidos orgânicos e glicerina. Informativo do Instituto Nacional de Tecnologia, v.12, n.23, p.25-28. 1979.

RUAS, D.G.G.; LEME, E.J.A. (1987). Utilização da vinhaça como fertilizante na Região Centro-Sul, safra 1986/87. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE INOVAÇÕES TÉCNICAS NA APLICAÇÃO DE VINHAÇA POR ASPERSÃO, 1987, Araras. *Anais...* Araras: IAASACCOMANO, J.B.; GLÓRIA, AM.

SANTANA, S.S. Economicidade da aplicação de vinhaça em comparação à adubação mineral. *Álcool e Açúcar*, v.5, n.23, p.26-38, 1985.

SATTO, J.; CHAUDHRY, E.H.; SATTO, M.Y.U.; COIADO, E.M. Vinhaça: um fluido newtoniano? In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 11., Campinas, 1996. Anais. Campinas: Abid, 1996a. p.392-400.

SATTO, J.; COIADO, E.M.; SATTO, M.Y.U.; CHAUDHRY, F.H. características de desempenho de urna bomba centrífuga, e dos medidores tipo orifício e cotovelo 902, no transporte de vinhaça. In: CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRAULICA ,27., Guayaquil, Ecuador, 1996. Anais. s.l.: ed., 1996b. v.6, p.81-87.

SATTO, M.Y.U.; CHAUDHRY, F.H.; SATTO, J. Medição de vazão de vinhaça por medidores tipo orifício. In: CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRAULICA, 26., Santiago, Chile, 1994. Anais. s.l.: ed., 1994. v.5, p.485-497.

_____. Seminar of Pollution, Protection and Control of Ground Water, Porto Alegre, RS, Brazil, p.66-74. 1990.

SENA, M.E.R. (1998). Aproveitamento do vinhoto como fertilizante e na geração de biogás através da combinação de processos com membranas e fermentação anaeróbica. [S.l.:s.n.]. Projeto submetido à FAPERJ - E26/171.524/98-RJ.

SENGIK, E.; CANO, M.A.O.; SILVA, C.C.; RIBEIRO, A.C. Efeitos da vinhaça sobre o crescimento do sorgo granífero. In: UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ, CENTRO DE CIENCIAS AGRÁRIAS. Anuário CCA: 1995/1996. Maringá, 1996. p.163-166.

SENGIK, E.; RIBEIRO, AC; CONDÉ, A.R Efeito da vinhaça em algumas propriedades de amostras de dois solos de Viçosa (MG Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.12, p.11-15, 1988.

SHEEHAN, G.J.; Greenfield, P.E Utilisation, treatment and disposal of distillery wastewater Great Britain. *Water Research*, v.14, p.257-277, 1980.

SILVA, C.M.A.; CASTRO, L.J.P.; MAGRO, J.A. Comportamento agroindustrial da cana-de-açúcar em solo irrigado e não-irrigado com vinhaça. In: SEMINARIO COPERSUCAR DA AGROINDÚSTRIA AÇUCAREIRA, 4., Águas de Lindóia, 1976. Anais. São Paulo: Copersucar, 1977. p.107-122.

SILVA, C.M.A.; ORLANOO FILHO, J. Caracterização da composição química dos diferentes tipos de vinhaça no Brasil. *Boletim Técnico Planalsucar*, v.3, n.8, p.5-22, 1981.

SILVA, E.T.; FREIRE, W.J. Caracterização físico-mecânica de um solo tratado com vinhaça. *Agrárias*, v.12, n.1-2, p.7-12, 1992/1993.

SILVA, G.M.A Tratamento e utilização agroindustrial da vinhaça Brasil Açucareiro, v.97, n.6, p.38-41, 1981b.

_____. Tratamento e utilização agroindustrial da vinhaça, *Saccharum*, vA n.15, p.30-32, 1981a.

SILVA, G.M.A.; ORLANDO FILHO, J. Caracterização da composição química dos diferentes tipos de vinhaça no Brasil. *Boletim Técnico Planalsucar*, v.3, n.8, p.5-22, 1981.

SILVA, L.C.F.; ZAMBELLO JR., E.; ORLANDO FILHO, J.; ARRUDA FILHO, H.C. SILVA, A. M. Avaliação do vinhoto como substituto do óleo diesel e outros usos. São Paulo: SOPRAL, 1985. p. 29-44. (Coleção, 10)

SOBRE INOVAÇÕES TÉCNICAS NA APLICAÇÃO DE VINHAÇA POR ASPERSÃO, Araras, 1987. Araras: IAA, 1987, 18p.

SOUZA, D. M. G.; RITCHEY, K. D. Uso do gesso no solo do Cerrado. In: Seminário sobre Uso do Fosfogesso na Agricultura, 1, 1986, Brasília. Anais... Brasília: EMBRAPA, 1986. p.119-144.

SOUZA, E.M.; PAULA JR., D.R. Análise técnico-econômica da biodigestão anaeróbia da vinhaça de cana-de-açúcar para fins energéticos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, Rio de Janeiro, 1999. Anais. Rio de Janeiro, 1999. vol. 3, p.1339-1344.

SPRUYTENBURG, G.P. Vinasse pollution elimination and energy recovery, fram hollandse constructie GROEP B.V. International Sugar Journal, p.73-74, Mar. 1982.

_____. Vinasse pollution elimination and energy recovery. International Sugar Journal, p. 73-74, Mar. 1982.

SRINIVASAN, N. Resíduos da destilação dos melaços de cana. Brasil Açucareiro, v.18, n.5, p.67-69, 1941.

SRUR, A.V.O.s.; AQUARONE, E. Depuração de vinhaça pela produção de biomassa de *Rhodotorula gracilis*. STAB, v.2, n.1, p.34-37, 1983.

STUPIELLO, P.; PEXE, C.A.; MONTEIRO, H.; SILVA, L.H. Efeitos da aplicação da vinhaça como fertilizante na qualidade da cana de - açúcar. Brasil Açucareiro, v.90, n.3, p.A1-50, 1977.

SZMRECSÁNYI, T. Tecnologia e degradação ambiental: o caso da agroindústria canavieira no Estado de São Paulo. *Revista Informações Econômicas*, São Paulo, Vol. 24, Nº.10, outubro 1994.

TAUK, S.M.; GAMBALE, V. Efeito da adição de H₃P0₄ em cultura mista de levedura em vinhaça. Brasil Açucareiro, v.91, n.5, p.9-14, 1978.

TECHNIQUE, New Delhi, 1964. New York: Publ. Noyes Development , 1964. p.93-97.

TEIXEIRA, L.E.G. Avaliação do emprego de tanq1. flexíveis para o transporte de vinhaça, em frota canavieira. Alcool & Açúcar, v.9, n.49, p.l6-20, 1989.

THIAGO, L.R.L.S. Alternativas para utilização do vinhoto. Campo Grande: EMBRAPA, CNPGC, 1980. 12p. (Miscelânea, 2)

TIBAY, AO. Projeto do aproveitamento do vinhoto. Brasil Açucareiro, v.81, n.2, p. 57-65, 1973.

TREVISAN, C. Redução da capacidade de absorção de água do ma¬terial solo-vinhaça concentrada mediante processo de emulsificação. sl.: ed., 1999. 68p. (Relatório Final Fapesp do Processo 98/00786-2)

UNICAMP, Campinas. Disponível em:
<<http://libdigi.unicamp.br/document/?code=vtls000386200>>. Acesso em: 07.06.11.

URBAN, E. Concentração de vinhaça. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE TRATAMENTO DE VINHOTO. Anais. Rio de Janeiro: Instituto Nacional de Tecnologia, 1976. p. 4; 45-4; 51.

VALSECHI, O. Alguns aspectos do problema da vinhaça. Brasil Açucareiro, vA6, n.5, p.57-62, 1955.

VENTURINI FILHO. W.G.; CAMARGO, R. Produção de biomassa de *Aspergillus oryzae* utilizando vinhaça como substrato de fermentação. STAB, v.5, nA, p.38-41, 1987.

VIEIRA, D.B. Fertirrigação sistemática da cana-de-açúcar com vinhaça. Álcool e Açúcar, v.6, n.28, p.26-30, 1986.

VISCONTI, AE.5.; OSTROVSKI, CM.; GIMENEZ, EC; SALLES FILHO, M. Visão atual da problemática do vinhoto e como superá-la. Brasil Açucareiro, v.97, n. 6, p.57-65, 1981.

WHEELER, E.F. 1972 – Evaluation of meal cooked by large-scale methods: a comparison of chemical analysis and calculation from food tables. Brit J. Nutr., 27: 439-448.

WORDATLASPEDIA. (2009). *Taipu*. Disponível em: <<http://www.worldatlaspedia.com/es/sudamerica-brasil-estado-do-rio-grande-do-norte-taipu/fotografias/detalleFotografia?idLocalizacion=6953667#12>>. Acesso em: 11/10/2011.

YAMAUCHI, T., 1977. Wastewater treatment in fermentation. Japan Kokai 77, 365-372.

ZARPELON, F. Redução do volume de vinhoto. Stab: Açúcar, Álcool e Subp., v. 1, n. 2, p. 28-35, 1982.

ANEXO I

NORMA DA CETESB

Sumário**Página**

1 Objetivo.....	1
2 Documentos Complementares.....	1
3 Definições.....	3
4 Considerações Específicas.....	3
5 Critérios e Procedimentos para o Armazenamento, Transporte e Aplicação no Solo.....	4
6 Plano de Aplicação de Vinhaça: Instruções.....	8
7 Caracterização do Solo.....	10
8 Referências.....	11

1 Objetivo

Esta norma tem como objetivo estabelecer os critérios e procedimentos para o armazenamento, transporte e aplicação da vinhaça, gerada pela atividade sucroalcooleira no processamento de cana-de-açúcar, no solo do Estado de São Paulo.

2 Documentos Complementares

Os documentos relacionados a seguir contém disposições que constituem fundamento para esta norma. As edições indicadas estavam em vigor no momento desta publicação. Como toda norma está sujeita à revisão e alterações, aqueles que realizam procedimentos com base nesta, devem verificar a existência de legislação superveniente aplicável ou de edições mais recentes das normas citadas.

Na aplicação desta norma é necessário consultar:

2.1 Legislação Federal

- Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965 – Código Florestal.
- Resolução do CNRH nº 15, de 01 de junho de 2001– Diretrizes para a gestão integrada das águas superficiais, subterrâneas e meteóricas.
- Portaria do Ministério do Interior nº 158, de 03 de novembro de 1980 – Dispõe sobre o lançamento de vinhoto em coleções hídricas e sobre efluentes de destilarias e usinas de açúcar.
- Portaria do Ministério do Interior nº 124, de 20 de agosto de 1980 – Normas para localização e construção de instalações que armazenem substâncias que possam causar poluição hídrica.

- Portaria do Ministério do Interior nº 323, de 29 de novembro de 1978 – Proíbe o lançamento de vinhoto em coleções de água.
- Portaria do Ministério da Saúde nº 518/04, de 25 de março de 2004 - Estabelece procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências.

2.2 Legislação Estadual

- Constituição do Estado de São Paulo de 05 de outubro de 1989. Capítulo IV. Do Meio Ambiente, dos Recursos Naturais e do Saneamento.
- Lei nº 997, de 31 de maio de 1976 – Dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente.
- Lei nº 7.641, de 19 de dezembro de 1991 – Dispõe sobre a proteção ambiental das bacias dos Rios Pardo, Mogi-Guaçu e Médio Grande e estabelece critérios para o uso e ocupação do solo.
- Lei nº 6.134, de 02 de junho de 1988 – Dispõe sobre a preservação dos depósitos naturais de águas subterrâneas.
- Lei nº 6.171, de 04 de julho de 1988 – Dispõe sobre o uso, conservação e preservação do solo agrícola.
- Decreto nº 8.468, de 08 de setembro de 1976 – Aprova o regulamento da Lei nº 997 de 31 de maio de 1976 - Controle da poluição das águas, ar, resíduos, padrões, exigências, licenciamento, penalidades.
- Decreto nº 32.955, de 07 de junho de 1991– Regulamenta a Lei nº 6.134, de 02 de junho de 1988 que dispõe sobre a preservação dos depósitos naturais de águas subterrâneas.
- Decreto nº 41.719, de 16 de abril de 1997 – Regulamenta a Lei nº 6.171, de 04 de julho de 1988 que dispõe sobre uso, conservação e preservação do solo agrícola.

2.3 Normas Técnicas

2.3.1 ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas:

- NBR 13.895:1997 – Construção de poços de monitoramento e amostragem / Procedimento.

2.3.2 CETESB:

- O6.010: - Construção de Poços de Monitoramento de Aquífero Freático: Procedimento.

2.3.3 Outros Documentos:

- CETESB, São Paulo. **Decisão de Diretoria nº 195-2005-E**, de 23 de novembro de 2005. Dispõe sobre a aprovação dos Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo – 2005, em substituição aos Valores Orientadores de 2001, e dá outras providências. São Paulo, 2005, publicada no Diário Oficial do Estado de São Paulo de 03 de dezembro de 2005, retificada em 13 de dezembro de 2006. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/solo/relatorios/tabela_valores_2005.pdf>. Acesso em:2006.
- CETESB, São Paulo. **Portaria CTSA – 01**, de 28 de novembro de 2005. Dispõe sobre os

prazos e procedimentos para a impermeabilização de tanques de armazenamento de vinhaça e de canais mestres ou primários, já instalados, de uso permanente para a distribuição da vinhaça destinada à aplicação no solo. São Paulo, 2005, publicada no Diário Oficial do Estado de São Paulo de 29 de novembro de 2005.

- CETESB, São Paulo. **Guia de coleta e preservação de amostras de água**. São Paulo, 1988.
- CETESB, São Paulo. **Manual de gerenciamento de áreas contaminadas**. 2.ed. São Paulo: CETESB/GTZ. 2001. 389 p. Disponível em: http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/areas_contaminadas/manual.asp. Acesso em: 2006.

3 Definições

Para efeito desta norma foram adotadas as seguintes definições:

Águas subterrâneas: águas que ocorrem natural ou artificialmente no subsolo, de forma suscetível de extração e utilização pelo homem (Decreto Estadual nº 32.955, de 7 de junho de 1991); ou as águas que ocorrem naturalmente ou artificialmente no subsolo (Resolução CNRH n.º 15, de 1º de junho de 2001).

Aqüífero: toda formação geológica que armazena e transmite água subterrânea natural ou artificialmente captada.

Solo: material que ocorre a partir da superfície do terreno, constituído por horizontes gerados pela alteração do material original (rocha, sedimento ou outro solo) por ação do intemperismo. São partes integrantes do solo as partículas minerais, o ar, a água intersticial das zonas não saturadas e saturadas, a fração orgânica e a biota.

Solo agrícola: superfície de terra utilizada para a exploração agro-silvo-pastoril.

Vinhaça: líquido derivado da destilação do vinho, que é resultante da fermentação do caldo da cana-de-açúcar ou melaço.

Nível d'água: altura em determinado tempo e local, da superfície freática ou potenciométrica de um aqüífero.

Superfície potenciométrica livre ou lençol freático: superfície superior da zona saturada, ao longo da qual a pressão é igual à pressão atmosférica.

4 Considerações Específicas

Para efeito de elaboração e cumprimento desta norma, considerou-se:

A necessidade de disciplinar o armazenamento, transporte e aplicação no solo da vinhaça gerada no processamento da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo para evitar a ocorrência de poluição.

Que a aplicação de vinhaça no solo não se constitui em atividade passível de licenciamento no âmbito da CETESB, nos termos do Artigo 57 do Regulamento da Lei 997, de 31 de maio de 1976, aprovado pelo Decreto 8.468, de 08 de setembro de 1976.

As portarias do extinto Ministério do Interior nº 323, de 29 de novembro de 1978, e nº 158, de 03 novembro de 1980, que proíbem o lançamento direto ou indireto da vinhaça em qualquer coleção hídrica e nº 124, de 30 de agosto de 1980, que dispõe sobre o armazenamento de substâncias capazes de causar poluição hídrica.

O estabelecido no artigo 193 da Constituição do Estado de São Paulo, que determina a necessidade de se adotar medidas, nas diferentes áreas de ação pública e junto ao setor privado, para manter e promover o equilíbrio ecológico e a melhoria da qualidade ambiental, prevenindo a degradação em todas as suas formas e impedindo ou mitigando impactos ambientais negativos.

O artigo 3º do Regulamento da Lei Estadual nº 997, de 31 de maio 1976, aprovado pelo Decreto nº 8468, de 08 de setembro de 1976, que considera poluente toda e qualquer forma de matéria ou energia lançada ou liberada nas águas, no ar ou no solo, com intensidade, em quantidade e concentração em desacordo com os padrões de emissão estabelecidos neste Regulamento ou normas dele recorrentes.

O artigo 17 do Regulamento da Lei Estadual nº 997, de 31 de maio de 1976, aprovado pelo Decreto nº 8468, de 08 de setembro de 1976, que estabelece que os efluentes de qualquer natureza somente poderão ser lançados nas águas interiores ou costeiras, superficiais ou subterrâneas, situadas no território do Estado, desde que não sejam consideradas poluentes.

O disposto na Lei Estadual nº 6.134, de 02 de junho de 1988, que dispõe sobre a preservação dos depósitos naturais de águas subterrâneas do Estado.

A Lei Estadual nº 6.171, de 04 de julho de 1988, regulamentada pelo Decreto nº 41.719, de 16 de abril de 1997, que dispõe sobre o uso, conservação e preservação do solo agrícola.

A Lei Estadual nº 7.641, de 19 de dezembro de 1991, que dispõe sobre a proteção ambiental das bacias dos Rios Pardo, Mogi-Guaçu e Médio Grande, estabelecendo critérios para uso e ocupação do solo.

5 Critérios e Procedimentos para o Armazenamento, Transporte e Aplicação no Solo

5.1 A área a ser utilizada para a aplicação de vinhaça no solo deve atender às seguintes condições:

5.1.1 Não estar contida no domínio das Áreas de Preservação Permanente – APP ou de reserva legal, definidas no Código Florestal – Lei Federal nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, modificada pela Lei Federal nº 7.803, de julho de 1989, nem nos limites da zona de amortecimento definidos para as unidades de conservação de proteção integral.

5.1.2 No caso de a área estar localizada no domínio de Área de Proteção Ambiental – APA, a

aplicação de vinhaça não poderá estar em desacordo com os seus regulamentos.

5.1.3 No caso de a área estar localizada no domínio de APA estadual não regulamentada, a aplicação de vinhaça deverá ser aprovada pelo seu órgão gestor.

5.1.4 Não estar contida no domínio de área de proteção de poços.

5.1.5 Não estar contida na área de domínio das ferrovias e rodovias federais ou estaduais.

5.1.6 Estar afastada, no mínimo, 1.000 (um mil) metros dos núcleos populacionais compreendidos na área do perímetro urbano. Essa distância de afastamento poderá, a critério da CETESB, ser ampliada quando as condições ambientais, incluindo as climáticas, exigirem tal ampliação.

5.1.7 Estar afastada, no mínimo, 6 (seis) metros das Áreas de Preservação Permanente – APP, e com proteção por terraços de segurança.

5.1.8 A profundidade do nível d'água do aquífero livre, no momento de aplicação de vinhaça deve ser, no mínimo, de 1,50m (um metro e cinquenta centímetros).

5.1.9 No caso de áreas com declividade superior a 15%, deverão ser adotadas medidas de segurança adequadas à prevenção de erosão.

5.1.10 Nas áreas com declividade superior a 15%, além das práticas conservacionistas, deverá ser efetuada a escarificação do solo. Se, após a escarificação, a dosagem de aplicação de vinhaça for superior à capacidade de infiltração do solo, a aplicação deverá ser parcelada.

5.2 Os tanques de armazenamento de vinhaça deverão atender ao disposto no **item 5.1** desta norma e ser impermeabilizados com geomembrana impermeabilizante ou outra técnica de igual ou superior efeito. Os prazos para impermeabilização dos tanques de armazenamento instalados antes da edição da primeira versão desta norma (05 de abril de 2005), estão fixados na Portaria CTSA 01, de 28 de novembro de 2005.

5.3 Deverão ser instalados nas áreas dos tanques, uma quantidade mínima de 04 (quatro) poços de monitoramento, sendo 01 (um) à montante e 03 (três) à jusante, localizados de acordo com o mapa potenciométrico e construídos conforme a norma NBR 13.895:1997.

5.3.1 Na água coletada dos poços de monitoramento, deverão ser determinados os seguintes parâmetros, devendo os mesmos atender aos padrões da legislação pertinente:

- pH;
- dureza;
- sulfato;
- manganês;
- alumínio;
- ferro;
- nitrogênio nitrato;
- nitrogênio nitrito;

- nitrogênio amoniacal;
- nitrogênio Kjeldhal;
- potássio;
- cálcio;
- cloreto;
- sólidos dissolvidos totais;
- condutividade elétrica e
- fenóis totais.

Observações:

- A frequência da amostragem para análise será semestral;*
- As metodologias de análises, para os parâmetros assinalados acima, são aquelas contidas em normas e/ou procedimentos consagrados para tal, nas suas versões vigentes;*
- Os resultados analíticos deverão ser comparados com os valores orientadores estabelecidos na Decisão de Diretoria da CETESB nº 195-2005-E, de 23/11/2005 e com os padrões de potabilidade estabelecidos na Portaria do Ministério da Saúde nº 518/04, de 25/03/2004.*

5.3.2 A implantação de drenos testemunha dispensa a instalação dos poços de monitoramento.

5.4 Deverá ser imediatamente suspensa a prática de armazenamento e/ou disposição de vinhaça ou lodo em áreas de sacrifício, eliminando-se aquelas que ainda estão sendo utilizadas nas unidades produtoras, estando qualquer aplicação no solo agrícola sujeita à observância desta norma.

5.4.1 Essas áreas deverão ser avaliadas pelo responsável quanto a uma possível alteração de qualidade de águas subterrâneas, por meio da realização de uma investigação confirmatória, a qual deve seguir minimamente as seguintes recomendações:

5.4.1.1 Investigação da água subterrânea: deverão ser instalados 2 poços de monitoramento para cada área de 10.000 m², locados preferencialmente nos locais onde, em função do histórico de utilização da área, há maior probabilidade de alteração da qualidade. Os poços de monitoramento instalados devem ter seção filtrante com comprimento máximo de 2 metros, instalada na parte superficial do aquífero freático. Os aspectos construtivos devem atender às especificações definidas na norma NBR 13.895: 1997. Devem ser coletadas amostras em todos os poços instalados, que devem ser avaliadas para os mesmos parâmetros definidos no **item 5.3.1**. Os resultados analíticos deverão ser comparados com os valores orientadores estabelecidos na Decisão de Diretoria da CETESB nº 195-2005-E, de 23/11/2005 e com os padrões de potabilidade estabelecidos na Portaria do Ministério da Saúde nº 518/04, de 25/03/2004.

5.4.2 Caso sejam constatadas alterações de qualidade na água subterrânea, superiores aos valores definidos acima, deverá ser realizada uma investigação detalhada da área, atendendo ao que for cabível às recomendações constantes do Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas.

5.5 Os canais mestres ou primários de uso permanente para distribuição de vinhaça durante o período da safra deverão ser impermeabilizados com geomembrana impermeabilizante ou outra

técnica de igual ou superior efeito. Os prazos para impermeabilização dos canais mestres ou primários instalados antes da edição da primeira versão desta norma (05 de abril de 2005), estão fixados na Portaria CTSA 01, de 28 de novembro de 2005.

5.6 Ao término de cada safra, deverá ser promovida a limpeza dos tanques e canais mestres impermeabilizados, sendo que a vinhaça eventualmente remanescente deverá ser neutralizada.

5.6.1 A vinhaça remanescente nos tanques e canais mestres ou primários deverá ser aplicada, conforme os procedimentos estabelecidos nesta Norma, em solos agrícolas para uso da cultura canavieira.

5.7 Anualmente, deverá ser realizado ou atualizado o Plano de Aplicação de Vinhaça, a ser elaborado conforme instruções contidas no **item 6**, os procedimentos estabelecidos pela Portaria CTSA 01, de 28 de novembro de 2005 e assinado por profissional devidamente habilitado junto ao CREA – Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia, que deverá recolher a ART (Anotação de Responsabilidade Técnica) específica.

5.7.1 Até a data de 02 (dois) de abril de cada ano, o empreendimento deverá encaminhar à CETESB o **Plano de Aplicação de Vinhaça**, observadas as instruções contidas no **item 6** desta norma.

5.7.2 O Plano de Aplicação de Vinhaça será utilizado pela CETESB para fins de acompanhamento e fiscalização.

5.8 A dosagem para a aplicação de vinhaça para enriquecimento do solo agrícola, deverá ser calculada considerando a profundidade e a fertilidade do solo, a concentração de potássio na vinhaça e a extração média desse elemento pela cultura, conforme fórmula constante do **item 6** desta norma.

5.8.1 A concentração máxima de potássio no solo não poderá exceder 5% da Capacidade de Troca Catiônica – CTC. Quando esse limite for atingido, a aplicação de vinhaça ficará restrita à reposição desse nutriente em função da extração média pela cultura, que é de 185kg de K₂O por hectare por corte. Estes parâmetros poderão ser, a critério da CETESB, revistos conforme os resultados do estudo de avaliação mencionado no **item 5.10** desta norma ou outros estudos.

5.8.2 Nos casos em que houver necessidade de expansão na área de aplicação de vinhaça para o atendimento ao disposto neste artigo, o Plano de Aplicação de Vinhaça deverá ser atualizado e reapresentado à CETESB.

5.9 A caracterização, para fins de fertilidade do solo agrícola, das áreas que receberão a aplicação da vinhaça, deverá ser realizada antes do início da safra e de acordo com os procedimentos descritos no **item 7** desta norma.

5.10 A partir da primeira safra após a publicação desta Norma Técnica, as agroindústrias do setor sucroalcooleiro no Estado de São Paulo, por meio de suas entidades representativas e com a participação de entidades de pesquisas científicas, deverão promover estudos para a avaliação da qualidade das águas subterrâneas, do solo e avaliação dos parâmetros adotados na fórmula de dosagem referida no **item 5.8.1** e **item 6.1.3** Esses estudos serão realizados em áreas de

aplicação de vinhaça previamente indicadas pela CETESB, ouvidas as entidades representativas.

5.10.1 A indicação das áreas de avaliação, as instalações dos poços de monitoramento e as metodologias de amostragem, serão estabelecidas observando os respectivos documentos técnicos, citados nos **itens 2.3.1, 2.3.2 e 2.3.3**:

- **NBR 13895:1997; O6.010: 1988; Guia de Coleta e Preservação de Amostras de Água.**

5.10.2 Os resultados analíticos deverão ser comparados com os valores orientadores estabelecidos pela CETESB e com os padrões de potabilidade estabelecidos pelo Ministério da Saúde.

5.11 Ocorrendo alterações prejudiciais ao solo agrícola, a aplicação de vinhaça deverá ser suspensa, cabendo à CETESB comunicar o fato à Coordenadoria de Defesa Agropecuária, da Secretaria de Agricultura e Abastecimento, para os fins previstos na Lei Estadual nº 6.171, de 04 de julho de 1988, sem prejuízo de suas atribuições legais.

a) Na ocorrência de contaminação das águas subterrâneas, deverá ser suspensa a aplicação de vinhaça, cabendo à CETESB comunicar à Vigilância Sanitária quando existirem poços de abastecimento no entorno, em consonância com a articulação prevista no Decreto Estadual nº 32.955, de 7 de fevereiro de 1991, sem prejuízo de suas atribuições legais.

6 Plano de Aplicação de Vinhaça: Instruções

O Plano de Aplicação de Vinhaça no solo será constituído de memorial descritivo da prática de aplicação pretendida, acompanhado de planta na escala de 1:20.000, ou superior, contendo as taxas indicativas de dosagem a serem aplicadas, em m³/ha, diferenciadas em cores, com intervalos de aplicação a cada 150m³/ha.

A planta e planilha complementares deverão indicar, no mínimo:

- A localização dos tanques de armazenamento e dos canais mestres ou primários de uso permanente de distribuição;
- A localização dos cursos d'água;
- Poços utilizados para abastecimento;
- Dados de geologia e hidrogeologia local;
- Resultados analíticos dos solos;
- As áreas de interesse ambiental; e
- Forma e dosagem de aplicação de vinhaça.

6.1 Caracterização da vinhaça a ser utilizada nas aplicações no solo

6.1.1 Caracterização

A vinhaça deverá ser caracterizada quanto aos seguintes parâmetros:

- pH;

- resíduo não filtrável total;
- dureza;
- condutividade elétrica;
- nitrogênio nitrato;
- nitrogênio nitrito;-nitrogênio amoniacal;
- nitrogênio Kjeldhal;
- sódio;
- cálcio;
- potássio;
- magnésio;
- sulfato;
- fosfato total;
- DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) e
- DQO (Demanda Química de Oxigênio).

Observação: Outros parâmetros poderão ser solicitados, a critério da CETESB.

Essa caracterização deverá ser resultado de, no mínimo, duas amostragens realizadas no local de geração da vinhaça, durante a safra anterior à apresentação do plano de aplicação.

6.1.2 Determinação do teor de K_2O na vinhaça:

Semanalmente, será determinado o teor de K_2O da vinhaça, expresso em kg/m^3 . Essa determinação irá indicar a dosagem de vinhaça a ser aplicada no solo.

6.1.3 Dosagem:

A dosagem máxima de vinhaça a ser aplicada no tratamento de solos agrícolas em cultura de cana-de-açúcar será determinada pela equação:

$$m^3 \text{ de vinhaça/ha} = [(0,05 \times CTC - ks) \times 3744 + 185] / kvi$$

onde:

0,05 = 5% da CTC

CTC = Capacidade de Troca Catiônica, expressa em $cmolc/dm^3$, dada pela análise de fertilidade do solo realizada por laboratório de análise de solo e utilizando metodologia de análise do solo do Instituto Agrônomo - IAC, devidamente assinado por responsável técnico.

ks = concentração de potássio no solo, expresso em $cmolc/dm^3$, à profundidade de 0 a 0,80 metros, dada pela análise de fertilidade do solo realizada por laboratório de análise de solo utilizando metodologia de análise de solo do Instituto Agrônomo – IAC, devidamente assinado por responsável técnico.

3744 = constante para transformar os resultados da análise de fertilidade, expressos em $cmolc/dm^3$ ou $meq/100cm^3$, para kg de potássio em um volume de 1 (um) hectare por 0,80 metros de profundidade.

185 = massa, em kg, de K₂O extraído pela cultura por hectare, por corte.

kvi = concentração de potássio na vinhaça, expressa em kg de K₂O /m³, apresentada em boletim de resultado analítico, assinado por responsável técnico.

7 Caracterização do Solo

7.1 Caracterização da qualidade do solo que receberá aplicação de vinhaça

7.1.1 Amostragem do solo

Será utilizada uma amostra composta, constituída de quatro sub-amostras, coletadas em gleba homogênea de, no máximo, 100 (cem) hectares. As sub-amostras deverão ser coletadas, uma no centro de um círculo com raio de 10 metros e as outras três ao longo do perímetro, distanciadas cerca de 120 graus uma da outra. Essa amostragem deverá estar geo-referenciada com suas coordenadas.

As amostras deverão ser coletadas com trado, de maneira contínua, até a profundidade de 0,80 metros. O solo deverá ser colocado em recipiente limpo, específico para essa finalidade. Após a coleta das quatro sub-amostras, homogeneizar e, por quarteamento, retirar uma amostra de 500 gramas, que será encaminhada para análise de solo em laboratório integrado ao Instituto Agrônômico – IAC.

7.1.2 Caracterização da qualidade do solo

Deverão ser determinados nas amostras compostas, conforme descrito acima, os seguintes parâmetros:

- Al – alumínio trocável;
 - Ca – cálcio;
 - Mg – magnésio;
 - Na – sódio;
 - SO₄⁻ sulfato;
 - Hidrogênio dissociável;
 - K – potássio;
 - Matéria orgânica;
 - CTC – capacidade de troca catiônica;
 - pH – potencial hidrogeniônico e
 - V% - saturação de bases.
-

8 Referências

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER ENVIRONMENT FEDERATION. Microbiological examination. In: _____. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20th. Washington, 1998.
- BOHN, H.; O'CONNOR, G. **Soil chemistry**. Toronto: A Wiley Interscience: John Wiley Sons, 1979.
- CAMARGO, O.A.; VALADARES, J.M.S.; GERALDI, R.N. Características físicas e químicas de solo que recebeu vinhaça por longo tempo. **Boletim técnico do IAC**, n. 76, p. 1-30, 1983.
- EMBRAPA. Comissão de Solos. **Levantamento de solos do estado de São Paulo**. Rio de Janeiro, 1960. (Boletim 12)
- DYNIA, J.F. Nitrate retention and leaching in variable change soils of a watershed in São Paulo State, Brazil. Embrapa Meio Ambiente. **Commun. Soil Sci, Plant Anal**, v. 31, n. 5-6, p. 777-791, 2000.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Mapa de solos do Brasil**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1981.
- FONTES, M.P.F.; CAMARGO, O.A.de; SPOSITO, G. Eletroquímica das partículas coloidais e sua relação com a mineralogia de solos intemperizados. **Sci. Agric.**, Piracicaba, v. 58, n 3, 2001.
- GLOEDEN, E. **Monitoramento da qualidade da água das zonas não saturada e saturada em área de fertirrigação com vinhaça**. 1994. Dissertação (Mestrado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.
- HASSUDA, S. **Impactos da infiltração da vinhaça de cana no aquífero Bauru**. 1989. Dissertação (Mestrado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.
- KLAUS, A.E. **A água no sistema solo - planta- atmosfera**. São Paulo: Nobel, 1988.
- KOFLER, N.E. **A profundidade do sistema radicular e o suprimento de água das plantas no cerrado**. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato - POTAFOS, 1986, 12p. (Informação Agronômica, 33).
- MORELLI, J.L. et al. Efeito do gesso e do calcário nas propriedades químicas de solos arenosos álicos e na produção de cana-de-açúcar. **STAB Açúcar e Alcool e Subprodutos**, v. 6, p. 24-31, 1987.
- MORELLI, J.L. et al. Calcário e gesso na produtividade da cana-de-açúcar e nas características químicas de um latossolo de textura média álicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 6, p. 187-194, 1992.

ORLANDO FILHO, J.; ROSSETOR, R.; GERALDI, R.N. Adubação potássica em cana-de-açúcar: II Análise química do solo e diagnose folia. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 5., 1993, Águas de São Pedro. **Anais...** Piracicaba: Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, 1994. p. 50-54.

ORLANDO FILHO, J. et al. Relações K, Ca, Mg de solo areia quartzosa e produtividade da cana-de-açúcar. **STAB Açúcar e Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 14, nº 5, p.13 -17, 1996.

ORLANDO FILHO, J.; BITTENCOURT, V.C.; ALVES, M.C. Aplicação de vinhaça em solo arenoso do Brasil e poluição do lençol freático com nitrogênio. **STAB Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v. 13, n. 6, p. 14-16, 1995.

PENATTI, C.P. **Doses de vinhaça versus doses de nitrogênio em cana-soca durante quatro safras**. São Paulo: Copersucar, Usina São Luiz, 1999. Relatório Interno.

PENATTI, C.P.; FORTI, J.A. Doses de vinhaça versus doses de nitrogênio em cana-soca. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 7., 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Centro de Tecnologia Copersucar, 1997. p. 328-339.

PRIMAVESI, O.; KORNDORFER, G.H.; DEUBER, R. Extração de minerais por colmos de cinco variedades de cana-de-açúcar em três solos. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 10., 1992, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: XXII Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição e Plantas, 1992. p. 338-339.

RAIJ, B. Van. **Gesso agrícola na melhoria do ambiente radícula no subsolo**. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas, 1988. 88 p.

REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema solo - planta - atmosfera**. Campinas: Fundação Cargill, 1985. 44 p.

RITCHEY, K.D.; SILVA, J.E.; SOUZA, D.M.G. Relação entre teor de cálcio no solo e desenvolvimento de raízes avaliado por um método biológico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 7, p. 269 – 275, 1983.

RITCHEY, K.D.; SOUZA, D.M.G.; LOBATO, E. C. Calcium leaching to increase rooting depth in Brazilian savannah Oxisol. **Agron. J.**, v. 72, p. 40-44, 1980.

SOUZA, D.M.G.; RITCKEY, K.D. Correção de acidez subsuperficial: uso de gesso no solo de cerrado. In: SIMPÓSIO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO, 1986, Campinas. **Anais ...** Campinas: Fundação Cargill, 1986. p. 91-113.

TISDALE, S.; NELSON, W.; BEATON, J. **Soil fertility and fertilizers**. New York: Macmillan, 1985.

UEHARA, G.; GILLMAN, G. **The mineralogy, chemistry and physycs of tropical soils with variable charge clays**. Colorado: Westview Press, 1981.