

Em que:

$V_{\text{assoreado}}$ = volume de cada caixa para o assoreamento da terra [m³];

T_{limpeza} = tempo de assoreamento de cada caixa ~ 3 dias;

$Tx_{\text{assoreamento}}$ = taxa diária de assoreamento para as condições adotadas = 800 m³/dia.

- Decantador circular para o efluente da lavagem de cana.

O fechamento do circuito de água de lavagem de cana por decantador circular é apresentado na Figura 68. Este sistema ainda é utilizado no setor, muito em-

bora venha sendo abandonado com a eliminação gradativa da lavagem de cana. Este tipo unidade de tratamento é indicado quando as impurezas minerais são predominantemente formadas por argilas.

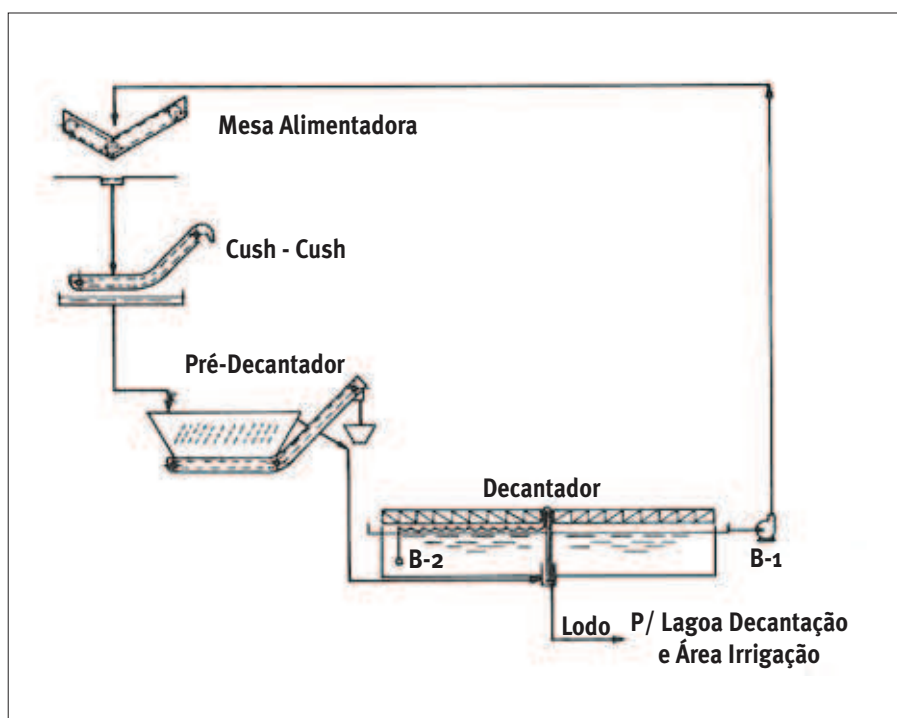


Figura 68 - Esquema de um sistema completo de tratamento de efluente de lavagem de cana por decantador circular (COPERSUCAR, 1983).

O decantador circular é um equipamento convencional de decantação das partículas mais densas que a água. O despejo que sai do “cush-cush” segue para esse decantador, que tem um tempo de detenção suficiente para a operação unitária de decantação, em torno de 2 horas. No fundo da unidade acumulam-se as partículas discretas e o lodo decantado, sendo daí retirado basicamente por dois sistemas: o sistema convencional e o decantador modelo CTC.

O sistema convencional utiliza um raspador de fundo com acionamento central (tipo “Door Oliver”), encaminhando o lodo para um poço central de onde é recalcado. O decantador modelo CTC, por sua vez, utiliza bombas submersas que varrem o fundo do decantador para a retirada de lodo. O lodo é encaminhado para lagoas de lodo e posteriormente para áreas da lavoura. O efluente decantado retorna à mesa de lavagem de cana e sofre a adição de cal para manter bási-

co o pH da água (8 a 11) em recirculação, como nas caixas de areia, sendo a cal muito importante para auxiliar a decantação de sólidos mais leves como siltes e argilas.

Na Figura 69 mostra-se um decantador modelo CTC em funcionamento em uma usina, cujo porte e as características de dimensionamento são apresentados na Figura 70 e Tabela 43, respectivamente.



FOTO: A. ELIA NETO

Figura 69 - Decantador circular de água de lavagem de cana modelo CTC em funcionamento em uma usina.

Tabela 43 - Características dos decantadores circular modelo CTC para os efluentes da lavagem de cana

Modelos	CTC ϕ 36m	CTC ϕ 50 m	CTC ϕ 60 m
Área de decantação (m ²)	1.018	1.963	2.827
Volume (m ³)	2.545	4.907	7.067
Taxa de aplicação (m ³ /m ² .hora)	1,2	1,3	1,4
Vazão (m ³ /h)	1.250	2.500	4.000
Eficiência	Remoção de partículas até 20 μ m		

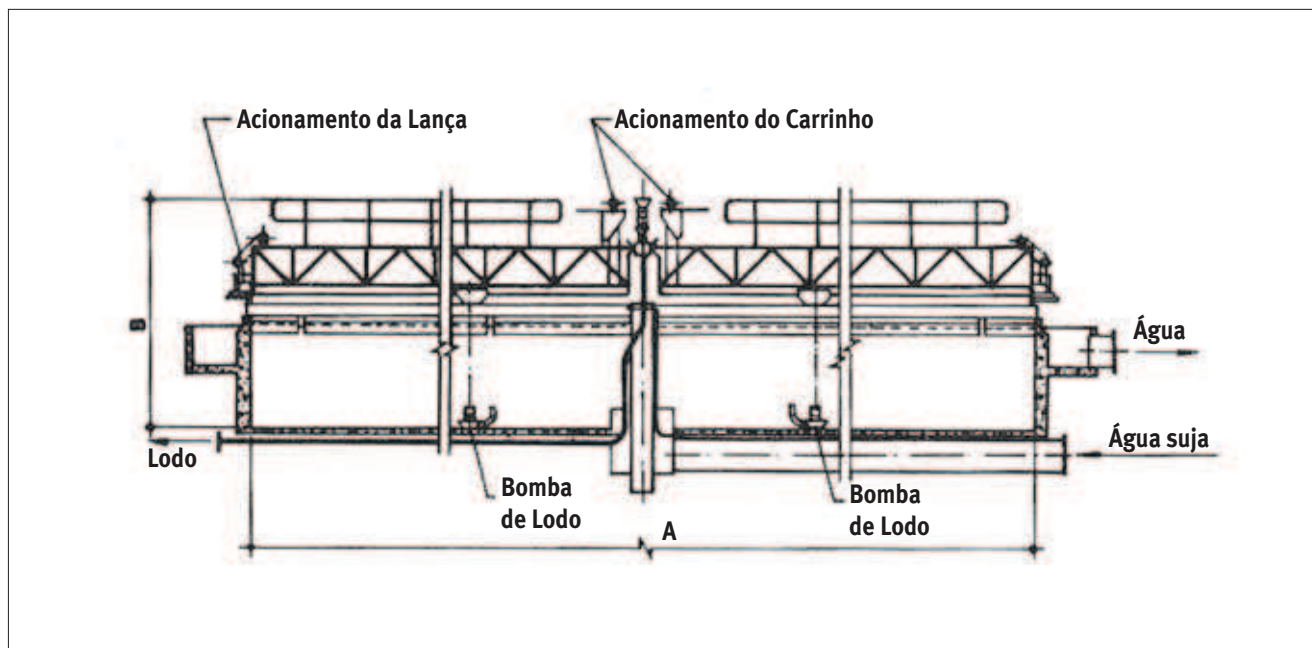


Figura 70 - Croqui do decantador circular de água de lavagem de cana modelo CTC (COPERSUCAR, 1983).

Quando as impurezas minerais são constituídas basicamente de areia e se pretende utilizar o decantador circular, primeiramente deve-se ter uma predecantação para remoção do material mais prontamente sedimentável sob o risco de assorear o equipamento principal, dificultando a sua operação. Respeitando esse detalhe, o predecantador desenvolvido no CTC é constituído de raspador de fundo que encaminha o material decantado para uma moega de carregamento de caminhões

basculantes, enviando esta areia para áreas na lavoura de cana. O corpo do predecantador é dotado de lamelas dispostas paralelamente em um ângulo de 60° para aumentar a área de decantação, possibilitando o escorregamento do material decantado. Na Figura 71 é apresentado um esquema deste equipamento desenvolvido pelo CTC (COPERSUCAR, 1983), cujas características de dimensionamento são mostradas na Tabela 44.

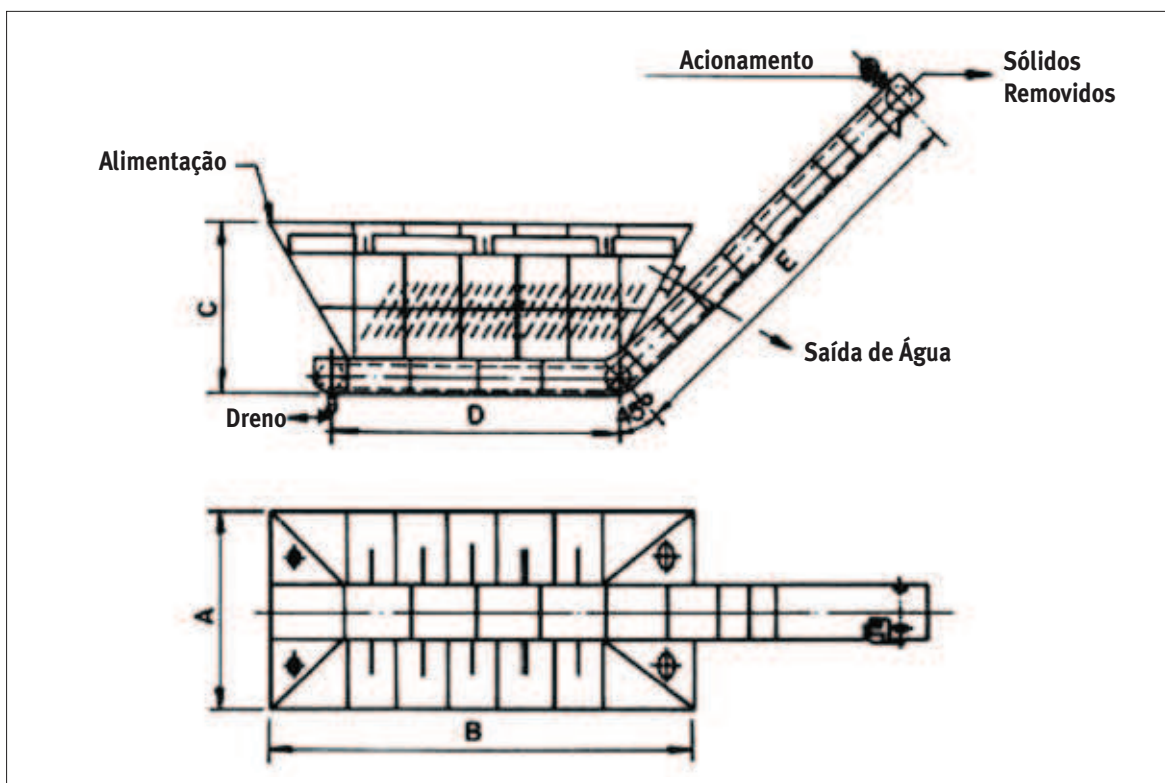


Figura 71 - Esquema de um predecantador efluente de lavagem de cana modelo CTC (COPERSUCAR, 1983).

Tabela 44 - Características do predecantador modelo CTC para os efluentes da lavagem de cana com excesso de areia

Parâmetros	Valores
Área total de decantação	127 m ²
Taxa de aplicação superficial	18 m ³ /m ² .hora
Vazão padrão da unidade	2.300 m ³ /h
Eficiência	Remoção de partículas maiores que 100 µm

6.3.2. Resfriamento dos efluentes da fábrica

A água utilizada para a condensação do vapor vegetal nos condensadores barométricos ou multijatos do último corpo de conjunto de evaporação de múltiplo efeito e dos cozedores a vácuo se transforma em um efluente quente, normalmente tratado em circuito fechado para remoção da carga térmica para novamente ser reutilizado na fábrica. Os efluentes dos condensado-

res dos filtros rotativos a vácuo são também incorporados para tratamento conjunto neste circuito. Como visto anteriormente, são efluentes que apresentam um baixo potencial poluidor (DBO₅ menor que 40mg/L), alta temperatura (em torno de 45°C) e grande volume, sendo impraticável seus lançamentos diretos em rios devido principalmente à carga orgânica e também à poluição residual de matéria orgânica quando em corpos de água com baixo poder de diluição.

Aliás, os evaporadores e cozedores são dotados com separadores de arraste de açúcar, acessórios internos ou externos, que mantêm as perdas de açúcar e, consequentemente, o residual poluidor do efluente com baixa carga, sendo uma tecnologia que está abordada no item específico sobre a P + L neste manual.

O tratamento consiste no resfriamento do efluente em tanques aspersores (“spray-pond”), com as

águas frias recirculando ao processo ou, em certas condições, direcionadas para lançamento.

Na Figura 72 é apresentado detalhe do sistema de resfriamento com tanques aspersores. Na Figura 73, por sua vez, mostra-se um sistema de resfriamento para a fábrica, composto por torres de arrefecimento não muito comum para a fábrica de açúcar de uma usina, mas muito utilizada na destilaria.



Figura 72 - Detalhe dos aspersores em tanques de resfriamento de efluentes para a fábrica de açúcar.



FOTO: A. ELIA NETO

Figura 73 - Torres de arrefecimento (ou resfriamento) para o circuito de reúso da fábrica de açúcar.

As torres de resfriamento são especificadas pelos fabricantes. Já o sistema por lagoas aspersoras é dimensionado para se ter um colchão de neblina que permita o ar circular internamente, ou seja, uma relação gás-água similar à de torres, promovendo a evaporação da água quente, através da retirada do calor latente do sis-

tema, e, por conseguinte resfriando a água do sistema.

Considerando os dados médios da Tabela 45 e adotando uma temperatura da água fria de 32°C e um “mix” de produção açúcar-etanol de 50%, calcula-se, com o auxílio da Equação 45, a carga térmica (Q) a ser removida do efluente visando o resfriamento para reúso.

Tabela 45 - Parâmetros médios utilizados para os efluentes quentes da fábrica de açúcar conforme os equipamentos da fábrica

Efluentes	Vazão Específica	Temperatura [°C]
Condensadores do filtro rotativo a vácuo	0,3 m³/t cana	50
Condensadores/multijatos da evaporação	4 a 5 m³/t cana açúcar	45
Condensadores/multijatos do cozimento	8 a 15 m³/t cana açúcar	45
Total/média ponderada	16,6 m³/t cana açúcar	45,2

Eq. 45:

$$Q = (m_{\text{filtro}} + m_{\text{evaporação}} + m_{\text{cozedores}}) C p_{\text{água}} * \Delta T_{\text{água}} =$$

$$Q = (16.600) * 1 * (45,2 - 32) = 219.120 \left[\frac{\text{kcal}}{\text{h.t cana açúcar}} \right]$$

Em que:

Q = carga térmica a ser removida = 219.120 kcal/h.t cana açúcar;

m_{filtro} = efluente do condensador do filtro a vácuo = 0,300 t/tcana total = 0,600 t/t cana açúcar; quando o “mix” for 50%;

$m_{\text{evaporação}}$ = efluente do condensador da evaporação = 4,5 t/t cana total;

$m_{\text{cozedores}}$ = efluente do condensador do cozedor = 11,5 t/t cana total;

$C p_{\text{água}}$ = calor específico da água = 1 kcal/kg. °C;

$\Delta T_{\text{água}}$ = diferença da temperatura entre a água quente e fria = 45,2 - 32 = 13,2°C.

A taxa de aplicação térmica (T_a), considerando a remoção de calor por área superficial de aspersão, é fun-

ção da temperatura da água quente e da temperatura do bulbo úmido, tendo-se pela Equação 46:

Eq. 46:

$$T x_{\text{aspersor}} = (T_{\text{quente}} - T_{\text{bulbo}}) * T x_{\text{especifica}}$$

$$T x_{\text{aspersor}} = (45,2 - 25) * 610 = 12.322 \left[\frac{\text{kcal}}{\text{h.m}^2 \text{ t cana açúcar}} \right]$$

Em que:

$T x_{\text{aspersor}}$ = taxa horária de remoção de carga térmica no aspersor por área = 12.322 kcal/h.m².t cana açúcar;

T_{quente} = temperatura da água quente a ser resfriada, adotada = 45,2°C;

T_{bulbo} = temperatura de bulbo úmido = 25°C, adotado;

$T x_{\text{especifica}}$ = taxa específica de remoção térmica = 610 kcal/m².°C.

A área superficial de resfriamento será a carga térmica (Q) dividida pela taxa térmica ($T x_{\text{aspersor}}$), que para o exemplo, resulta em 17,8 m²/tcana.h, variando naturalmente conforme as condições de trabalho na fábrica (tipos de equipamentos, vazões e temperaturas) e as condições atmosféricas (temperatura de bulbo úmido).

Além desta superfície útil, o tanque aspersor deve possuir uma faixa de proteção de, no mínimo, 5 metros para evitar respingos de água fora da bacia provocados por ventos. Na superfície útil da bacia devem ser instalados bicos aspersores uniformemente distribuídos, em espaçamento aproximado de 3 m x 3 m, tendo

cada bico uma área de influência aproximada de 9m². Portanto, necessita-se de aproximadamente 2 bicos para cada tonelada de cana para açúcar por hora, ou 1 bico por saco/h de açúcar produzido.

Os bicos aspersores são selecionados em função da vazão e pressão, podendo ser de vários tipos, porém os de polipropileno são os mais utilizados principalmente pelo material empregado e facilidade de manutenção. Ressalta-se que estes tanques aspersores devem ser revestidos (concreto ou geomembranas) para evitar que água suja seja direcionada à fábrica e que ocorram problemas de infiltração.

6.3.3. Resfriamento dos efluentes da destilaria

Os efluentes quentes gerados na destilaria são resfriados objetivando o seu reaproveitamento em circuito fechado. As correntes de efluentes do resfriamento da destilaria são basicamente provenientes de três processos: resfriamento de dornas, resfriamento do caldo para destilaria e condensadores de álcool. Estes três efluentes, apesar de lípidos e sem contato com o produto, geram uma água quente, impossibilitando o seu lançamento em corpos de água. A legislação ambiental impede que os efluentes sejam lançados com temperatura maior que 40°C, ou que aumentem em mais de 3°C a temperatura do corpo receptor. A alta temperatura provoca depleção do oxigênio dissolvido do meio aquático. Além disso, a cobrança pelo uso da água induz a reutilização deste efluente.

Assim, visando ao reaproveitamento em circuito fechado, essa água pode ser esfriada por torres de resfriamento ou por aspersores, porém estes, com menor eficiência de remoção de carga térmica. Este fato pode prejudicar a fermentação, pois se exige temperatura baixa nesta operação. Pode-se também adotar a reutilização do efluente menos quente do resfriamento de dornas para os condensadores de álcool, sistema denominado “em cascata”. Neste caso, a vazão da água em recirculação no sistema é menor, mas a carga térmica para a torre é a mesma.

A água quente do processo é distribuída no topo da torre (por vertedores de gravidade ou bicos sob pressão), descendo em contra corrente (ou em corrente cruzada) com ar frio. Este é aspirado ou insuflado por ven-

tiladores, forçando o ar através do enchimento interno (constituído de madeira ou material plástico), aumentando-se assim o contato ar-água. A água fria é recolhida na bacia da torre, sendo daí recalçada para o reúso.

Na torre de resfriamento, ocorre evaporação de parte da água, transferência de massa da fase líquida (água) para a fase gasosa (ar), causando o abaixamento da temperatura da água que circula na torre. Este resfriamento evaporativo é responsável por 80% do resfriamento da água, ficando os 20% restantes por conta da diferença de temperatura entre o ar e a água. O “approach” de uma torre de resfriamento é a diferença entre a temperatura da água fria (saída da torre de resfriamento) e a temperatura de bulbo úmido do ar na entrada da torre. O “approach” normal dos projetos de torres varia de 3 a 5°C, indicando que em regiões com temperatura de bulbo úmido relativamente alta, acima de 25°C, a água fria da torre estará variando de 28 a 30°C.

A seleção e o dimensionamento de torres são normalmente feitos pelos fabricantes e dependem do tipo de torre e do tipo de enchimento. Estabelece-se o parâmetro de desempenho da torre, definido como o produto entre o coeficiente global de transferência de massa e a área específica do recheio da torre, levando-se em conta também as condições atmosféricas locais (temperatura do ar ambiente, umidade do ar, temperatura de bulbo úmido e direção do vento). Em suma, procura-se manter no dimensionamento uma relação adequada gás-líquido para a remoção da carga térmica necessária.

O cálculo da carga térmica depende da média dos parâmetros de despejos quentes da destilaria apresentados na Tabela 46 e é obtido conforme a Equação 47.

Tabela 46 - Parâmetros do sistema de resfriamento com torres dos efluentes quentes da destilaria

Efluente quente	Dornas de fermentação	Resfriamento do caldo do mosto	Condensadores da destilaria
Temperatura (°C)	33	40 - 50	45 - 55
Taxa média de água (m³/m³.álcool)	60 - 80	30	80 - 120
Água fria da torre	Até 28°C		
Perdas de água na torre	3 %		

Eq. 47:

$$Q = (m_{dornas} * (T_{dornas} - T_{fria}) + m_{mosto} * (T_{mosto} - T_{fria}) + m_{cond} * (T_{cond} - T_{fria})) C_p_{\text{água}} =$$

$$Q = (70.000 * (33 - 28) + 30.000 * (45 - 28) + 100.000 * (50 - 28)) 1 =$$

$$Q = 3.060.000 \left[\frac{\text{kcal}}{\text{h.m}^3 \text{ etanol}} \right]$$

Em que:

Q = carga térmica a ser removida = 3.060.000 kcal/h.m³ etanol = 2.609.100 kcal/h.t cana etanol;

m_{dorna} = efluente quente do resfriamento das dornas = 70.000 kg/m³ etanol;

m_{mosto} = efluente quente do resfriamento do caldo para mosto = 30.000 kg/m³ etanol;

m_{cond} = efluente quente dos condensadores de etanol = 100.000 kg/m³ etanol;

$C_p_{\text{água}}$ = calor específico da água = 1 kcal/kg.°C;

T_{dorna} = temperatura do efluente quente do resfriamento de dorna = 33°C;

T_{mosto} = temperatura do efluente quente do resfriamento do caldo para mosto = 45°C;

T_{cond} = temperatura do efluente quente dos condensadores de etanol = 50°C;

T_{fria} = temperatura da água fria produzida na torre = 28°C.

6.3.4. Tratamento dos despejos da lavagem de chaminé

O efluente resultante da lavagem do gás da chaminé da caldeira a bagaço contém uma grande quantidade de sólidos suspensos e certo teor de matéria orgânica, que inviabiliza o seu lançamento direto em corpos d'água. Normalmente, as águas dos retentores de fuligem são mantidas em circuito fechado, requerendo de-

cantação ou flotação do material suspenso. Isso pode ser feito em caixas de areias (similar às de lavagem de cana) ou por equipamentos mais compactos como os decantadores/flotadores de fuligem (DFF).

O CTC desenvolveu três modelos para a remoção dos resíduos sedimentáveis (fuligem, cinza e areia) da água utilizada na lavagem de gases de chaminé. As características desses decantadores/flotadores são apresentadas na Tabela 47 e ilustradas na Figura 74.

Tabela 47 - Parâmetros característicos dos decantadores/flotadores de fuligem modelos CTC (COPERSUCAR, 1983)

Modelos		CTC DFF 100	CTC DFF 150	CTC DFF 250
Capacidade de projeto (t cana/dia)		2.400	3.600	6.000
Dimensões do equipamento	Largura (m)	2,5	3,2	4,05
	Comprimento (m)	6,8	7,8	8,8
	Altura (m)	3,56	4,15	4,45
Taxa de aplicação (m³/m².h)		6,0		
Taxa de água (m³/t vapor)		2		
Porcentagem de água de reposição (%)		9		
Efluente bruto	Temperatura (°C)	60		
	Sólidos em suspensão (%)	0,25 a 0,5		
	pH	7,5		
Efluente tratado	Temperatura (°C)	40 a 60		
	Sólidos em suspensão (%)	0,02 a 0,1		
	pH	7,5		
Eficiência de separação		75 a 90 % da matéria em suspensão		
Material sólido retirado (kg/t cana)		2,2 a 3,6		



FOTO: ACERVO CTC

Figura 74 - Decantadores/Flotadores (DFF) modelo CTC instalado em uma usina.

Estes equipamentos também recebem a água da limpeza de cinzeiros das caldeiras a bagaço. Os resíduos mais pesados decantam no fundo do equipamento e o material mais leve flota em sua superfície. Raspadores com taliscas de fundo e de superfície encaminham o material sólido decantado e flotado à uma moega de carregamento de caminhões basculantes, para aplicação na lavoura de cana. Este lodo pode ser prensado, a fim de diminuir o volume transportado e economizar água de reposição no sistema de lavagem. O sistema requer água de reposição, devido às perdas por evaporação e de água incorporada ao lodo, e também devido às purgas

necessárias para a desconcentração do material mais fino não decantado, purgas estas que devem ser encaminhadas para as águas residuárias.

Sistemas similares vêm sendo muito utilizados no setor, como os decantadores circulares com fundo cônico, conforme exemplificado na Figura 75. Neste equipamento se utilizam polieletrólitos para auxiliar a decantação, sendo o lodo recolhido por bombas, encaminhando-o para uma prensa que diminuirá a perda de água no processo de tratamento, e otimizará o transporte deste resíduo para a lavoura.



FOTO: A. ELIA NETO

Figura 75 - Decantador de fuligem circular com fundo cônico em funcionamento em uma usina.

A produção deste tipo de lodo é da ordem de 15 kg/t cana, com umidade média de 80%, sendo este resíduo aplicado na lavoura de cana juntamente com a torta como fertilizante. A composição do lodo contendo fuligem depende de vários fatores, sendo mais im-

portante a eficiência de queima do bagaço na caldeira. Na Tabela 48 é apresentada a composição média do lodo dos decantadores/flotadores modelo CTC (CO-PERSUCAR, 1983).

Tabela 48 - Composição média da fuligem (COPERSUCAR, 1983)

Parâmetros	Valores
Umidade	74,5 a 82%
Matéria volátil	6,0 a 8,2%
Matéria não-volátil	9,8 a 19,5%
Composição da matéria inorgânica	
- SiO ₂	65 a 70%
- Fe ₂ O ₃	16 a 18%
- Óxidos diversos	18 a 20%

O circuito de tratamento do efluente do retentor de fuligem tem sido provido com prensa de fuligem para receber o lodo elevado pelos raspadores ou bombeado. Este recurso aumenta a concentração de sólido na massa, formando uma torta, o que economiza água de reposição, diminui o volume de transporte para a lavoura em até 50% e também evita problemas de derrames e de acúmulo de sujeira na área de circulação da indústria pelo transporte com caminhões.

6.3.5. Tratamento e reúso dos efluentes mornos de resfriamento de equipamentos

Os efluentes mornos são oriundos dos resfriamentos de equipamentos da seção de alimentação, preparo e extração do caldo, do tratamento do caldo e também da seção de energia, possuindo características límpidas e temperatura baixa, cujas vazões são resumidas na Tabela 49.

Estes efluentes mornos podem suprir parte da demanda estimada de água necessária para o processo industrial, como será mostrado mais adiante neste manual, podendo ser utilizada em reposição de perdas de circuitos fechados e lavagem de piso e equipamento.

Tabela 49 - Vazões dos efluentes mornos de resfriamento de equipamentos

Efluente Morno	Vazão Específica	Uso médio [m³/t cana total]
Da seção de alimentação, preparo e extração		
Resfriamento de mancais	0,035 m³/t cana total	0,035
Resfriamento óleo	0,130 m³/t cana total	0,130
Da produção de energia		
Resfriamento coluna sulfitação	0,100 m³/t cana açúcar	0,050
Da produção de energia		
Resfriamento óleo e ar dos turbogeradores	15 L/KW	0,500
Total		0,715

Quando há um excesso deste efluente, deve-se fechar o circuito de água com torres de resfriamento, o que é normalmente feito para o resfriamento dos equipamentos do preparo e extração (picadores, desfibrador e mancais de moenda), e dos turbogeradores.

6.3.6. Tratamento e reúso dos condensados

Neste item, apresentam-se os tipos de tratamentos e de reúso dos condensados da fábrica e da destilaria. Proceda-se ainda um balanço geral das águas tendo em vista os reúsos destes condensados. Além disso, considera-se os efluentes mornos da refrigeração de equipamentos, que serão distribuídos em reúso para a caldeira, para o processo industrial, e para reposição das perdas de circuitos fechados. São aqui estimadas as perdas normais, nos sistemas de reúso de água e vapor, e as advindas da incorporação de água nos produtos, nos subprodutos e nos resíduos sólidos.

- Condensados da fábrica de açúcar
Os condensados da fábrica de açúcar, incluindo-

se o tratamento do caldo, como já mostrados, são provenientes das etapas de aquecimento, evaporação e cozimento, tratando-se de condensados de vapor de escape ou vapor vegetal. Conforme a qualidade, os condensados são reaproveitados como água de reposição nas caldeiras, sendo exigida uma boa qualidade, que normalmente é obtido com os condensados de vapor de escape e vegetal de primeira (vv1) que não tenham sido contaminados. Utilizações menos nobres no processo, como na embebição, diluição de cal, lavagem de torta, diluição de magma e méis, retardamento do cozimento, lavagem do açúcar, dentre outras, são feitas com condensados de menor qualidade. Na Tabela 50 é resumida a produção de condensados na fábrica baseado no que já foi apresentado neste manual.

Considerando a necessidade de geração de vapor de 453 kg/t cana total para um “mix” de produção industrial de 50%, conforme estimado anteriormente na Tabela 15, os condensados da fábrica suprem a demanda de água para caldeira em 334 kg/t cana total, ou seja, aproximadamente 74% da necessidade geral de vapor da usina. O restante 241 kg/t cana total pode ser reutilizado no processo industrial.

Tabela 50 - Produção e uso dos condensados da fábrica de açúcar

Efluente Condensado	Tipo	Vazão Específica	Reaproveitamento	
			Caldeiras	Processo
Do aquecimento do caldo				
Aquecedores para açúcar	escape	160 kg/t cana açúcar		X
Aquecimento parcial p/ etanol	escape	50 kg/t cana etanol		X
Da evaporação do caldo (5 efeitos com sangria no pré para aquecimento e cozimento)				
Pré-evaporador (1º efeito)	escape	414 kg/t cana açúcar	X	
2º efeito	vegetal 1	84 kg/t cana açúcar	X	
3º efeito	vegetal 2	84 kg/t cana açúcar		X
4º efeito	vegetal 3	84 kg/t cana açúcar		X
5º efeito	vegetal 4	84 kg/t cana açúcar		X
Do cozimento do açúcar				
Dos cozedores a vácuo	vegetal 1	170 kg/t cana açúcar	X	
Do retardamento ⁽ⁱ⁾	diversos	20 kg/t cana açúcar		X
Total		kg/t cana açúcar	668	482
“Mix” de 50%		kg/t cana total	334	241

(1) O uso de água para o retardamento do cozimento é praticamente um ciclo fechado, utilizando-se o condensado vegetal ou de escape para produzir vapor no vácuo (retornando-o para a caldeira) sendo um uso esporádico não considerado no total.

A qualidade do condensado do pré e do 1º efeito, conforme anteriormente apresentado na Tabela 35, atende aos padrões de qualidade para as caldeiras com pressões até 28,1 kgf/cm² e até maiores. Isso tomando-se os devidos cuidados, principalmente com a possibilidade de arraste de açúcar (ART), que poderia aumentar significativamente o valor do COT (Carbono Orgânico Total), como pode ser observado na Tabela 51, que

foi composta com os limites consolidados das Tabela 23 e Tabela 28 anteriormente apresentadas. Também o pH deste efluente necessita de correção, o que é feito no tratamento interno da água com adição de alcalinizante. Já os condensados dos demais efeitos são desclassificados para uso nas caldeiras devido aos excessos de cloreto, cobre, ferro, dureza e COT (correlacionado com açúcares).

Tabela 51 - Comparação da qualidade dos condensados com os valores máximos permissíveis na água interna das caldeiras nos tratamentos convencional, complexiométrico, disperso-solubilizante e conjugado

Parâmetros	Condensados		Valores Limites		
Pressões (kgf/cm ²)	Pré e 1º Efeito	Demais Efeitos	7,0 - 28,1	28,1 - 42,2	42,2 - 52,7
Pressões (psig)			100 - 400	400 - 600	600 - 750
Alcalinidade Hidróxida (mg CaCO ₃ /L)	0 - 18,78	1 - 48	100 - 300	50 - 100	25 - 50
Cloretos (mg Cl/L)	0,01 - 0,4	0,01 - 110	100 - 300	< 80	-
Cobre total (mg Cu/L)	< 0,05 - 0,1	0,1 - 27	≤ 0,025 ⁽¹⁾	≤ 0,02 ⁽¹⁾	-
SST (mg/L)	-	-	10 - 15	5 - 10	-
Ferro (mg Fe/L)	< 0,05 - 0,3	0,1 - 25	5 - 4	< 3	-
	-	-	< 0,05 ⁽¹⁾	< 0,03 ⁽¹⁾	< 0,025 ⁽¹⁾
pH (25°C)	3,2 - 9,8	3 - 9,5	10,5 - 12	10 - 11,5	10 - 11
Dureza (mg CaCO ₃ /L) p/ SDT	1 - 12	1 - 330	< 200		
Dureza (mg CaCO ₃ /L) p/ demais			zero		
Condutividade específica 25°C (µS/cm)	8 - 225	32,4 - 974	5400-900 ⁽¹⁾	3800-800 ⁽¹⁾	1500-300 ⁽¹⁾
Sílica (mg SiO ₂ /L)	< 1	< 1	≤ 90	≤ 40	≤ 30
Soda (mg NaOH/L) - Residual	-	-	150 - 200	50 - 100	25 - 50
Sulfito (mg SO ₃ /L) - Residual	< 1 - 8	1 - 21	30 - 50	20 - 40	< 20
COT (mg/L) (1)	< 0,4 - 110 ⁽²⁾	0,05 - 1180 ⁽²⁾	< 1 ⁽¹⁾	< 0,1 ⁽¹⁾	-
Fosfato (mg PO ₄ /L) - Residual	-	-	30 - 50	20 - 40	5 - 10
Quelatos (mg/L)	-	-	5 a 15 mg/L na água de alimentação		
Polímeros (mg/L)	-	-	2 a 15 mg/L na água de alimentação		

(1) limites recomendados na água de alimentação conforme apresentado na Tabela 24.

(2) ART - açúcares redutores totais (mg/L), apenas para correlacionar empiricamente com o COT - carbono orgânico total

Ainda assim, o reúso dos condensados para servir como água quente para caldeira é cercado de grande cuidado, exigindo um sistema confiável de detecção de presença de açúcar, com análises laboratoriais, ou medidores em linha (normalmente condutivímetro), para o desvio automático do condensado contaminado.

Os demais condensados da fábrica, estimados no caso em 241 kg/t cana total, são reutilizados no processo industrial conforme se apresenta na Tabela 52, eventual-

mente podendo sofrer algum tipo de tratamento como resfriamento e neutralização. Observa-se que há uma demanda de 509 L/t cana total na usina, podendo o condensado da fábrica suprir cerca de 47% dos usos, dando-se preferência para aqueles que não precisam de tratamento. Em alguns casos, como na embebição das moendas, utiliza-se somente a metade da vazão necessária com água condensada, para não elevar a temperatura da água nesta operação.

Tabela 52 - Reúso dos condensados da fábrica de açúcar no processo

Efluente Condensado	Vazão Específica	Condição de Reúso
Reúso na extração e no tratamento do caldo		
Embebição parcial (50%)	250 L/t cana total	Resfriamento parcial
Embebição parcial (50%)		Sem resfriamento
Preparo de leite de cal	30 L/t cana total	Sem tratamento
Preparo de polímero	15 L/ t cana açúcar	Sem tratamento
Lavagem da torta	30 L/ t cana total	Temperatura 60 °C
Reúso na fábrica de açúcar		
Diluição de méis e magmas	50 L/t cana açúcar	Sem tratamento
Retardamento do cozimento	20 L/t cana açúcar	Circuito fechado
Lavagem de açúcar	10 L/t cana açúcar	Boa qualidade
Retentor de pó de açúcar	40 L/t cana açúcar	Após resfriamento
Reúso na fermentação		
Preparo do mosto	200 L/t cana açúcar	Resfriamento
Preparo de pé-de-cuba	2 L/t cana etanol	Após resfriamento
Lavagem de gases CO ₂	30 L/t cana etanol	Após resfriamento
Reúso na área de energia		
Dessuperaquecimento	15 L/ t cana total	Boa qualidade
kg/t.cana.total	509	

Existem ainda outras possibilidades de reúso dos condensados da fábrica, como, por exemplo, em reposições de água nos circuitos fechados para suprir perdas, na lavagem de cana, lavagem dos gases das caldeiras, sistemas de resfriamentos, dentre outros.

Os condensados da fábrica devem ser coletados separadamente, de forma que um não contamine o outro. Pode-se utilizar um tanque coletor tipo cilíndrico hori-

zontal, com um número de compartimentos igual aos efeitos da evaporação, possibilitando assim o envio por bombeamento de cada corrente para o local de reúso, visto que o sistema está sob vácuo. O fluxograma da Figura 76 ilustra este tipo de instalação. Quando houver excesso de um tipo de condensado, através de válvulas quebra vácuo, o condensado de melhor qualidade pode extravasar para o de pior, porém nunca ao contrário.

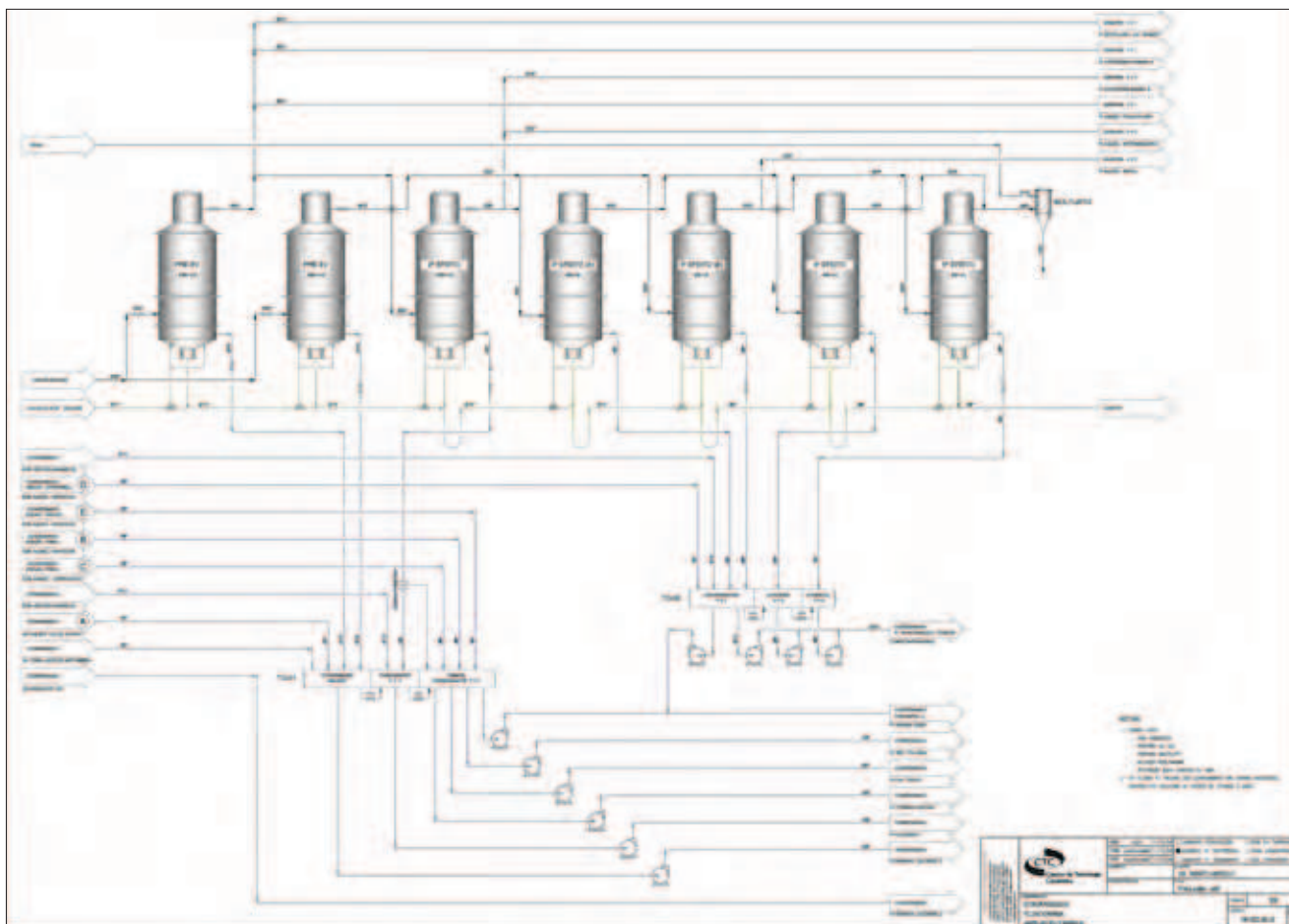


Figura 76 - Esquema de um sistema de recuperação de condensados da fábrica (Fonte: CTC).

- Condensados de destilaria.

Na destilaria se utiliza vapor de escape para a destilação, retificação e desidratação cujas taxas de utilização são da ordem de 3,5 a 5 kg/m³ etanol (0,360 m³/t cana total para um “mix” de 50%). Quando se utilizam aquecedores indiretos tipo “reboiler”, o vapor condensado é retornado para a caldeira de vapor. É usual se ter o “reboiler” pelo menos na coluna A, retornando os 2,5 kg vapor/m³ etanol utilizado nesta coluna, que para o caso exemplificado, disponibiliza cerca de 212 L/t cana total de condensado para a caldeira.

Desta forma, suprim-se os 26% restante da necessidade de vapor, como visto no item 6.3.6, sobrando

ainda 119 L/t cana total de condensados a ser reutilizado no processo conforme a demanda.

- Perdas de águas

A Tabela 53 resume um balanço de perdas de águas por evaporação e purgas nos circuitos vedados de tratamento de efluentes para reúso. Também são apresentadas nesta tabela as águas incorporadas nos produtos e resíduos do setor sucroenergético. No total têm-se perdas de água de cerca de 0,9 m³/t cana total, superando a água contida na própria cana para a situação média considerada, mostrando a importância da racionalização do uso e reúso de água e do desenvolvimento e aplicação de tecnologias de produção mais limpa (P+L).

Tabela 53 - Balanço das perdas de água nos circuitos fechados de tratamento devido a purgas, evaporação e perdas devido a incorporações de água nos produtos e resíduos

Locais	Taxas e Cargas Específicas em circulação [por t cana total]	Perdas e Incorporações	
		Taxas ou Umidade	[L/t cana total]
Purgas (comporão os efluentes):			
Purga da lavagem de cana	2200 L	5%	110
Purgas da caldeira	453 L	3%	14
Subtotal			124
Evaporação (perdas para atmosfera):			
Resfriamento da fábrica (aspersor)	8350 L	5%	418
Condensado nas colunas da fábrica (ganho)	-		-127 ⁽¹⁾
Resfriamento da destilaria (torres)	7.750 L	3%	233
Retentor e tratamento fuligem e cinzas	1.250 L	9%	113
Subtotal			637
Água incorporada:			
Bagaço	240 kg	50%	125
Torta	30 kg	70%	21
Terra lavagem de cana	30 kg de MS	75%	120
Fuligem	3 kg de MS	80%	12
Açúcar	50 kg	~zero	0
Etanol hidratado	50 L	4%	2
Subtotal			280
Perdas atmosféricas e incorporações = 917 L/t cana total			

(1) Ganhos devido a condensação dos vapores do último efeito da evaporação e dos cozedores nas águas das colunas barométricas, ou seja, $(84 + 170) = 254$ kg vapor/t cana açúcar, ou 127 kg vapor/t cana total.

- Balanço dos reúsos dos condensados

Além dos reúsos considerados, há ainda outras possibilidades de se reutilizar o condensado na reposição de perdas do processo. Na Tabela 54 estão relacionados estes reúsos, que combinados com os demais fecham o balanço hídrico deste efluente quente, visando

à minimização do lançamento e otimização da captação de água. Considera-se também para este balanço a disponibilidade de águas mornas, como apresentada anteriormente, o que nem sempre existe, quando do fechamento deste circuito com torres de resfriamento.

Tabela 54 - Balanço final de reúso dos condensados para o “mix” de produção de 50%

Produção		Reúso	
Efluente	Taxa [L/t cana]	Utilização	Taxa [L/t cana]
Condensados ve e vv1	334	Caldeira	334
Condensados da destilação	212		119
Subtotais	546		453
Demais condensados	241	Embebição e tratamento do caldo	318
Efluentes mornos da refrigeração de equipamentos	715	Reúso na fábrica de açúcar	60
		Reúso na fermentação	116
		Reúso na área de energia	15
Subtotais	956		509
		Suplementação de perdas e purgas	621
Totais	1.502		1583

Déficit = 81 L água/t cana (~5%)

Portanto, mesmo com a utilização racional das águas condensadas ainda há necessidade de aproximadamente 5% de água para as utilizações relacionadas. Ainda se têm usos menos nobres, como nas lavagens de pisos e equipamentos, que demandam mais 50 L/t cana total, elevando a falta de condensado para 131 L/t cana total, aproximadamente 8% destas necessidades. O uso de "reboiler", ainda não adotado por muitas usinas, é considerado uma tecnologia P+L, visto que disponibiliza o vapor de escape utilizado na coluna "A" como água condensada para caldeira. Caso este condensado não esteja disponível (quando se usa na coluna de destilação vapor de borbotagem), haverá um déficit ainda maior de condensados para a caldeira, estimado em mais 212 L/t cana total, ou seja, aproximadamente 22% do total necessário.

6.3.7. Caixa de separação de óleo

As caixas de separação de óleo são utilizadas basicamente em três linhas de efluentes oriundos da lavagem de pisos e equipamentos. O efluente da lavagem da seção de preparo e extração que pode ser contaminado com o óleo e graxa desta seção, principalmente pela lubrificação dos mancais da moenda (quando estes não forem blindados). Nas oficinas automotivas também existem correntes de efluentes que podem estar contaminadas com óleo e graxa (OG) provenientes da limpeza das peças e o efluente da lavagem de veículos. Normalmente, estes despejos são tratados em caixas separadoras de óleo antes da incorporação com a água residuária aplicada na lavoura de cana.

- Efluente da lavagem da seção das moendas

Os efluentes de lavagem de piso e equipamentos, como já vistos, têm uma grande variação de volume, sendo estimados grosseiramente em 50 L/t cana. Quando se verifica contaminação com óleo e graxa, a corrente da seção das moendas deve ser segregada das demais para ser tratada em caixa separadora de óleo, visando à retirada por flotação destes resíduos mais leves, que é comercializado com fábricas recuperadoras de óleo juntamente com os demais lubrificantes gastos na usina.

Trata-se de uma caixa retangular com tempo de detenção de cerca de 30 minutos, em que ocorre também a sedimentação de material grosseiro como terra, sendo a sua limpeza realizada periodicamente para desassoreamento, devendo-se ter pelo menos uma caixa reserva construída em paralelo para operar em situação de limpeza.

- Efluente da oficina automotiva

O efluente proveniente da lavagem de caminhões e de peças das oficinas mecânicas automotivas nas usinas é enviado à caixa separadora de óleo e graxa (e areia), devido à adição de impurezas decorrente da lavagem de peças nas oficinas e de veículos. São despejos que podem apresentar grande quantidade de óleo e graxa lubrificante, matéria orgânica devido à lavagem (caminhões e máquinas) e material sedimentável como terra e areia.

Normalmente, para o efluente de lavagem de peças e lavagem da área de troca de óleo, deve-se instalar uma caixa separadora de óleo com placas coalescentes, de modo a favorecer a aglutinação das gotas de óleo e a sua posterior separação da água por diferença de densidade, podendo-se utilizar alcalinizante para auxiliar a coagulação, floculação e flotação, para aumentar a eficiência do sistema. São equipamentos compactos e de baixo custo que são adquiridos de fornecedores.

Na lavagem das peças na oficina automotiva é recomendável a limpeza a seco através da utilização de um desengraxante insolúvel, reduzindo-se o volume do efluente e geração de óleo emulsionado. Deste modo, a flotação dos efluentes nas caixas separadoras dotadas de placas coalescentes é facilitada, podendo o despejo final tratado ser reutilizado em outros pontos, como na lavagem de veículos.

- Efluente da lavagem da seção de veículos

Para a lavagem de veículos (automóveis, caminhões e tratores) é recomendável o uso de detergentes biodegradáveis, onde o efluente gerado é enviado para tratamento em caixas convencionais separadora de óleo (e areia), como as apresentadas na Figura 77. Estas caixas são dotadas de rampas para facilitar a limpeza manual, ou por máquinas de pequeno porte, podendo o efluente tratado retornar para a própria lavagem de veículos.



Figura 77 - Caixas separadoras de óleo (e areia) para tratamento do efluente da lavagem de veículos em uma usina.

6.3.8. Tratamento dos esgotos domésticos

Os despejos líquidos sanitários gerados na usina devem ter seu sistema de tratamento dimensionado de acordo com a norma NBR - 7229 (ABNT, 1993), que considera o número de funcionários, o número de refeições servidas e outros usos de água que se encaminham para a rede de esgoto doméstico. Nesta norma é previsto somente o tratamento em nível primário por fossa séptica seguida de filtro anaeróbico, cuja disposição final é a infiltração no solo através de poços sumidouros ou valas de infiltração. O efluente pode ainda ser lançado em corpos de água após tratamento final em valas de filtração (filtros de areia), recomendadas quando o terreno não permitir a sua infiltração (taxa de absorção do terreno baixa, menor que 25 L/m².dia). Para o lançamento em rios é necessário o tratamento do efluente doméstico em nível secundário, que implica na remoção da matéria orgânica solúvel em sistema de tratamento biológico, devendo-se atender suplementarmente a NBR 13.969/97 (ABNT, 1997), que dispõe sobre os sistemas de tratamento complementares (em nível secundário), para o lançamento final dos efluentes tratados.

Por estar relacionada a uma fábrica de alimento e reutilizar praticamente seus efluentes no campo, a rede de coleta de esgoto das usinas deve ser separada da rede de despejo industrial, através de um sistema separador absoluto. Neste sistema, o esgoto doméstico, o despejo industrial e as águas pluviais ficam completamente separados, não sobrecarregando as estações de tratamento com excesso de vazão.

A Tabela 55 apresenta dados de dimensionamento dos sistemas convencionais de tratamento de esgoto doméstico em conformidade com as normas da ABNT. Há outros sistemas, como os lodos ativados e estações compactas, igualmente normalizadas, cujas combinações podem atingir uma maior eficiência de tratamento, se necessária.

A NBR 13.969 (ABNT, 1997), disciplina também o reúso não-potável do efluente doméstico tratado visando sua segurança sanitária para uso em diversos serviços, tais como irrigação de jardins, lavagem de pisos e dos veículos automotivos, na descarga dos vasos de banheiros, manutenção paisagística de lagos e canais. O tipo de reúso pode abranger, segundo a norma, desde a simples recirculação da água de enxágue da máquina de lavar, até a remoção em alto nível de poluentes para lavagem de carros.

Tabela 55 - Parâmetros para o dimensionamento do tratamento de esgoto doméstico

Parâmetros	Fossa Séptica	Filtro Anaeróbio	Lagos de estabilização
Volume da unidade (V)	$V = N(CT+100Lf)$	$V = 1,6 NCT$	$V = A.h$
Vazões ocupantes permanentes (C):			
- Residências	100 a 160 [L/pessoa.dia]		
- Alojamento provisório	80 [L/pessoa.dia]		
Vazões ocupantes temporários (C):			
- Funcionários da fábrica	70 [L/funcionário.dia]		
- Funcionários do escritório	50 [L/funcionário.dia]		
- Bares (refeitórios)	25 [L/refeição]		
Tempo de detenção (T) [dias]	0,083 a 1	0,5 a 1	20 a 40
Contribuição de lodo fresco (Lf):			
- Ocupantes permanentes	1 [L/pessoa.dia]		
- Ocupantes temporários	Fábrica = 0,1; escritório = 0,2 e refeição = 0,3 [L/dia]		
Profundidade (h) [m]	-	1,80	1,20 a 1,50
Eficiência de remoção de DBO_5 [%]	~30	< 80	80 a 90

V = Volume útil, em litros; N = Número de pessoas ou unidades de contribuição; C = Contribuição de despejos, em litro/pessoa x dia ou em litro/unidade x dia; T = Período de detenção, em dias; Lf = Contribuição de lodo fresco, em litro/pessoa x dia ou em litro/unidade x dia ou em litro/unidade x dia

6.3.9. Fertirrigação dos canaviais com vinhaça

A utilização de vinhaça na lavoura de cana já era feita de forma empírica na década de 1940, tendo-se registro a partir de 1952 do início de estudos e discussões sobre seu efeito no solo. BRAILE & CAVALCANTI (1979) afirmam sobre a vinhaça que "a evolução dos estudos de aplicação deste efluente no solo, demonstra que se resolvendo uma situação grave no aspecto social e legal (da poluição) possibilitou-se a obtenção de lucro direto (através da economia da adubação) e indireto (através do aumento da fertilidade natural dos solos), bastando para tanto que seja criado pelas usinas um sistema de aplicação da vinhaça à lavoura". A aplicação de resíduos com alto teor de matéria orgânica e de nutrientes na lavoura é uma prática consagrada na indústria canavieira, atendendo dois objetivos principais: dar destino adequado aos resíduos sob o ponto de vista do controle da poluição hí-

drica superficial, como também melhorar as condições do solo para o plantio de cana, substituindo-se em parte ou até totalmente a adubação mineral (NPK).

Antes dos anos 1960, uma grande parte da vinhaça era lançada diretamente nos cursos d'água causando sérios problemas de contaminação das águas superficiais. Esta prática foi abolida primeiramente em São Paulo, com a interferência do antigo FESB (Fomento Estadual de Saneamento Básico), um dos órgãos que se incorporou à Cetesb na sua fundação. Depois disso, com mais rigor após a promulgação da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a "Prevenção e o Controle da Poluição do Meio Ambiente", no estado de São Paulo e seu regulamento, o Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976. No nível federal, o Ministério do Interior publicou a portaria MINTER nº 323, de 29/11/78, proibindo o lançamento, direto ou indireto, do vinhoto em qualquer coleção hídrica, pelas destilarias de álcool.

A solução técnica encontrada na época foi a disposição deste resíduo na lavoura nas chamadas áreas de sacrifício (sacrificava-se a área de plantio de cana para disposição e infiltração da vinhaça). Este procedimento era regulamentado na época pelos órgãos ambientais, pois não havia, e ainda não há solução técnica e econômica para o tratamento convencional eficiente da vinhaça, que permita o seu lançamento em rios. Com o passar do tempo, estudos levaram à utilização racional da vinhaça na lavoura de cana-de-açúcar, com dosagens controladas. Esta prática vem trazendo benefícios econômicos na substituição de parte ou total da adubação mineral, melhorando as características físico-químicas do solo, aumentando a produtividade agrícola e sem dúvida eliminando o problema imediato de poluição das coleções hídricas superficiais. Possibilitou também a eliminação das áreas de sacrifício que traz risco de contaminação das águas subterrâneas.

GUZZELLI & PAES (1998) afirmam que a aplicação de vinhaça ao solo incorpora quantidades significativas de matéria orgânica. O acúmulo desse elemento no solo pode modificar as condições físicas do mesmo, tais como: capacidade de infiltração de água no solo, capacidade de retenção de água, favorecimento a formação de agregados e diminuição da suscetibilidade à erosão. Existem inúmeros trabalhos que mostram os benefícios agrônômicos do uso da vinhaça na lavoura de cana-de-açúcar, não sendo o foco deste manual se aprofundar nesta questão. FERREIRA & MONTEIRO (1987) realizaram uma extensa revisão biblio-

gráfica sobre os efeitos da vinhaça nas propriedades do solo, que comprova o aumento de produtividade da cana-de-açúcar fertirrigada com vinhaça em relação à adubação mineral convencional e seus efeitos benéficos no solo.

Em relação à poluição do solo, é citado por PENATTI & DONZELLI (2000) que o excesso de sódio (Na) ou o seu desequilíbrio em relação a outros cátions são características utilizadas para definir a qualidade da água para fins de irrigação. Resíduos ou águas de irrigação com altos teores de sódio em relação ao cálcio e magnésio são impróprios para serem aplicados no solo, e para mensuração desse desequilíbrio é utilizada a Equação 48 :

Eq. 48:

$$RAS = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

Em que:

RAS = razão de adsorção de sódio;

Na , Ca e Mg = concentrações dos elementos sódio, cálcio e magnésio [mL/L].

Na Tabela 56 tem-se uma comparação das características da vinhaça com os parâmetros clássicos prejudiciais a algumas culturas, ou sejam, salinidade, permeabilidade e toxicidade de íons, conforme BRASON, 1980, citado por PENATTI & DONZELLI (2000).

Tabela 56 - Comparação dos resultados físico-químicos da vinhaça com os do guia para interpretação da qualidade de água para irrigação. Fonte: BRASON, 1980, citado por PENATTI & DONZELLI (2000)

Parâmetros	Grau de Problema			Resultados Vinhaça ⁽¹⁾		
	Baixo	Médio	Alto	Médio	Mínimo	Máximo
Salinidade (CE = $\mu\text{S}/\text{m}$)	< 75	75-300	> 300	65,53	37,8	125
Permeabilidade (RAS)	< 6	6-9	> 9	1,1 a 2,5	0,3	4,69
Toxicidade de íons:						
- Na (RAS)	< 3	3-9	> 9	1,1 - 2,5	0,3	4,69
- Cl (meq/L)	< 4	4-10	> 10	34,8 ⁽²⁾	13,7 ⁽²⁾	65,7 ⁽²⁾
- B (meq/L)	< 0,5	0,5	2-10	0,3 ⁽³⁾	ND	ND

(1) Resultado da Tabela 37 - Caracterização físico-química da vinhaça obtida de levantamentos realizados no CTC.

(2) Concentração de cloretos da Tabela 37, transformada para a unidade em meq/L

(3) Valor médio obtido de levantamentos do CTC (amostragem ainda pouco representativa)

ND, dado não disponível

Pode ser observado que a vinhaça apresenta baixo risco em relação à salinização, afeta pouco a permeabilidade do solo e tem pouca toxicidade com relação ao sódio. Por outro lado, observa-se alto risco de toxicidade em relação ao cloreto, o que não tem sido detectado na prática nos canaviais fertirrigados. A RAS dos solos brasileiros em que é feito o cultivo de cana é de maneira geral baixa devido ao seu baixo teor de sódio e altos teores de cálcio e magnésio (PENATTI & DONZELLI, 2000).

A aplicação da vinhaça ao solo sem critérios quanto à dosagem pode causar um desequilíbrio de nutrientes, que podem ser lixiviados. A dosagem de aplicação de vinhaça varia segundo o tipo de solo e segundo as variedades de cana. Dosagem com o intuito de infiltrar a vinhaça, como era realizada no passado em áreas de sacrifício, ou acima da capacidade do sistema planta-solo, aumenta o risco de salinização do solo e de lixiviação, contaminando a água subterrânea.

Alguns pesquisadores desenvolveram metodologias para monitoração do risco da contaminação do lençol freático e realizaram estudos sobre o tema. HASUDA (1989) concluiu que a infiltração de vinhaça (altas dosagens em áreas de sacrifício) torna a água subterrânea inadequada para o consumo humano. GLOE-

DEN (1994) avaliou a influência da aplicação de vinhaça em solo arenoso no aquífero Botucatu (atual Guarani), identificando que os parâmetros DQO, cloreto, carbono orgânico, nitrogênio Kjeldahl total, nitrogênio amoniacal e sulfato tiveram alterações significativas em seus valores naturais nessas águas subterrâneas. O potássio, elemento utilizado normalmente para definir as taxas de aplicação da vinhaça, e o nitrogênio nitrato não sofreram alterações significativas nas águas da zona saturada neste estudo.

Visando à diminuição dos riscos da aplicação da vinhaça nos canaviais, a prática se desenvolveu paulatinamente em um sistema denominado fertirrigação, altamente tecnificado visando o aproveitamento racional deste resíduo. Em 2005, no Estado de São Paulo, a CETESB publicou a Norma Técnica P4.231, que entre outros itens visando proteger o meio ambiente, disciplinou as faixas com restrições de aplicações, impondo a obrigatoriedade de impermeabilização de tanques de armazenamento de vinhaça e de canais principais de sua condução para a lavoura. Disciplinou também a dosagem de vinhaça adotando uma fórmula desenvolvida por especialistas da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (Professor Nadir Almeida da Glória e Prof. José Luiz Ioriatti Demattê) no âmbito das dis-

cussões da Câmara Ambiental Sucroalcooleira da CETESB. Esta fórmula (Equação 49) leva em conta o desenvolvimento radicular da cana (camada saturada

com potássio) e as necessidades da planta em termos deste elemento, o nutriente com maior concentração na vinhaça, ou seja:

Eq. 49:

$$Tx_{\text{aplicação}} = \frac{[(0,05 * CTC - K_{\text{solo}}) * 3744 + 185]}{K_{\text{vinhaça}}}$$

Em que:

$Tx_{\text{aplicação}}$ = taxa volumétrica de aplicação de vinhaça [m^3/ha];

0,05 = 5% da CTC

CTC = Capacidade de Troca Catiônica, expressa em cmolc/dm^3 , a pH 7,0, dada pela análise de fertilidade do solo;

K_{solo} = concentração de potássio no solo, expresso em cmolc/dm^3 , à profundidade de 0 a 80 cm, dada pela análise de fertilidade do solo;

3744 = valor constante para transformar os resultados da análise de fertilidade para quilograma de potássio em um volume de um hectare por 0,80 metros de profundidade;

185 = massa [kg] de K_2O extraído pela cultura por ha, por corte;

$K_{\text{vinhaça}}$ = concentração de potássio na vinhaça [$\text{kg K}_2\text{O}/\text{m}^3$].

As dosagens de aplicação de vinhaça variam, portanto, de acordo com as necessidades da planta, a concentração do potássio disponível no solo e o seu grau de saturação em relação à CTC que se pretende manter no solo. As dosagens praticadas atendem, no mínimo, às necessidades nutricionais da planta (na média 185 $\text{kg.K}_2\text{O}/\text{ha}$), que conforme a concentração de potássio na vinhaça (de 1 a 3 $\text{kg.K}_2\text{O}/\text{m}^3$) resulta em taxas volumétricas de aplicação de 100 a 300 m^3/ha de vinhaça.

Portanto, a dosagem é baseada no teor de potássio contido na vinhaça e este, apesar de ter sua concentração variável de acordo com o tipo de produção (mosto de caldo, melaço ou misto), tem sua carga final similar para a destilaria autônoma ou anexa. O potássio é proveniente da cana e comporá o caldo e também os

méis e melaços de forma mais concentrada, passando para a vinhaça. Outra parte do potássio comporá o bagaço, e com a combustão deste, as cinzas e fuligens, inferindo-se que nesta etapa se tem a maior perda deste nutriente, muito embora seja comum o retorno destes resíduos para a lavoura.

De um balanço médio de potássio na cana, desde que todo o melaço e mel também sejam processados para etanol, espera-se uma quantidade de 1 a 1,6 $\text{kg K}_2\text{O}/\text{t}$ cana na vinhaça. Assim, pode-se estimar o potencial de área fertirrigada com os dados de moagem total de cana, a partir da produção média de potássio (1,32 $\text{kg K}_2\text{O}/\text{t}$ cana) e da necessidade média nutricional da cana (185 $\text{kg.K}_2\text{O}/\text{t}$ cana), teoricamente em 60% da área total plantada, desconsiderando-se as perdas, conforme demonstrado esquematicamente na Figura 78.

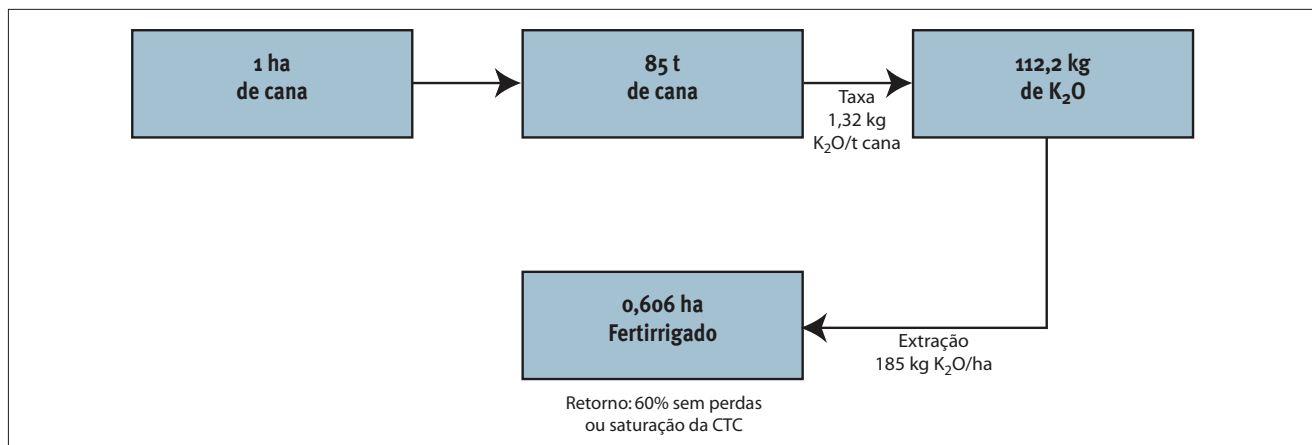


Figura 78 - Balanço teórico de K_2O e potencial de área fertirrigada com vinhaça.

Os sistemas utilizados para fertirrigação da lavoura canavieira com vinhaça podem ser separados em dois blocos: o transporte da vinhaça até o campo e a sua distribuição nas lavouras. Há, normalmente, um tratamento prévio da vinhaça na saída da indústria visando diminuir a sua temperatura. Para isso, utilizam-se torres de resfriamento de forma cilíndrica, sem enchimento interno e com insuflamento de ar em contracorrente para que a vinhaça não entre em contato com o ventilador conforme exemplo mostrado na Figura 79.

A redução da temperatura da vinhaça para cerca de 60°C possibilita a utilização de materiais e equipa-

mentos com menor custo. Este é o caso de tanques e tubulações de fibra e geomembranas sintéticas de impermeabilização (PEAD, Asfáltica, PVC e geotextil), que não suportam a alta temperatura da vinhaça que sai da destilaria (cerca de 100°C, no caso em que não há reaproveitamento regenerativo do seu calor).

O transporte da vinhaça pode ser realizado de duas formas principais: o transporte rodoviário por caminhões tanques e o transporte dutoviário, por canais de gravidade, ou por tubulações adutoras de bombeamento ou gravidade.



FOTO: A. ELIA NETO

Figura 79 - Tanque em concreto para o recebimento e distribuição da vinhaça da destilaria equipado com duas torres de resfriamento de vinhaça, em uma usina.

- Transporte rodoviário da vinhaça

A frota para o transporte rodoviário da vinhaça é dimensionada com base nas distâncias médias dos canaviais a serem fertirrigados, tempos de deslocamentos cheio e vazio, tempos perdidos, jornada de trabalho e, naturalmente, na capacidade de carga dos caminhões e a concentração da vinhaça. Considera-se o transporte exclusivo de vinhaça pura, ou seja, sem mistura com outros efluentes, para otimizar o transporte. Os caminhões são dotados de tanque em fibra, tendo evoluído

do caminhão convencional, com apenas um tanque (em fibra ou aço inox ou aço carbono naval) e volumes menores de 7 a 15 m³ de capacidade, para o tipo romeu-e-julieta, com capacidade de carga variando de 28 a 30 m³. O tipo rodotrem tem capacidade de carga de 45 a 60 m³ (2 tanques de 30 m³ cada), como o apresentado na Figura 80, podendo ainda ser no sistema bate-volta, isto é um semirreboque parado no campo, quando utilizado aspersão diretamente conectada no tanque do caminhão.



FOTO: A. ELIA NETO

Figura 8o - Caminhão tipo rodotrem para o transporte da vinhaça ao campo.

O transporte rodoviário tem custo bem superior ao dutoviário devido principalmente ao consumo de combustível. Isto limita a sua utilização para atender a distância econômica de aplicação de vinhaça, limite a partir do qual os custos seriam maiores do que a adubação mineral convencional. Esta distância varia muito em função das condições topográficas locais, do tipo de projeto de fertirrigação e da concentração de potássio da vinhaça. Estas variáveis afetam os custos de trans-

porte e aplicação, que são comparados com o custo do transporte e aplicação do adubo mineral. Em um passado recente, o sistema típico de transporte com “rodotrem + aspersão” apresentava a distância econômica de apenas 12 km; atualmente, com os altos custos do adubo mineral, estima-se que a sua distância econômica está por volta de 38 km (ELIA NETO et al., 2008), conforme é mostrado na Figura 81.

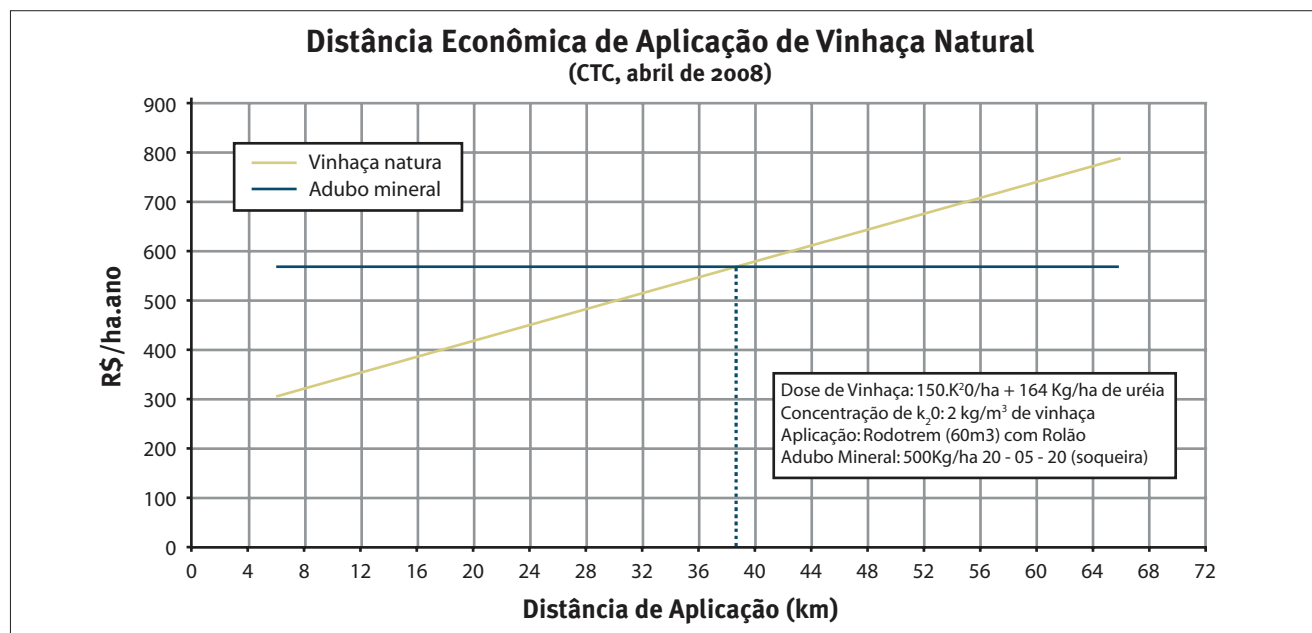


Figura 81 - Variação do custo da fertirrigação com vinhaça natural com a distância média da aplicação e distância econômica em relação à adubação mineral (adaptado de ELIA NETO et al., 2008).

A maior vantagem do transporte rodoviário de vinhaça consiste na implantação imediata, em contraposição com o sistema dutoviário, que exige complexos estudos de implantação e obras. O fato de o transporte rodoviário atingir facilmente áreas não contínuas sem necessidade de travessias, ou seja, um sistema com grande mobilidade é outra grande vantagem.

Na Tabela 57 são apresentados dados considerados para o dimensionamento da frota de caminhões (no caso rodotrem com 2 tanques de 30 m³ cada), obtidos de projetos realizados pela área agrícola do CTC.

Tabela 57 - Parâmetros médios considerados no transporte do rodotrem

Parâmetros	Valores
Tempo perdido com manobras e outros no campo (T_{usina})	0,25 horas/viagem
Tempo perdido com manobras e outros na usina (T_{campo})	0,08 horas/viagem
Tempo auxiliar para carregamento (T_{carga})	0,50 horas/viagem
Tempo auxiliar para descarregamento ($T_{descarga}$)	0,00 horas/viagem
- sem descarga bate-volta	
- descarga rápida (tanques ou canais)	0,10 horas/viagem
Velocidade média de transporte vazio (retorno) (V_{vazio})	35 km/h
Velocidade média de transporte carregado (V_{cheio})	20 km/h
Consumo de óleo diesel no transporte (C_{diesel})	1,2 km/L
Jornada útil de trabalho com refeição ($T_{jornada}$)	21 horas/dia
Horas para manutenção (~8% do tempo) e troca de turno (T_{manut})	2,5 horas/dia
Capacidade de carga (C_{carga})	60 m ³ /viagem

Fonte: Projetos de fertirrigação elaborados pelo CTC.

Para obter o número de viagens (N_{viag}) diárias por caminhão, considera-se o tempo útil de trabalho, dividindo-o pela somatória dos tempos gastos no trans-

porte (vazio e carregado) subtraída dos tempos perdidos e auxiliares em uma distância média (Equação 50):

Eq. 50:

$$N_{viag} = \frac{Jornada_util}{Tempo_viagem - Tempo_perdido} =$$

$$N_{viag} = \frac{(T_{jornada} - T_{manut})}{\left(\frac{D_{ferti}}{V_{cheio}} + \frac{D_{ferti}}{V_{vazio}} \right) - (T_{usina} - T_{campo} - T_{carga} - T_{descarga})}$$

Em que:

N_{viag} = quantidade de viagens realizadas por caminhão [viagem/caminhão.dia];

D_{ferti} distância média da área de fertirrigação [km].

A área diária de aplicação coberta por cada caminhão é a relação entre o volume de vinhaça diariamente

transportado pelo caminhão e a taxa volumétrica de aplicação de vinhaça por hectare fertirrigado (Equação 51):

Eq. 51:

$$A_{ferti} = \frac{Volume_vinhaça_transportada}{Taxa_volumétrica_aplicação} = \frac{V_{transp}}{Tx_{aplic}}$$

$$Como: V_{transp} = N_{viag} * C_{carga}$$

$$A_{ferti} = \frac{N_{viag} * C_{carga}}{Tx_{aplic}}$$

Em que:

A_{ferti} = área de fertirrigação coberta por caminhão no dia [ha/caminhão.dia];

Tx_{aplic} = taxa volumétrica de aplicação de vinhaça [m³/ha];

V_{transp} = volume transportado de vinhaça [m³/caminhão.dia];

C_{carga} = capacidade de carga do caminhão [m³/viagem].

Para se obter a quantidade necessária de caminhões para compor a frota para o transporte da vinhaça

basta dividir a produção diária de vinhaça da destilaria pelo volume transportado diariamente (Equação 52):

Eq. 52:

$$N_{cam} = \frac{Produção_vinhaça}{Volume_transportado} = \frac{Q_{vinhaça}}{V_{transp}}$$

Em que:

N_{cam} = quantidade de caminhões da frota de fertirrigação [caminhão];

$Q_{vinhaça}$ = vazão de produção de vinhaça na destilaria [m³/dia].

Para estimar o consumo de diesel, calcula-se a distância média percorrida (km) por hectare coberto

na fertirrigação (Equação 53):

Eq. 53:

$$D_{ha} = \frac{Distância_percorrida}{Área_atingida} = \frac{2 * D_{ferti} * N_{viag}}{A_{ferti}}$$

$$C_{diesel-ha} = \frac{D_{ha}}{C_{diesel}}$$

Onde:

D_{ha} = distância média percorrida por ha fertirrigado [km/ha];

2 = se refere ao percurso de ida e volta;

$C_{diesel-ha}$ = consumo de diesel no transporte por ha fertirrigado [L/ha].

A Tabela 58 apresenta alguns resultados considerando o transporte de vinhaça por rodotrem (60 m³)

em sistema bate-volta, conforme a distância média da área de fertirrigação.

Tabela 58 - Parâmetros médios do transporte rodoviário de vinhaça por rodotrem (60 m³) bate e volta

Distância Média [km]	Nº de Viagens Diárias	Volume [m ³ /dia]	Área Atingida ⁽¹⁾ [ha/dia]	Distância por Área [km/ha]	Consumo diesel [L/ha] ⁽²⁾	Nº Caminhões [/1.000 ha]
6,0	14,22	853	4,265	2,81	2,34	1,2
12,0	10,44	626	3,13	7,67	6,39	1,6
18,0	8,24	495	2,475	14,55	12,13	2,0
24,0	6,81	409	2,045	23,47	19,56	2,5
30,0	5,80	348	1,74	34,48	28,73	2,9
36,0	5,06	303	1,515	47,52	39,60	3,3
42,0	4,48	269	1,345	62,45	52,04	3,7

(1) Adotando-se uma taxa de aplicação volumétrica de 200 m³/ha

(2) Consumo de óleo diesel no transporte por rodotrem (C_{diesel}) = 1,2 km/L

Um sistema de transporte rodoviário peculiar, porém em desuso, é o denominado bicarga (ou sacolão), no qual se aproveita a viagem de retorno do transporte de cana para a usina. Utiliza caminhões tipo romeu-e-julieta equipados com um tanque flexível de lona de 10 m³ de capacidade, transportando e descarre-

gando a vinhaça em tanques convenientemente localizados. Este sistema, ilustrado na Figura 82, não prosperou devido à logística envolvida, pois nem sempre havia tanque pulmão na direção da frente de colheita, e também por problemas de manutenção e vida útil dos tanques flexíveis (sacolões).



FOTO: ACERVO CTC

Figura 82 - Bicarga descarregando vinhaça em tanque pulmão na lavoura (COPERSUCAR, 1998).

- Sistema de Transporte Dutoviário

No sistema de transporte dutoviário a vinhaça é encaminhada à lavoura por tubulações e canais. A maior vantagem deste sistema é a redução do custo de transporte, podendo ser combinado com o transporte rodoviário para levar a vinhaça até pontos estratégicos da lavoura e, conseqüentemente, reduzir as distâncias percorridas pelos caminhões, aumentando sobremaneira a distância econômica da fertirrigação. Outra vantagem é a possibilidade de escoar a vinhaça durante a ocorrência de chuvas.

Este tipo de sistema exige elevado investimento inicial para o estabelecimento de estações de bombeamento, adutoras de recalque, adutoras de gravidade, sifões invertidos, canais, tanques de armazenamento e estações de carregamento de caminhões. Neste sistema é normalmente transportado para aplicação conjunta com a vinhaça, os demais efluentes da indústria – as chamadas águas residuárias para fertirrigação das lavouras canavieiras.

O bombeamento da vinhaça para a área agrícola de fertirrigação carece de um projeto hidráulico e requer sistemas de proteção antigolpes de aríete, pois a linha de recalque normalmente atende distâncias relativamente grandes para levar a vinhaça aos canaviais. Estas distâncias podem atingir 20 km ou mais, terminando normalmente em tanques pulmões para posterior distribuição da vinhaça em canais ou carregamento de caminhões.

O dimensionamento das tubulações e bombas, para atender a altura manométrica requerida, conforme o esquema apresentado na Figura 83, é feito de acordo com a “Fórmula Universal de Darcy com coeficiente de Colebrook-White” (AZEVEDO NETTO & GUI-LHERMO, 1975). O coeficiente considera a natureza das paredes da tubulação (rugosidade), tendo-se o sistema de cálculo na Equação 54 e seu desdobramento para determinar a perda de carga.

Eq. 54:

$$\Delta h = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g}$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 * \log \left(\frac{k}{3,7D} + \frac{2,51}{R * \sqrt{f}} \right)$$

Em que:

Δh = perda de carga na tubulação [m];

f = fator de atrito de Darcy;

k = rugosidade uniforme equivalente da tubulação [m];

R = número de Reynolds = $(D*V)/\nu$;

ν = viscosidade cinemática [m²/s];

V = velocidade de escoamento [m/s];

L = comprimento equivalente da tubulação [m];

D = diâmetro da tubulação [m];

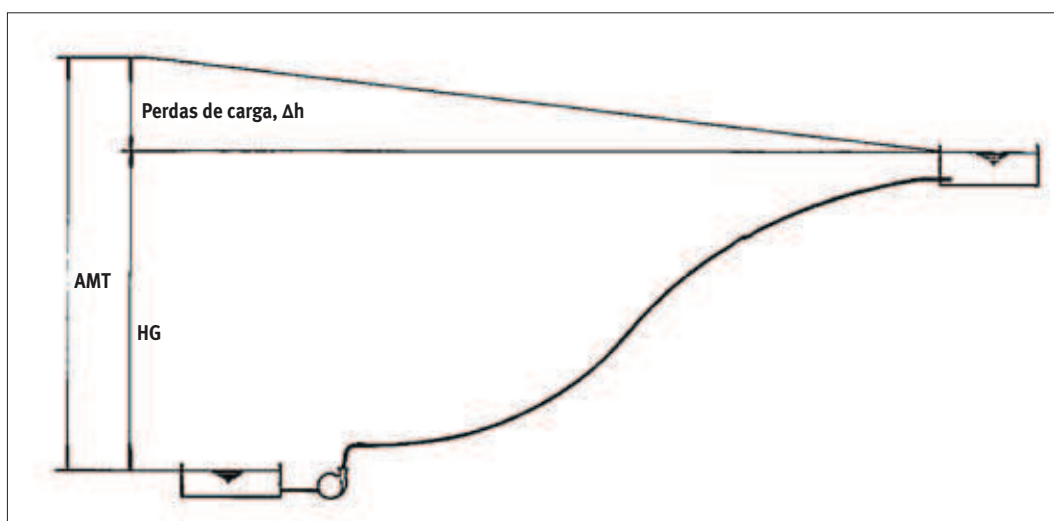


Figura 83 - Esquema de adutora de recalque, destacando-se a altura manométrica total (COPERSUCAR, 1988).

Outras fórmulas empíricas podem ser empregadas, com a consideração no dimensionamento das mesmas propriedades para a vinhaça e água quente, conforme a temperatura envolvida no seu bombeamento.

As adutoras de gravidade são normalmente empregadas quando a topografia for favorável para interligar tanques ou canais e são dimensionados da mesma forma que as adutoras normais em relação à perda de carga, aproveitando-se a força da gravidade para o escoamento da vinhaça sob pressão.

Especial atenção deve ser dada a problemas de cavitação, pois se está trabalhando com um líquido quente e são necessários dispositivos de proteção antigolpe por manobras rápidas ou desligamento de bombas.

Os canais mestres, ou primários, são utilizados para conduzir a vinhaça para uma determinada região, terminando normalmente em um tanque pulmão, para a distribuição da vinhaça. Segundo MATTIOLI (1989), constituem-se no tipo de transporte mais barato da vinhaça e são construídos em leito natural com

sulcador especialmente desenvolvido pelo CTC (PERTICARRARI, 1983). A forma da seção do canal é trapezoidal, como apresentado na Figura 84, e seu desenvolvimento longitudinal acompanha a curva de nível do terreno em uma inclinação bem suave de cerca de 1:1000. Estes canais, se construídos de acordo com as dimensões do sulcador padrão ($b = 0,2$ a $0,3$ m, $y_o = 0,60$ a $0,70$ m e $\alpha \sim 45^\circ$), admitem vazões em terreno natural de cerca de $300 \text{ m}^3/\text{h}$ ou maiores, no caso de revestimento com geomembrana. Funcionam praticamente por toda a safra ou até o término da irrigação na região definida, devendo ser impermeabilizados conforme a norma da Cetesb P4.231, para evitar infiltração. A perda de vinhaça por infiltração foi estimada por MATTIOLI & GUZZELLI, 1988, apud MATTIOLI (1989), em 1,9% da vazão conduzida, por quilômetro, para um determinado experimento e tipo de solo (LVE). Estimaram perdas maiores, de 4,4% da vazão por quilômetro, no caso de uso intermitente.

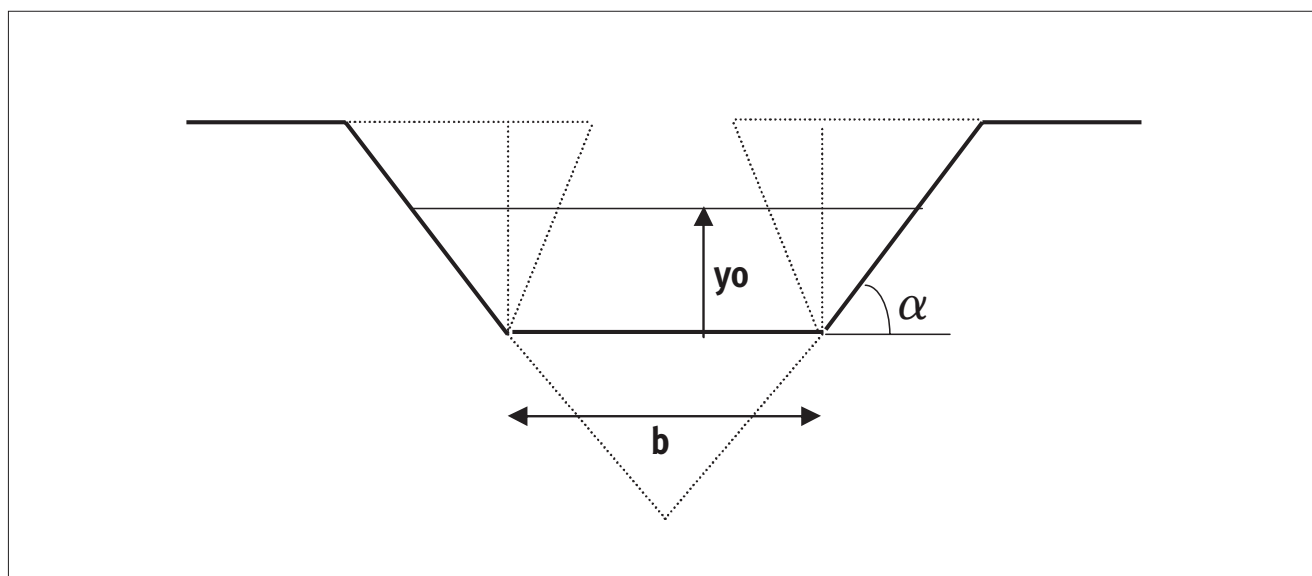


Figura 84 - Seção trapezoidal típica de canais de condução de vinhaça.

O dimensionamento dos canais é feito para regime permanente de escoamento, utilizando-se a equação de Chézy com coeficiente de Manning

(AZEVEDO NETTO & GUILHERMO, 1975) para canal de seção reta (trapezoidal, triangular ou retangular) conforme se apresenta na Equação 55.

Eq. 55:

Equação de Manning :

$$\frac{coef_n \cdot v}{\sqrt{I}} = (Rh)^{2/3} \Leftrightarrow \frac{coef_n \cdot (v \cdot A)}{\sqrt{I}} = A \cdot (Rh)^{2/3} \Leftrightarrow \frac{coef_n \cdot Q}{\sqrt{I}} = A \cdot \left(\frac{A}{P}\right)^{2/3}$$

Área molhada :

$$A = \left(\frac{2b + 2yo \tan \alpha}{2} \right) \cdot yo = \left(b + yo \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} \right) \cdot yo$$

Perímetro molhado :

$$P = b + 2 \sqrt{\left(\frac{yo^2}{\tan^2 \alpha} + yo^2 \right)} = b + 2 \sqrt{yo^2 \left(\frac{1}{\tan^2 \alpha} + 1 \right)} = b + 2 \cdot yo \sqrt{(\cot^2 \alpha + 1)} =$$

$$P = b + 2 \cdot yo \sqrt{\frac{1}{\sin^2 \alpha}} = b + \frac{2 \cdot yo}{\sin \alpha}$$

Em que:

coef_n = coeficiente de rugosidade de Manning;

I = declividade do canal [m/m];

Q = vazão [m³/h];

v = velocidade de escoamento [m/s];

A = área da seção molhada [m²];

P = perímetro da seção molhada [m];

Rh = *A/P*, raio hidráulico [m]

b = largura da base do canal (para seção triangular *b* = 0) [m];

α = ângulo de inclinação das paredes do canal (se retangular = 90°) [°];

yo = altura da lâmina de água no canal (movimento uniforme) [m].

- Armazenamento da vinhaça:

No passado, os tanques de vinhaça eram enormes lagoas construídas em terreno natural com tempo de detenção hidráulico de vários dias, pois a logística de aplicação ainda não era inteiramente dominada. Estes tanques eram utilizados como segurança da logística da aplicação, porém ocasionavam problemas de infiltração, rompimentos e outros em prejuízo do meio ambiente. Devido ao armazenamento e às condições difíceis de manutenção, tanques nestas condições promovem um maior nível de mau cheiro da vinhaça devido à sua putrefação (vinhaça velha) e às condições propícias de desenvolvimento de moscas e insetos em suas margens.

A opção por aplicar vinhaça nova, a chamada vi-

nhaça “online”, que é imediatamente aplicada na lavoura conforme produzida na usina, foi se solidificando no setor, fortalecendo-se com a implementação da norma técnica da Cetesb P4.231 em 2005, que dentre outras exigências, estabelece a impermeabilização dos tanques para proteger as águas subterrâneas. Isto resultou em instalações de tanques com menores volumes, implicando em menores áreas de impermeabilização. Os novos tanques, como ilustrado na Figura 85, são dimensionados com menor tempo de detenção hidráulico, o suficiente para atender a logística com segurança da aplicação da vinhaça de uma determinada localidade, distribuindo-a, a partir daí, para os canais ou para o carregamento de caminhões.



Figura 85 - Tanque de armazenamento de vinhaça impermeabilizado com geomembranas e protegido com cerca para evitar acesso de pessoas e animais.

Os sistemas de aplicação de vinhaça atualmente são de dois tipos: aplicação por caminhões (convencionais) e aplicação por aspersão com montagem direta ou carretel enrolador (rolões). No início do PRO-ÁLCOOL, difundiu-se o sistema de aplicação por sulcos de infiltração, derivado das antigas áreas de sacrifício, que por algum tempo conviveram com o sistema de fertirrigação tradicional para atender situações de emergência com excesso de vinhaça. Esta área de sacrifício ficava em sistema em rodízio para amenizar os as-

pectos de poluição das águas subterrâneas, como é citado por MATIOLI (1989). Com a evolução do sistema de fertirrigação, esses tipos de aplicação foram abandonados, por não proporcionarem o aproveitamento racional da vinhaça e colocarem em maior risco de poluição as águas subterrâneas. A aplicação por sulcos, apesar disto, deve ser ainda considerada para pequenos produtores de cachaça, dando um uso mais adequado para a vinhaça produzida neste setor.

Na Tabela 59 é apresentado um levantamento realizado no CTC (SOUSA, 2005), mostrando o percentual médio de cada sistema de aplicação de vinhaça no Estado de São Paulo. Verifica-se que a aspersão (to-

dos os tipos) compõe 94% dos sistemas. A aplicação por caminhões convencionais tende ao desuso, e provavelmente em um novo levantamento não seja mais representativa no estado de São Paulo.

Tabela 59 - Tipos de sistema de aplicação de vinhaça nas lavouras de cana-de-açúcar do Estado de São Paulo (SOUSA, 2005)

Forma de Aplicação	Participação (%)
Caminhão-tanque convencional	6
Aspersão (canal + montagem direta)	10
Aspersão (canal + rolão)	53
Aspersão (caminhão + rolão)	31

- Distribuição com caminhão-tanque convencional:

Num passado recente, o sistema de fertirrigação com caminhão-tanque era o mais difundido para distribuição de vinhaça pura, pelo baixo custo de implantação e mobilidade. Como limitações desse sistema destacam-se: o agravamento dos problemas de compactação de solos, pois o caminhão carregado adentra o canavial; a impossibilidade de aplicação em área com cana-planta; a dificuldade ou impossibilidade de aplicação em dias de chuva; e a baixa uniformidade de distribuição.

Neste sistema, o caminhão-tanque transporta e distribui a vinhaça no campo à medida que é conduzido com uma velocidade determinada, despejando-a pela traseira por gravidade ou bombeamento. A distribuição por gravidade é feita normalmente por chuveiros que podem atingir de 3 a 5 linhas de cana ou descarga rápida defletida em pratos formando um leque de distribuição. A distribuição por bombeamento é realizada com bombas acionada pela tomada de força do caminhão, tendo sido comum o veículo distribuidor de vinhaça (VDV), uma carreta-tanque de 15 m³, dotada

de pneus de baixa pressão e tracionada por trator, amenizando os problemas de compactação do solo.

A frota necessária pode ser estimada considerando os dados apresentados para o transporte rodoviário, e estimando o tempo de descarga como sendo o tempo em que o caminhão estará distribuindo a vinhaça no campo, variando conforme a descarga, dosagens, cargas dentro outros requisitos.

- Aspersão com montagem direta:

Este sistema consiste de um conjunto motobomba com um aspersor tipo canhão-hidráulico, montado em chassi com rodas, aspergindo vinhaça diluída ou não com águas residuárias, succionada diretamente de um canal, como exemplificado na Figura 86. O canhão pode ser equipado com extensões (tubulação de alumínio de 6" de diâmetro), com o objetivo de aumentar o espaçamento entre canais e diminuir a necessidade destes nos canaviais, implicando em menores custos de implantação na sistematização da área de fertirrigação.



Figura 86 - Aspersor tipo montagem direta succionando de canal.

O canhão-hidráulico pode atingir um raio de 70 m, criando um círculo molhado de aproximadamente 140 m de diâmetro. Os canais de distribuição de vinhaça para o sistema montagem direta são distanciados de forma a propiciar o molhamento de toda a área. Esta distância gira em torno de 100 m, conforme as condições topográficas, podendo ser maior quando o projeto prevê o uso de extensões. Os pontos de fixação do equipamento para a operação também são espaçados na mesma distância, formando uma malha útil (área fertilizada) de um hectare, descontando a necessidade de recobrimento de área na aplicação.

As vazões do equipamento variam, em função do projeto, de 100 a 150 m³/h. Considerando uma taxa de aplicação convencional de 150 m³/ha de vinhaça pura, um aspersor com capacidade de 120 m³/h funciona por 1,25 horas em cada ponto fixo. Assim, considerando a produção diária da vinhaça, o tempo de operação do equipamento, o tempo perdido de deslocamento e outros, e a jornada útil de trabalho, determina-se a quantidade de equipamentos necessários.

- Aspersão com autopropelido com carretel enrolador (rolões)

O sistema de aspersão com montagem direta está caindo em desuso, sendo substituído por aspersão com autopropelido com carretel enrolador. Este sistema, ilustrado na Figura 87, consiste em um carretel que permite o enrolamento de tubulação de polietileno de média densidade (PEMD), utilizada para alimentar e puxar um aspersor do tipo canhão-hidráulico. O processo necessita de um trator auxiliar para posicionar o canhão e desenrolar o carretel. O início da aspersão se dá com o enrolamento do carretel, sendo o canhão-hidráulico puxado a uma velocidade regulada para manter a taxa de aplicação necessária.

Diferentemente da montagem direta, a distribuição da vinhaça é feita em faixas com aproximadamente 90 m de largura, conferindo um maior rendimento ao sistema.



FOTO: ACERVO CTC

Figura 87 - Carretel enrolador com captação no canal.

O carretel pode succionar a vinhaça, diluída ou não com água residuária, do canal, ou diretamente dos caminhões romeu-e-julieta ou rodotrem, utilizados para o transporte da vinhaça como apresentado na

Figura 88. Também são admitidas extensões com tubulação de alumínio para atingir áreas mais distantes dos canais ou dos tanques de vinhaça.



FOTO: ACERVO CTC

Figura 88 - Aspersão com carretel enrolador acoplado diretamente no caminhão.

Na Tabela 60 são apresentados valores normalmente considerados na quantificação de rolões para

aplicação da vinhaça natural.

Tabela 60 - Parâmetros envolvidos no dimensionamento do sistema de aspersão com carretel enrolador na fertirrigação

Parâmetros	Valores
Comprimento da mangueira (C_{tubo})	400 m
Comprimento da faixa aplicada ($C_{\text{faixa}} = C_{\text{tubo}} + R_{\text{rolão}}$)	445 m
Jornada útil de trabalho com refeição (T_{jornada})	24 horas/dia
Horas perdidas (T_{perdido})	4 horas/dia
Vazão do rolão ($Q_{\text{rolão}}$)	120 m ³ /hora
Raio de alcance do rolão ($R_{\text{rolão}}$)	45 m
Área da faixa de aplicação (A_{faixa})	~ 4 ha
Largura da faixa de aplicação (L_{faixa})	90 m
Tempo de manobra para mudança de faixa (T_{manobra})	~ 0,7 hora
Eficiência de trabalho, $E_{\text{trab}} = 100 \cdot (T_{\text{jornada}} - T_{\text{perdido}}) / T_{\text{jornada}}$	83%

Fonte: Projetos de fertirrigação elaborados pelo CTC

Para a determinação da quantidade de rolões necessária, efetua-se as seguintes etapas de cálculo:

- Volume de vinhaça aplicado em cada faixa (V_{faixa})

O volume de vinhaça aplicado em cada faixa do rolão é calculado multiplicando-se a taxa de aplicação volumétrica de vinhaça pela área da faixa de influência do rolão (Equação 56):

Eq. 56:

$$V_{\text{faixa}} = T_{x_{\text{aplicação}}} \cdot A_{\text{faixa}} = T_{x_{\text{aplicação}}} \cdot \left(\frac{L_{\text{faixa}} \cdot C_{\text{faixa}}}{10.000} \right)$$

$$V_{\text{faixa}} = 150 \cdot \frac{90 \cdot 445}{10.000} \approx 600 \left[\text{m}^3 / \text{faixa} \right]$$

Em que:

V_{faixa} = volume aplicado em cada faixa = 600 m³/faixa;

$T_{x_{\text{aplicação}}}$ = taxa volumétrica de aplicação de vinhaça, adotada 150 m³/ha.

- Rendimento diário rolão ($Rend_{\text{rolão}}$)

O rendimento do rolão, na aplicação de vinhaça, mostra o quanto efetivamente o equi-

pamento trabalhou, ou seja, o número de faixa atendida por dia, multiplicado pela área de cada faixa (Equação 57):

Eq. 57:

$$Rend_{rol\tilde{a}o} = \left(\frac{Jornada_útil}{Tempo_despendido_do_rol\tilde{a}o} \right) * A_{faixa} = \left(\frac{T_{jornada} - T_{perdido}}{T_{rol\tilde{a}o} + T_{manobra}} \right) * A_{faixa}$$

onde :

$$T_{rol\tilde{a}o} = \frac{V_{faixa}}{Q_{rol\tilde{a}o}} = \frac{600}{120} = 5,0 \left[\frac{h}{faixa} \right]$$

então :

$$Rend_{rol\tilde{a}o} = \left(\frac{24 - 4}{5 + 0,7} \right) * 600 = 2.105 \left[\frac{m^3}{dia} \right]$$

- Velocidade de recolhimento do rolão ($V_{rol\tilde{a}o}$)

A velocidade de recolhimento do rolão deve ser regulada para se obter a taxa de aplicação volumétrica de vinhaça desejada. É função do comprimento da faixa pelo tempo de operação útil para aplicar o volume necessário na faixa (Equação 58):

Eq. 58:

$$V_{rol\tilde{a}o} = \frac{Comprimento_da_faixa}{Tempo_útil_faixa} = \frac{C_{faixa}}{T_{rol\tilde{a}o}}$$

$$V_{rol\tilde{a}o} = \frac{400}{5} = 80,0 \left[\frac{m}{h} \right]$$

- Quantidade de rolão necessária ($N_{rol\tilde{a}o}$)

A quantidade de rolões é calculada pela divisão entre a vazão diária de vinhaça (m^3/dia) e o rendimento diário do rolão (m^3/dia), como apresentado na Equação 59:

Eq. 59:

$$N_{rol\tilde{a}o} = \frac{Q_{vinhaça}}{Rendimento_do_rol\tilde{a}o}$$

$$N_{rol\tilde{a}o} = \frac{Q_{vinhaça}}{Rend_{rol\tilde{a}o}} [rol\tilde{a}es]$$

- Sistemas não convencionais de fertirrigação

Têm surgido algumas inovações na fertirrigação, como a utilização de sistemas de aspersão por pivô central e a aplicação de vinhaça por gotejamento subsuperficial diluída ou não com água residuária. São sistemas que começam a ser empregados em regiões onde há necessidade de irrigação suplementar da cana, como as das novas fronteiras canavieiras como Goiás e Mato-grosso do Sul ou mesmo na região canavieira Norte-Nordeste.

Entende-se que o pivô central rebocável apresenta melhores possibilidades, pois aumenta a versatilidade do pivô central convencional quando não se necessita de irrigação direta, como é o caso da cana. O sistema rebocável mantém as características desejáveis do pivô convencional, como baixa pressão de serviço e alta uniformidade de distribuição de água se comparado com a aspersão com canhões-hidráulicos, praticada nas montagens diretas ou com carretel enrolador.

Ainda pode-se citar o desenvolvimento de um acessório para o sistema de aspersão por carretel enrolador. É a barra irrigadora, que vem sendo testada em algumas usinas, que permite, similarmente ao pivô central, uma redução da pressão de serviço, aumentando a uniformidade e a eficiência de irrigação, sem perder a característica de flexibilidade de uso e de transporte.

6.3.10. Águas residuárias para irrigação dos canaviais

As águas residuárias das usinas são aplicadas na lavoura conjuntamente com a vinhaça na fertirrigação dos canaviais ou, separadamente, para irrigação de salvamento. Deve-se observar que a aplicação da vinhaça pura implica em uma lâmina de água muito pequena. Uma taxa volumétrica de aplicação de vinhaça de cerca de 150 m³/ha proporciona uma lâmina de água de 15 mm. Para aumentar esta lâmina de água, costuma-se diluir a vinhaça com a água residuária, suprimindo, em certos casos, a deficiência de água no período de colheita da cana quando há a rebrota, processo chamado irrigação de salvamento.

A utilização da água residuária na lavoura implica em uma logística similar à aplicação de vinhaça pelo sistema de transporte dutoviário e aplicação por aspersão, necessitando porém de maior capacidade de transporte e maior necessidade de aspersores. Quando é aplicada conjuntamente com a vinhaça, a dosagem de potássio é dada pela fórmula da NT P4.231 da Cetesb, e a lâmina é função da porcentagem de diluição.

ROSENFELD (2003) indica, para irrigação de salvamento, lâminas de água que se diferenciam con-

forme se tenha planta cana ou planta soca:

- Para cana planta: lâminas de água de 80 a 120mm, podendo ser aplicadas do 4º ao 8º mês do plantio em 2 aplicações
- Para cana soca: lâminas de água de 40 a 60mm, podendo ser aplicadas após 15 dias do corte em aplicação única.

Os ganhos de produtividade desta prática são estimados em 12 a 20% no caso de planta cana e de 6 a 12% para o caso de cana soca (ROSENFELD, 2003).

A quantidade disponível de água residuária considerando a racionalização dos usos industriais tende a significativas reduções. No balanço macro anteriormente considerado (Figura 62), em média o setor gera 1,1 m³/t cana. Considerando o rendimento de 85 t cana/ha, tem-se 93,5 m³/ha de água residuária disponível para o reúso agrícola. Aplicando-se uma lâmina média de 50mm, a título de irrigação de salvamento, ou seja, 500 m³/ha, a área potencialmente irrigada com este efluente é cerca de 20% do total da lavoura. Na Figura 89 é apresentada uma fotografia de uma área sistematizada para a irrigação e fertirrigação com águas residuárias em uma usina.



FOTO: ACERVO CTC

Figura 89 - Uso das águas residuárias na irrigação ou fertirrigação dos canaviais.

6.3.11. Concentração de vinhaça

A aplicação agrícola da vinhaça apresenta vantagens ambientais e econômicas, porém o seu uso ainda está restrito às áreas mais próximas das usinas pelo custo-benefício apresentado, pois seu transporte para áreas mais afastadas encarece a prática e inviabiliza a sua aplicação. Conforme demonstrado anteriormente, existe uma distância que pode ser considerada econômica, que depende da situação de cada usina e destilaria, mas que em última instância depende muito da concentração da vinhaça quando transportada via rodoviária.

O tratamento da vinhaça por concentração visa essencialmente a atender este requisito, ou seja, viabilizar a fertirrigação de áreas de plantio de cana mais afastadas, evitando o transporte excessivo de água, ou para atender áreas não contínuas, cujo projeto de fertirrigação dutoviário é impraticável. No entanto, nesta prática nem toda a vinhaça é necessariamente concentrada e sim apenas a parte excedente, impossibilitada de ser aplicada nas áreas mais próximas. Deve-se evitar solos com alta concentração de potássio, conforme determina a NT P4.231.

Como opção comercial para concentrar a vinha-

ça existe, por exemplo, a tecnologia de evaporação, com os evaporadores de múltiplo efeito “falling film” (tecnologia DEDINI-VAGELBUSH). Outros sistemas de evaporação estão em estudos pilotos como a evaporação por múltiplo efeito por névoa turbulenta, tecnologia muito utilizada na indústria de cítricos. No Brasil, tem-se notícia de apenas uma usina concentrando a vinhaça, com uma planta demonstrativa instalada há mais de 20 anos e atendendo cerca de 5% da vinhaça produzida, que utiliza a tecnologia de evaporação múltiplo efeito “falling film”, concentrando a vinhaça a 40%.

As tecnologias de concentração de vinhaça por evaporação requerem equipamentos em aço inox e quantidade apreciável de energia na forma de vapor. Pode-se estimar que no equipamento com 5 efeitos, a quantidade de vapor é otimizada em cinco vezes, mas mesmo assim, se requer cerca de 0,2 kg vapor/L vinhaça, ou cerca de 2 kg vapor/L etanol, para concentrar a vinhaça em 10 vezes (de 4 para 40°B, por exemplo), equivalente a quase 60% do gasto de vapor para a produção do álcool hidratado.

A opção pela implementação desta tecnologia deverá comparar o custo de produção da vinhaça concentrada e o custo do transporte rodoviário para ser uti-

lizada no campo, dependendo do grau de concentração associado que indicará o tamanho do equipamento e o gasto com energia.

Outro fator que deve ser considerado na concentração da vinhaça consiste na quantidade de condensado produzido, que dependendo da sua qualidade, apesar de límpida, apresenta-se ácida e com concentração de matéria orgânica similar à flegmaça, necessitando, deste modo, de um sistema de tratamento para a sua reutilização, caso contrário se produzirá mais um efluente.

6.3.12. Biodigestão de vinhaça

Mais que um sistema de tratamento da vinhaça, a biodigestão da vinhaça via anaeróbica é, antes de tudo, um processo de obtenção de energia extra pela utilização do biogás gerado, rico em metano. Este tratamento, por mais eficiente que seja na remoção de DBO_5 da vinhaça (com potencial de 80 a 90% de remoção), ainda manterá uma carga poluidora no efluente biodigerido relativamente alta para lançamento em rios. Seriam então necessários tratamentos em série até nível terciário, para enquadramento dos parâmetros de lançamento e qualidade das legislações ambientais, um tratamento não convencional inviável economicamente.

Salienta-se que neste tipo de tratamento somente a matéria orgânica é degradada, possuindo o efluente final biodigerido basicamente as mesmas características nutricionais para a cana-de-açúcar (principalmente potássio) e os mesmos poluentes potenciais para as águas subterrâneas (sais). Assim, a vinhaça biodigerida vem requerer a mesma aplicação da vinhaça natural, ou seja, a fertirrigação racional da lavoura canavieira, com menor quantidade de matéria orgânica para o condicionamento do solo.

O conceito do processo UASB, ou reator anaeróbio de fluxo ascendente com manta de lodo (RAFA), envolve a digestão anaeróbica de resíduos orgânicos complexos, formando ácidos orgânicos em uma primeira fase (ácida) e sua posterior transformação em produtos gasosos, principalmente metano e gás carbônico (fase metanogênica). Em cada etapa intervém um grupo de bacté-

rias: as acidogênicas, na primeira fase, e as metanogênicas, na segunda. A concepção básica consiste na alimentação da vinhaça pelo fundo do reator e a saída pelo topo, depois de passar por um sistema de separação gás, lodo, líquido. Este separador propicia condições para que as partículas de lodo biológico retornem à zona de digestão, assegurando assim um adequado tempo de residência do lodo e alta concentração de lodo biológico no biodigestor. A desgaseificação ocorre quando a mistura de líquido, gás e lodo é desviada pelas placas do decantador interno do reator. O lodo desgaseificado e de características floculantes decanta facilmente. O movimento descendente do lodo opera em contracorrente ao fluxo hidráulico dentro do biodigestor e serve para promover o necessário contato eficiente entre as bactérias e a vinhaça afluente.

Este processo de biodigestão anaeróbica de efluentes teve um grande impulso a partir de 1968, com a publicação dos trabalhos de Perry McCarty, sobre pesquisa com filtro anaeróbico para tratamento de despejos solúveis. Até então, a aplicação do processo anaeróbico se limitava ao tratamento de lodo de despejos domésticos com digestores convencionais. A idéia básica introduzida por McCarty foi o aumento do tempo de retenção celular, sem aumentar o tempo de detenção hidráulico, tal como nos tratamentos aeróbios de lodos ativados e filtro biológico, utilizando um suporte para reter a massa microbiana responsável pela depuração da matéria orgânica. Desta forma, o processo anaeróbio se igualou ao processo aeróbio em termos de eficiência e áreas requeridas, tendo a vantagem de ser de baixo custo no tocante a equipamentos e produzir uma fonte utilizável de energia, o gás metano.

Vários pesquisadores ampliaram o conhecimento do processo anaeróbio, da microbiologia, da química, dos quesitos ambientais e do controle de substâncias tóxicas. Em 1976, na Holanda, Lettinga inovou o processo de tratamento anaeróbio, com o reator de manta de lodo, o UASB, desenvolvido para tratamento de despejos de uma refinaria de açúcar de beterraba. O princípio básico é o mesmo do filtro anaeróbico, porém o alto tempo de retenção celular é conseguido por um decantador no topo do biodigestor que retorna o lodo para o seu interior, formando uma manta de lodo no biodigestor.

Esse sistema trouxe um novo impulso ao tratamento anaeróbico.

Há cerca de duas décadas, a biodigestão de vinhaça foi muito cogitada para a produção de metano para uso automotivo na própria frota de caminhões de cana das usinas. Em 1986 foi implantado um sistema completo de biodigestão com purificação e compressão do metano na Usina São João da Boa Vista, em São Paulo, para demonstrar a tecnologia, viável tecnicamente, mais que não atingiu as condições esperadas para se obter uma boa relação custo-benefício. Atualmente, se tem notícia de apenas uma usina do setor que utiliza a biogás da vinhaça, produzindo-o com reator anaeróbico termofílico. Portanto, o uso convencional desta tecnologia ainda não vingou no setor sucroenergético.

Ultimamente, a tecnologia de biodigestão anaeróbica da vinhaça vem sendo novamente cogitada para a geração de biogás com fins de produção de energia elétrica, devido principalmente aos apelos de produção de energia alternativa. Mesmo assim, os custos de produção do biogás ainda não são cobertos pelos preços praticados pelas concessionárias de energia elétrica. O custo de produção de eletricidade a partir do biogás é estimado entre R\$ 204,82/MWh e R\$ 256,71/MWh dependendo da tecnologia empregada, e ainda não é competitivo com o valor de mercado para contratos de médio e longo prazo, que estão na ordem de R\$ 150,00/MWh (LAMÔNICA et al., 2008).

Existem no mercado tecnologias baseadas no reator UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) com adaptações como o reator IC (Circulação Interna, tecnologia da Dedini), operando alguns na faixa de temperatura mesofílica (em torno de 35°C) e outros na faixa de temperatura termofília (cerca de 55°C). Há também alguns estudos em andamento em planta piloto com outros tipos de tecnologia semelhante ao UASB, operando com temperatura no reator em uma faixa intermediária e com fluxo descendente ao invés de ascendente.

A Tabela 61 apresenta os parâmetros convencionais teóricos utilizados para o dimensionamento e operação de biodigestores UASB. Na Tabela 62 se apresentam os efeitos de alguns compostos para a biodigestão anaeróbica.

Pode-se estimar o potencial de produção de biogás e de energia elétrica do uso da tecnologia como segue:

- Caracterização média da vinhaça (obtida da Tabela 43):

Taxa de produção de vinhaça	12 L/L etanol
DBO ₅	14.833 mg/L
DQO	23.801 mg/L
Sólidos Totais	32.788 mg/L
Carga orgânica	285 g DQO/L etanol

**Tabela 61 - Parâmetros convencionais de projeto e operação de biodigestores UASB
(ELIA NETO et al., 1988)**

Parâmetros	Valores	
Alimentação	Temperatura	30°C a 40°C (mesofílico)
		55°C a 60°C (termofílica)
	pH	6,5 a 7,5
	DQO/N	< 20 e 30 (viável até 70)
	DQO/P	< 350
	Taxa orgânica	15 a 20kg DQO/m ³ .dia (pico)
		0,5kg DQO/m ³ x dia (partida)
Projeto Convencional	Velocidade ascensional	1,2 a 1,5m ³ /mm ² .h (pico)
	Distribuição	1 ponto cada 7m ² (despejos concentrados)
	Alimentação	1 ponto a cada 1m ² (despejos diluídos)
	Decantador	Inclinação = 60°
		velocidade de passagem - 3 a 5m ³ /m ² .h
Operação	Eficiência	80 a 90% (DQO)
	Concentração ácidos voláteis	< 500mg ácido acético/L
	Produção de gás	0,35 NLCH./g DQO (teórico)
		0,30 NLCH./g DQO (despejos concentrados)
		0,15 NLCH./g DQO (despejo diluído)
	Composição do gás	60% - metano
		40% - outros gases (CO ₂ , H ₂ S)
	Produção de lodo	0,05 kg lodo/kg DQO (5 a 10% material sólido)

Tabela 62 - Efeito de alguns compostos na biodigestão anaeróbia

Cátion		Concentrações (mg/L)		
		Estimulante	Moderadamente inibitória	Fortemente Inibitória
Sódio ⁽¹⁾	Na	100 - 200	3.500 - 5.500	8.000
Potássio ⁽¹⁾	K	200 - 400	2.500 - 4.500	12.00
Cálcio ⁽¹⁾	Ca	100 - 200	2.500 - 4.500	8.000
Magnésio ⁽¹⁾	Mg	75 - 150	1.000 - 1.500	3.000
N.amoniacal ⁽²⁾	N	50 - 200	1.500 - 3.000	< 3.000

Fontes: (1)MCARTHY, 1964 e (2)MCARTHY & MC KINNEY, 1961

- Dados do sistema

Eficiência da biodigestão (remoção DQO)	80%
Taxa de aplicação (mesofílico)	12 kg DQO/m ³ reator dia
Volume necessário p/ biodigestão	23,75 L reator/L etanol dia
Tempo de detenção hidráulico	23,75/12 = 47,5 horas

- Produção e composição do biogás

Taxa teórica de produção de metano	0,30 N.L.CH ₄ /g DQO _{removida}
Porcentagem de metano	60%
Porcentagem de CO ₂	40%
Porcentagem de H ₂ S	~1%
Produção de biogás (c/ 60% CH ₄)	0,50 N.L biogás/g.DQO _{removida}
Volume de biogás	0,5 x 285 x 0,8 = 114 N.L biogás/L etanol ou 114/12 = 9,5 N.L biogás/L vinhaça
Densidade do biogás	0,784 kg/Nm ³
Massa de biogás	114 x 0,784 = 89,4 g biogás/L etanol

- Geração de energia

PCI biogás	5.500 kcal/kg, ou 23 MJ/kg
Energia disponível no biogás	5500 x 89,4 = 491,7 kcal/L etanol, ou 2,06 MJ/L etanol ou 572 Wh/L etanol,

Produção de energia: motogerador (eficiência de 30%)	172 Wh/L etanol
---	-----------------

Em média, 1.000 litros de etanol produzem 12.000 litros de vinhaça com 285 kg de DQO, podendo gerar por biodigestão 114 N.m³ de biogás com um teor de metano de 60%, suficiente para acionar um conjunto motogerador para a produção de 142 kWh. Esta quantidade de energia elétrica é capaz de atender o consumo de um mês de uma residência média, conforme pode se observar no esquema ilustrativo da Figura 90.

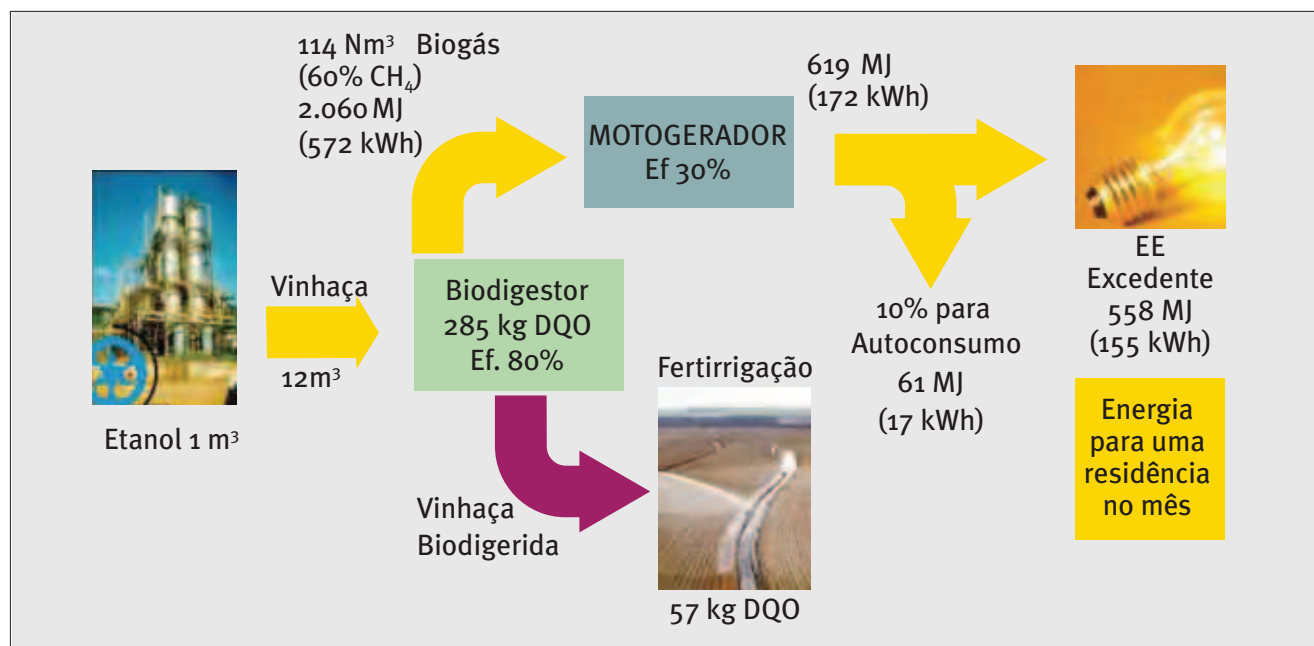


Figura 90 - Esquema da produção e energia elétrica do biogás da vinhaça (adaptado de LAMÔNICA, 2006a).

Considerando a produção brasileira de etanol na safra 2008/2009, de 22,5 bilhões de litros (UNICA, 2009), o setor tem um potencial de geração de energia elétrica pela biodigestão anaeróbica da vinhaça na ordem de aproximadamente 3.500 GNh na safra, ou seja, uma potência de 729 MW. Isto equivalente a aproximadamente uma turbina da hidrelétrica de Itaipu, ou ainda, a 0,9% do consumo de eletricidade total brasileira no ano de 2006 (390 TWh), conforme informado no Balanço Energético Nacional - BEN-2007 (MME, 2007).

Por outro lado, considerando a energia do biogás em relação à energia produzida com o etanol na destilaria ($PCI = 7.090 \text{ kcal/kg}$), o aproveitamento energético da biodigestão da vinhaça significa uma disponibilidade excedente de energia de aproximadamente 11% em relação ao etanol produzido, para as condições médias admitidas.

6.4. Produção mais limpa (P+L)

O conceito de “Produção Mais Limpa” considera as atitudes ou modificações preventivas para diminuir ou eliminar alguma característica na produção que impacta o meio ambiente, seja pelo uso do recurso natural ou desperdício sob forma de poluição. A P+L está associada a obter um benefício não somente ambiental como também econômico e, no presente caso deste manual, é considerada quando envolve a economia de água e a eliminação da necessidade de tratamento externo de despejo. Procurar-se-á discorrer sobre estas tecnologias de P+L no setor sucroenergético, seus benefícios e aplicabilidade, bem como os seus estágios de desenvolvimento atual.

6.4.1. Limpeza de cana a seco

Considerando as demandas no que se refere à proibição da queimada da cana e consequente eliminação da lavagem de cana, a limpeza de cana a seco vem atender estas necessidades, inclusive com algumas usinas já com o sistema em pleno funcionamento.

Esta tecnologia foi desenvolvida inicialmente no CTC, sendo constituída basicamente da insuflação de ar para a retirada das impurezas vegetais quando a cana-picada cai na esteira. Deve-se lembrar que com a colheita mecânica da cana, as impurezas vegetais tendem a crescer e este material, notadamente palha, pode ser utilizada como insumo energético, como já vem ocorrendo em algumas usinas em plantas demonstrativas.

O insuflamento de ar também retira uma boa parte da impureza mineral, mas a maior parte é retirada antes na própria mesa de recepção da cana. No sistema completo de limpeza de cana a seco há um primeiro estágio para a limpeza através de adaptação das mesas de 45° com fundo de telas de barras trapezoidais, fazendo com que, na subida da cana, as impurezas passem pelas telas e sejam recolhidas num fundo falso por esteiras. Existem outras adaptações que podem ser observadas no esquema apresentado na Figura 91. O sistema como um todo tem uma eficiência baixa na limpeza, estimada em 30 a 35% de remoção das impurezas minerais da cana. Portanto é indispensável investir em programas que visem a chegada da cana mais limpa na indústria, deixando a terra no campo.

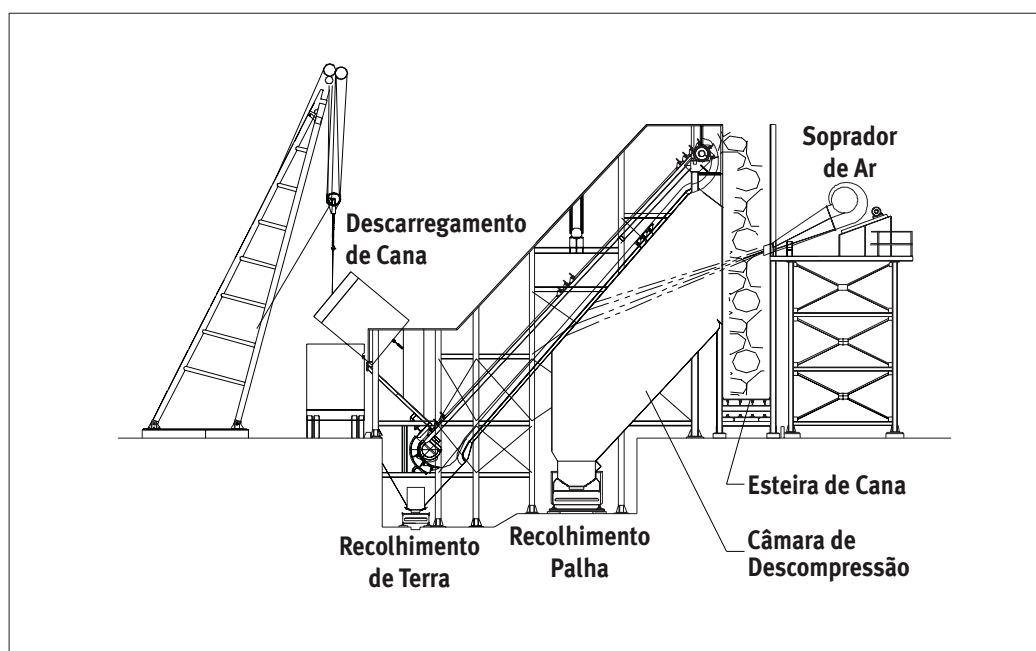


Figura 91 - Esquema (corte) de uma mesa de alimentação com o sistema de limpeza de cana a seco.

Algumas usinas têm adotado apenas parcialmente o conceito de limpeza de cana a seco, eliminando a lavagem de cana, porém mantendo o circuito de água para o arraste da terra sob a mesa e o uso de água em limpeza de correntes e esteira e até mesmo, da própria cana em épocas de chuva.

6.4.2. Blindagem de mancais das moendas

O sistema de vedação em mancais de eixos de moenda tem a finalidade de evitar a entrada de caldo, areia e bagacilho nos mancais, que provoca a ruptura da película de filme de óleo de lubrificação e o aquecimento e desgaste, tanto do eixo como do semicasquilho de bronze.

Nos mancais mais antigos, o sistema de vedação é bastante precário, pois utiliza apenas anéis de feltro. Além disso, no rolo superior da moenda, ocorre a abertura de uma fresta entre o semicasquilho superior e o inferior quando este rolo oscila, acentuando dessa forma a entrada de contaminantes e a perda de óleo. Portanto, tem-se nesses mancais uma situação de aque-

cimento, com maior necessidade de água de refrigeração dos mancais e uma maior perda de óleo, que pode contaminar o caldo, principalmente durante a operação de limpeza da moenda.

O sistema de vedação de mancais desenvolvido inicialmente pelo CTC e atualmente com similares existentes em vários projetos existentes no mercado (Figura 92), utiliza anéis retentores e raspadores de borracha, que deslizam sobre anéis de vedação com revestimento em inox. Desta maneira, promovem uma vedação bem mais eficiente, que diminui consideravelmente as perdas de óleo e a temperatura dos mancais e consequentemente a quantidade de água de refrigeração, devido à menor entrada de contaminantes nos mesmos.

No rolo superior da moenda, o sistema de montagem permite que o semicasquilho inferior acompanhe o superior no movimento de oscilação, não ocorrendo o problema de abertura de uma fresta, por onde entram contaminantes e perde-se muito óleo, como ocorre nos mancais não dotados desse sistema de vedação, ou seja uma maior blindagem, com menor uso e perdas de óleo e por conseguinte menor contaminação nas águas de lavagem de equipamentos - uma tecnologia P+L.

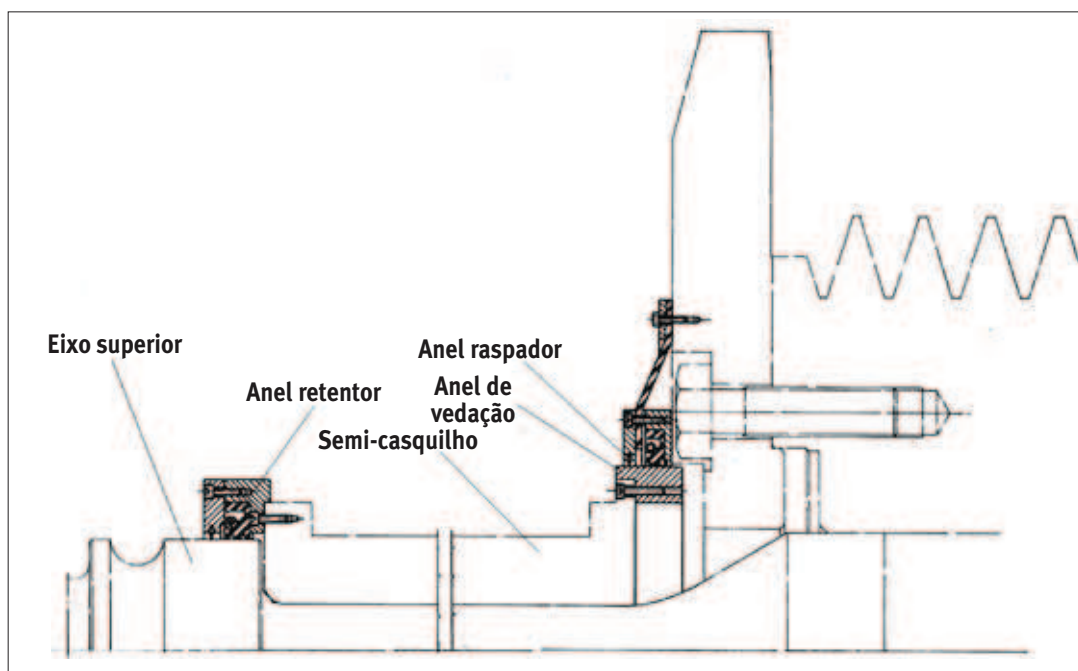


Figura 92 - Vedação (blindagem) do mancal de moenda (COPERSUCAR, 1983).

6.4.3. Separadores de arraste de açúcar

O vapor gerado em qualquer efeito da evaporação pode conter gotas com açúcar provocado pelo arraste de líquido. O arraste de líquido é indesejável por muitas razões, sendo uma delas, o risco de contaminação da água da caldeira com açúcar, quando o vapor vegetal após condensação é reutilizado nesta etapa. Se for usado no processo de diluição, o açúcar reciclado pode ser degradado termicamente. Se o vapor é proveniente do efeito final da evaporação e está sendo condensado em um condensador barométrico, o açúcar arrastado em forma de gota líquida acaba provocando a contaminação orgânica desta água, ocasionando perdas e poluição da água de resfriamento.

Um melhor controle operacional, associado a uma minimização do arraste, pode ser utilizado para eliminar o arraste. O método busca prevenir o arraste de líquido pelo vapor gerado na evaporação, em conjunto com a separação das gotas líquidas arrastadas pelo vapor gerado. O arraste é minimizado quando há uma

redução da velocidade do vapor no corpo do evaporador, espaço adequado de degasagem acima do líquido em ebulição e, condição favorável de regime permanente nas taxas de evaporação, pressão absoluta, pressão de vapor e nível de líquido.

Os principais parâmetros utilizados para prevenir o arraste em um evaporador são a velocidade, a mudança de direção do fluxo e a gravidade. Uma vez que a gota de líquido tenha sido arrastada, é necessária a sua separação, sendo utilizado para isto, o separador de arraste. Existem diversos tipos de separadores de arraste instalados internamente nos evaporadores ou externamente na linha do vapor vegetal ou mesmo, em ambos os casos.

A Figura 93 apresenta um separador de arraste tipo centrífugo instalado internamente no corpo da caixa de evaporação e cozimento, utilizado de longa data pelas usinas brasileiras, o que certamente tem evitado poluição orgânica nas águas de resfriamento e, por conseguinte a poluição dos recursos hídricos, constituindo-se uma tecnologia de P+L.

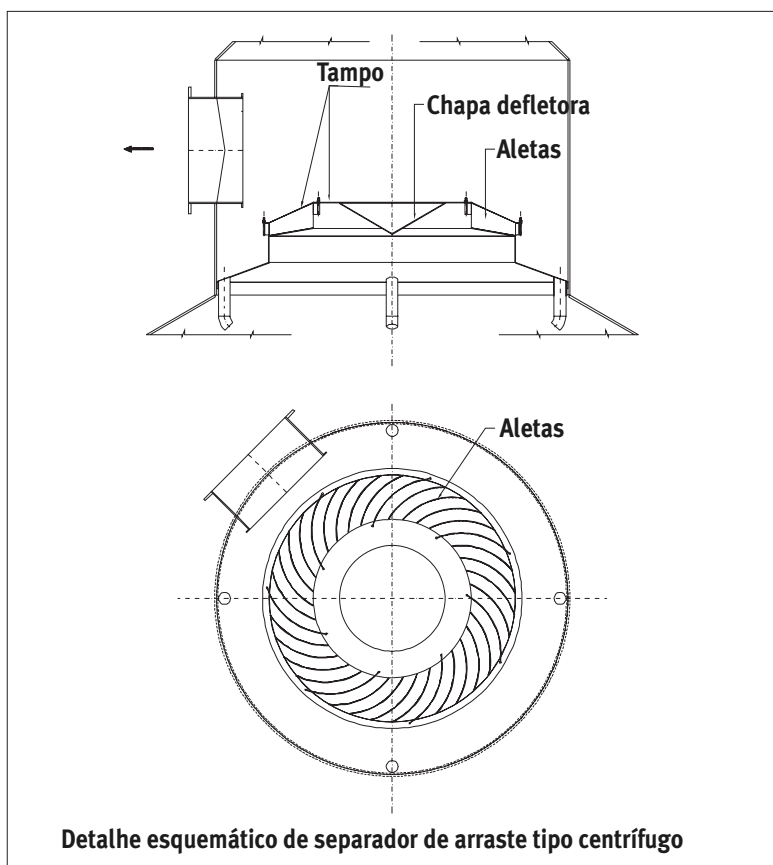


Figura 93 - Esquema de um separador de arraste tipo centrífugo.

6.4.4. Condensador de alta eficiência (CAE)

O condensador barométrico, ou equipamento similar, tipo multijato é utilizado com a finalidade de condensar o vapor, proveniente do último efeito da evaporação. Como o condensador opera sob vácuo (entre 18" a 25"Hg), é necessária uma selagem, que é feita através de uma coluna barométrica. A característica do condensador de alta eficiência (CAE) é operar com um "approach" de 3°C. A diferença de temperatu-

ra entre o vapor que vai condensar e a temperatura da água quente na saída do condensador define o valor do "approach", que em condensadores convencionais é bem maior (cerca de 12°C), implicando em um maior uso de água.

Quando se trata de economizar o recurso hídrico necessário para movimentar o equipamento (condensador), o emprego do condensador de alta eficiência é uma alternativa viável. A Equação 60 e seu desenvolvimento estabelecem a taxa de uso da água na condensação para o CAE.

Eq. 60:

Balanco _de _massa :

$$m_1 + m_v = m_2$$

Balanco _de _Energia :

$$m_1.Cp_1.T_1 + m_v.H_v = m_2.Cp_2.T_2$$

$$m_1.Cp_1.T_1 + m_v.H_v = (m_1 + m_v).Cp_2.T_2$$

$$m_1.(Cp_2.T_2 - Cp_1.T_1) = m_v.(H_v - Cp_2.T_2)$$

$$\frac{m_1}{m_v} = \frac{(H_v - Cp_2.T_2)}{(Cp_2.T_2 - Cp_1.T_1)} = Tx_{\text{água}}$$

Temperatura _de _aproximação

$$T_2 = T_v - \text{approach} = 60 - 3 = 57^\circ C$$

$$Tx_{\text{água}} = \frac{(623,2 - 1 \cdot 57)}{(1 \cdot 57 - 1 \cdot 30)} = 20,97 \approx 21 \left[\frac{\text{kg.água}}{\text{kg.vapor}} \right]$$

Em que:

$Tx_{\text{água}}$ = taxa de utilização de água,
resultando 22 kg/kg vapor;

m_v = massa de vapor a ser condensada [m];

m_1 = massa de água fria alimentada
no condensador, [m];

m_2 = massa de água quente na saída
do condensador, [m];

T_1 = temperatura da água fria, 30°C;

T_2 = temperatura da água quente, 57°C;

approach = temperatura de aproximação, 3°C;

Cp_1 e Cp_2 = coeficientes de calor específico da água,
1 kg cal/kg°C;

H_v = entalpia do vapor a ser condensado.

T_v = temperatura do vapor, 60°C;

No balanço para o condensador barométrico convencional, em que o “approach” é 12°C, o valor da taxa de uso de água na condensação é 32 quilograma de água por quilograma de vapor, portanto o CAE proporciona uma economia de 11 kg água/kg vapor, ou seja, aproximadamente 34% em relação ao uso de água no condensador convencional.

A Figura 94 representa um condensador de alta

eficiência. Existem diversas características no projeto deste tipo de condensador. Alguns projetos possuem dupla ou tripla câmara contendo diversos bicos, que são fechadas estrategicamente, de acordo com a oscilação da taxa evaporativa do evaporador ou do cozedor. Outros possuem controlador de tempo de cozimento, como no caso do CAE instalado em vácuos.

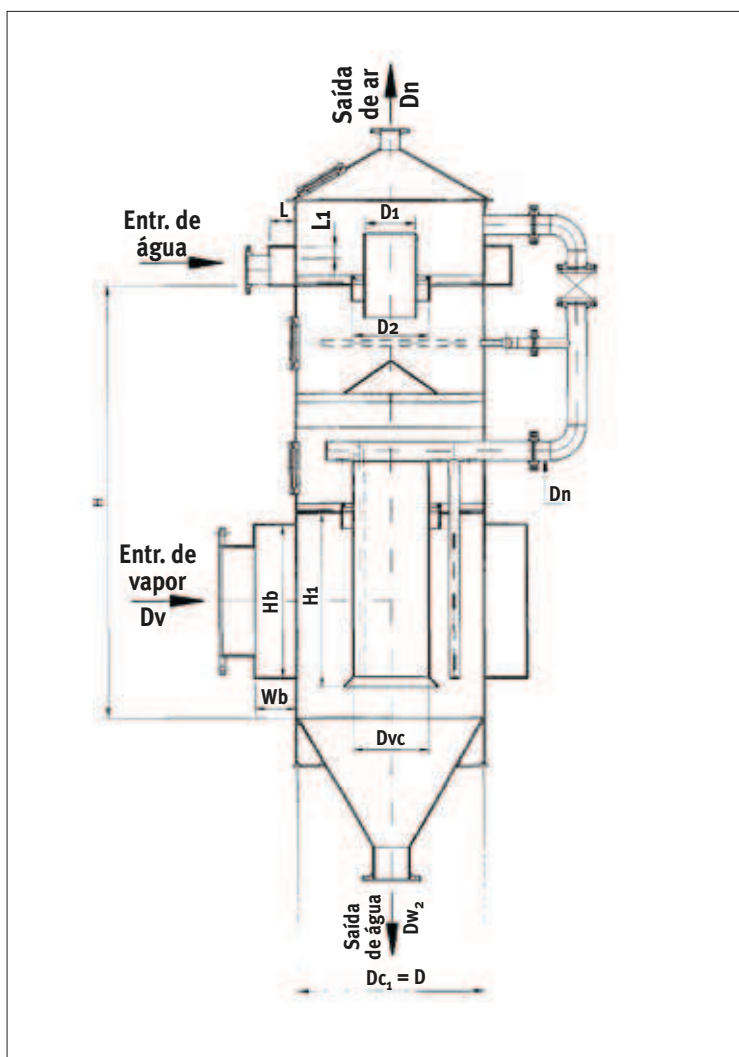


Figura 94 - Esquema de um condensador barométrico de alta eficiência (CAE).

6.4.5. Condensador evaporativo (CEV)

Trata-se de um equipamento largamente empregado em indústrias de citros, na condensação de vapor proveniente dos concentradores de suco. No setor sucroenergético, foram feitos alguns testes de forma incipiente com este tipo de equipamento. Verificou-se, no entanto, seu enorme potencial na redução do uso de água em comparação ao sistema convencional, de evaporação e selagem com água de resfriamento em circuitos com tanques aspersores ou torres.

O condensador evaporativo (CEV) nada mais é

do que a composição de um condensador e uma torre de resfriamento, em um único equipamento, como mostrado na Figura 95. É constituída por uma carcaça (torre), por serpentinas ou tubos de condensação, por ventilador e motor do ventilador, bomba e motor de água, distribuidor de água, borrifadores, bandeja de água, sistema de controle de nível na bandeja, sistema de remoção de ar (ejetores a vapor), câmara receptora de vapor, saída de condensado e dreno. A diferença básica é que o vapor que é condensado nas serpentinas é utilizado como fluido de condensação, não necessitando de água externa para o seu funcionamento.

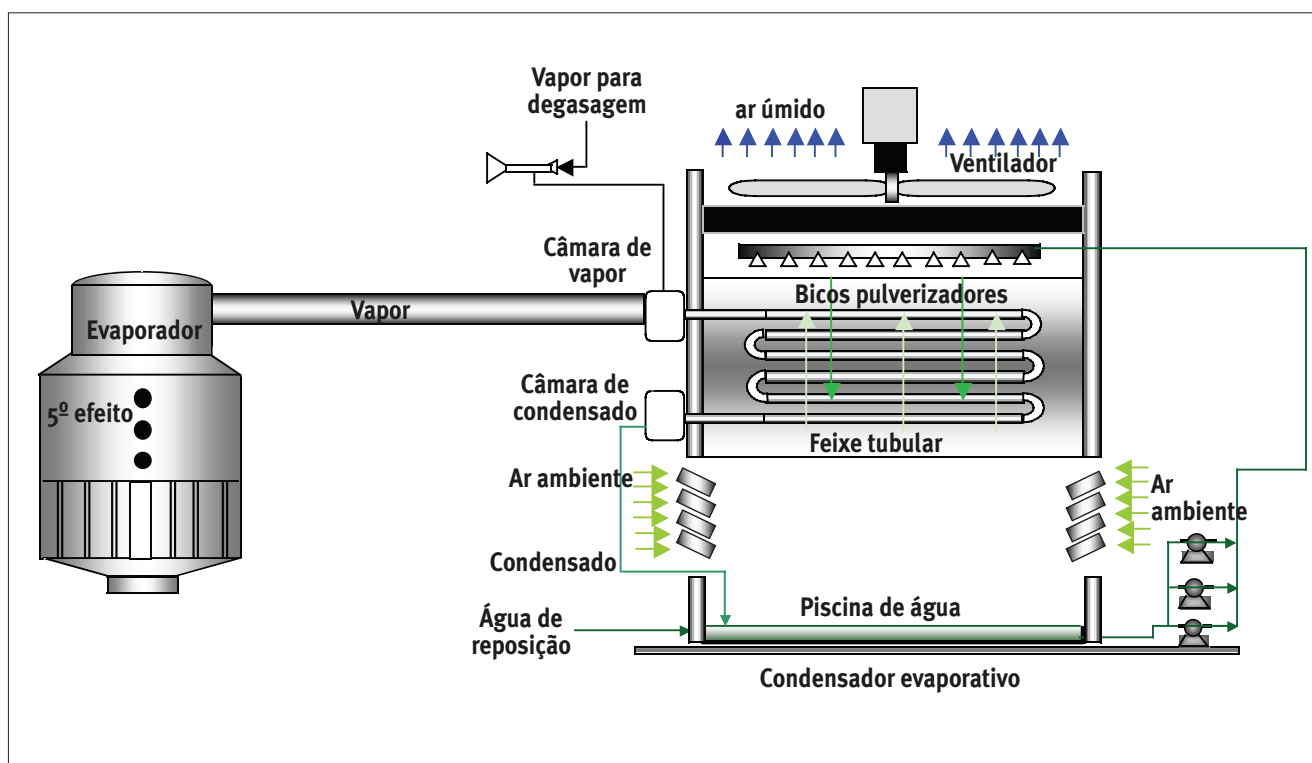


Figura 95 - Esquema de um condensador Evaporativo (CEV).

O princípio de funcionamento do CEV baseia-se no fato de que o vapor a ser condensado é captado em uma câmara onde é feita a retirada de ar e o vapor circula internamente na serpentina ou feixe tubular, de troca térmica. A água circula do lado externo e o ar é aspirado em contra corrente, resfriando a água por evaporação e esta água por sua vez condensa o vapor no interior dos tubos. O condensado, por sua vez, alimenta a bandeja de água, realimentando o sistema, que requer água externa somente no início da operação.

6.4.6. Cozimento contínuo

O cozimento contínuo traz algumas vantagens com respeito ao cozimento batelada, que podem afetar o consumo de água no setor de cozimento, ou seja, no condensador barométrico ou multijatos, podendo ser citadas as seguintes:

- Estabilidade nos parâmetros operacionais, como pressão absoluta, mobilidade, fluxo de vapor, temperatura, e como consequência não se observam picos de evaporação.
- Aumento da capacidade em pelo menos 25% pela ausência do tempo de preparo necessário no cozimento batelada, que exige um tempo requerido para evaporar até atingir a supersaturação apropriada, adicionar semente e desenvolver a semente, até o cozedor poder ser alimentado (CHEN & CHOU, 1993).
- Economia de vapor, devido à altura hidrostática menor que o convencional de batelada.
- Redução da perda de açúcar, porque quase não ocorre arraste de líquido.
- Taxa constante de alimentação de xarope e de vapor.

- Produção constante de magma e de liberação de vapor.
- Consumo constante de água na condensação do vapor liberado.
- Baixa diferença de temperatura entre vapor utilizado e o magma.

Neste tipo de equipamento, a taxa evaporativa é próxima de 20 kg/m².h para massa “A”, entre 10 a 13 kg/m².h para massa “B”, e entre 3 a 10 kg/m².h para massa “C”. Já para o cozedor por batelada, a taxa no início do cozimento é de 38 kg/m².h e a taxa final é de 22 kg/m².h para massa “A”, 25 kg/m².h no início e 6,2 kg/m².h no final para a massa “B”, e 18 kg/m².h no início e 3,5 kg/m².h no final para massa “C”, sendo bastante variável no decorrer do cozimento (REIN, 2007).

A quantidade de água de resfriamento para os condensadores e multijatos é função direta da taxa de evaporação. Enquanto que para o cozedor por batelada deve ser dimensionada para a taxa máxima para garantir o desempenho do equipamento, para o cozedor contínuo é pela taxa média, o que resulta na economia de água estimada em 40 a 50% com a implantação desta tecnologia de P+L.

6.4.7. Evaporação com sangria nos demais efeitos

Considerando o exemplo do sistema de evaporação do caldo, conforme o item 5.1.3.1 (Evaporação do caldo), cujo diagrama é reapresentado na Figura 96, e observando que os valores de vapor são em kg/t cana, pode-se reduzir o uso de água para resfriamento otimizando as sangrias nos demais efeitos.



Figura 96 - Diagrama de evaporação de 5º efeito com sangria de vapor vegetal no 1º efeito para cozimento e aquecimento do caldo da fábrica.

Utilizando, por exemplo, o vapor vegetal (170 kg/t cana) gerado no 2º efeito do conjunto de evaporação para o cozimento e efetuar a sangria do vapor necessário para o aquecimento (160 kg/t cana), sangrados parcialmente iguais nos primeiros três efeitos da evaporação, conforme diagrama da Figura 97, se terá uma re-

dução de aproximadamente 16% de vapor de escape (de 414 para 348 kg/t cana) necessário no pré-evaporador. Foi considerado que o calor latente do vapor consumido é muito próximo do calor latente do vapor gerado e desta forma o vapor necessário é igual ao vapor gerado, para facilidade de cálculo.

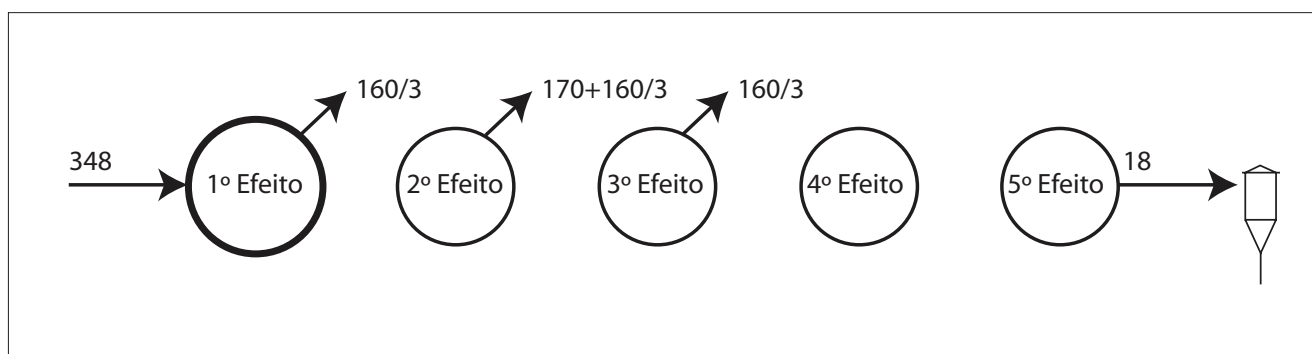


Figura 97 - Diagrama da sangria de vv2 para cozimento e vv3, vv2 e vv1 para aquecimento escalonado do caldo da fábrica.

Já na Figura 98 mostra-se uma situação em que o vapor para o aquecimento é sangrado dos quatro primeiros efeitos, e a sangria de vv2 para o cozimento, re-

duzindo mais ainda a necessidade de vapor de escape no pré-evaporador (1º efeito).

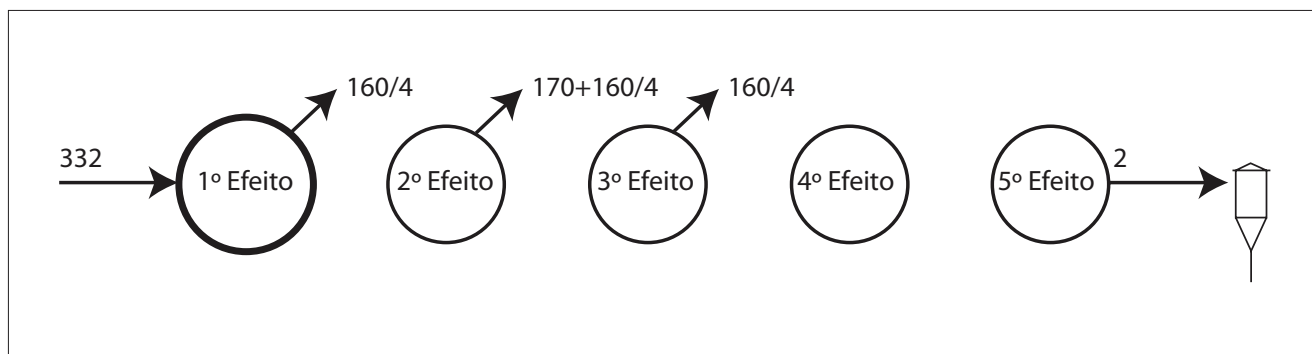


Figura 98 - Diagrama de sangria de vv2 para cozimento e de vv4, vv3, vv2 e vv1 para aquecimento escalonado do caldo.

Pode-se também ter um esquema de sangria que supra a necessidade de vapor para a destilação do etanol residual a partir do melão (rendimento e 18 L/t cana etanol). Parte do vv1 pode ser sangrada para a destilação do etanol hidratado residual (necessidade de 3,5 kg

vapor/L etanol), parte do vv2 para o cozimento (170 kg vapor/t cana), e as sangrias escalonadas de vapor dos três primeiros efeitos da evaporação feitas para aquecimento do caldo, conforme está representado na Figura 99.

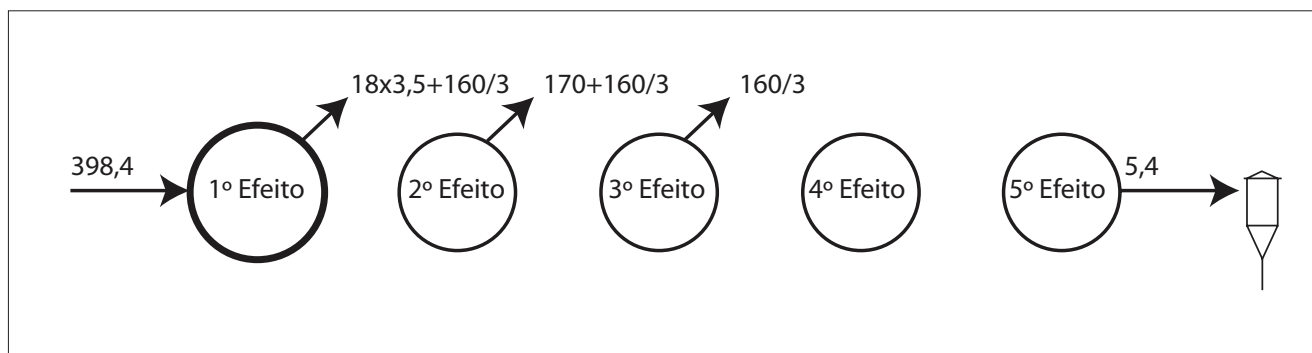


Figura 99 - Esquema da sangria de vv1 na destilaria para produção de etanol hidratado, sangria de vv2 para o cozimento e para o aquecimento do caldo da fábrica as sangrias escalonadas dos três primeiros efeitos da evaporação.

Por último, apresenta-se um esquema de evaporação com consumo de vapor para destilação de etanol anidro residual, conforme a Figura 100, observando as mesmas considerações anteriores em relação às sangrias para cozimento e aquecimento do caldo da fábrica.

Verifica-se uma grande diminuição da taxa de evaporação do último efeito, que está relacionada diretamente a uma significativa diminuição de água de resfriamento para a condensação deste vapor.

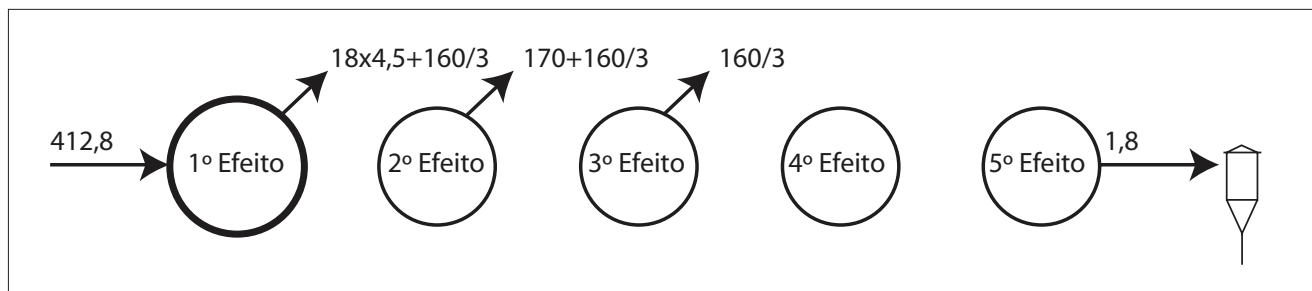


Figura 100 - Esquema da sangria de vv1 na destilaria para produção de etanol anidro, sangria de vv2 para cozimento, e para o aquecimento as sangrias escalonadas dos três primeiros efeitos da evaporação.

A Tabela 63 apresenta o resumo dos resultados dos estudos de cada diagrama de evaporação considerado. Comparando a situação convencional, esta tecnologia de produção mais limpa (P+L) pode reduzir o consumo de vapor de escape, portanto de energia, em até 20% na evaporação. Também pode reduzir significativamente (com potencial próximo de 98%) a água de resfriamento e, por conseguinte, parte do sistema de tratamento envolvido para o reúso deste despejo (torres ou tanques aspersores) pode ser desativado.

6.4.8. Procedimento operacional padronizado (POP)

A Resolução de Diretoria Colegiada - RDC nº 275, da ANVISA, de 21 de outubro de 2002, institui no Brasil os Procedimentos Operacionais Padronizados (POP) aplicados aos estabelecimentos produtores/ industrializadores de alimentos e a lista de verificação de boas práticas de fabricação.

Tabela 63 - Economia de vapor e água devido às sangrias de diversos efeitos

Estudo	Diagrama da Figura 96	Diagrama da Figura 97	Diagrama da Figura 98	Diagrama da Figura 99	Diagrama da Figura 100
Evaporação	Consumo de vapor [kg/t cana]				
Pré	414	348	332	398,4	412,8
2º efeito	84	294,7	292	282,0	278,5
3º efeito	84	71,3	82	58,7	55,1
4º efeito	84	18	42	5,4	1,8
5º efeito	84	18	2	5,4	1,8
	Vapor para condensador [kg/t cana]				
	84	18	2	5,4	1,8
	Água para condensador [m³/t cana]				
	3,780	0,810	0,090	0,243	0,081
	Economia de vapor de escape [%]				
	0,0	15,9	19,8	3,7	0,3
	Economia de água para condensador [%]				
	0,0	78,5	97,6	93,5	97,8

O POP é o procedimento escrito de forma objetiva que estabelece instruções sequenciais para a resolução de operações rotineiras e específicas na produção, armazenamento e transporte de alimento. Os Procedimentos Operacionais Padronizados – POPs devem ser desenvolvidos e implementados para os itens seguintes:

- Higienização das instalações, equipamentos, móveis e utensílios;
- Controle da potabilidade da água;
- Higiene e saúde dos manipuladores;
- Manejo de resíduos;
- Manutenção preventiva e calibração de equipamentos;
- Controle integrado de vetores e pragas urbanas;
- Seleção das matérias primas, ingredientes e embalagens;
- Programa de recolhimento de alimentos.

Segundo a resolução, entende-se a higienização,

como uma operação dividida em duas etapas, limpeza e desinfecção.

A limpeza, que normalmente dispense uma quantidade apreciável de água, pode ser reduzida, quando se possui práticas e equipamentos adequados que permitam limpeza a seco, em áreas “secas”. Na produção de açúcar, este procedimento vem sendo implementado nas etapas posteriores à obtenção do xarope, ou seja, no cozimento, na centrifugação, na secagem, no ensaque e no armazenamento do açúcar,

As fotos das Figuras 101 a 104 mostram alguns tipos de limpeza a seco de áreas com derrame de açúcar e deposição de pó de açúcar nos pisos e paredes. Os equipamentos utilizados são lavadores automáticos e aspiradores de pó para a limpeza de piso e áreas enclausuradas, limpeza de portas e equipamentos utilizando pulverizador intercostal (com pequeno dispêndio de água), além da limpeza com pano de chão. Composto de um “kit” com de balde e espremedor para a retirada do material através de umedecimento.



FOTO: ACERVO CTC

Figura 101 - Limpeza da área de secagem e ensaque utilizando lavadora automática de pisos.



Figura 102 - Aspiração de sujidades do piso da área de enclausuramento (ensaque).



Figura 103 - Limpeza de equipamentos e piso com uso de produtos sanitizantes aprovados pelo Ministério da Saúde.



FOTO: ACERVO CTC

Figura 104 - Limpeza do piso da área de ensaque.

Estes procedimentos padrões são possíveis quando a área está em conformidade com as boas práticas de fabricação, com pisos frios, por exemplo, possibilitando a limpeza a seco, reduzindo e até eliminando o uso de água de limpeza de pisos e equipamentos nestas áreas, e a consequente carga de poluição nos efluentes. Possibilita, ainda, a recuperação do açúcar recolhido para a produção de etanol carburante na destilaria, encaixando-se na categoria de P+L através de mudança operacional.

6.4.9. Água gelada para a fermentação

Tecnologia ainda não disseminada nas usinas, consiste num sistema de resfriamento das dornas com água gelada (15 a 22°C) obtida de um “chiller” de absorção que aproveita fontes de calor de baixa qualidade (80 a 100°C) como, por exemplo, a da vinhaça, para

garantir um determinado ciclo de refrigeração. Normalmente se utiliza o brometo de lítio como elemento refrigerante. A tecnologia em desenvolvimento, fruto de uma parceria da empresa indiana Thermax com a brasileira Dedini, promete melhorar o rendimento da fermentação e reduzir o consumo interno de energia (BOSCARIOL, 2008)

Além da dificuldade de resfriamento convencional por torres e tanques aspersores das águas para a fermentação em regiões onde a temperatura de bulbo úmido é alta (acima de 26°C), existe um indicativo forte que a viabilidade do fermento aumenta significativamente quando a temperatura de trabalho nas dornas está abaixo de 33°C (temperatura do limite máximo de trabalho). O uso de água gelada pode favorecer este cenário, com a temperatura controlada e o desenvolvimento/adaptação de cepas que suportem maiores teores alcoólicos na fermentação, reduzindo-se por sua vez o volume produzido de vinhaça.

6.4.10. Fermentação com alto teor alcoólico

Algumas usinas vêm desenvolvendo condições para operar a fermentação com um maior teor alcoólico, com cepas de leveduras mais adaptadas, que permitem um teor maior de metabólitos (etanol) em decor-

rência de um maior controle de temperatura nas dornas de fermentação.

Considerando a condição apresentada no item 5.3.2, onde resultou a taxa de produção de vinhaça de 12,2 kg/L etanol produzido para um teor alcoólico de 8,5°GL, é possível estimar a nova taxa de produção de vinhaça quando se trabalha com teor alcoólico de 11°GL, conforme a Equação 61:

Eq. 61:

balanço_de_massa : entrada = saída

$$m_{\text{vinho}} + m_{\text{vap}} = m_{\text{flegma}} + m_{\text{etanol2a}} + m_{\text{vinhaça}}$$

dividindo – se

$$\frac{m_{\text{vinho}}}{V_{\text{etanol}}} + \frac{m_{\text{vap}}}{V_{\text{etanol}}} = \frac{m_{\text{flegma}}}{V_{\text{etanol}}} + \frac{m_{\text{etanol2a}}}{V_{\text{etanol}}} + \frac{m_{\text{vinhaça}}}{V_{\text{etanol}}}$$

onde :

$$Tx_{\text{vinhaça}} = \frac{m_{\text{vinhaça}}}{V_{\text{etanol}}}$$

e

$$\frac{m_{\text{vinho}}}{V_{\text{etanol}}} = \frac{d_{\text{vinho}} * GL_{\text{etanol}}}{GL_{\text{vinho}}} = \frac{1 * 100}{11,0} = 9,1 \left[\frac{\text{kg.vinho}}{\text{L etanol}} \right]$$

$$\frac{m_{\text{vap}}}{V_{\text{etanol}}} = Tx_{\text{vaporA}}$$

$$\frac{m_{\text{flegma}}}{V_{\text{etanol}}} = 2,0 \left[\frac{\text{kg.flegma}}{\text{L etanol}} \right]$$

$$\frac{m_{\text{etanol2a}}}{V_{\text{etanol}}} \approx 0,1 \left[\frac{\text{kg etanol2a}}{\text{L etanol}} \right]$$

$$Tx_{\text{vinhaça}} = 9,1 + 2,5 - 2 - 0,1 = 9,5 \left[\frac{\text{kg.vinhaça}}{\text{L etanol}} \right]$$

Portanto, nesta condição ocorre uma redução na produção de vinhaça em cerca de 22%, (de 12,2 para 9,5 kg vinhaça/L etanol) requerendo-se, no entanto, um controle de temperatura na dorna de fermentação com o uso de água fria, ou gelada, como apresentado anteriormente, com temperaturas na dorna abaixo de 33°C e uma concentração maior de ART. Existem algumas usinas brasileiras com destilarias anexas, operando com valores próximos a este patamar.

Outras possibilidades de se obter um maior teor alcoólico na fermentação são decorrentes de aplicação de novas tecnologias, como a em desenvolvimento no CTC, chamada de “Fermentação Extrativa a Vácuo”. Esta tem potencial de triplicar a produtividade do processo fermentativo de extração do etanol e reduzir a produção de vinhaça, apresentando-se como tecnologia P+L que diminui substancialmente a produção de um resíduo. No método considera-se que em condições normais, o processo de fermentação é inibido porque a levedura utilizada perde a força pelo efeito do próprio etanol resultante do seu metabolismo, podendo-se considerar que o limitante para leveduras adaptadas é o teor de 11°GL. Neste novo processo, o etanol é retirado do meio, antes que influa no desempenho da levedura. O processo de fermentação se desenvolve em ambiente de baixa pressão (vácuo), onde ocorre a evaporação do etanol a baixa temperatura (33°C), enquanto que pelo sistema tradicional o etanol evapora a 79°C. Quando o mosto entra no tanque a vácuo, o álcool evapora, sendo posteriormente condensado. Além disso, a concentração de etanol, que pelo sistema convencional não passa de 10%, no novo processo chega a 50%, o que elimina parte da etapa de destilação e gera economia de vapor.

6.4.11. Aquecedores indiretos na destilaria ("reboiler")

O “reboiler” é um equipamento de aquecimento casco-e-tubo, do tipo termossifão ou filme descendente (“falling film”), que vem sendo muito empregado na destilação, principalmente na coluna “A”, mas também podendo ser utilizado na coluna “B”. Como o produto de fundo das colunas é basicamente água, utiliza-se convencionalmente vapor direto chamado de borbotagem que fica incorporado à vinhaça (no caso da coluna “A”) ou na flegmaça (no caso da coluna “B”), aumentando a quantidade destes efluentes. Isto contraria a tendência de se ter um resíduo mais concentrado para a sua utilização mais econômica como fertilizante da lavoura de cana, devido à redução dos custos de transporte.

Estes equipamentos, ao proporcionar o aquecimento indireto com a condensação do vapor injetado, produzem um efluente condensado que é reaproveitado na caldeira. A taxa de uso de vapor, conforme já demonstrado, é da ordem de 2,5 kg/L etanol na coluna de destilação “A” e 1,0 kg/L etanol, na coluna de retificação “B”. Desta forma, possibilitam a recuperação de cerca de 3,5 kg água/L etanol para a caldeira (condensados dos “reboiler”), a redução do volume de vinhaça, conforme o teor alcoólico da fermentação, em cerca de 20% e de 50% de flegmaça. Trata-se certamente de uma tecnologia P+L ao alcance do setor e que tende a ser empregada cada vez mais.

A red truck with a large pile of straw on its bed, parked in a field with trees in the background. The truck is a white cab with a red chassis and a large red metal frame on the back. It is loaded with a large pile of dry, yellowish-brown straw or hay. The truck is parked on a field of dry, brown grass. In the background, there are several tall, green trees under a clear blue sky. The text "PRESERVAÇÃO DE SOLOS AGRÍCOLAS E CONTROLE DA EROSÃO" is overlaid in white, bold, sans-serif font across the middle of the image.

PRESERVAÇÃO DE SOLOS AGRÍCOLAS E CONTROLE DA EROSÃO



O sistema de colheita de cana sem queima disponibiliza a palha para cobertura do solo aumentando a sua conservação.

7. Preservação de solos agrícolas e controle da erosão

Jorge Luis Donzelli
Armene José Conde

7.1. Erosão hídrica do solo

O preparo do solo convencional, que muitas vezes inclui o enterrio dos restos vegetais, deixa o solo sem cobertura vegetal deixando-o exposto ao impacto das gotas de chuva (Figura 105). Assim, inicia-se o processo de erosão hídrica com a desagregação, redução da massa e volume das partículas de solo, devido ao im-

pacto direto das gotas de chuva sobre sua superfície desprotegida. As partículas desagregadas salpicam com as gotículas de água e retornam à superfície do solo. Para uma única chuva, o salto das partículas pode atingir um metro de altura com um deslocamento de 1,5m de raio do local original e uma quantidade total deslocada de 200 t solo/ha (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2005).

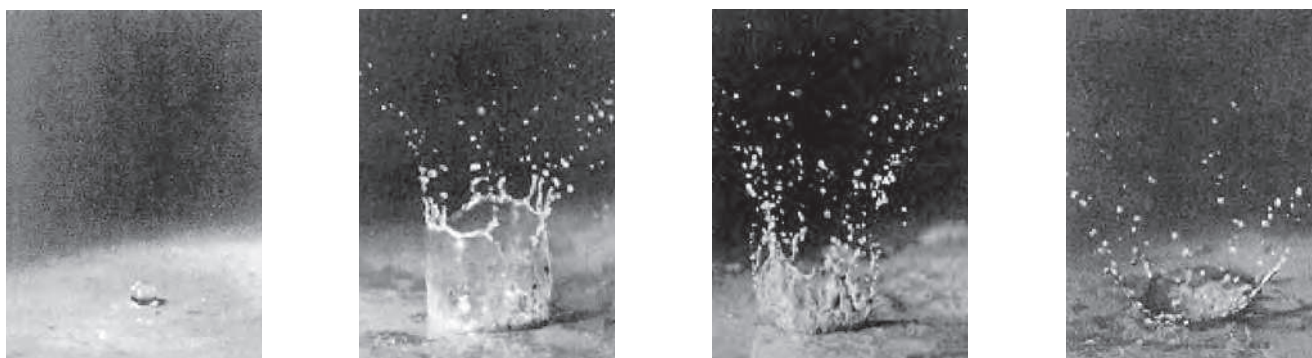


Figura 105 - Sequência mostrando o impacto da gota de chuva em solo úmido e descoberto (Fonte: Naval Research Laboratory/USDA – Soil Conservation Service).

A desagregação é a primeira e mais importante fase do processo erosivo. A argila dispersa nesse processo é arrastada através do perfil, promovendo a selagem da porosidade natural do solo, e conseqüentemente, reduzindo as taxas de infiltração de água a partir da camada superficial.

Com a redução da permeabilidade na superfície do solo, causada pela iluviação (processo de deposição de material de solo removido de um horizonte superior para um inferior, no perfil do solo, destacando-se dentre as substâncias iluviadas: argilo-minerais, óxidos de Fe e Al, e matéria orgânica) da argila dispersa, as taxas de infiltração de água no perfil vão sendo reduzidas e inicia-se o escoamento superficial (deflúvio), que pas-

sa a arrastar o material desagregado, iniciando a segunda fase do processo erosivo, que é o transporte.

Quando a energia do deflúvio, que depende do volume e velocidade da massa de água, diminui e não é suficiente para carregar o material sólido nele contido, este se deposita caracterizando a terceira e última fase do processo de erosão hídrica, que é a deposição (assoreamento).

Este conjunto de processos, desagregação, transporte e deposição, conhecidos como erosão pelo impacto da gota de chuva é uma das mais importantes formas de erosão hídrica. Há outros oito tipos: laminar, sulcos, voçorocas, pedestal, pináculo, túneis, fertilidade, escorregamentos e deslizamentos. Entretanto, do ponto de

vista prático, a erosão laminar, em sulcos e as voçorocas são as formas mais frequentes e visíveis e, normalmente estão associadas às outras formas de erosão. A laminar consome o solo quase imperceptivelmente, enquanto a erosão em sulcos, visivelmente arranca as camadas mais profundas do solo. As voçorocas são grandes valas, muitas vezes com uma dezena de metros de profundidade e extensão. Sem exceção, todas as formas de erosão transportam as camadas do solo com mais reservas de matéria orgânica e minerais importantes para o crescimento e desenvolvimento das plantas e consequentemente para a produção agrícola. Carregam, também, o solo biologicamente mais ativo, o que pode causar grandes quedas na produtividade das culturas. Na maioria dos casos de erosão laminar ou em sulcos, as operações de preparo do solo, como uma passagem com a grade pesada, é suficiente para ocultar estes danos. Já as voçorocas importam em movimentação de grandes volumes de solo e operações de contenção para solução do problema.

Outro aspecto dos processos erosivos refere-se à água que escorre, que não é armazenada e não estará disponível para as culturas na época seca do ano, reduzindo ainda mais o potencial de produção da área.

7.2. Conservação do solo e da água

Na agricultura que utiliza máquinas modernas ou naquela em que ainda se utiliza um arado de tração animal, é comum a cena do solo sendo revolvido, tanto no Brasil como em outros países. Nesta condição, a conservação de solo mostra-se frequentemente ineficaz para o controle da erosão. Via de regra esta conservação tem caráter corretivo, isto é, visa controlar a erosão depois do processo ter se iniciado. Atuam paliativamente, construindo terraços para reduzir a velocidade e/ou direcionando o fluxo de líquido com as partículas em suspensão para fora da área a conservar. Nesse estágio, os danos ao solo já ocorreram e a perda de solo e água é praticamente irreversível.

A única maneira eficaz de controlar ou minimi-

zar o processo de erosão hídrica nas áreas agricultáveis é impedir seu início, utilizando técnicas preventivas que impeçam o impacto direto das gotas de chuva sobre a superfície do solo. Nos padrões da agricultura convencional isto é quase impossível de ser conseguido, visto que a época de plantio, quando o solo se encontra totalmente descoberto, coincide com o período de ocorrência dos maiores índices de chuvas. Para se ter uma idéia da energia acumulada, uma chuva de 50mm em um período de 30 minutos tem um peso de quase 560 toneladas em um hectare (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2005).

Recomenda-se, então, aliar-se ao terraceamento convencional um conjunto de técnicas que permitam manter o solo coberto através de material orgânico (mulch), protegendo-o contra o impacto das gotas de chuva, principalmente durante o período de reforma e plantio do canavial. O plantio de adubos verdes e a rotação com leguminosas em parte das áreas de reforma ou o advento da colheita de cana sem queima oferecem esta oportunidade para proteger o solo. A maioria das unidades produtoras de cana-de-açúcar não tem se beneficiado plenamente das vantagens dessas práticas, por combiná-las posteriormente com operações motomecanizadas convencionais de preparo de solo e plantio, em épocas em que essas áreas estão sujeitas a elevados índices de chuva.

A adoção de sistemas de preparo de solo, onde se realiza o mínimo de operações motomecanizadas com eficácia e na época correta, pode reduzir os riscos de erosão. Além disso, permite eliminar terraços até uma determinada declividade, podendo melhorar o planejamento das linhas de plantio, aumentar a produtividade e reduzir custos de produção pela diminuição do número e intensidade de operações durante o período de preparo de solo.

No setor canavieiro nacional é crescente o número de agricultores que priorizam os sistemas de produção que pregam a manutenção da estabilidade do solo, como o plantio direto, o cultivo mínimo, o preparo reduzido (efetuado pela eliminação da soqueira com herbicida glifosate, com mais uma operação de escarificação) e outras modalidades não convencionais. Tais sistemas já provaram sua eficácia e são utilizados há

mais de vinte anos pelos produtores de cereais das regiões Sul e Centro-Oeste.

Algumas alternativas de cobertura e conservação de solos para cana-de-açúcar foram experimentadas por CONDE & DONZELLI (1997):

- Cana sem queimar - um ciclo de cana colhida sem queimar, desde que o manejo da palha seja feito de forma que esta fique na superfície durante a reforma e plantio, é uma alternativa bastante interessante, uma vez que a cada corte são deixadas no campo de 8 a 10 t/ha de matéria seca.

- Erradicação química da soqueira - com plantio direto ou preparo reduzido do solo: a eliminação da soqueira através de herbicida permite mais tempo a decisão gerencial de reformar ou não os canaviais; enquanto isso a área está protegida pela cana-de-açúcar; propicia também menor disseminação das plantas daninhas perenes como tiririca, grama seda, colônio e braquiária pelas operações motomecanizadas e ao emprego do glifosate (Figura 106).



FOTO: A. J. CONDE

Figura 106 - Plantio direto da cana na entrelinha da soqueira erradicada com herbicida, em área com planejamento de sulcação para colheita mecânica.

- Rotação de culturas - o plantio de amendoim ou soja é prática interessante para conservação do solo, principalmente quando se utiliza plantio direto da cana e destas culturas.
- MEIOSI - Método Intercalar Ocorrendo Simultaneamente - Sistema de plantio de cana com outras culturas que é instalado em áreas de reforma de canaviais. Nesta área planta-se 2 ruas de cana, que serão usadas posteriormente como muda para plantio nesta mesma área, intercalan-

do-se 6 ou mais ruas onde é plantada a cultura de rotação. As culturas mais recomendadas são: soja, que pode ser colhida mecanicamente e tem porte baixo, não concorrendo (sombreamento) com a cana ao lado, que será utilizada como muda para os sulcos centrais (Figura 107). Outra alternativa recomendada é a *Crotalaria spectabilis* que tem porte baixo e não concorre com a cana (Figura 108).



FOTO: A. J. CONDE

Figura 107 - MEIOSI com cultivo intercalar de soja com colheita mecânica.



FOTO: A. J. CONDE

Figura 108 - MEIOSI com utilização de *Crotalaria spectabilis*.

- Adubação verde - a leguminosa mais utilizada é a *Crotalaria juncea*, que devido a sua capacidade de crescimento rápido e alta produção de material orgânico (40 a 60 t/ha), tem propiciado o desenvolvimento de alternativas de cobertura de solo. A recente introdução do uso desta leguminosa, no sistema de preparo e conservação na cultura da cana-de-açúcar, tem propiciado desenvolver alternativas de manejo e incorporação bastante eficientes quando se leva em consideração o aspecto de conservação de solos. Algumas usinas ainda não aproveitam todo o potencial desta leguminosa, uma vez que a incorporam através de grade, perdendo todo efeito de proteção ao solo.

Outras utilizam o rolo faca, porém, como a operação ocorre em período de alta precipitação pluvial, esta prática causa uma redução na infiltração de água, causando dificuldades para a operação de sulcação.

Com a utilização de um equipamento denominado tombador frontal, que consiste em um rolo que pressiona a crotalária contra o solo, quebrando-a e deixando-a totalmente na posição horizontal ao solo e alinhada às linhas de cana, consegue-se realizar a operação de sulcação e plantio direto da cana sobre a crotalária, tomando-se o devido cuidado com o sentido do tombamento da crotalária (Figura 109).



FOTO: A. J. CONDE

Figura 109 - Sulcação simultânea ao tombamento da *Crotalaria juncea*, com utilização do implemento tombador frontal.

7.3. Planejamento da base física para colheita mecânica de cana sem queima

O terraceamento é prática bastante difundida para o controle de erosão pluvial, entre os produtores de cana-de-açúcar. Por exemplo, na região de Ribeirão Preto (SP), 68,7% da área da cultura da cana-de-açúcar está instalada sobre solos classificados como latossolos (JOAQUIM et al., 1997), condição esta em que a prática do terraceamento é fundamental como uma das técnicas de engenharia de controle de erosão de solos.

Existem vários tipos de terraços empregados de acordo com as condições do local, culturas regionais e até preferências pessoais. Seja qual for o método empregado, existe entre ele e a mecanização, principalmente da colheita, uma incompatibilidade. Quanto maiores forem os obstáculos criados à movimentação de máquinas e veículos na operação de colheita, menor será a capacidade operacional dos equipamentos e maiores serão os custos.

Uma empresa que cultiva cana-de-açúcar atualmente, não pode ignorar a necessidade de em um futuro próximo, precisar colher mecanicamente a totalida-

de de seus canaviais sem queimar. Deste modo, os próximos plantios deverão ser feitos em campos que estejam preparados para receber colhedoras e proporcionar a elas condições operacionais de alta produtividade e economia.

Os sistemas de controle de erosão e principalmente a adequação do sistema de sulcação e malha viária no talhão devem ser modificados, principalmente em áreas onde será colhida cana crua, uma vez que o solo passará a ter uma camada de palha sobre sua superfície. O importante é que não se pode deixar de realizar um sistema de controle de erosão, sem que se adote outro, assim como uma nova sistemática para sulcação.

Por outro lado, com o advento da colheita mecânica na lavoura canavieira, o antigo sistema viário e a conservação de solos passam a ser um entrave à eficiência operacional das máquinas que realizam a colheita da cana-de-açúcar. Devido ao fato de não existir paralelismo entre as curvas de nível, a sulcação que normalmente é iniciada nos terraços, em um determinado momento termina dentro do próprio talhão (sulcos mortos). Com isto, aumenta-se o número de manobras das máquinas, o que provoca uma redução da eficiência operacional e uma maior compactação do solo, prejudicando o desenvolvimento das soqueiras (Figura 110).

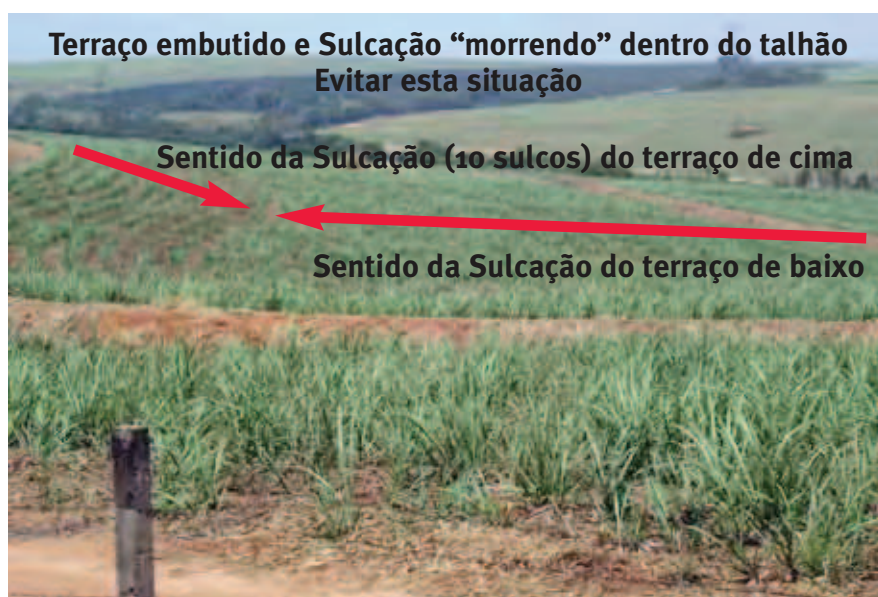


Figura 110 - Sentido da sulcação a partir de terraceamento causando “sulcos mortos” dentro do talhão.

FOTO: J. L. DONZELLI

Não há uma receita única para adoção da sistematização da base física nos canaviais. Dados como tipo de solo, formato da área, declividade, existência de APPs dentro da área, árvores isoladas, cabeceiras de erosão natural, são dentre outros fatores itens a serem considerados neste projeto de engenharia.

Para exemplificar o nível de complexidade, uma

propriedade que renove a área de seus canaviais a uma taxa de 15% por ano e que já iniciou o processo no plantio da safra 2007/2008 (outubro 2007 a março de 2008) demorará, no mínimo, seis a sete anos para completar este processo, ou seja, por volta do ano 2014 (Figura 111).

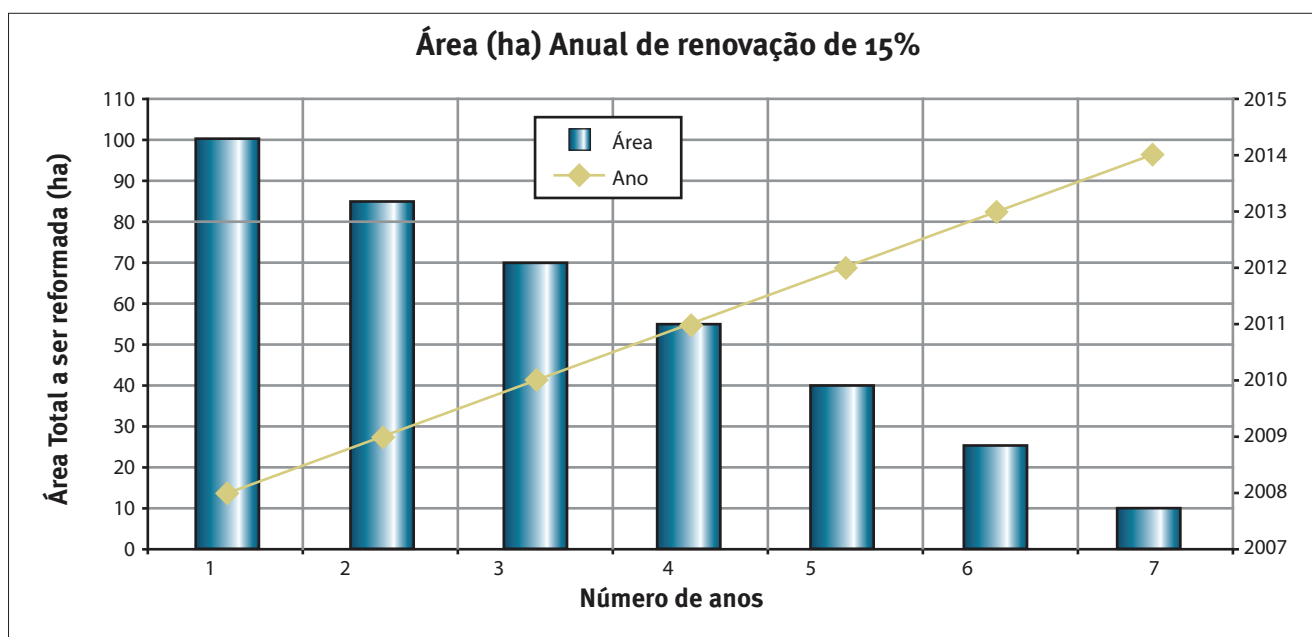


Figura 111 - Área anual de renovação à taxa de 15% e ano de término do processo.

LEGISLAÇÃO E NORMAS APLICÁVEIS





Subproduto da destilação do caldo da cana, a reciclagem da vinhaça se traduz em um excelente complemento orgânico rico em potássio, que reduz a necessidade de fertilizantes na lavoura.

8. Legislação e normas aplicáveis

Anícia Aparecida B. Pio
Francesco Giannetti

A legislação relacionada à utilização dos recursos hídricos pode ser originada nos três níveis de poder, federal, estadual e municipal, além das resoluções, deliberações e demais dispositivos estabelecidos pelos órgãos gestores e colegiados deliberativos. Assim sendo, é importante para o desenvolvimento de qualquer atividade que envolva o uso das águas superficiais ou subterrâneas, o conhecimento da legislação pertinente, principalmente no que se refere à obtenção de licenças e autorizações devidas.

Para uma adequada gestão das águas, as normas relacionadas a disciplinarem sua utilização, objetivam garantir o uso múltiplo deste recurso para atendimento das necessidades de todos os setores usuários, por meio de um sistema participativo que busca estabelecer um equilíbrio de forças entre os diferentes segmentos da sociedade.

8.1. A base legal no âmbito federal

Segundo a Constituição Federal de 1988 as águas podem pertencer à União, no caso dos lagos, rios e quaisquer correntes de água em terrenos de seu domínio, ou que banhem mais de um Estado, sirvam de limites com outros países, ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenham, enquanto que as demais águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito, desde que não sejam decorrentes de obras da União, pertencem aos Estados.

A Lei nº 9.433/97 – a chamada Lei das Águas – cria a Política e o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e em seu artigo 1º, enumera seus fundamentos, dentre os quais se destacam os incisos IV, V e VI abaixo transcritos:

- IV - a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;
- V - a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;
- VI - a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

Estes fundamentos dão caráter inovador para a Lei das Águas, e deles decorrem todas as disposições posteriores relativas ao funcionamento do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, que permitem a participação da sociedade civil organizada e os principais setores usuários de água – saneamento, indústria e agricultura, nas discussões das políticas públicas, de forma conjunta com o poder público.

Para ordenar esta participação, o Sistema Nacional é composto por um Conselho Nacional de Recursos Hídricos, Conselhos Estaduais, a Agência Nacional de Águas – ANA, os Comitês de Bacias Hidrográficas, os órgãos dos poderes públicos e as Agências de Água.

Este Sistema encontra-se em pleno funcionamento, tanto no âmbito nacional, com o Conselho Nacional – CNRH, oito Comitês de Bacias de rios Federais, bem como em quase todos os Estados da Federação, com seus respectivos Conselhos e Comitês de Bacias.

A base de discussão e deliberação ocorre no âmbito dos Comitês de Bacias Hidrográficas, que têm por atribuição legal promover o debate das questões relacionadas a recursos hídricos, aprovar o Plano de Recursos Hídricos da bacia, estabelecer os mecanismos de cobrança e sugerir os valores a serem cobrados, dentre outras.

Desta forma, a participação do setor produtivo nestes fóruns precisa ser fortalecida, objetivando apresentar as necessidades e defender os interesses do setor, nas discussões e deliberações decorrentes.

Não obstante, para permitir o adequado funcionamento do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, a Lei das Águas, estabeleceu em seu artigo 5º, dentre seus instrumentos a outorga dos direitos de uso e a cobrança pelo uso de recursos hídricos, que serão brevemente abordados nos itens seguintes.

Outorga pelo Uso da Água

A outorga é um instrumento que objetiva ordenar e regularizar os diversos usos da água em uma bacia hidrográfica. Como a água é um bem de domínio público, cabe ao Estado o dever de administrar este bem, por meio de seus órgãos gestores, que avaliam as solicitações dos usuários, verificando a disponibilidade hídrica do manancial na seção solicitada, considerando seus aspectos qualitativos e quantitativos.

A outorga é um ato administrativo publicado no Diário Oficial, onde se dá publicidade daquele uso, com a identificação do usuário e as principais características técnicas e as condicionantes legais do uso das águas que o mesmo está sendo autorizado a fazer. Do ponto de vista do usuário, a outorga é uma garantia, ainda que a título precário, do direito de uso daquela água, pelo prazo determinado e nas condições estabelecidas.

As solicitações de outorga devem ser feitas junto às respectivas autoridades outorgantes estaduais, no caso de uso de águas de domínio dos Estados, incluindo o uso de água subterrânea, ou nos casos das águas de domínio da União deve ser solicitada à ANA.

O artigo 12 da Lei nº 9.433, estabelece os usos sujeitos a outorga:

- Derivação ou captação de parcela da água existente em um corpo d'água para consumo final, inclusive abastecimento público, ou insumo de processo produtivo;
- Extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo;
- Lançamento em corpo de água de efluentes e demais resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou

não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final;

- Aproveitamento dos potenciais hidrelétricos;
- Outros usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo de água.

Vale ressaltar que constitui uma das principais infrações, a utilização das águas sem a devida outorga de direito de uso, e que este instrumento, além de disciplinar o uso entre os interessados, serve como base de cálculo para o estabelecimento dos valores a serem cobrados.

Cobrança pelo Uso da Água

O caráter inovador da Lei das Águas, ao reconhecer em seus fundamentos que a água é um recurso natural limitado, e, portanto dotado de valor econômico, foi além ao estabelecer, associado aos tradicionais instrumentos de comando e controle, o princípio do usuário pagador, com a criação da cobrança pelo uso da água.

Este instrumento econômico de regulação do uso, conforme demonstra a experiência em outros países e mesmo onde já está implantado, como nas bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí e no Paraíba do Sul, constitui em importante indutor de um comportamento mais racional dos setores usuários, promovendo uma maior eficiência no uso da água em seus aspectos quantitativo e qualitativo.

Em termos do arcabouço legal, a cobrança pelo uso da água já estava prevista no Código Civil de 1916, quando estabeleceu que a utilização dos bens públicos de uso comum pode ser gratuita ou retribuída, conforme as leis da União, dos Estados e dos Municípios, a cuja administração pertencerem, bem como no Código de Águas, Decreto-Lei nº 24.642/34, ao estabelecer que o uso comum das águas possa ser gratuito ou retribuído, de acordo com as leis e os regulamentos da circunscrição administrativa a que pertencerem.

A Política Nacional de Meio Ambiente, instituída pela Lei nº 6.938/81, incluiu a possibilidade de imposição ao usuário de uma contribuição pela utilização de recursos ambientais com fins econômicos.

No entanto, apenas com a Lei nº 9.433/97 este

instrumento se consolidou e com a criação da Agência Nacional de Águas – ANA, por meio da Lei nº 9.984/2000, que instituiu sua competência para implementar a cobrança pelo uso dos recursos hídricos de domínio da União em articulação com os Comitês de Bacia Hidrográfica, foi viabilizada sua implantação no país.

De maneira resumida, a cobrança possui três finalidades básicas: reconhecer o valor econômico da água, incentivar o uso racional e financiar as ações estabelecidas nos planos de recursos hídricos.

Em muitas regiões, a escassez de recursos hídricos e os decorrentes conflitos de uso já impõem a necessidade de adoção de práticas de conservação e reúso.

Deve-se ressaltar que o reúso, em si, não é objeto de outorga, uma vez que não é uma interferência direta em corpo hídrico, mas é preciso considerar que a sua adoção pode interferir no balanço hídrico do empreendimento, tanto do ponto de vista quantitativo como no qualitativo.

Desta forma, assim como as alterações no processo produtivo devem ser objeto de licenciamento ambiental, as alterações no balanço hídrico que resultem em mudanças nas condições estabelecidas no ato de outorga devem ser objeto de solicitação de alteração da outorga existente.

Na prática, a implantação da cobrança pelo uso de recursos hídricos, ao incentivar o uso racional da água, acabou fomentando as práticas de reúso, na medida em que o usuário que reutiliza as águas ou efluentes termina por reduzir significativamente as vazões de captação e lançamento, e assim, quanto menor forem estas, menor será a cobrança.

Atualmente, existem poucas normas que disciplinam as práticas de reúso, cabendo destacar que o

CNRH por meio da Resolução Nº 54, de 28/11/05, estabeleceu as modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água.

8.2. Aspectos ambientais do uso dos recursos hídricos

Além de todo o arcabouço legal específico de gerenciamento dos recursos hídricos, é preciso lembrar que os usuários das águas precisam atender também a legislação ambiental competente, especialmente ao que se refere aos aspectos qualitativos dos efluentes lançados nos corpos de água ou ainda em solo, mesmo que tratados.

Embora o licenciamento ambiental seja, na maioria dos casos, feito no âmbito estadual, é preciso muita atenção às resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA, que tem por competência o estabelecimento de normas, critérios e padrões relativos ao controle e à manutenção da qualidade do meio ambiente.

Quanto aos aspectos qualitativos do lançamento de efluentes, destacam-se duas Resoluções:

- Resolução CONAMA nº 357/05, que dispõe sobre a classificação dos corpos de águas, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes;
- Resolução CONAMA nº 396/08, que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas;

Apresentam-se na Tabela 64 as principais leis, decretos e resoluções de âmbito federal referente à gestão dos recursos hídricos.

Tabela 64 - Principal legislação no âmbito federal

Tipo	Número	Descrição
Lei Federal	6.938/81	Determina a competência do CONAMA para estabelecer normas, critérios e padrões relativos ao controle e à manutenção da qualidade do meio ambiente com vistas ao uso racional dos recursos naturais.
	9.433/97	Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, disciplinando os principais instrumentos como o plano de bacia, o enquadramento dos corpos de água, a outorga e a cobrança pelo uso das águas e institui penalidades.
	Lei nº 9.984/00	Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas – ANA, entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e dá outras providências.
Decreto	24.643/34	Código de Águas. – Dispõe os diversos usos da água, para os diversos fins
	2.612/98	Regulamenta o Conselho Nacional de Recursos Hídricos, e dá outras providências.
	3.942/01	Regulamenta a competência do CONAMA, no estabelecimento de normas, critérios e padrões relativos ao controle e à manutenção da qualidade do meio ambiente com vistas ao uso racional dos recursos ambientais, principalmente os hídricos;
Resolução	CONAMA 01/86	Dispõe sobre a elaboração do Estudo de Impacto Ambiental - EIA e respectivo Relatório de Impacto Ambiental – RIMA. – Determina que tipo de atividade deva possuir EIA.
	CONAMA 357/05	Estabelece a classificação das águas doces, salobras e salinas do território nacional e os padrões de lançamento de efluentes.
	ANA nº 135/02	Estabelece que os pedidos de outorga de direito e de outorga preventiva de uso de recursos hídricos encaminhados à ANA observarão os requisitos e a tramitação previstos nesta Resolução.
	CONAMA nº 396/08	Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas.

8.3. Legislações paulistas que afetam mais diretamente o setor

Apresentam-se neste item as legislações, normas e acordos estabelecidos pelos órgãos de controle ambiental do estado de São Paulo, restritas ao setor canavieiro, e relacionadas com a questão ambiental das águas.

8.3.1. Protocolo agroambiental do setor sucroalcooleiro

Em 04 de julho de 2007, o setor sucroenergético paulista, representado pela UNICA – União da Indústria da Cana-de-Açúcar, firmou com o Estado de São Paulo, o denominado Protocolo Agroambiental do Setor Sucroalcooleiro.

Esse protocolo, de adesão voluntária pelas indústrias paulistas, apresenta uma série de diretrizes de boas práticas ambientais. Entre as diretrizes, valem destaque:

- O fim da queima da palha de cana, para sua colheita manual, em prazo expressivamente menor ao legalmente estabelecido (de 2021 para 2014 nas áreas mecanizáveis e de 2031 para 2017 nas áreas não-mecanizáveis);
- A proteção de áreas de mata ciliar das propriedades canavieiras, devida à relevância de sua contribuição para a preservação ambiental e proteção à biodiversidade;
- A proteção das nascentes de água das áreas rurais do empreendimento canavieiro, recuperando a vegetação ao seu redor;
- A implementação de Plano Técnico de Conservação de Recursos Hídricos, favorecendo o adequado funcionamento do ciclo hidrológico, incluindo programa de controle de qualidade de águas e reúso da água utilizada no processo industrial.

O protocolo, base do Programa Etanol Verde do Governo de São Paulo, teve a adesão de mais de 150 indústrias sucroalcooleiras instaladas no Estado, que res-

pondem por mais de 90% da cana processada em seu território. Essas indústrias são obrigadas, a partir da adesão, a apresentar um Plano de Ação para o atendimento das diretrizes e são anualmente avaliadas por um Grupo Executivo integrado por representantes do Estado e dos Produtores. Aquelas que se apresentarem de acordo com o Protocolo recebem um Certificado de Conformidade Agroambiental, com validade de 1 ano.

De acordo com dados da Secretaria do Meio Ambiente, divulgados em março de 2009, uma área de 185 mil hectares de áreas de matas ciliares (áreas de preservação permanente) em propriedades com cultura da cana-de-açúcar serão, no âmbito do Protocolo, protegidas ou recuperadas nos próximos anos. Além disso, no que se refere à redução do consumo de água, espera-se que as indústrias, também nos próximos anos atinjam números de consumo próximos a 1 metro cúbico por tonelada de cana processada.

Vale destacar que, em 10 de março de 2008, os fornecedores independentes de cana-de-açúcar, que respondem por 25% da cana produzida no Estado, representados pela Orplana – Organização dos Plantadores de Cana-de-Açúcar da Região Centro Sul do Brasil – assinaram protocolo semelhante, também prevendo a adoção de práticas para a proteção de matas ciliares. A adesão, diferentemente das indústrias, é feita por meio das associações locais de fornecedores, já que no estado são 14 mil produtores de cana. Em abril de 2009, 24 associações já haviam formalizado a adesão aos termos do Protocolo.

O acompanhamento do Protocolo Agroambiental do Setor Sucroalcooleiro poder ser feito por meio do sítio da Secretaria do Meio Ambiente, na Internet, cujo endereço é: www.ambiente.sp.gov.br/etanolverde.

8.3.2. Zoneamento agroambiental do setor sucroalcooleiro e licenciamento ambiental

Em 20 de setembro de 2008, a Secretaria Estadual do Meio Ambiente e a Secretaria Estadual da

Agricultura e Abastecimento, por meio da Resolução Conjunta SMA/SAA nº 04, publicaram o Zoneamento Agroambiental do Setor Sucroalcooleiro no Estado de São Paulo (ZAA).

O referido Zoneamento tem como objetivo estabelecer os fundamentos para aprimorar os procedimentos de licenciamento ambiental dos empreendimentos sucroalcooleiros paulistas e a gestão das áreas agricultáveis, estimulando a produção sustentável de etanol, respeitando os recursos naturais e controlando a poluição, com responsabilidade socioambiental.

O ZAA parte da sobreposição de um conjunto de mapas que avaliaram as condições do território paulista sob diversas perspectivas: 1. Aptidão edafoclimática, que avalia as condições climáticas e de solo para o plantio da cana; 2. Restrições para a mecanização da colheita, baseadas na declividade do solo agrícola; 3. Disponibilidade de águas superficiais e vulnerabilidade das águas subterrâneas; 4. Áreas de Proteção Ambiental Federal e Estaduais; 5. Unidades de Conservação e respectivas Zonas de Amortecimento; 6. Áreas prioritárias para incremento da conectividade; 7. Áreas com restrição da qualidade do ar.

Com base no mapa formado foram definidas quatro espécies de áreas, estabelecendo um conjunto de condicionantes, mais ou menos severos, para autorizar o licenciamento ambiental. As espécies de áreas são as seguintes:

I – Áreas Adequadas: correspondentes às áreas com aptidão edafoclimática favorável para o desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar e sem restrições ambientais específicas;

II – Áreas Adequadas com Limitações Ambientais: correspondentes à área com aptidão edafoclimática favorável para cultura da cana-de-açúcar e incidência de Áreas de Proteção Ambiental (APA); áreas de média prioridade para incremento da conectividade, conforme indicação do Projeto BIOTA-FAPESP; e as bacias hidrográficas consideradas críticas;

III – Áreas Adequadas com Restrições Ambientais: correspondentes às áreas com aptidão edafoclimática favorável para a cultura da cana-de-açúcar e com incidência de zonas de amortecimento das Unidades de Conservação de Proteção Integral - UCPI; as áreas de alta prioridade para incremento de conectividade indicadas pelo Projeto BIOTA-FAPESP; e áreas de alta vulnerabilidade de águas subterrâneas do Estado de São Paulo, conforme publicação IG-CETESB-DAEE - 1997; e

IV – Áreas Inadequada: correspondentes às Unidades de Conservação de Proteção Integral – UCPI Estaduais e Federais; aos fragmentos classificados como de extrema importância biológica para conservação, indicados pelo projeto BIOTA-FAPESP para a criação de Unidades de Conservação de Proteção Integral - UCPI; às Zonas de Vida Silvestre das Áreas de Proteção Ambiental - APAs; às áreas com restrições edafoclimáticas para cultura da cana-de-açúcar; e às áreas com declividade superior a 20%. O mapa atual do ZAA (abril de 2009) apresenta-se conforme a Figura 112.

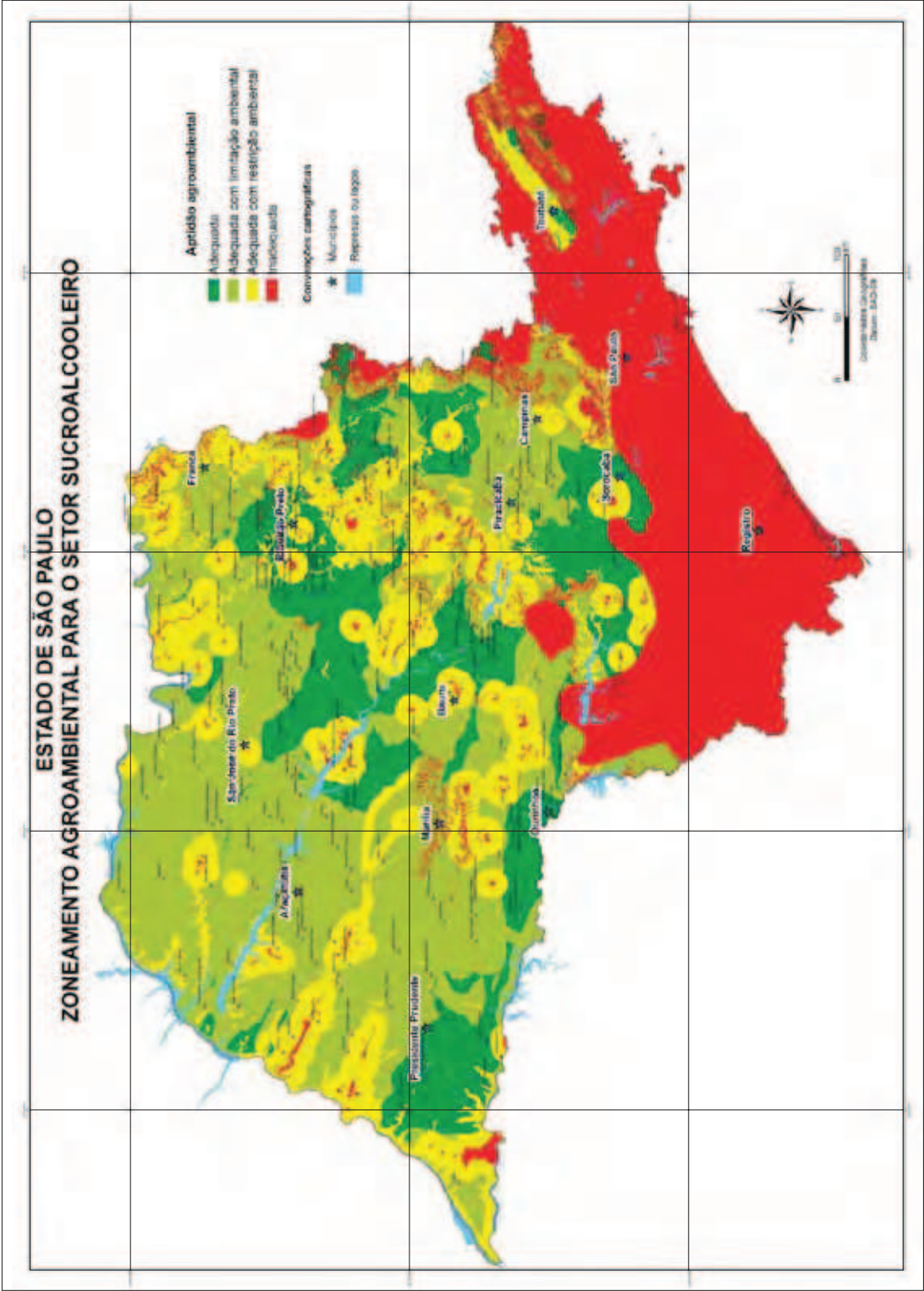


Figura 112 - Mapa do Zoneamento Agroambiental (ZAA) do estado de São Paulo, e localização das usinas e destilarias do estado (composto pelo CTC).

Com base na classificação do ZAA, a Secretaria do Meio Ambiente publicou a Resolução SMA 67/08, posteriormente substituída pela Resolução SMA 88/08, que definiu as condições técnicas que deveriam ser atendidas para permitir o licenciamento ambiental de novos projetos no Estado ou de expansão daqueles já existentes.

Conforme a Resolução SMA 88/2008, considera-se expansão: a reforma ou ampliação de edificação e a modificação, substituição de equipamento ou ampliação da atividade de produção de açúcar ou de etanol que impliquem em aumento da capacidade de moagem de cana-de-açúcar do empreendimento.

Inicialmente, vale ser destacado que, nas áreas consideradas Inadequadas, a Resolução SMA 88 proíbe, expressamente, o licenciamento de novos projetos ou a expansão daqueles já existentes. Em relação às outras áreas, as condições são variáveis.

Em relação à proteção de recursos hídricos, merecem nota as seguintes exigências aplicáveis a todos novos empreendimentos e novas expansões dos existentes:

- Consumo máximo de 1 m³ de água para cada tonelada de cana processada (art. 2º, VII) – Esse limite é reduzido para 0,7 m³ para cada tonelada de cana processada nas áreas consideradas “adequadas com restrições ambientais”.
- Ações de recuperação com espécies nativas nas Áreas de Preservação Permanente (APPs) nas áreas próprias, como medida mitigadora dos impactos ambientais da atividade.
- Adoção de manejo adequado de defensivos agrícolas nas áreas de influência dos pontos de captação de águas para abastecimento público.

No caso de empreendimentos já existentes, especificamente no que se refere aos limites máximos de consumo de água por tonelada de cana processadas, esses, desde que sejam aderentes ao Protocolo Agroambiental e estejam cumprindo as respectivas metas, poderão se ajustar no prazo de 15 anos. Esse período é justificado pelo grande investimento que deve ser feito, especialmente nos projetos mais antigos, para fechamento de circuitos de água e instalação de novas tecnologias para o reúso da água.

Vale ressaltar que muitas das condicionantes am-

bientais da Resolução SMA nº 88/2008 estão alinhadas com os termos do Protocolo Agroambiental. Isso significa que, independentemente da existência da legislação, grande parte das indústrias paulistas já havia, de forma voluntária, formalizado compromisso para adoção das referida práticas.

8.3.3. Aplicação da vinhaça em solo agrícola - fertirrigação

A vinhaça é utilizada pelas indústrias na fertirrigação do solo agrícola, repondo os sais e outros nutrientes extraídos pela cana durante seu crescimento e amadurecimento. Seu uso traz grandes benefícios, gerando ganhos de produtividade agrícola com redução da necessidade de emprego de fertilizantes.

A legislação brasileira proíbe o lançamento da vinhaça em corpos hídricos (Portaria do Ministério do Interior nº 323, de 29 de novembro de 1978) e a Norma Técnica da Vinhaça proíbe a aplicação desta no solo em desacordo com os critérios nela estabelecidos.

No Estado de São Paulo, o armazenamento, o transporte e a aplicação da vinhaça no solo agrícola é regulamentada pela Norma Técnica P4.231 da CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – empresa pública vinculada à Secretaria Estadual do Meio Ambiente. A Norma originou-se da Câmara Ambiental do Setor Sucroalcooleiro, foro de discussão entre os agentes estaduais ambientais e os técnicos do setor sucroalcooleiro que tem como meta promover a melhoria da qualidade ambiental por meio da interação permanente entre o poder público e o setor produtivo do Estado de São Paulo.

A Norma, considerada avançada e única no Brasil, prevê:

1. Limite da dosagem da aplicação da vinhaça para enriquecimento do solo agrícola: a dosagem 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. Em linguagem técnica, a extração média de potássio na norma é definida 185 kg de K₂O por hectare por corte e a concentra-

ção máxima de potássio no solo não pode exceder 5% da Capacidade de Troca Catiônica - CTC.

2. Impermeabilização dos canais primários de vinhaça e dos tanques de armazenamos. De acordo com Portaria CTSA nº 1, de 28 de novembro de 2005, da Cetesb, os tanques de armazenamento devem ser impermeabilizado em até 6 anos e os canais primários de transporte em até 10 anos.
3. Apresentação anual, por cada indústria, de Plano de Aplicação da Vinhaça (PAV) a para

permitir o acompanhamento e controle por parte da Cetesb do cumprimento da Norma Técnica.

4. Revisão periódica da norma com base em estudo custeado pela entidade de classe representativa dos produtores de etanol para a avaliação da qualidade das águas subterrâneas, do solo e avaliação dos parâmetros adotados na fórmula de dosagem. Os estudos vêm sendo realizados em áreas de aplicação de vinhaça previamente indicadas pela Cetesb.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

9. Referências bibliográficas

- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (ANA). **A água nos continentes**. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/GestaoRecHidricos/InfoHidrologicas/mapasSIH/3-AguaNosContinentes.pdf>>. Acesso em: 2008. (cartaz patrocinado pela ANA, PROÁGUA, Banco Mundial e UNESCO)
- ALMEIDA, L. C.; ARRIGONI, E. DE B. & STINGEL, E. **Pragas da cana-de-açúcar**. Piracicaba, SP: Centro de Tecnologia Canavieira - CTC, 2005, 11p.
- AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS (ASME). **Consensus on operating practices for the control of feedwater and boiler water chemistry in modern industrial boilers**. USA: ASME, 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7229**: Projeto, construção e operação de sistema de tanques sépticos. Rio de Janeiro, 1993.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10.004**: resíduos sólidos – classificação. Rio de Janeiro, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13969**: Tanques sépticos – unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997.
- AZEVEDO NETTO, J. M. & GUILHERMO, A. A. **Manual de hidráulica**. 6. ed. São Paulo. Edgard Blucher, 1975.
- BERTONI, J. & LOMBARDI NETO. **Conservação de solo**. 5. ed. São Paulo: Ícone, 2005. p. 355.
- BOSCARIOL, F. C. Geração de água gelada através da vinhaça e suas aplicações: Dedini S/A Indústrias de Base. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL E MOSTRA DE TECNOLOGIA DA AGROINDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA - SIM-TEC, 7., 2008, Engenho Central, Piracicaba, SP. **[Trabalhos apresentados]**. São Paulo, 03 de Julho de 2008.
- BRAILE, P. M. & CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual de Tratamento de águas residuárias industriais**. São Paulo, SP : Cetesb, 1979.
- BRANCO, S. M. **A Água origem, uso e preservação**. 5. ed. São Paulo: Editora Moderna, 1993. (Coleção Polêmica)
- BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balanço energético nacional 2007**: ano base 2006: sumário executivo. Rio de Janeiro: EPE, 2007. 60 p. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/publicacoes/ben/arquivos/ben_2007/Sumario_Executivo_BEN_2007.pdf>. Acesso em: 2009
- BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balanço Energético Nacional 2008**: ano base 2007. Rio de Janeiro: EPE, 2008. 244 p. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/publicacoes/ben/arquivos/ben_2008/BEN_Portugues_2008.pdf>. Acesso em: 2009.
- CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVIEIRA (CTC). **Controle mútuo industrial - centro-sul - anual - 2008/2009**: relatório anual do banco de dados. Piracicaba, SP, 2009. Disponível em: <[HTTP://www.ctcanavieira.com.br](http://www.ctcanavieira.com.br)>. Acesso em: 02/01/2009.
- CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVIEIRA (CTC). **Manual de controle químico da fabricação de açúcar**. Ed. 2005 (versão 01). Piracicaba, SP: CTC – Centro de Tecnologia Canavieira, 2005.
- CHEN, J. C. P.; CHOU, C. C. **Cane sugar handbook**: a manual for cane sugar manufacturers and their chemists, 12. ed. [S.l.]: John Wiley & Sons Inc., 1993.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). **Utilização de restilo como fertilizante em solos cultiváveis com cana-de-açúcar**: relatório final. São Paulo, SP, 1982.

CONDE, A. J. & DONZELLI, J. L. Manejo conservacionista do solo para áreas de colheita mecanizada de cana queimada e sem queimar. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRÔNOMICA, 7., 1997, Piracicaba. [Trabalhos apresentados]. Piracicaba, 1997.

CONSELHO DOS PRODUTORES DE CANA-DE-AÇÚCAR, AÇÚCAR E ETANOL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CONSECANA). **Manual de instruções**. 4. ed. São Paulo, Piracicaba, 2003.

CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS (CRH-SP). **Plano Estadual de Recursos Hídricos**: primeiro plano do estado de São Paulo: 1990: síntese. São Paulo, 1994.

CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS (CRH-SP). **Plano Estadual de Recursos Hídricos 2004/2007**: relatório 1: síntese dos planos de bacia, CHR, CORHI, CONSÓRCIO JMR Engecorps. São Paulo, junho, 2004.

COOPERATIVA CENTRAL DOS PRODUTORES DE AÇÚCAR E ETANOL DO ESTADO DE SÃO PAULO (COPERSUCAR). **Circuitos de águas de usinas de açúcar e destilaria de álcool: balanço hídrico**. Piracicaba, SP : Apostila do CEA - Curso de Engenharia Açucareira, CTC - Centro de Tecnologia Copersucar, 1984. 72 p.

COOPERATIVA DOS PRODUTORES DE CANA, AÇÚCAR E ETANOL DO ESTADO DE SÃO PAULO (COPERSUCAR). **Circuitos Hidráulicos para Transporte de resíduos líquidos - projeto e operação**. Piracicaba, SP: Centro de Tecnologia Copersucar, 1988, 32p. (Cadernos Copersucar, Série Agrônômica; n. 18).

COOPERATIVA CENTRAL DOS PRODUTORES DE AÇÚCAR E ETANOL DO ESTADO DE SÃO PAULO (COPERSUCAR). **Combate à poluição**: avaliação do programa Copersucar. Piracicaba, SP: CTC - Centro de Tecnologia Copersucar, 1980. 45p.

COOPERATIVA DOS PRODUTORES DE CANA, AÇÚCAR E ETANOL DO ESTADO DE SÃO PAULO (COPERSUCAR). **Estação de tratamento de água - ETA**. 1. ed. Piracicaba, São Paulo: Centro de Tecnologia Copersucar, 1985, 12p. (Cadernos Copersucar, Série Industrial; nº 17)

COOPERATIVA DOS PRODUTORES DE CANA, AÇÚCAR E ETANOL DO ESTADO DE SÃO PAULO (COPERSUCAR). **Manual de Operação de Sistemas de Fertirrigação por Aspersão**. 2. ed. Piracicaba, SP: Divisão Central de Engenharia Agrícola - CTAG, Seção de Hidráulica Agrícola - CTAG-3, CTC - Centro de Tecnologia Copersucar, 1998, 84p.

COOPERATIVA DOS PRODUTORES DE CANA, AÇÚCAR E ETANOL DO ESTADO DE SÃO PAULO (COPERSUCAR). **Academia do Açúcar e do Alcool - Cana-de-Açúcar**. Disponível em: <www.copersucar.com.br>. Acesso em: 6 de agosto, 2006.

CRISTOFOLETTI, A. J. ; SHINTAKU, A. & OLIVEIRA, D. T. **Utilização de policloreto de alumínio (PCA) no processo de clarificação**. Piracicaba, SP: CTC - Centro de Tecnologia Copersucar - CTC, 1607/1998.

DEPARTAMENTO DE ÁGUA E ENERGIA ELÉTRICA DO ESTADO DE SÃO PAULO (DAEE). **Plano estadual de recursos hídricos - 2004/2007**: resumo. São Paulo, SP, 2006.

ELIA NETO, A & NAKAHODO, T. **Caracterização físico-química da vinhaça**: relatório técnico da seção de tecnologia de tratamento de águas do centro de tecnologia Copersucar. Piracicaba, 1995. 26p. (Projeto nº 9500278)

ELIA NETO, A & ZOTELLI, L. C. **Caracterização das águas residuárias para reúso agrícola**. Piracicaba, SP: Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), 2008. 31p.

ELIA NETO, A. **“Workshop” sobre cobrança pelo uso da água** - CBH-PCJ. Relatório da Palestra para o Workshop Cobrança pelo Uso da Água, Comitê Bacia Hidrográfica Piracicaba, Capivari e Jundiá 1996 - Piracicaba, SP, 1996. 8p.

ELIA NETO, A. & LEITE, H. T. C. **Controle**

operacional do tratamento de águas de caldeiras: relatório técnico RT 808-97/98, CTTI-3.5. Piracicaba, SP: Centro de Tecnologia Copersucar, 1997. 83p.

ELIA NETO, A. In: WORKSHOP PROJETO PPPP: ASPECTOS AMBIENTAIS DA CADEIA DO ETANOL DE CANA-DE-AÇÚCAR - PAINEL I. São Paulo, abril de 2008. Disponível em: <http://www.apta.sp.gov.br/cana/anexos/apresentacao_painel_1_andre.pdf>. Acesso em: 2008

ELIA NETO, A.; NAKAHODO, T. & ROSSEL, C. E. V. **Biodigestão da vinhaça com reator anaeróbio de manta de lodo.** Relatório técnico da Seção de Tecnologia de Processos Industriais, Piracicaba, 1988. 30p.

ELIA NETO, A.; ZOTELLI, L. C. & HASUANI, S. J. **Estudo da distância econômica da aplicação agrícola da vinhaça natural e concentrada por evaporação.** Piracicaba: Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), 2008.

ELIA NETO, A.; ZOTELLI, L. C.; ESPÓ-SITO, M. & PAES, L. A. D. **Relatório síntese do controle mútuo agroindustrial módulo industrial – safra 07/08.** Piracicaba, SP: CTC – Centro de Tecnologia Canavieira, 8 de abril de 2008. (Projeto 91994 – CONTROLE MÚTUO AGROINDUSTRIAL – CMAI)

ELIA NETO, A. Captação e uso de água no processamento da cana-de-açúcar. In: MACEDO, I. C. et al. **A energia da cana-de-açúcar:** doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e a sua sustentabilidade. São Paulo: ÚNICA, 2005. p. 104 a 110.

FARONI, C. E.; DONZELLI, J. L.; FORTI, J. A.; PENATTI, C. P. & BERTOLANI, F. C. **Tabelas de recomendação de adubação NPK de plantio e de soqueiras - safra 07/08:** relatório técnico de pesquisa e desenvolvimento (interno). Piracicaba: Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), 2008. 57p.

FERNANDES, A. C. **Desempenho da agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil (1970 a 1995).** Piracicaba: Centro de Tecnologia Copersucar (CTC), 1996.

FERREIRA, E. S. & MONTEIRO, A. O. Efeitos da aplicação da vinhaça nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. **Boletim Técnico**

Copersucar, São Paulo, Piracicaba, n. 37, p. 3-7, jan. 1987.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO); THE UNITED NATIONS (ONU). **RENEWABLE WATER RESOURCES, DEPENDENCY RATIO, AND WATER WITHDRAWALS:** water resources, development and management service. 2003. AQUASTAT Information System on Water and Agriculture: Review of World Water Resources by Country. Disponível em: <http://www.fao.org/waicent/faoinfo/agricult/agl/aglw/aquasta/water_res/index.htm>. Acesso em: 2003.

FORMAGGIO, G. & FINGUERUT, J. **Fechamento de Dornas:** recuperação do etanol dos Gases: RT – 506-91/92. Piracicaba: Copersucar, (CTC), 1990.

GLOEDEN, E. **Monitoramento da qualidade da água das zonas não saturada e saturada em área de fertirrigação com vinhaça.** 1994. 164 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - IGEO/USP, São Paulo, 1994.

GUZZELLI, M. A. N.; PAES L. A. D. **Utilização da vinhaça:** alternativas e viabilidade técnico-econômica: RT 834. Piracicaba: Centro de Tecnologia Copersucar (CTC), 1998, 19p.

HAMAIDE, Sybille de La. Crise deve desacelerar produção mundial de Etanol em 2009. **Portal Exame**, 4 nov. 2008. Disponível em: <<http://origin.portalexame.abril.com.br/agencias/reuters/reuters-negocios/detail/crise-deve-esacelerar-producao-mundial-etanol-2009-licht-168564.shtml>>. Acesso em: 28/03/2009.

HASSUDA, S. **Impactos da infiltração da vinhaça de cana no aquífero Bauru.** 1989. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, São Paulo, 1989.

HOMEM, G. O.; LEITE, H. T. C. & NAKAHODO, T. **Condensados de processo:** caracterização e tratamento: relatório técnico RT 1004 99-00. Piracicaba: Centro de Tecnologia Copersucar (CTC), 2000. 10p.

HUGOT, E. **Manual da engenharia açucareira.** São Paulo: Editora Mestre Jou, 1977. 2 v.

JOAQUIM, A. C.; DONZELLI, J. L.; QUA-

DROS, A. C.; SARTO, L. F. Potencial de produção de cana-de-açúcar. In: SEMINÁRIO COPERSUCAR DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 7., 1997, Piracicaba/SP. **Anais...** Piracicaba: Centro de Tecnologia Copersucar, 1997. P. 68-76

JUNQUEIRA, E. D. A Cana-de-açúcar, origem e influência. **Informativo ABAG** - Associação Brasileira do Agronegócio. Disponível em: <<http://www.jornaldacana.com.br>>. Acesso em: 17 de junho de 2006.

LAMÔNICA, H. M, **Potencial de geração de excedentes de energia elétrica a partir da biodigestão da vinhaça**. Campinas: AGRENEB, 2006a.

LAMÔNICA, H. M. Energia da cana-de-açúcar. In: SEMINÁRIO SOLUÇÕES PARA A AGRICULTURA DO PAÍS: PROJETO CRESCE BRASIL, 8., 2006, Piracicaba, Sindicato dos Engenheiros do Estado de São Paulo (SEESP), 2006.

LAMÔNICA, H. M., ZOTELLI, L. C. & ELIA NETO, A. **Custo do biogás e da eletricidade produzidos com a biodigestão da vinhaça – safra 2007/2008**. Piracicaba: Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), 2008.

MACEDO, I. C. **A energia da cana-de-açúcar**: doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e a sua sustentabilidade. São Paulo: UNICA, 2005.

MATIOLI, C. S. **Aspectos técnicos-econômicos e critérios básicos para otimização de sistemas de fertirrigação de lavouras canavieiras com vinhaça**. 1989. 195 f. Dissertação (Mestrado) - ESALQ-USP, São Paulo, Piracicaba, 1989.

MCCARTHY, P. L. **Anaerobic waste treatment fundamentals - part three**: toxic materials and their control. [S.l.]: Public Works, 1964.

OLIC, N. B. Recursos hídricos das regiões brasileiras: aspectos, usos e conflitos. **Revista Pangea**: quinzenário de política, economia e cultura, 5 maio 2003. Disponível em: <http://www.clubemundo.com.br/revistapangea/show_news.asp?n=188&ed=4>. Acesso em: 2009.

PENATTI, C. P. & DONZELLI, J. L. **Uso da vinhaça na lavoura de cana-de-açúcar**: relatório técnico. Piracicaba: Centro de Tecnologia Copersucar (CTC), 2000.

PERTICARRARI, J. G. **Sulcador para abertura de canais**. Boletim Técnico COPERSUCAR. Piracicaba: Centro de Tecnologia Copersucar (CTC), 1983.

PRODUÇÃO MUNDIAL DE AÇÚCAR SERÁ MENOR A PARTIR DE 2009. **Jornal da cana**, agosto de 2008.

REIN, P. W. **Cane sugar engineering**. Berlin, 2007. 367 p.

RODRIGUES, A. de P. Cenários para o Etanol. In: ENCONTRO DE NEGÓCIOS DE ENERGIA, 7., 2006, São Paulo. **Fórum ...** São Paulo: Método eventos empresariais, 2006. [Trabalho apresentado]. Disponível em: <<http://www.encontrodeenergia.com.br/2006/downloads.htm>>. Acesso em: 2009.

ROSENFELD, U. Irrigação e Fertirrigação nas Sub-Regiões de SP e GO. In: SIMPÓSIO DE TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR, GAPE/FEALQ, Piracicaba, 04/07/2003.

SANTOS FILHO, D. F. **Tecnologia de tratamento de água**. Rio de Janeiro: Almeida Neves Editores Ltda., 1976.

SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA INDUSTRIAL, 1, 1983, Piracicaba, São Paulo. [Trabalhos apresentados]. São Paulo, Piracicaba: COOPERATIVA CENTRAL DOS PRODUTORES DE AÇÚCAR E ETANOL DO ESTADO DE SÃO PAULO (COPERSUCAR), 1983. 483p.

SOUSA S. A. V. Vinhaça: os avanços do uso de vinhaça. In: MACEDO, I. C. (org). **A Energia da Cana-de-açúcar**: doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e sua sustentabilidade. São Paulo: Editora Berlendis & Vertecchia, 2005. p.165-171.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR (UNICA). A Indústria da cana-de-açúcar: etanol - açúcar - bioeletricidade e responsabilidade social: a sustentabilidade da cana-de-açúcar brasileira. Folheto informativo publicado em 2008.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR (UNICA). **Açúcar e álcool do Brasil**: commodities da energia e do meio ambiente. São Paulo, SP, Maio, 2004.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR (UNICA). **Avaliação da Área de cana disponível para colheita na safra 2008/09**. CANASAT. Disponível em: <http://www.unica.com.br/downloads/estatisticas/canasat_2008.pdf>. Acesso em: 2009.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR (UNICA). **Cana-de-açúcar processada pelas usinas brasileiras**. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/downloads/estatisticas/processcanabrasil.xls>>. Acesso em: 07/03/2009.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR (UNICA). **Mapa da cana-de-açúcar no Brasil: etanol - açúcar - bioeletricidade**. São Paulo, 2008a. (folheto vistadivina, 1. ed.)

UNIVERSIDADE DA ÁGUA (UNIAGUA). **Água no planeta: situação da água no Brasil**. Disponível em: <http://www.uniagua.org.br/public_html/website/default.asp?tp=3&pag=aguaplaneta.htm>. Acesso em: jan. 2007.

VUKALOVITCH, M. P. **Thermodynamic properties of water and steam, tables and diagram**. Moscow: Publishig House, 1967.

WORLD RESOURCES INSTITUTE (WRI), **Earthtrends datas tables: FRESHWATER RESOURCES** 2005. Disponível: <http://earthtrends.wri.org/pdf_library/data_tables/wat2_2005.pdf>. Acesso em: 2007.

Sobre os autores

André Elia Neto: engenheiro civil-sanitarista, formado pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC-USP) no ano de 1977 e especializado em meio ambiente. Vem atuando na área de meio ambiente e recursos hídricos desde então, ou um pouco antes como estagiário no Escritório Técnico do engenheiro Antonio Francisco Carvalho Moura Campos, antigo funcionário do extinto FESB. Iniciou-se profissionalmente na Cetesb (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, ligada à Secretaria do Meio Ambiente do governo de São Paulo) no período de 1978 a 1982, nas áreas de controle e projetos de efluentes líquidos, passando a trabalhar em seguida até a presente data, no CTC - Centro de Tecnologia Canavieira, empresa de pesquisa sucessora do Centro de Tecnologia Copersucar, nas áreas de P&D (Pesquisa e Desenvolvimento) e de assessoria ambiental e recursos hídricos para as usinas de açúcar e etanol. Tem representado o segmento de usuários industriais de água pela UNICA, nos Comitês de Bacia do PCJ (Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí) e do Mogi, no CRH - Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo e no CNRH - Conselho Nacional de Recursos Hídricos, como suplente, participante de diversas Câmaras Técnicas. Representa o CTC na Câmara Ambiental Sucroalcooleira da Cetesb/SMA-SP.

Alberto Shintaku: engenheiro químico, formado pela Universidade Federal de São Carlos, UFSCar, no ano de 1982, especializado em segurança do alimento, pela Faculdade de Engenharia de Alimentos - FEA/DEA/Unicamp, com título de Mestre em Engenharia de Alimentos pela Faculdade de Engenharia de Alimentos, FEA/DEA/Unicamp, e atualmente inscrito como doutorando na mesma instituição. Iniciou a carreira profissional como engenheiro de processos na CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear, no desenvolvimento de combustível nuclear, e como engenheiro de processos na Granol Ind. Com. e Ex-

portação, com extração e refino de óleos vegetais. Vem atuando desde 1987 no CTC - Centro de Tecnologia Canavieira, antigo Centro de Tecnologia Copersucar, na área industrial de processos de tratamento do caldo e de fabricação de açúcar, como especialista em projetos de pesquisa, implantação e transferência de tecnologia nas áreas de tratamento do caldo, produção de açúcar e balanços de massa, hídricos e térmicos, além de ministrar treinamentos gerenciais na área. Atualmente ocupa o cargo de líder de produto no processo de fabricação de açúcar, na área de Mercados & Oportunidades do CTC.

Jorge Luis Donzelli: engenheiro agrônomo, especialista em solos e pedologia. Formado na UNESP, Jaboticabal, e com especialização em irrigação e drenagem/ESALQ-USP. Trabalhou no IAC e foi chefe da Seção de Manejo de Solos na Copersucar. Executou trabalhos como Gestor de Programas de Pesquisa e Desenvolvimento no CTC e atualmente é Coordenador de Pesquisa Tecnológica - Programa Agronomia do CTC.

Armene José Conde: engenheiro agrônomo, formado pela Escola Superior de Agronomia de Paraguaçu Paulista em 1981. Cursou o CECCA (Curso de Especialização da Cultura da Cana-de-Açúcar) no Centro de Tecnologia Copersucar, em 1982. Tem especialização em Gestão de Agronegócio (ESALQ-UDOP) 2005. Iniciou a carreira profissional na Usina Açucareira Quatá, em 1982, como chefe de desenvolvimento agrônomo. Em 1988, entrou no Centro de Tecnologia Copersucar e trabalhou até 2001 como engenheiro especialista em manejo e conservação de solos. Trabalhou de 2001 a 2005 como consultor autônomo para usinas sucroalcooleiras. De 2006 até o final de 2007 como Coordenador de Plantio e Tratos Culturais da Usina São Martinho de Pradópolis. Atualmente é Gerente Regional de Produtos do Centro de Tecnologia Canavieira na regional de Piracicaba.

Anícia Aparecida Baptistello Pio: engenheira civil, formada pela Escola de Engenharia Mauá em 1984 e M.Sc. em Gerenciamento de Recursos Hídricos, pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, em 2005. Tem especialização em sistemas de gestão da qualidade, sendo certificada pela American Society for Quality – ASQ, com o título de Engenheira da Qualidade Certificada – CQE desde 1993. No setor público, exerceu os cargos de Diretora de Planejamento Geral do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), sendo responsável pelos processos de outorga de direitos de uso dos recursos hídricos. Foi também Coordenadora de Recursos Hídricos, Secretária Executiva do Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FEHIDRO) e Conselheira Suplente do Conselho Estadual do Meio Ambiente pela Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Obras do Estado de São Paulo. No setor privado, atua como especialista do Departamento de Meio Ambiente da Federação das Indústrias do Estado de São Paulo – FIESP, representando a entidade como Conselheira Titular do Conselho Estadual de Recursos Hídricos e do Conselho de Orientações do FEHIDRO. Além disso, exerce o cargo de Diretora Secretária da Unidade Internacional da American Society for Quality – IMU/ASQ, no Brasil.

Francesco Giannetti: bacharel em Direito e especialista em Direito Tributário pela Pontifícia Universidade Católica de São Paulo (PUC/SP), sendo responsável pela Assessoria Jurídica da União da Indústria da Cana-de-Açúcar (UNICA) desde 2005. Atua no setor sucroenergético há mais de 10 anos.

Portanto, durante todo o ano o Brasil produz açúcar e etanol para os mercados interno e externo.

Hoje o Brasil responde por mais de 30% da produção de etanol, com grandes perspectivas de crescimento do mercado internacional dessa *commodity*, e segundo estimativa da União da Indústria da Cana-de-Açúcar (Unica), a produção atual poderá crescer cerca de 150% nos próximos anos, passando de 27 bilhões de litros em 2009 para 65 bilhões de litros em 2015.

Estudos recentes da Agência Nacional de Águas apontam que o setor sucroenergético terá uma maior importância no uso de água nos próximos dez anos decorrente de sua expansão. Deste modo, este manual de águas apresenta as boas práticas do setor sucroenergético que buscam a sustentabilidade no uso dos recursos hídricos.



Ministério do
Meio Ambiente



ISBN 978-85-89629-61-4

