



1. Introdução

Açúcar de cana

<https://www.youtube.com/watch?v=jhVKurXSTIY>
<https://www.youtube.com/watch?v=W3P3IbAxU0E>

TRATAMENTO DO CALDO

- processo que promove a retirada de todas as impurezas solúveis e insolúveis do caldo, como:
 - areia, bagacilho, argila, etc.
- Realizado por intermédio dos processos:
 - aquecimento,
 - tratamento químico,
 - decantação e peneiramento.

4

TRATAMENTO DO CALDO

Caldo misto = solução diluída de sacarose e contem impurezas

Fatores responsáveis pelo teor de impurezas do caldo:

- variedade e sanidade da cultura
- Tratos culturais
- Condições edafo-climáticas
- Sistema de corte e carregamento
- Tempo entre queima e processamento
corte e processamento
- Sistema de extração

5

Aspectos tecnológicos do tratamento

↓

REMOÇÃO DAS IMPUREZAS
(dissolvidas e suspensas)

- coagulação de colóides
- formação de precipitados insolúveis
- adsorve e arrasta as impurezas
- reduz a turbidez e a opalescência do caldo

• Procedimento depende do produto final - açúcar ou álcool

Processos de Purificação (princípios)

- a) **mecânicos**: peneiragem/ filtração
- b) **químicos**: mudança de reação do meio - sulfitação, caleagem
- c) **físicos**: efeito da temperatura e sedimentação

6

2. Composição do caldo

COMPONENTES QUÍMICOS E TECNOLÓGICOS

- Fibra (9 - 16%)
 - Celulose
 - Pentosanas (xilana, arabana, etc.)
 - Lignina
- colmo
 - Água 75-82%
 - Áçúcares 15,5 - 24%
 - sacarose 14,5 - 24%
 - glicose 0,2 - 1,0%
 - frutose 0,0 - 0,5%
 - Sólidos Solúveis 18-25%
 - orgânicos 0,8 - 1,8%
 - Aminoácidos
 - gorduras
 - ceras
 - matérias corantes
 - ácidos, etc.
 - não-açúcares 1 - 2,5%
 - inorgânicos 0,2 - 0,7%
 - SiO₂
 - P₂O₅
 - MgO
 - Fe₂O₃
 - Cl
 - K₂O
 - CaO
 - Na₂O
 - SO₃
- Caldo (84-91%)

7

composição do caldo varia

- tipo de solo;
- condições climáticas;
- adubação;
- tipo de colheita;
- tempo de queima/moagem;
- condições de moagem;
- etc.

Purificação visa eliminar > quantidade impurezas

Reagentes

- cal
- gás sulfuroso
- ácido fosfórico

8

COMPONENTES DO CALDO DE CANA E SEUS COMPORTAMENTOS NA PURIFICAÇÃO

Classificação das partículas dispersas no caldo de cana
(Von Weirmann e Ostwald)

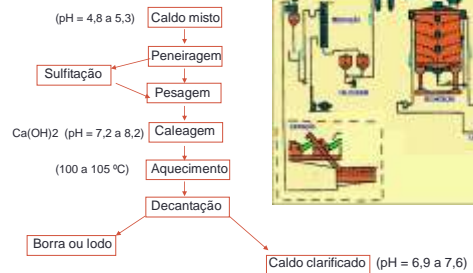
Dispersões	Diâmetro (μ)	% peso	Espécies
Grosseiras	> 1	2 - 5	bagacilho, areia, terra, gravetos
Coloidais	0,001 a 1	0,05 - 0,3	Cera, gorduras, proteínas, gomas, corantes, dextranas, amido
Moleculares e iônicas	< 0,001	8 - 21	Açúcares: sacarose, glicose, frutose, manose Sais minerais: sulfatos, cloratos, silicatos, fosfatos de K, Ca, Mg, Na Ácidos orgânicos: aconítico, oxálico, málico, etc

3. Etapas do Tratamento do caldo

- Peneiragem
 - Eliminação das impurezas grosseiras
- Clarificação
 - Eliminação das impurezas coloidais
- Aquecimento
- Decantação
- Filtração das borras

9

Esquemas Industriais de Tratamento



10

A. Peneiragem do caldo

Objetivo - remoção material em suspensão

Quantidade bagacilho
função { variedade de cana
grau de preparo da cana
assentamento da bagaceira
tipo esteira intermediária
uso de solda

quantidade terra { condições climática
textura solo
carregamento da cana

peneiragem { primária - malha grossa
secundária - malha fina

11

Peneiragem

- Tipo de peneiras
 - Fixas (Peneira Cush-Cush, Peneira DSM)
 - Vibratórias ou estáticas (malhas mais finas)
 - Rotativas (menor área de exposição)
- Passa pelo cush-cush
 - Vai para peneira vibratória ou estática
- Peneira rotativa
- Peneira DMS ou vibratória

12

PENEIRAS FIXAS**a) Peneira Cush-Cush**

- Constituintes
- tela fixa horizontal guarnecida por paredes laterais de chapa metálica, de altura variável, onde o caldo é peneirado.
 - Tanque: divisões internas para cada extração dos diferentes ternos do tandem.
 - Raspadores: duas correntes sem fim, onde se fixam tabuinha de madeira ou raspadores de chapa de ferro, com borracha ou piaçava

Superfície filtrante: 0,1 a 0,05m²/TCH

Limitante: foco de infecções microbiológicas e problemas mecânicos.

b) Peneira DSM

- peneira estacionária foi desenvolvida pela DORR-OLIVER, consta de uma caixa de alimentação, uma superfície filtrante e um depósito receptor de caldo
- capacidade de filtração: 455L de caldo/min (30 cm de largura por 160 cm de comprimento)
- espaçamento entre barras trapezoidais
Hugot - 7,5 TCH/dm - 1,0 mm
6,0 TCH/dm - 0,7 mm

Vantagens:

- não possui partes móveis;
- evita proliferação de microrganismos;
- pode ser instalada sobre as moendas;
- distribuir o bagaço por igual sobre a esteira transportadora e;
- produzir um caldo com poucos sólidos em suspensão.



Bateria de peneiras fixas DSM

Fonte PECEGE/ 07

c) Peneiras vibratórias

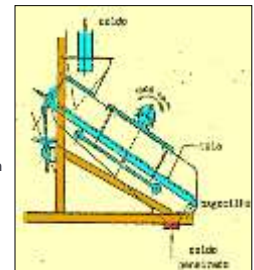
- constituída de uma tela de filtração, uma estrutura metálica, um tanque receptor e um motor acionador,

- plano inclinado de 15 a 30°

- Superfície filtrante: 0,02 a 0,03 m²/TCH

- Tela - 0,5 a 0,2mm diâmetro

- Motor 2 HP - 1750 rpm - 600 vibrações/min



d- Peneiras rotativas

- constituída de cestos,
- de formas cilíndrica, tronco cônico ou piramidal

Vantagens:

- menor quantidade de impurezas no caldo
- facilidade limpeza superfície filtrante
- evita proliferação de bactérias

- Alimentação interna;
- Rotação - 7 a 12 rpm
- superfície filtrante tela perfurada ou barras trapezoidais- 0,05 m²/TCH

Peneiras rotativas



Características técnicas e operacionais

Alimentação { simples – tipo A
dupla – tipo B

Superfície filtrante → 0,045 a 0,055 m²/TCH

Peso de bagacilho = 110 a 140 kg/TC

Bagacilho % no peneirado = 0,5 a 0,6

Eficiência de filtração = 95 a 97 %

Vazão de caldo - 20 a 24 m³ /m²

Umidade bagacilho - 75 a 80 %

Malha da tela em V - 1,0 a 0,5 mm

Potência motora - 0,018 HP/TC

Rotação ≅ 7,0 rpm

Pressão água - 3 a 5 kgf / cm²

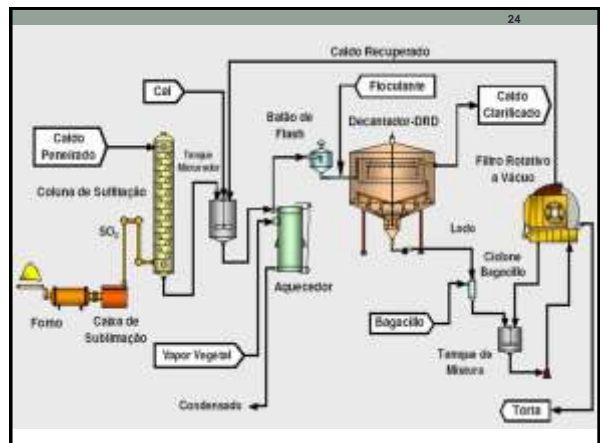
Temperatura da água - 80 a 90 °C



B. Clarificação do caldo

- Defecação simples ou caleagem
- Sulfo-defecação

23



24

25

OBJETIVOS DA CLARIFICAÇÃO

- remover impurezas em suspensão;
- evitar inversão de sacarose;
- evitar a destruição de AR;
- diminuição máxima de teores de não-açúcares;
- aumentar o coeficiente pureza aparente;
- produzir um caldo límpido e transparente (baixa turbidez, mínima formação de cor);
- volume mínimo de lodo;
- conteúdo mínimo de cálcio no caldo.

Caleagem

- Obtenção de açúcar cristal bruto ou demerara (MP refinarias)
- Emprego hidróxido de cálcio (mudança de reação do meio)
- Auxiliares de clarificação
 - Fosfatos
 - Bentonita
 - Polieletrólitos

26

SISTEMAS DE ALCALINIZAÇÃO

- ⇒ **Com leite de cal comum** (Cal hidratada- $\text{Ca}(\text{OH})_2$)
- ⇒ **Com sacarato de cálcio** (cal dissolvido em solução açucarada)
- ⇒ **Com leite de cal dolomítico** (CaCO_3 MgCO_3 forma $\text{CaO} - \text{MgO}$)

27

28

CARACTERÍSTICAS DA CAL

Obtenção – calcinação rochas calcíticas (CaCO_2)

CaCO_2

$\text{CaO} + \text{CO}_2$

- Cal virgem (CaO)

CaO total	≥	95,0%
umidade	≤	2,7%
silica (SiO_2)		TRAÇOS
óxido Fe e Al	≤	1,0%
óxido de Mg	≤	1,0%
dióxido de carbono	≤	0,5%

- Cal hidratada

CaO total = 72 a 75%

29

REAÇÕES COM O HIDRÓXIDO DE SÓDIO

Conjuntos formados $\left\{ \begin{array}{l} - \text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \\ - \text{CaHPO}_4 \end{array} \right.$

Açúcar branco > fração fosfato biácido
(pH 6,8 - 7,2)

Açúcar bruto > fração fosfato monoácido
(pH 7,5 - 8,0)

Finalidade - produtos resultantes do tratamento:
formação de substâncias solúveis;
floculação de substâncias de natureza coloidal e suspensas no meio;
formação compostos insolúveis.

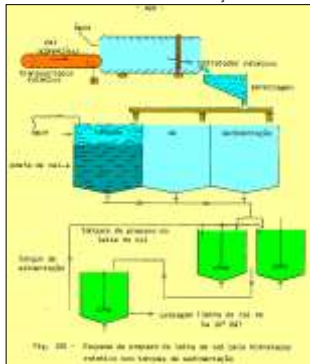
30

Procedimentos de seqüência de calagem e aquecimento

- Caleagem – aquecimento
- Aquecimento – caleagem – aquecimento
- Caleagem – aquecimento – caleagem – aquecimento

32

Esquema de preparo do leite de cal pelo hidratador rotativo c/ tanques de sedimentação

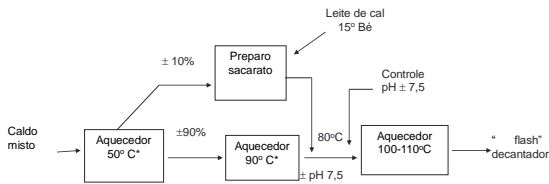


SACARATO COMO TÉCNICA DE CLARIFICAÇÃO

- Leite de cal ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) – suspensão – pouco em solução
- Sacarato Ca – solução – forma iônica
- Cal mais solúvel em soluções açucaradas do que em água
 - 1 kg solução de açúcar a 13% a 30°C → 14,8g de CaO
 - 1 kg água a 30°C → 1,13g de CaO

33

Temp. (°C)	Solubilidade de Ca(OH) g.kg ⁻¹	
	Em solução sat. de cal em água	Em solução de sacarose a 13%
20	1,23	21,2
30	1,13	14,8
40	1,04	9,9
50	0,96	6,5
60	0,86	4,5



34

SULFITAÇÃO DO CALDO

- Sistema produção de açúcar branco
- Consiste - redução pH do caldo misto de 5,2 - 5,4 para 3,8 a 4,6.
- Adição de SO₂

AÇÕES DO ANIDRIDO SULFUROSO

- purificante
- inversiva
- fluidificante
- descorante
- neutralizante
- precipitativa

Sulfitação

* Ação do SO₂ sobre o caldo de cana:

Ação Fluidificante

Como o SO₂ age sobre o caldo de cana precipitando certos colóides faz-se então reduzir a viscosidade proporcionando maior fluidez.

Ação Descorante

Através da propriedade redutora que o SO₂ possui, transforma os sais férricos (coloridos) em ferrosos (incoloros).

Ação Preceptiva

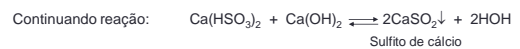
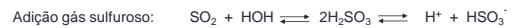
Esta ação é produzida logo após a calagem onde há a formação de sulfito de cálcio (CaSO₃) que sendo insolúvel ao precipitar-se arrasta muitas impurezas coloridas.

Paulino <http://sistemas.eel.usp.br/docentes/arquivos/5840855/LOQ4023/Producao-de-Aucar-materialdeapoi.pdf>

36

SULFITAÇÃO DO CALDO

Ação precipitativa



37

OBTENÇÃO DE ANIDRIDO SULFUROSO (SO₂)

Obtenção SO₂ { fornos rotativos
forneos fixos

Constituição forno rotativo:
 - tambor rotativo
 - câmara de combustão
 - refrigerador ou sublimador

$S + O_2 \rightarrow SO_2 + 70,2kcal$

Forno rotativo

EFEITO DA TEMPERATURA NA COMPOSIÇÃO DO GÁS

- Enxofre funde : 119°C – lig. cor amarela
- Ponto combustão: 250°C – gás p.e. = 2,26 kg/m³
- Ponto ebulição: 450°C
 $2S + O_2 \rightarrow SO_2 + \text{Sublimado}$
- Ponto decomposição do gás $\geq 800^\circ\text{C}$
 $3S + 3O_2 \rightarrow 3SO_2 \rightarrow 2SO_2 + S + 2O \rightarrow SO_2 + SO_3 + S + O\uparrow$
- temperatura do forno: 320-350°C
- temperatura da câmara combustão: 250-300°C
- temperatura do sublimador: 100-200°C
- Composição prática do gás: 6 a 14% SO₂

SISTEMAS DE ADIÇÃO DO GÁS (SO₂)

Sistema de absorção (SO₂) { colunas de sulfitação
multijato de sulfitação
misto

a) COLUNA DE SULFITAÇÃO

b) SISTEMA MULTIJATO DE SULFITAÇÃO

Conjunto sulfitorador multijato

41



a) coluna de sulfitação

b) forno de queima de enxofre



Eficiência do equipamento de sulfitação { dimensionamento do equipamento
sistema de contato - caldo / gás
qualidade do gás

Consumo de enxofre - 280-300 g / TC

42

C. AQUECIMENTO DO CALDO

Objetivos do aquecimento { - acelerar as reações
- provocar coagulação e floculação de colóides
- reduzir a densidade e viscosidade do caldo
- aumentar a velocidade de sedimentação e emersão das impurezas

Aquecimento gradual { Primários - 82 - 87°C
Secundário - 100 - 105°C

Componentes básicos { - corpo (cortado)
- cabeçote (cabeçais)
- espelho e,
- feixes tubulares.

Aquecedor { - vertical { multi-tubular
múltiplas passagens
- horizontal { Dupla passagem
multi-tubular

Eficiência do aquecimento

- superfície de aquecimento
- material das tubulações
- eliminação dos gases incondensáveis
- eliminação do vapor condensado
- tipo e qualidade do vapor
- limpeza (incrustações)





Bateria de aquecedores horizontais

Usina Junqueira

46

D. DECANTAÇÃO DO CALDO

Eficiência do processo {

- qualidade do caldo
- qualidade da clarificação
- pH e temperatura do caldo
- tempo de retenção do caldo

Objetivos {

- precipitação e coagulação dos colóides;
- rápida velocidade de sedimentação;
- mínimo volume de borras ou lodo;
- borras densas, e
- produção de um caldo límpido e transparente.

Velocidade sedimentação {

- tamanho, forma e densidade da partícula
- densidade e viscosidade do meio

Lei de Stokes - sedimentação depende {

- resistência do meio
- ação da gravidade

SISTEMA DE DECANTAÇÃO DE MÚLTIPLAS BANDEJAS

Constituição {

- balão de "flash"
- decantador
- caixa de lodo
- caixa de caldo decantado

Setores do decantador (Dorr) {

- a) câmara de coagulação ou de floculação
- b) câmara de caldo clarificado, ou de sedimentação
- c) câmara concentradora de lodo

Características do Aparelho {

- a) tempo de residência do caldo: 3 - 4 horas
- b) Vol médio: 3 - 4 m³/TCH

48

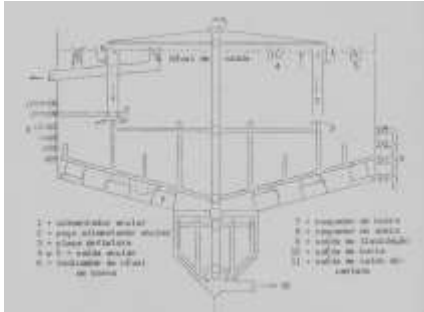


Decantador de caldo



Decantador "Dorr" com tomadas externas de caldo

Decantador Australiano SRI – bandeja única



- ✓ Tempo de residência 30 a 40 min
- ✓ Uso obrigatório de polieletrólito

E. FILTRAÇÃO DO CALDO DECANTADO

Obj.: remover o material em suspensão no caldo

Finalidade:

- reduzir a taxa de incrustação nos evaporadores;
- evitar contaminação do açúcar e perda de qualidade

Equipamentos principais:

- peneiras fixas inclinadas
- peneiras rotativas

Peneira rotativa de caldo Decantado



Cesto do filtro rotativo de caldo decantado

Aspecto interno da rosca helicoidal



DEDINI Indústrias de Base

F. FILTRAÇÃO DAS BORRAS

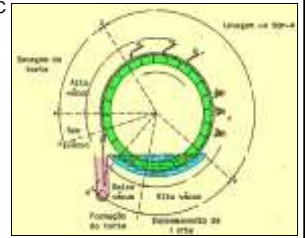
Objetivo → recuperar o caldo arrastado com as borras ou lodo, o qual tem considerável teor de sacarose.

Filtro Rotativo à vácuo
Prensa Desaguadora

Eficiência da Filtração

- qualidade do caldo
- concentração do caldo
- adição de leite de cal (pH 7,5 a 8,0)
- adição de bagacinho - (6 a 10 k/TC)
- quantidade de água 100 a 150% peso da torta
- temperatura da água - 75 a 80°C
- vácuo para sucção

{ Baixo - 10 a 25 cm Hg
Alto - 20 a 50 cm Hg



Sistema de operação do filtro rotativo à vácuo

55



Filtro rotativo

Descarregamento do lodo em filtro de 13 x 32 pés



Comparação do Filtro rotativo à vácuo vs. Prensa desaguadora

Filtro rotativo à vácuo

- opera c/ necessidade de bagacilho (mistura):
 - ↑ custo peneiramento e transporte bagacilho;
 - ↓ combustível.
- ↑ Brix do caldo filtrado
- umidade da torta: 70 a 80%.
- Equipamento mais robusto e fácil manutenção (materiais metálicos estranhos no lodo).
- Altura: 8m (dimensões).
- Superfície filtrante: 40 a 60m²/100TCH

vs.

Prensa Desaguadora

- opera com adição de floculante;
- caldo ↓ turvo (s/ tratamento adicional)
- umidade da torta: 60 a 65% (facilita transporte)
- ↓ 30 a 40% consumo de energia elétrica.
- mais compacta
- superfície filtrante: 0,9 a 1,1m/100TCH (largura da tela)

Largura da tela (m)	capacidade TCD
1,0	2.200
1,5	3.600
2,2	5.500
2,6	6.600