

Universidade de São Paulo – USP



Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Esalq
Departamento de Agroindústria, Alimentos e Nutrição - LAN

LAN 1458 – Açúcar e Álcool

PURIFICAÇÃO DO CALDO PARA PRODUÇÃO DE AÇÚCAR

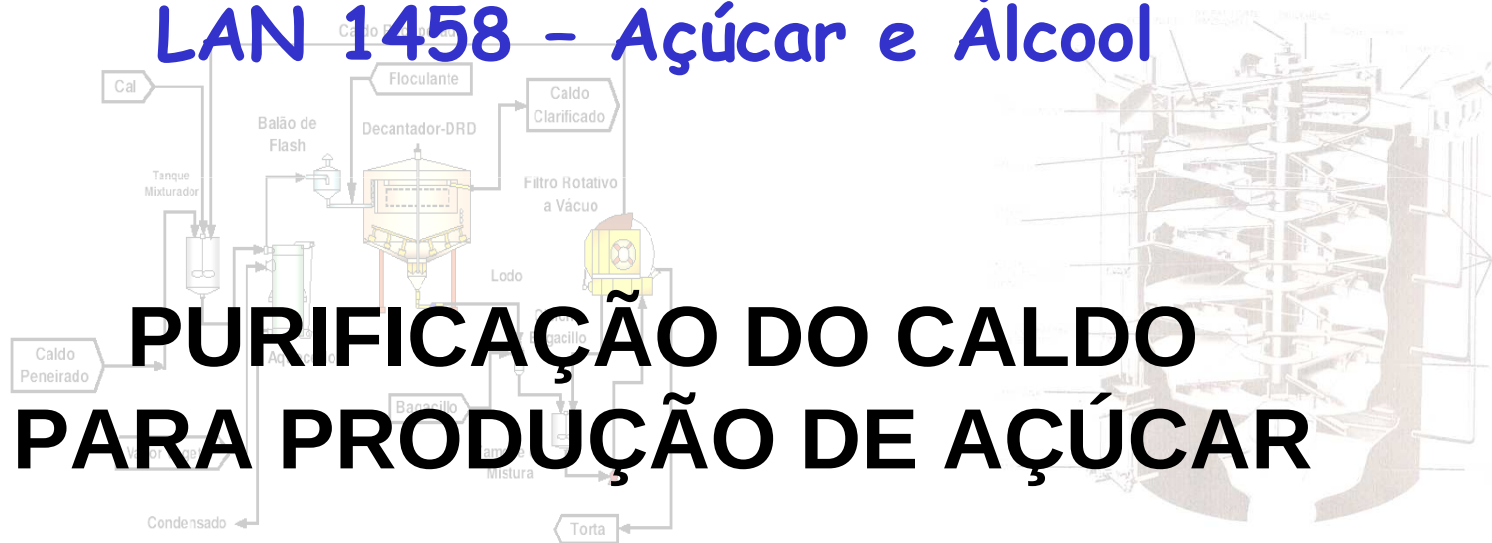
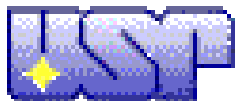


FIGURE 6.1: RapiDorr 444 Clarifier. (Dorr-Oliver)

Prof. Antonio Sampaio Baptista



PURIFICAÇÃO DO CALDO PARA PRODUÇÃO DE ÁLCOOL



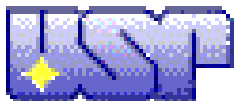
- 1 Introdução
- 2 Aspectos tecnológicos
- 3 Sulfo-defecação
- 4 Caleagem
- 5 Aquecimento
- 6 Decantação
- 7 Filtração
- 8 Considerações finais

1. INTRODUÇÃO

- ✓ Do ponto de vista físico-químico o caldo é definido como uma solução que contém matéria em diversos graus de dispersão, desde partículas grosseiras até íons.

Tabela 1 - Classificação das partículas dispersas no caldo de cana

Dispersões	Diâmetro (μ)	% peso	Espécies
Grosseiras	> 1	2 - 5	Bagacilho, areia, pedregulho, gravetos, etc.
Coloidais	0,001 a 1	0,05 - 0,3	Ceras, gorduras, proteínas, colóides, corantes, amido, tanino, gomas e dextranas, resultantes do crescimento e da ação de microrganismos, etc.
Moléculas e Iônicas	< 0,001	8 - 21	Açúcares: sacarose, glicose e frutose; Sais inorgânicos: fosfato, sulfato de Ca, Mg, K, Na, etc. Ácidos orgânicos: ácido aconítico, oxálico, málico, etc. Substâncias coloidais.



PURIFICAÇÃO DO CALDO



1. INTRODUÇÃO

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



1. INTRODUÇÃO

Aspectos tecnológicos
da purificação

REMOÇÃO DAS
IMPUREZAS
(dissolvidas e suspensas)

- coagulação de colóides
- formação de precipitados insolúveis
- adsorção e arraste das impurezas
- redução da turbidez e da opalescência do caldo

Processos
de
Purificação
(princípios)

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

PURIFICAÇÃO DO CALDO

1. INTRODUÇÃO

E ATENÇÃO !!!

OS PROCESSOS DE TRATAMENTO SÃO DIFERENTES ...



AÇÚCAR



ETANOL

2 Aspectos tecnológicos

Processos de tratamento

- ▶ Para produção de açúcar bruto
- ▶ Para produção de açúcar branco

2 Aspectos tecnológicos

OBJETIVOS DO TRATAMENTO DO CALDO

- ▶ 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.

2 Aspectos tecnológicos

B.1 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



2 Aspectos tecnológicos

Tipo de peneiras

- ▶ **Fixas**
 - Peneira Cush-Cush,
 - Peneira DSM
- ▶ **Vibratórias ou estáticas**
 - malhas mais finas
- ▶ **Rotativas**
 - menor área de exposição

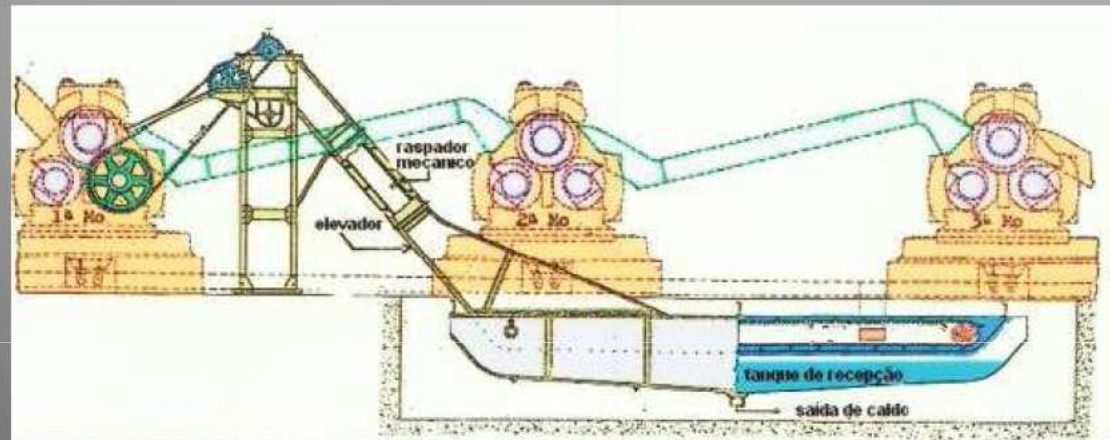


2 Aspectos tecnológicos

PENEIRAS FIXAS *Peneira Cush- Cush*

Constituintes

- ✓ tela fixa
- ✓ Tanque:.
- ✓ Raspadores:



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

Limitante: foco de infecções microbiológicas e problemas mecânicos

Video 1

Video 2

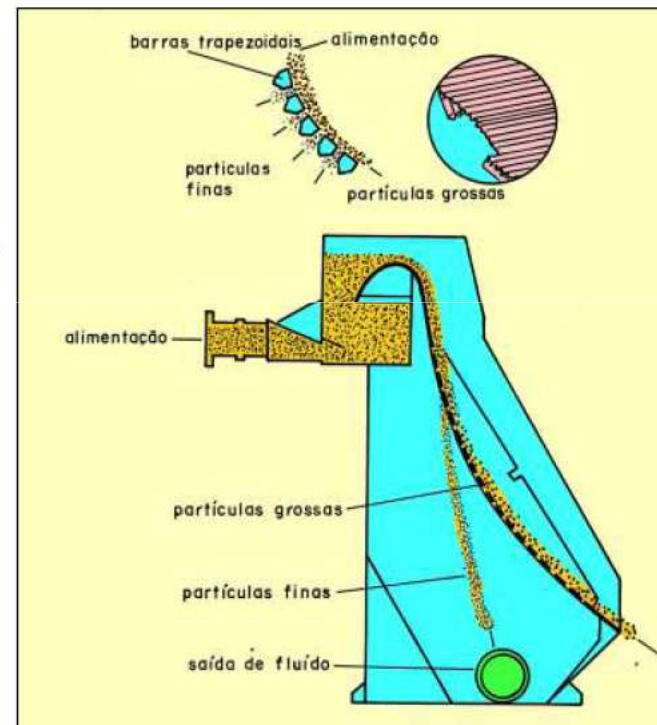
2 Aspectos tecnológicos



2 Aspectos tecnológicos

PENEIRAS DSM - Vantagens:

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



2 Aspectos tecnológicos

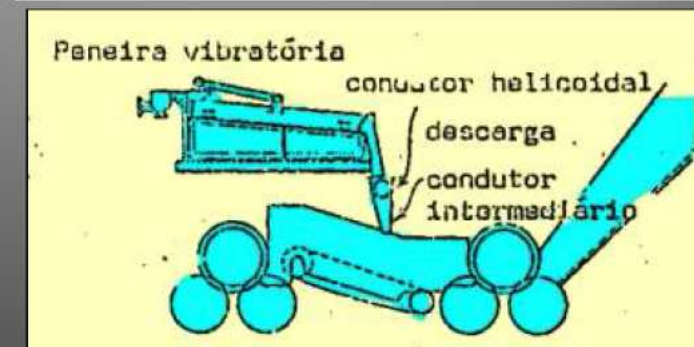
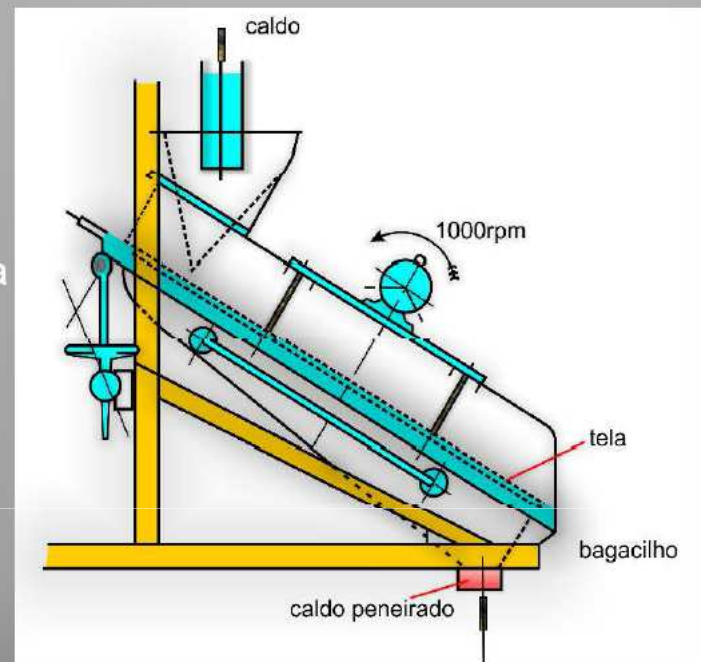


Fonte: PECEGE/ 07

2 Aspectos tecnológicos

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



2 Aspectos tecnológicos

Peneiras rotativas

constituída de cestos, as peneiras rotativas, são de formas cilíndrica, tronco cônico ou piramidal

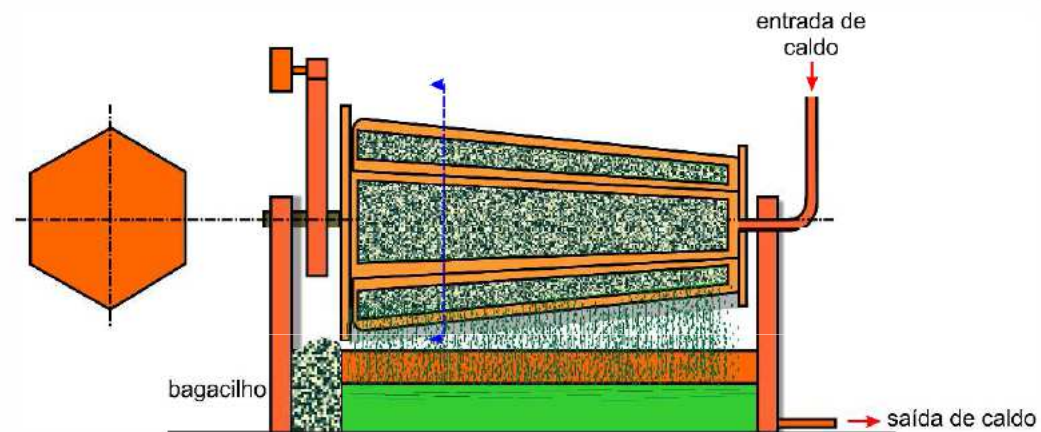
Vantagens:

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



2 Aspectos tecnológicos PENEIRAS ROTATIVAS

PENEIRAS ROTATIVAS



- Alimentação interna;
- Rotação - 8 -12 rpm
- superfície filtrante tela perfurada ou barras trapezoidais- 0,05 m²/TCH
- área filtrante - 0,1 - 0,05 m² em rotação/min/TCH

2 Aspectos tecnológicos



DEDINI Equipamentos de Base

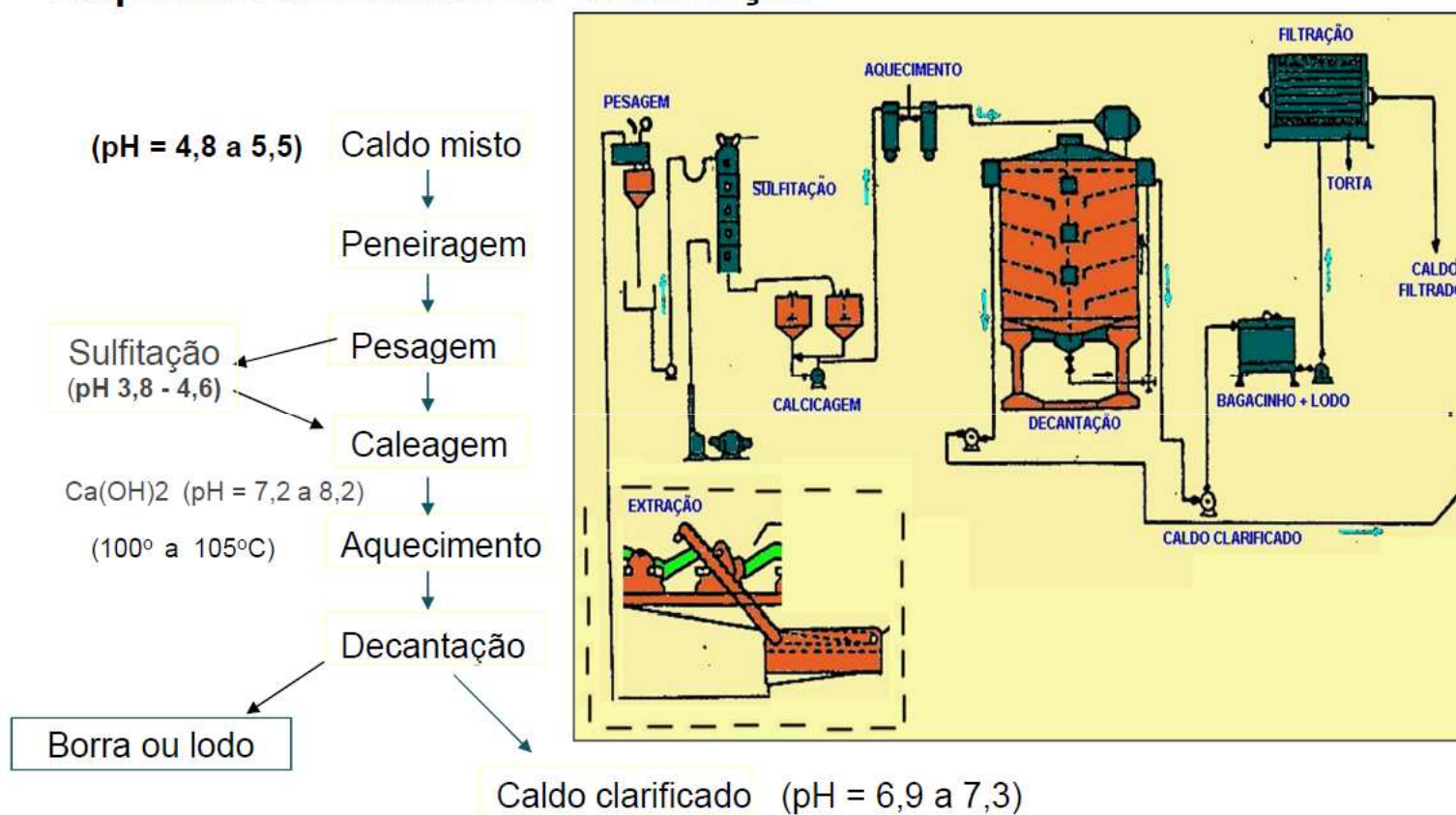
2 Aspectos tecnológicos

C. Clarificação do caldo

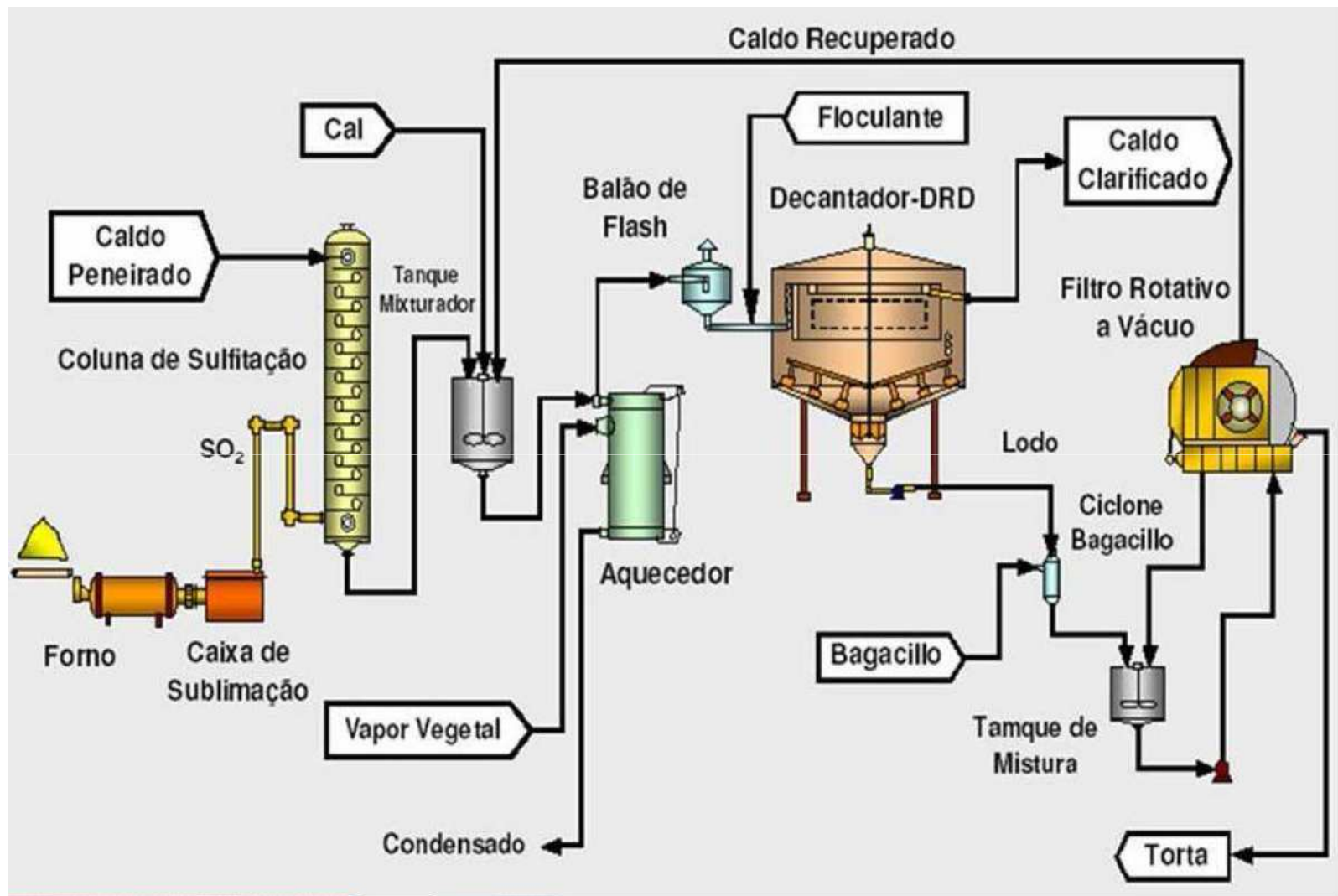
- ▶ Defecação simples ou caleagem
- ▶ Sulfo-defecação

2 Aspectos tecnológicos

Esquemas Industriais de Clarificação



2 Aspectos tecnológicos



2 Aspectos tecnológicos

C.2. SULFO-DEFECAÇÃO DO CALDO

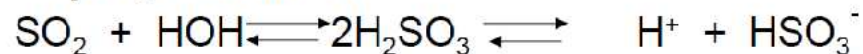
- ▶ Sistema de produção de açúcar branco
- ▶ Consiste - redução pH do caldo misto de 5,2-5,4 para 3,8 a 4,6..
- ▶ Adição de SO_2

AÇÕES DO ANIDRIDO SULFUROSO

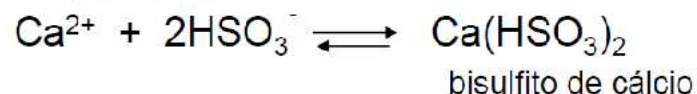
- ▶ purificante • descorante
- ▶ neutralizante • fluidificante
- ▶ inversiva • precipitativa

Ação precipitativa

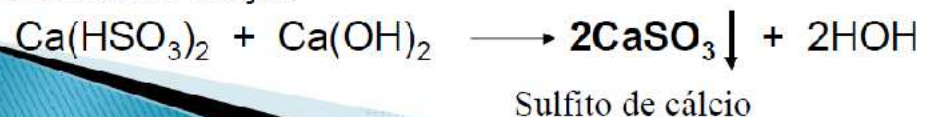
Adição gás sulfuroso



Adição do leite de cal



Continuando reação



2 Aspectos tecnológicos

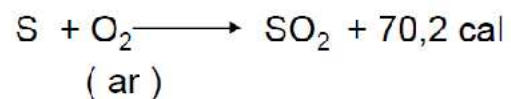
OBTENÇÃO DE ANIDRIDO SULFUROSO (SO₂)

Obtenção SO₂

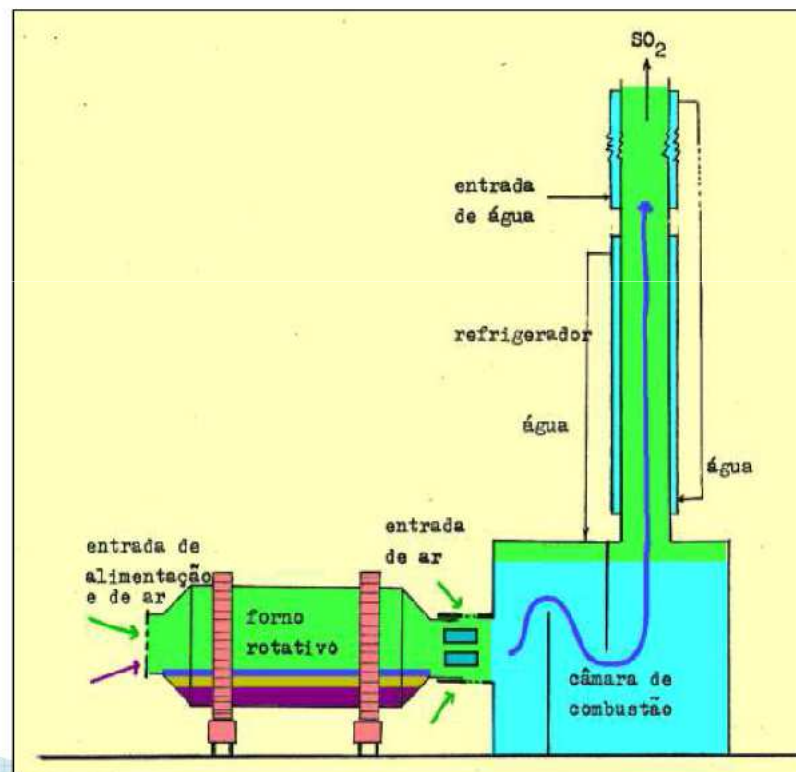
- fornos rotativos
- fornos fixos

Constituição forno rotativo:

- tambor rotativo
- câmara de combustão
- refrigerador ou sublimador
- Reação de oxidação:



Forno rotativo

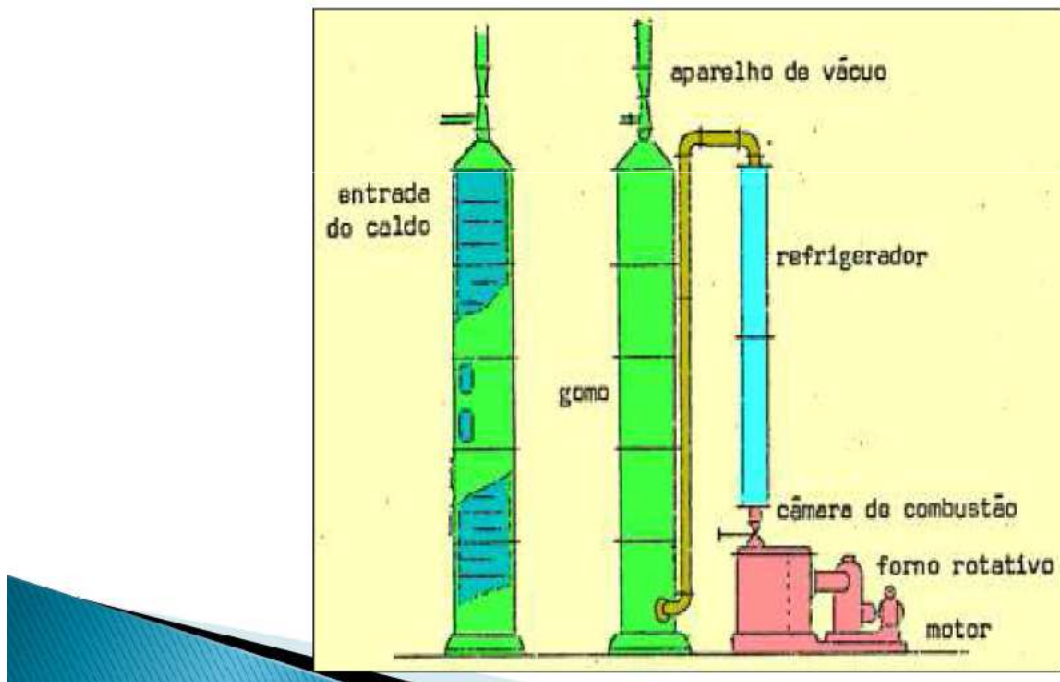


2 Aspectos tecnológicos

SISTEMAS DE ADIÇÃO DO GÁS (SO_2)

Sistema de absorção (SO_2) { colunas de sulfitação
multijato de sulfitação
misto

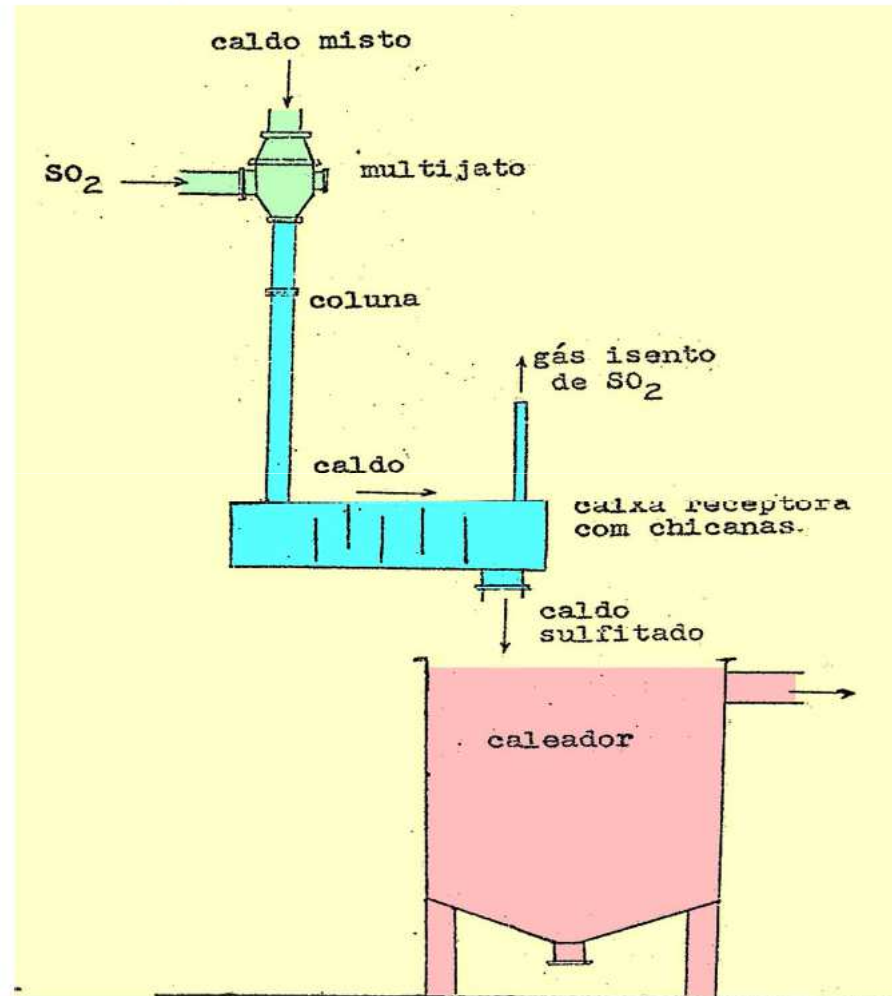
► a) COLUNA DE SULFITAÇÃO



2 Aspectos tecnológicos

b) SISTEMA MULTIJATO DE SULFITAÇÃO

Conjunto sulfitador
multijato



2 Aspectos tecnológicos



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 - 280-300g/TC

2 Aspectos tecnológicos Caleagem do caldo

SISTEMAS DE ALCALINIZAÇÃO

- ⇒ Com leite de cal comum
- ⇒ Com sacarato de cálcio
- ⇒ Com leite de cal dolomítico

CALEAGEM DO CALDO

Produção

Finalidade - *produtos resultantes do tratamento:*

- ▶ formação de substâncias solúveis;
- ▶ floculação de substâncias de natureza coloidal e suspensas no meio
- ▶ formação compostos insolúveis

- açúcar branco - pH 6,9 - 7,2
- açúcar bruto - pH 7,5 - 8,0

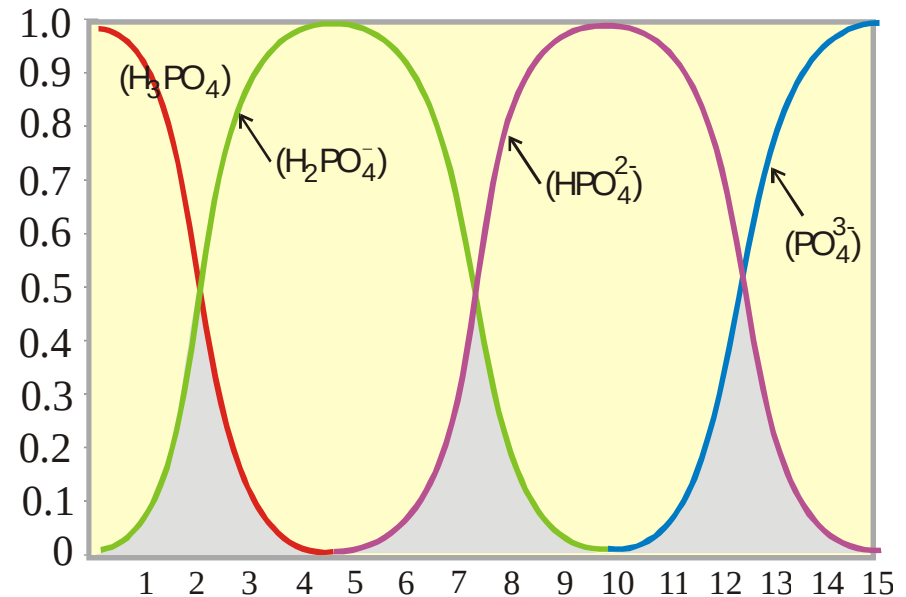
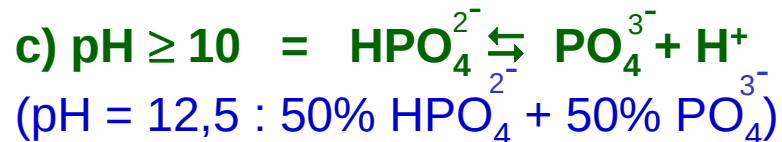
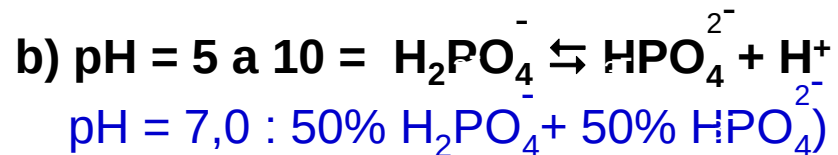
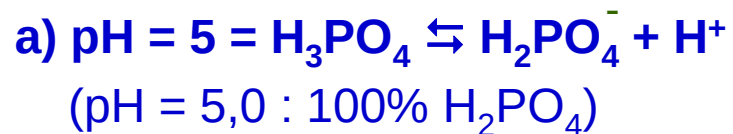
Reações principais

- 
- fosfatos
 - sulfito

PROCESSO DE PURIFICAÇÃO DO CALDO

5.1.3. COMPORTAMENTO DOS FOSFATOS EM FUNÇÃO DO pH:

Fases de dissociação química de fosfato:



NOTA: Quanto maior o número de cargas livres maior é a reatividade do meio e maior é a formação de coágulos e sedimentos, ou seja, aumentando o pH do caldo ocorre aumento do volume de lodo formado durante a decantação.

PROCESSO DE PURIFICAÇÃO DO CALDO

5.1.4. ESTÁGIOS BÁSICOS DE CLARIFICAÇÃO

- ✓ Permitir que as partículas coloidais neutras formem aglomerados (floculação primária);
- ❖ Agrupar os aglomerados para formar grandes flocos (floculação secundária).

PROCESSO DE PURIFICAÇÃO DO CALDO

6. 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

Aquecedor {

- Horizontal
- Vertical

Eficiência do aquecimento {

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

PROCESSO DE PURIFICAÇÃO DO CALDO

7. 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 caldo límpido e transparente.

Velocidade sedimentação { tamanho, forma e densidade da partícula
densidade e viscosidade do meio

PROCESSO DE PURIFICAÇÃO DO CALDO

Lei de Stokes - sedimentação depende

$$V_s = \frac{D^2 \cdot (d_1 - d_2) \cdot g}{18\mu} = \text{cm/seg} \left\{ \begin{array}{l} \text{resistência do meio} \\ \text{ação da gravidade} \end{array} \right.$$

onde:

V_s = velocidade de sedimentação (cm/s)

D = diâmetro da partícula (cm)

d_1 = peso específico do sólido (g/cm³)

d_2 = peso específico do líquido (g/cm³)

μ = viscosidade do líquido (poise)

g = aceleração da gravidade (cm/s²)

→ Velocidade no interior do aparelho - características:

$v = 3$ a 6 cm/min.h, escoamento laminar perfeito;

$v = 6$ a 12 cm/min, escoamento regular, excelente decantação;

$v = 12$ a 15 cm/min., principiam as irregularidades na decantação, mas possível;

$v > 15$ cm/min., turbulento

PROCESSO DE PURIFICAÇÃO DO CALDO

7.1.1 SISTEMA DE DECANTAÇÃO DE MÚLTIPLAS BANDEJAS

Constituição {

- balão de “flash”
- decantador
- caixa de lodo
- caixa de caldo decantado

Setores do decantador (Dorr) {

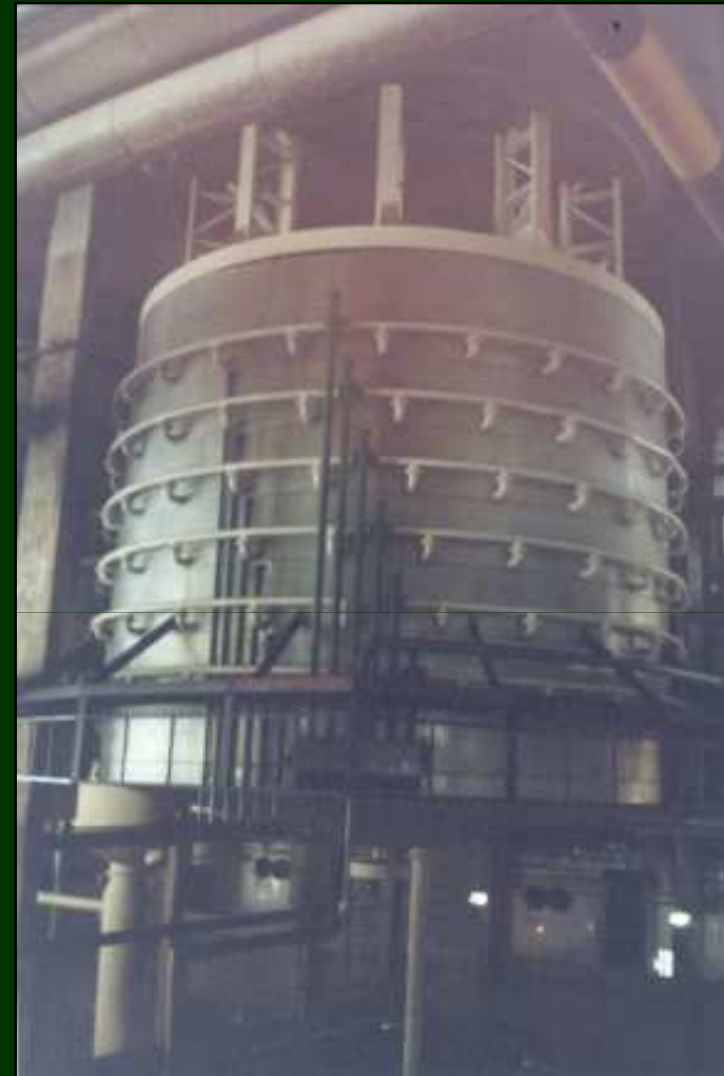
- a) câmara de coagulação ou de floculação
- b) câmara de caldo clarificado, ou de sedimentação
- c) câmara concentradora de lodo

Características do Aparelho {

- a) tempo de residência do caldo: 2 a 3 horas
- b) Vol médio: 3,4 m³/TCH

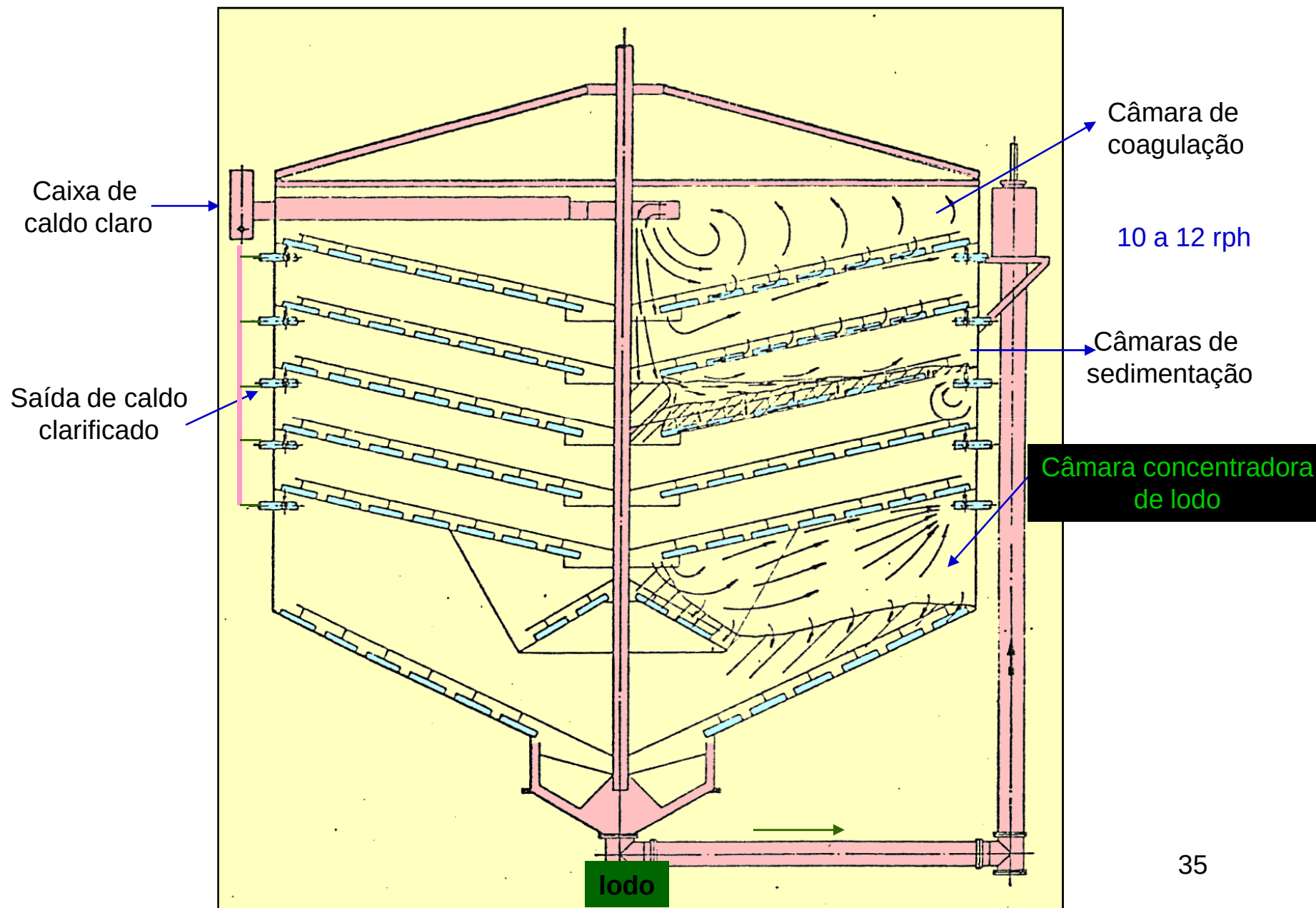


Decantador de caldo



Decantador "Tipo Door" com tomadas externas de caldo

Funcionamento



8. FILTRAÇÃO DAS BORRAS

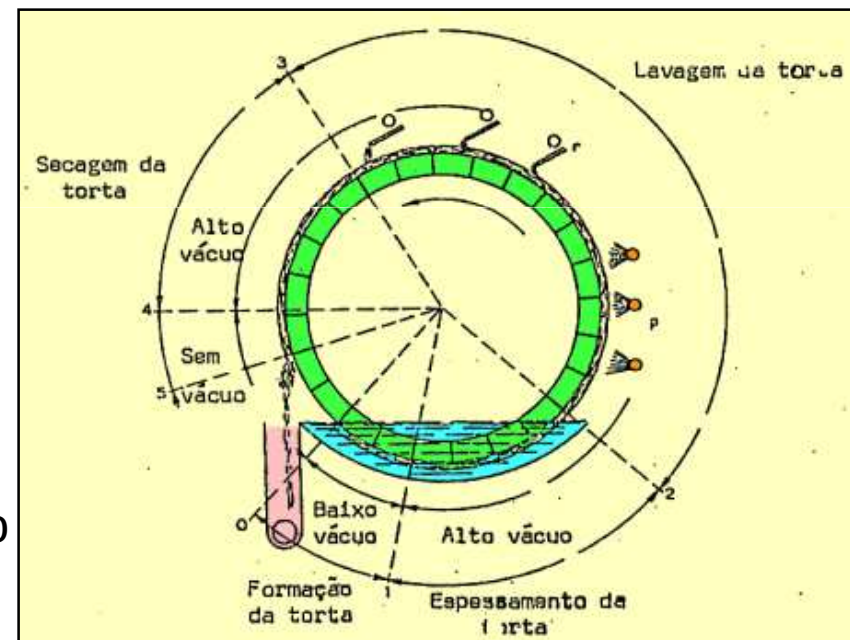
- Objetivo → a operação de filtração visa recuperar o caldo arrastado com as borras ou lodo, o qual tem considerável teor de sacarose.

Filtração
das borras

→ Filtro rotativo a 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 bagacilho - (6 a 10 kg/TC)
- quantidade de água: 100 a 150 % peso da torta
- temperatura da água - 75 a 80 °C



Sistema de operação do filtro rotativo à vácuo

- vácuo para sucção {
Baixo - 10 a 25 cm Hg
Alto - 20 a 50 cm Hg



Filtro rotativo



Descarregamento do lodo em filtro de 13" x 32"

Filtro tipo Prensa desaguadora



https://www.youtube.com/watch?v=AklW3_j52lw

11 CONSIDERAÇÕES FINAIS

- ✓ A purificação do caldo visa retirar o máximo de impurezas do caldo;
- ✓ Os processos de purificação do caldo para a produção de etanol e açúcar devem ser conduzindo obedecendo as características peculiares para cada linha de produção;
- ✓ A purificação do caldo é realizada por processos mecânicos, físicos e químicos;

11 CONSIDERAÇÕES FINAIS

- ✓ Os principais equipamentos envolvidos na purificação do caldo são: peneiras, aquecedores, decantadores e filtros a vácuo;
- ✓ O principal agente químico utilizado na purificação do caldo é a cal. Contudo, outros agentes químicos podem ser utilizados;

PURIFICAÇÃO DO CALDO

11 CONSIDERAÇÕES FINAIS

- ✓ Com a clarificação do caldo tem-se menor desgastes de equipamentos e melhor operacionalidade na condução da evaporação do caldo;
- ✓ Para a produção de açúcar cristal branco faz-se necessária a sulfitação do caldo;
- ✓ A obtenção do caldo clarificado pode ser através do uso de decantadores com várias bandejas ou com bandeja única.

PURIFICAÇÃO DO CALDO

12 Referências

- DELGADO, A. ; CESAR, M.A.A. **Elementos de Tecnologia e Engenharia do açúcar de cana**. Piracicaba : Zanini,1990. 1061p.
- PAYNE, J.H. **Operações unitárias na produção de cana-de-açúcar**. São Paulo: NOBEL, 1989. 245p.
- RIBEIRO, C., BLUMER, S., HORII. **Fundamentos de tecnologia sucroalcooleira: tecnologia do açúcar**. Piracicaba: ESALQ/Depto de Agroindústria, Alimentos e Nutrição, V.2, 1999. 66p.
- USHIMA, A.K., RIBEIRO, A.M.M., SOUZA, M.E.P., SANTOS N.F. **Conservação de energia na indústria do açúcar e do álcool**. São Paulo, IPT, 1990. 796p.