



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 E PRODUÇÃO DE ETANOL



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

Prof. Antonio Sampaio Baptista



Purificação do caldo para produção de açúcar e álcool



1 Introdução

2 Aspectos tecnológicos

3 Sulfo-defecação

4 Caleagem

4.1 Caleagem para produção de açúcar

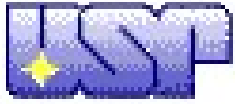
4.2 Caleagem para produção de etanol

5 Aquecimento

6 Decantação

7 Filtração

8 Considerações finais



PURIFICAÇÃO DO CALDO

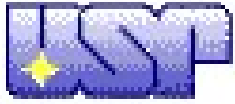


1. INTRODUÇÃO

- ✓ 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 QUE AFETAM O TEOR DE IMPUREZA NO CALDO**
- ✓ Variedade de cana;
- ✓ Condições climáticas no momento da colheita;
- ✓ Tipo de colheita e qualidade da operação de colheita;
- ✓ Tipo de solo que o canavial está instalado;
- ✓ Tempo entre a queima/colheita e o processamento;
- ✓ Sistema de extração do caldo utilizado pela usina.

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

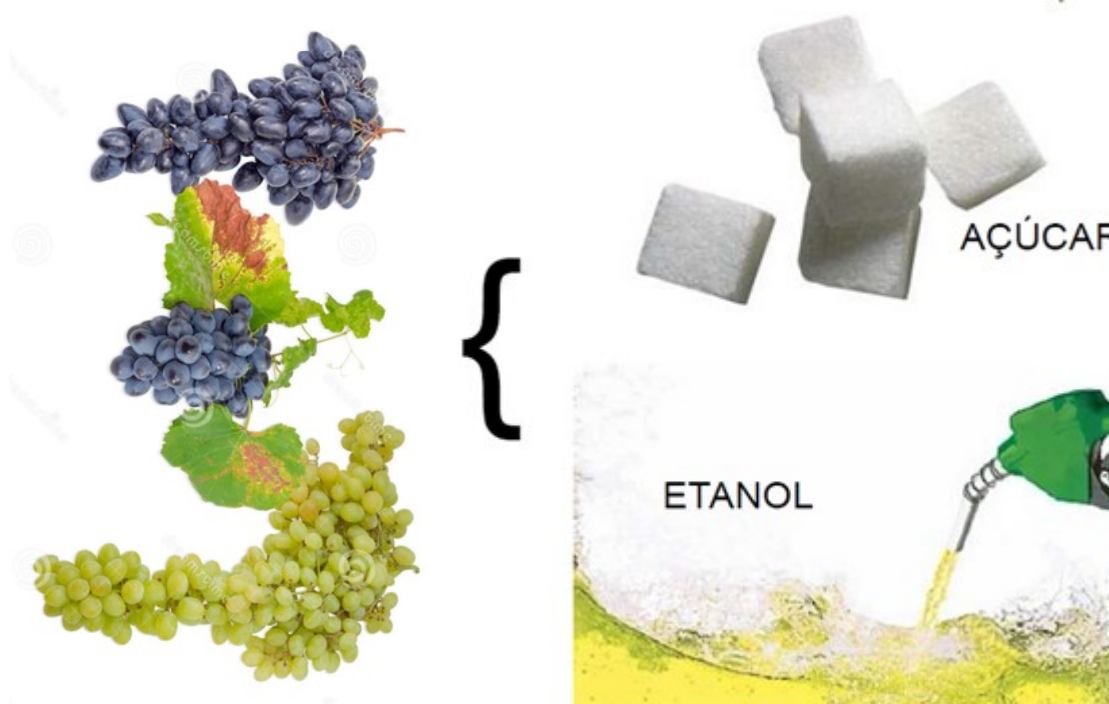


Purificação do caldo para produção de açúcar e álcool



1. INTRODUÇÃO

Nota: Os processos de purificação do caldo para produção de açúcar e para a produção de etanol apresentam especificações técnicas diferentes; relacionadas o pH do caldo para o tratamento e ao tempo de residência no decantador.





Purificação do caldo para produção de açúcar e álcool



1. INTRODUÇÃO

- ✓ Processo para a produção de açúcar bruto : VHP (very high polarization) ou VVHP (very very high polarization);



VHP



VVHP

Usam somente a caleagem

- ✓ Processo para a produção de açúcar cristal branco

Cristal Branco



Usa sulfitação e caleagem



Purificação do caldo para produção de açúcar e álcool



Objetivos do tratamento do caldo

- ✓ Remover impurezas em suspensão;
- ✓ Evitar a inversão de sacarose;
- ✓ Evitar a destruição de açúcares redutores (AR) – glicose e frutose;
- ✓ Máxima diminuição dos teores de não açúcares;
- ✓ Aumentar o coeficiente de pureza aparente;
- ✓ Produzir caldo límpido e transparente (baixa turbidez e mínima formação de cor);
- ✓ Volume mínimo de lodo;
- ✓ Teor mínimo de cálcio no caldo clarificado.



Purificação do caldo para produção de açúcar e álcool



a) PENEIRAGEM DO CALDO

- ✓ Tem como objetivo remover as impurezas grosseiras dispersas no caldo;

a) Quantidade de bagacilho

- 1) Variedade de cana;
- 2) Grau de preparo da cana;
- 3) Tipo de esteira intermediária;
- 4) Uso de solda na camisa da moenda.

b) Quantidade de impurezas minerais

- 1) Condições climáticas no momento da colheita;
- 2) Tipo e qualidade da operação de colheita adotado;
- 3) Tipo de solos do canavial;



Purificação do caldo para produção de açúcar e álcool



a) Tipos de peneiras utilizados

a) Peneiras fixas

- tipo CUSH-CUSH
- Tipo DSM

b) Peneiras fixas

- Vibratórias – malhas mais finas do que as peneiras fixas

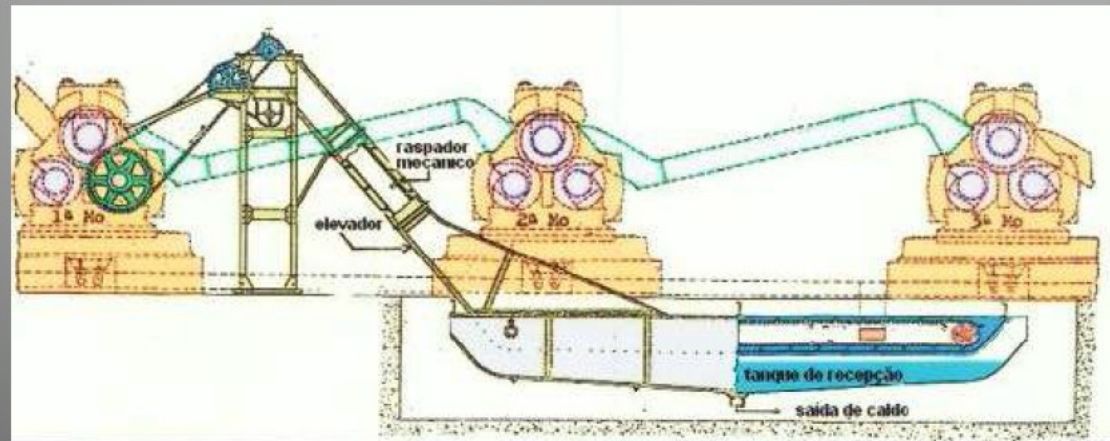
- c) **Peneiras rotativas** – menor áreas de exposição e menores problemas de contaminação.

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

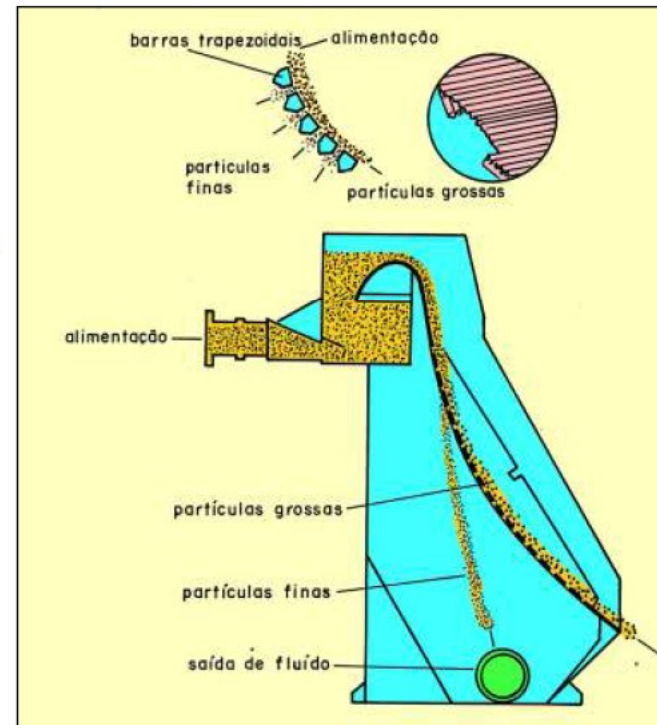
2 Aspectos tecnológicos



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.





Purificação do caldo para produção de açúcar e álcool



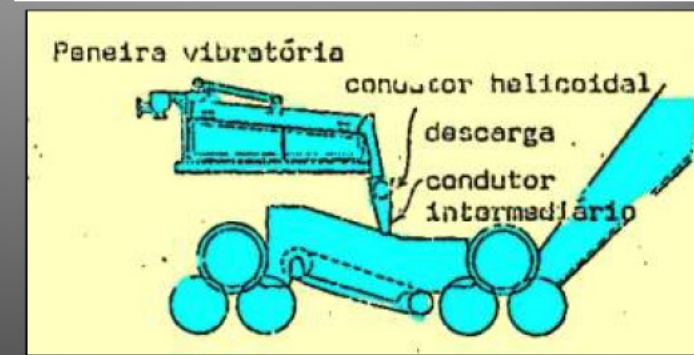
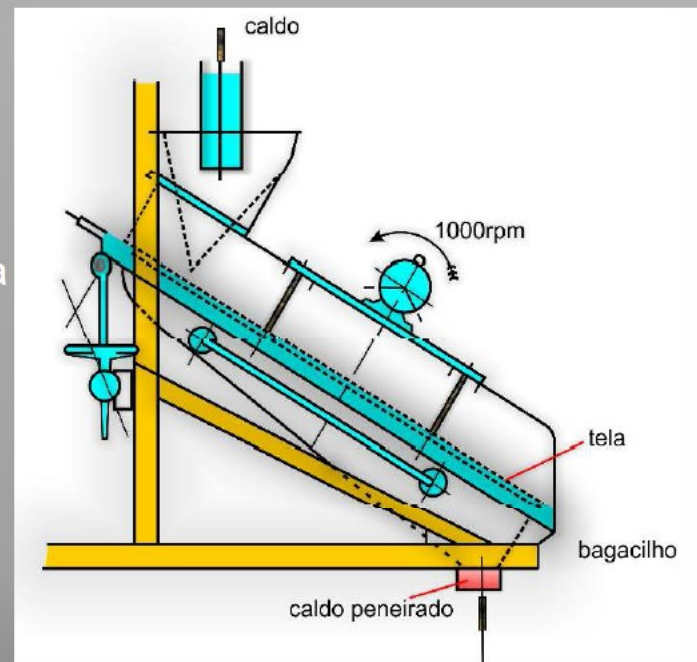
2 Aspectos tecnológicos



2 Aspectos tecnológicos

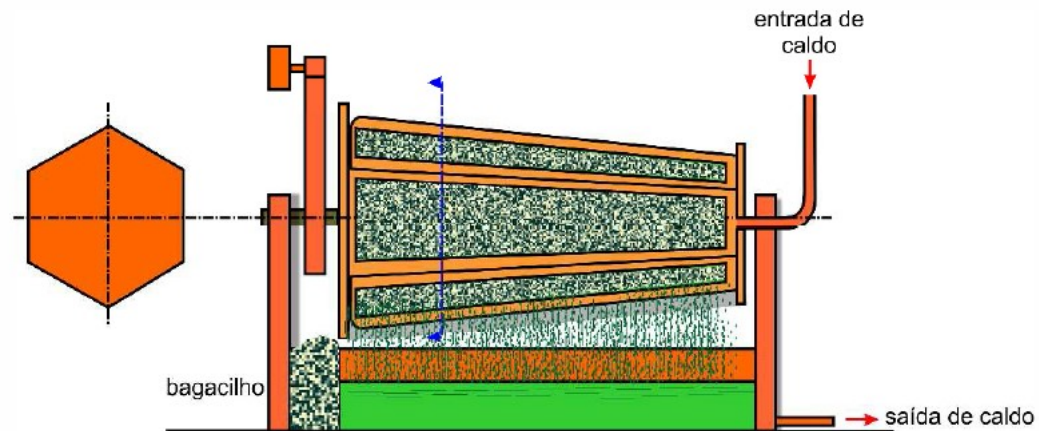
PENEIRAS VIBRATÓRIAS

- 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



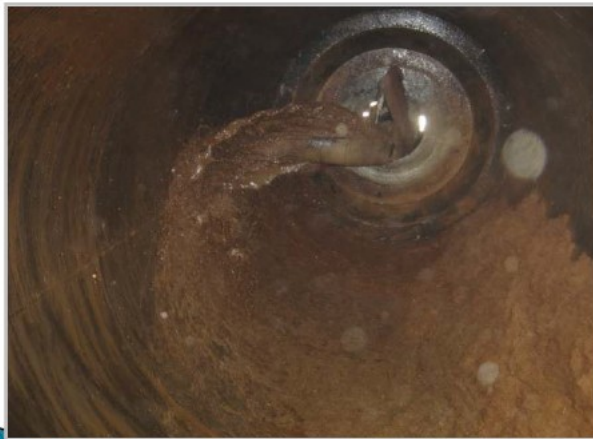
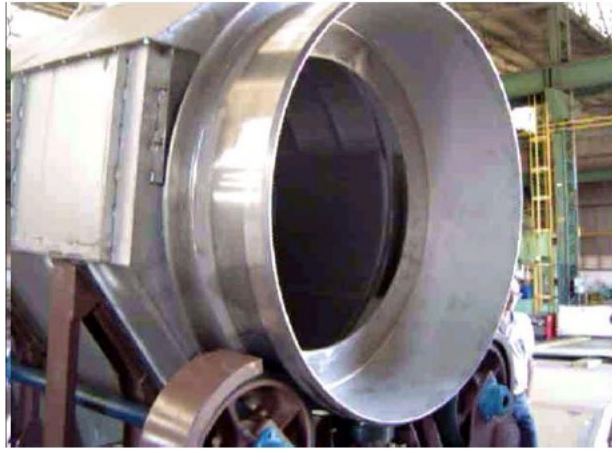
2 Aspectos tecnológicos PENEIRAS ROTATIVAS

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



Purificação do caldo para produção de açúcar e álcool



1) CLARIFICAÇÃO DO CALDO

- a) **Visa remover impurezas coloidais que não foram removidas pelas peneiras**

- b) **Os processos utilizados são:**
 - Sulfo-defecação
 - Caleagem

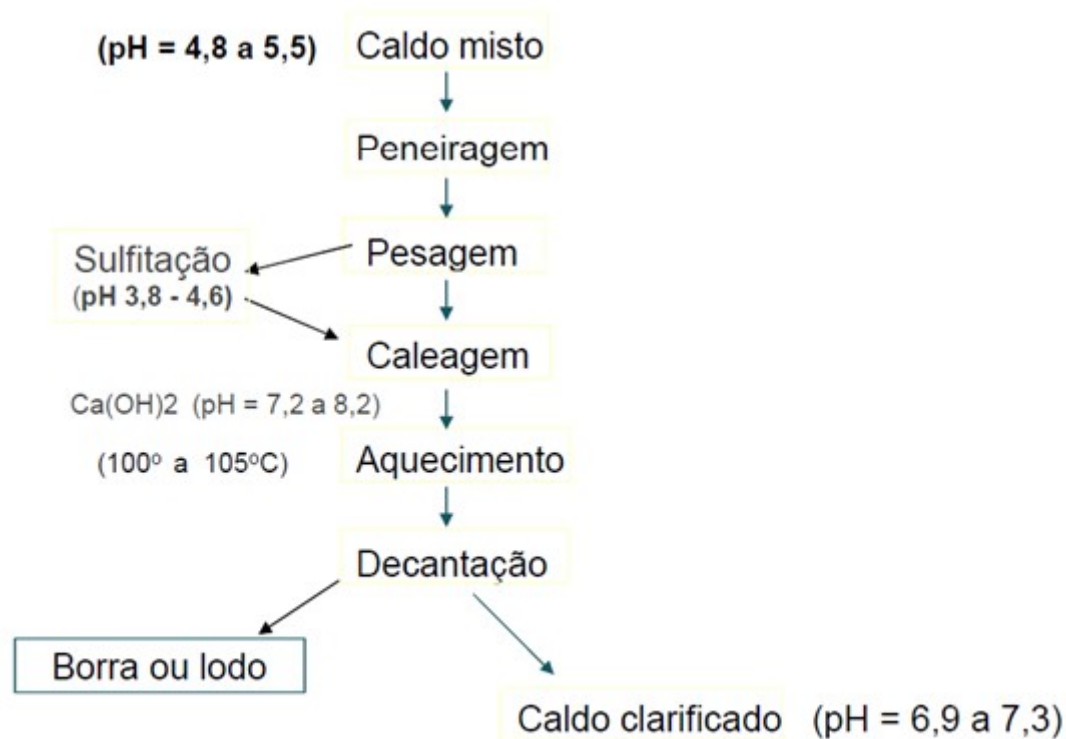


Purificação do caldo para produção de açúcar e álcool

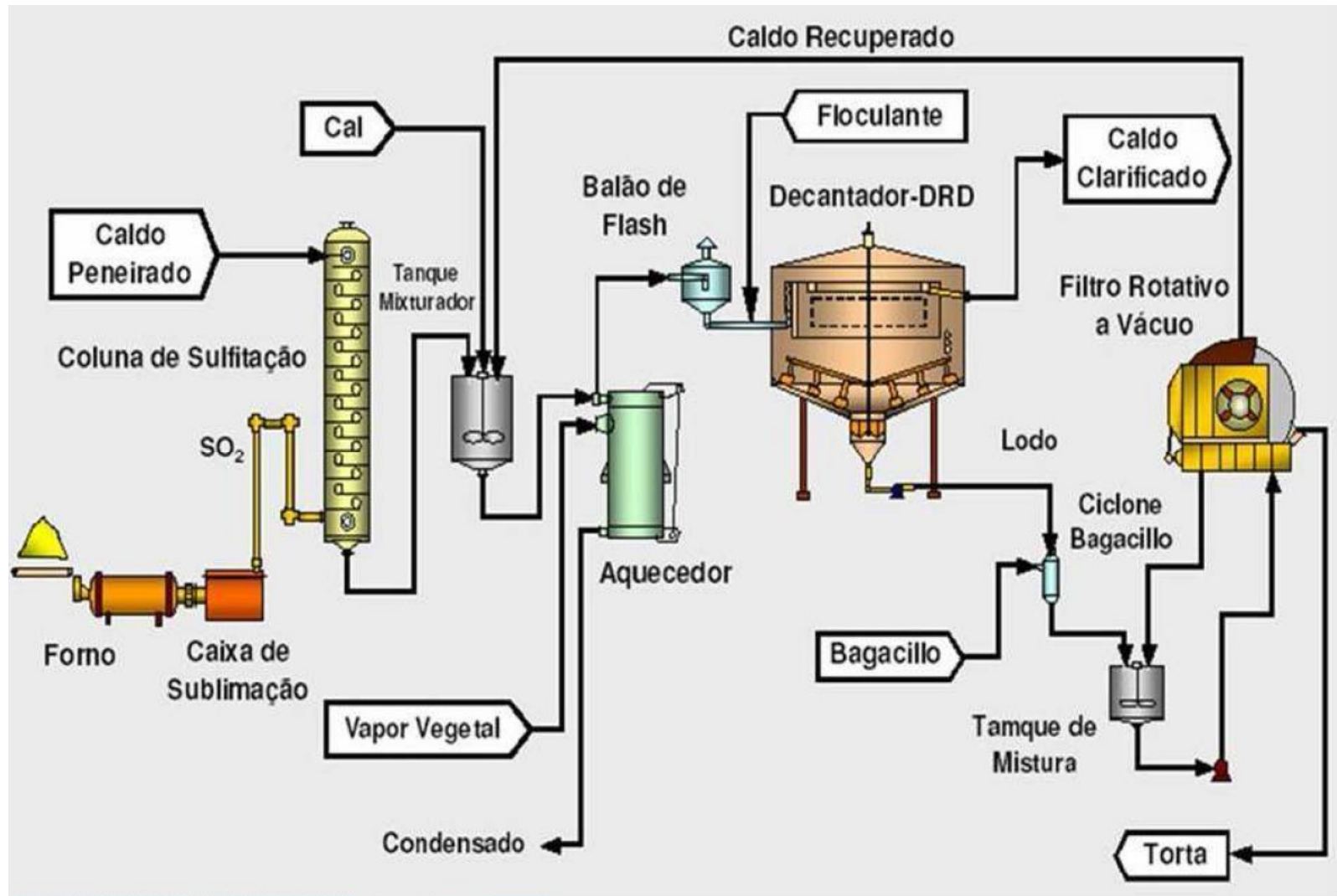


2 Aspectos tecnológicos

Esquemas Industriais de Clarificação



2 Aspectos tecnológicos



2 Aspectos tecnológicos

C.2. SULFO-DEFECAÇÃO DO CALDO

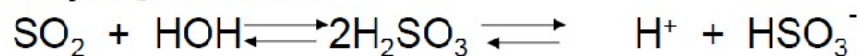
- ▶ Sistema de produção de açúcar branco
- ▶ Consiste - redução pH do caldo misto de 5,2-5,4 para 3,8 a 4,6..
- ▶ Adição de SO₂

AÇÕES DO ANIDRIDO SULFUROSO

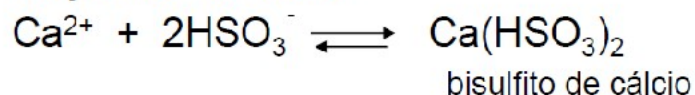
- ▶ purificante • descorante
- ▶ neutralizante • fluidificante
- ▶ inversiva • precipitativa

Ação precipitativa

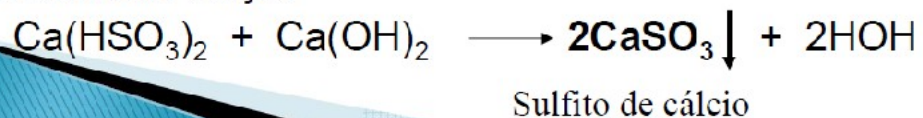
Adição gás sulfuroso



Adição do leite de cal



Continuando reação



2 Aspectos tecnológicos



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

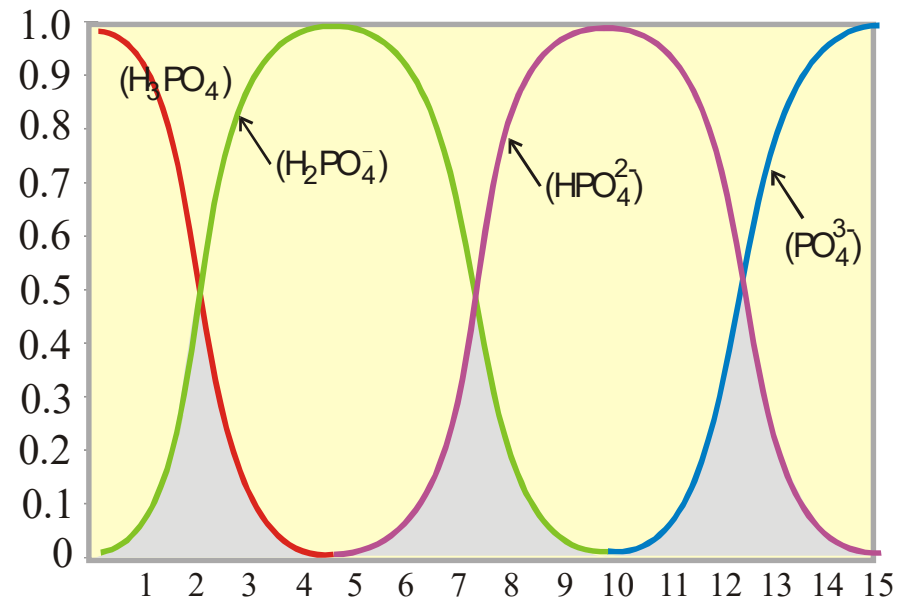
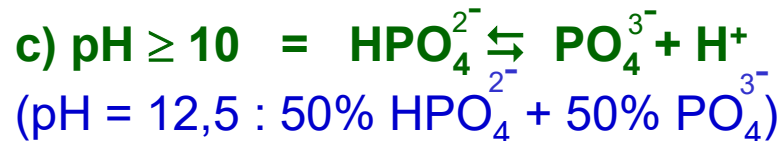
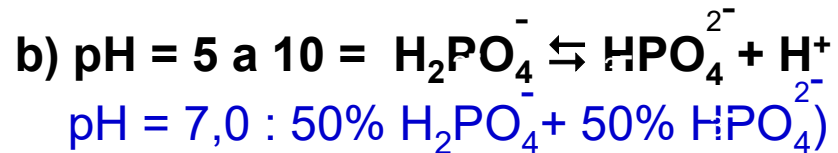
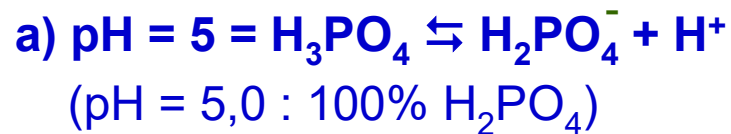


Purificação do caldo para produção de açúcar e álcool



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.



Purificação do caldo para produção de açúcar e álcool



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).



Purificação do caldo para produção de açúcar e álcool



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

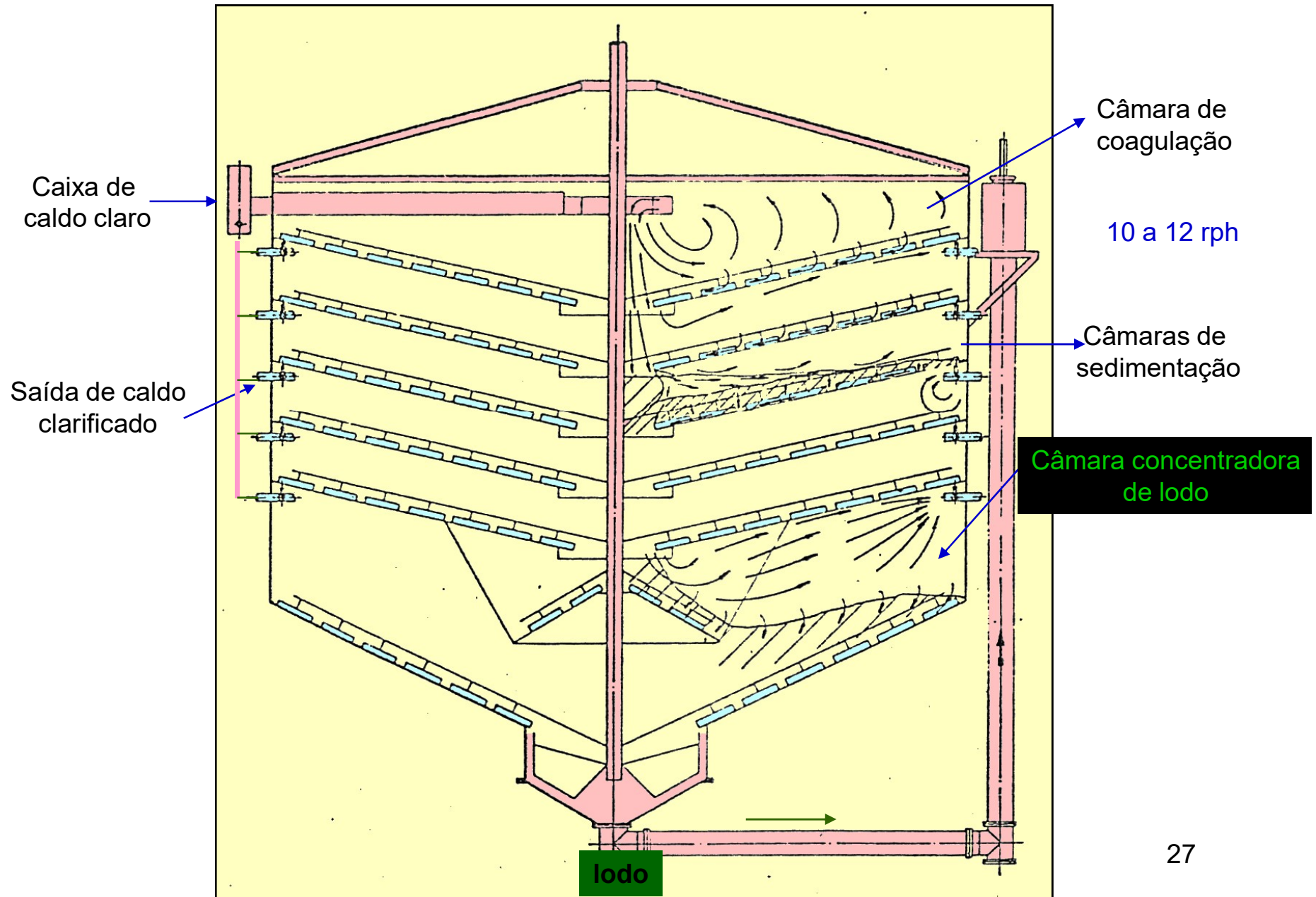
Aquecedor {

- 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)

Funcionamento





Purificação do caldo para produção de açúcar e álcool



Lei de Stokes - sedimentação depende

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

onde:

V_s = velocidade de sedimentação (cm/s)

D = diâmetro da partícula (cm)

d_1 = peso específico do sólido (g/cm^3)

d_2 = peso específico do líquido (g/cm^3)

μ = viscosidade do líquido (poise)

g = aceleração da gravidade (cm/s^2)

→ 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 PARA PRODUÇÃO DE AÇÚCAR

7.1.1 SISTEMA DE DECANTAÇÃO DE MÚLTIPLAS BANDEJAS

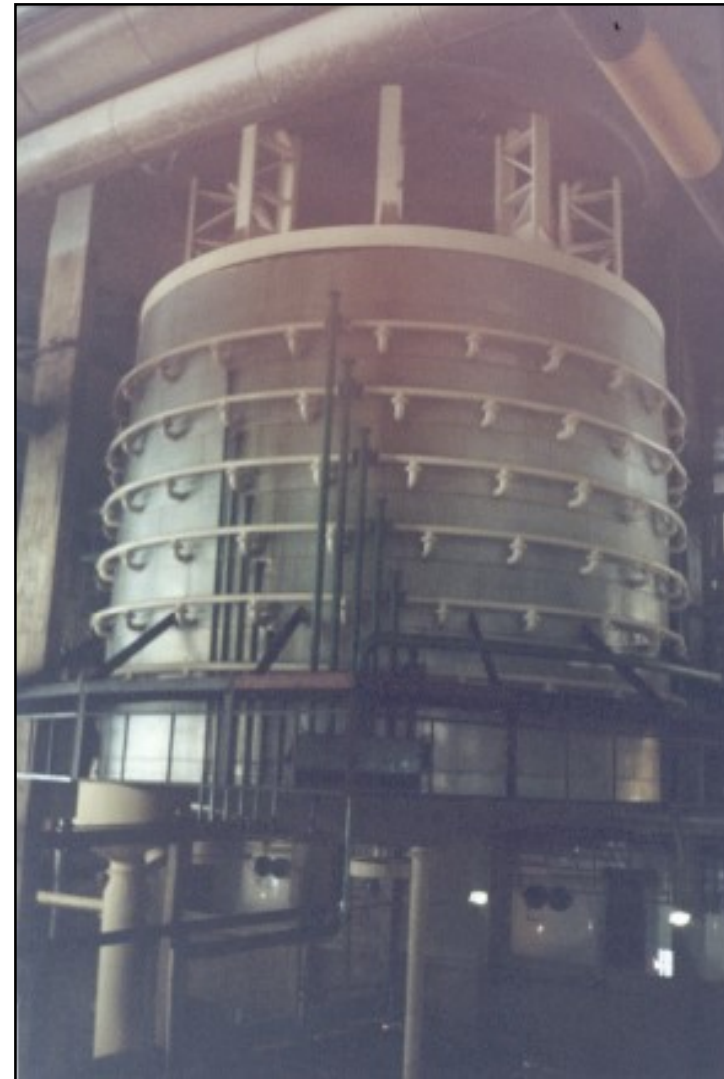
Constituição {
- balão de “flash”
- decantador
- caixa de lodo
- caixa de caldo decantado

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

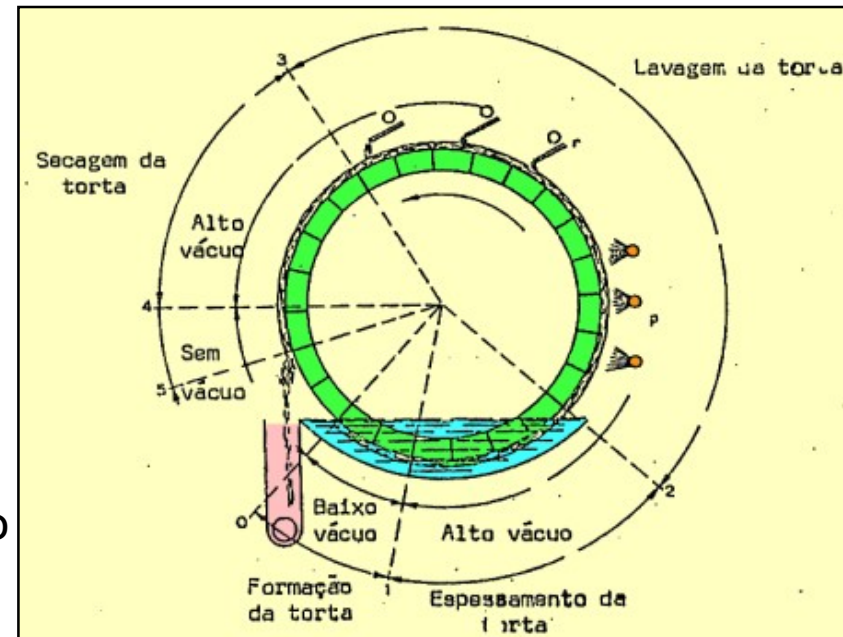
8. FILTRAÇÃO DAS BORRAS

- 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



Purificação do caldo para produção de açúcar e álcool



Filtro rotativo



Descarregamento do lodo em filtro de 13" x 32"



Purificação do caldo para produção de açúcar e álcool



Filtro tipo Prensa desaguadora



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

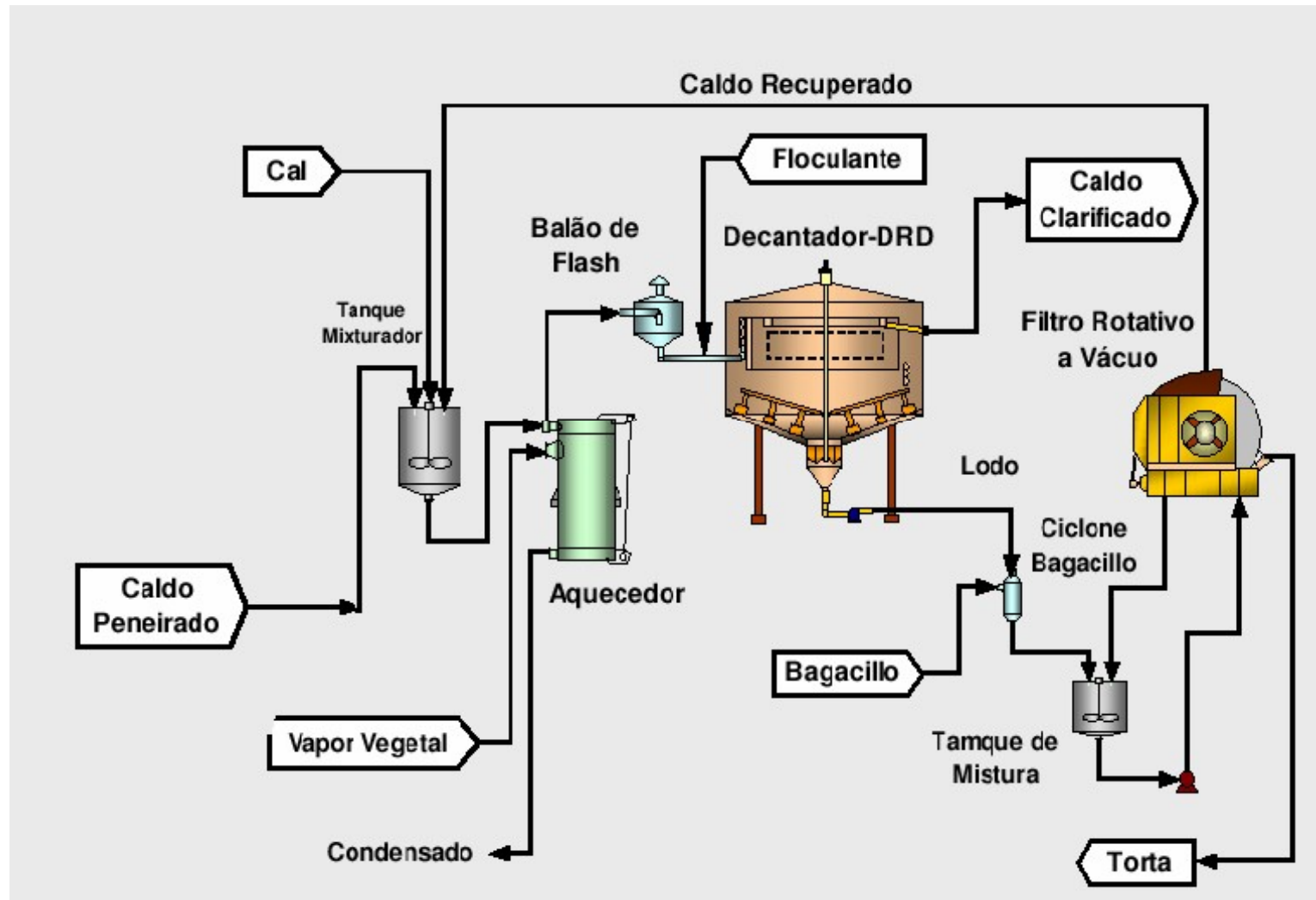


Figura a - Esquema do processo de purificação do caldo para a produção de etanol.



Purificação do caldo para a produção de etanol

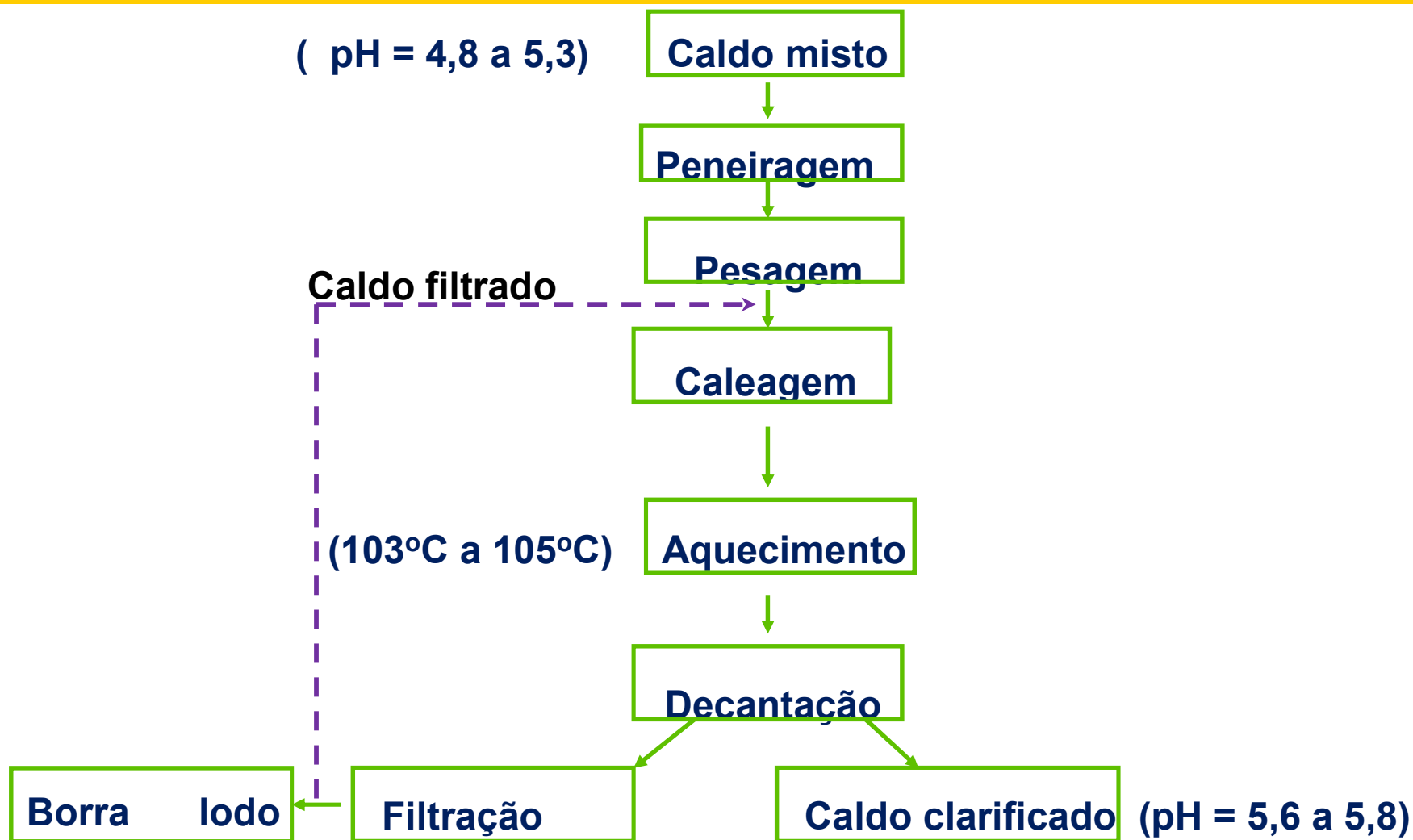
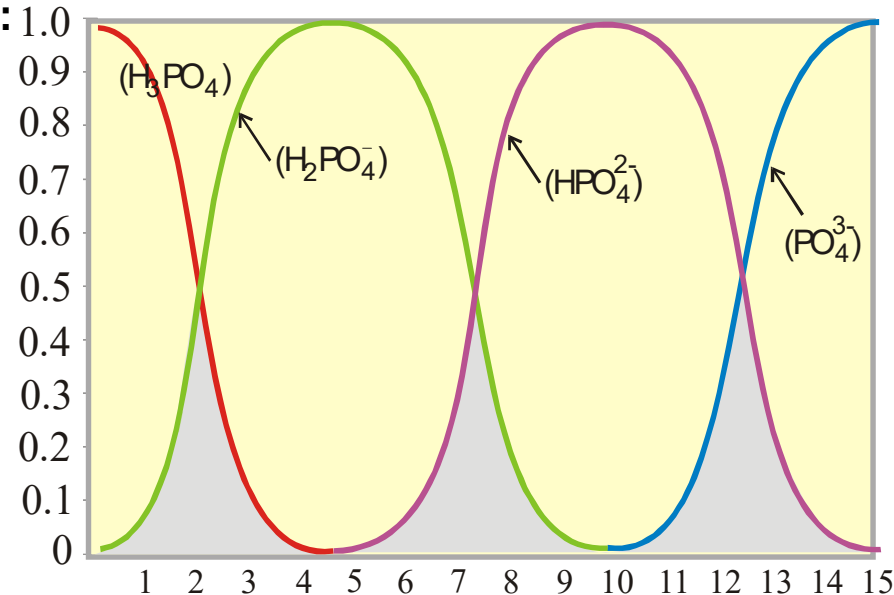
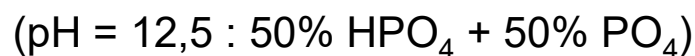
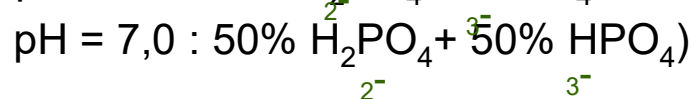
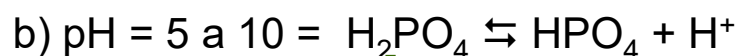
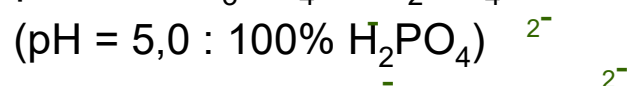


Figura b - Fluxograma do processo de purificação do caldo para a produção de etanol.

2. COMPORTAMENTO DOS FOSFATOS EM FUNÇÃO DO pH:

Fases de dissociação química de fosfato:



Para produção de etanol = pH 5,6 – 5,8 equilíbrio entre fosfato mono e biácidos

Para açúcar branco = pH 7,0 – 7,2 equilíbrio entre fosfato mono e biácidos

Para açúcar bruto = pH 7,5 a 8,0 maior quantidade de fosfato monoácido



Purificação do caldo e Preparo do mosto para a produção de etanol



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/cm^3)

d_2 = peso específico do líquido (g/cm^3)

μ = viscosidade do líquido (poise)

g = aceleração da gravidade (cm/s^2)

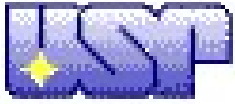
→ Velocidade no interior do aparelho - características:

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

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

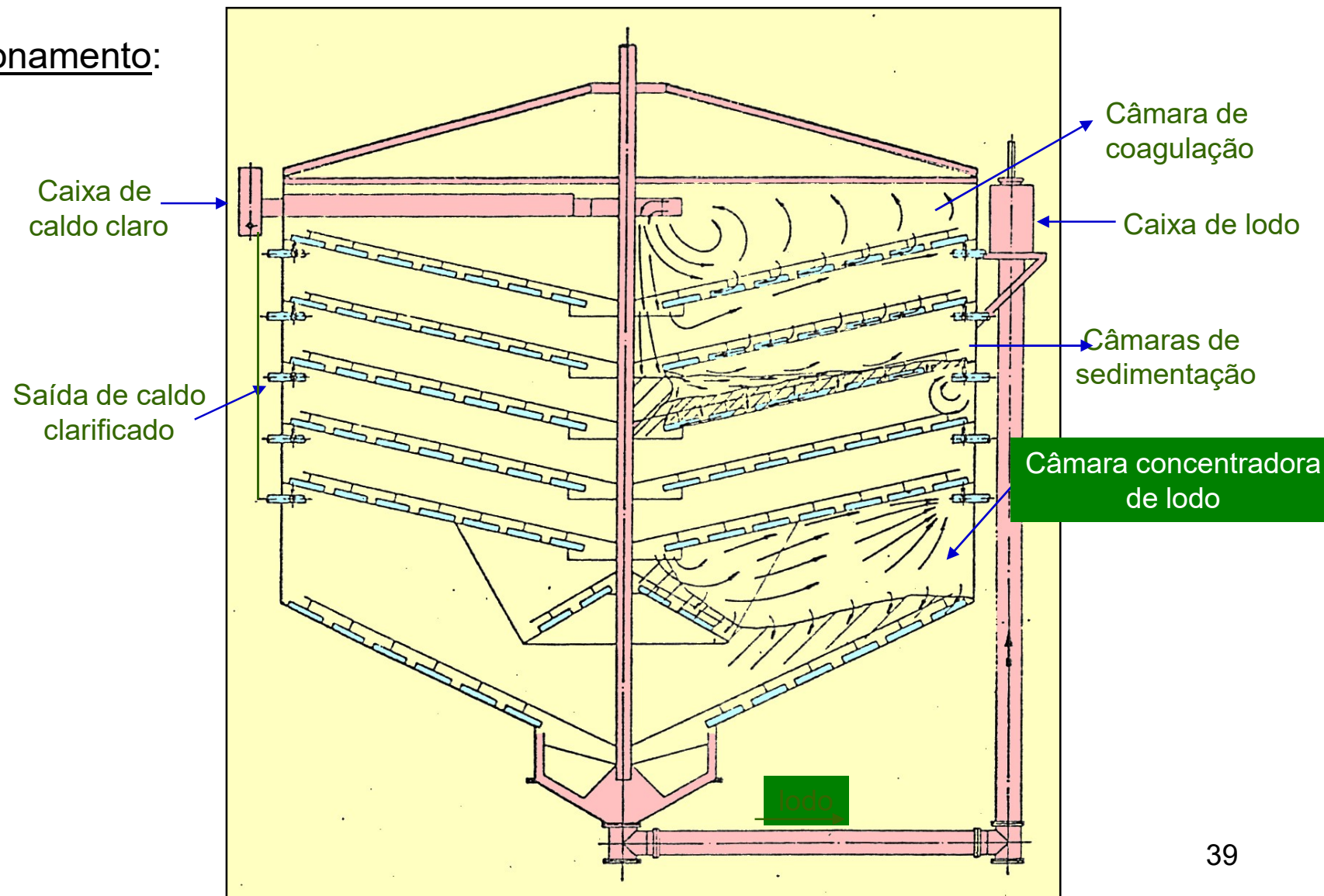
$v = 12$ a 15 cm/h, principiam as irregularidades na decantação, mas possível;

$v > 15$ cm/h, turbulento



Purificação do caldo e Preparo do mosto para a produção de etanol

Funcionamento:





Purificação do caldo para produção de açúcar e álcool



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;



Purificação do caldo para produção de açúcar e álcool



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;
- ✓ Com a clarificação do caldo tem-se menor desgastes de equipamentos e melhor operacionalidade na condução da evaporação do caldo;



Purificação do caldo para produção de açúcar e álcool



11 CONSIDERAÇÕES FINAIS

- ✓ 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;
- ✓ No processo de caleagem para produção de etanol trabalha-se com pH do caldo menor do que na produção de açúcar;
- ✓ Na clarificação para produção de etanol o tempo de decantação também é menor do que para a produção de açúcar.



Purificação do caldo para produção de açúcar e álcool



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.