



Universidade de São Paulo – USP

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



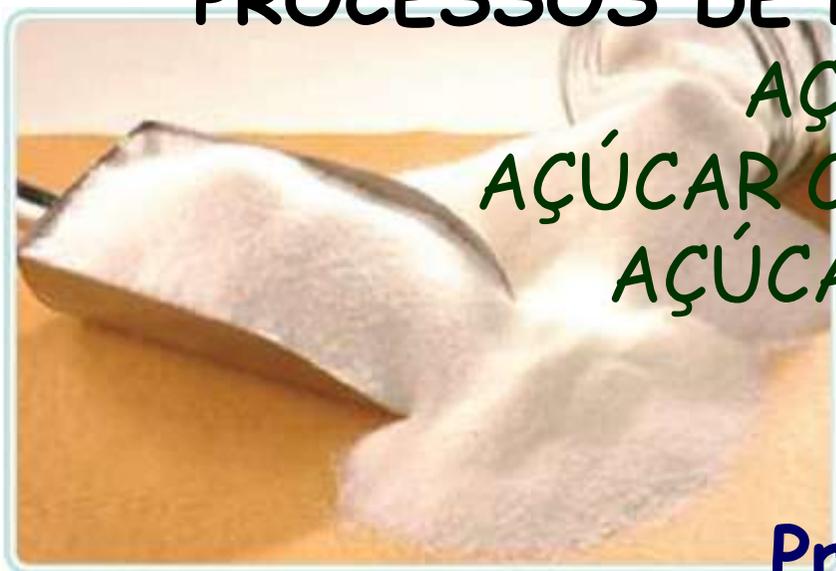
LAN 0300 – AÇÚCAR, FERMENTAÇÕES E BEBIDAS

PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE AÇÚCAR:

AÇÚCAR VHP

AÇÚCAR CRISTAL BRANCO

AÇÚCAR REFINADO



Prof. Antonio Sampaio Baptista



PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE AÇÚCAR



CLARIFICAÇÃO DO CALDO PARA PRODUÇÃO DE AÇÚCAR



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.



Processo de purificação do caldo para produção de açúcar

- ✓ Produção de açúcar bruto – VHP

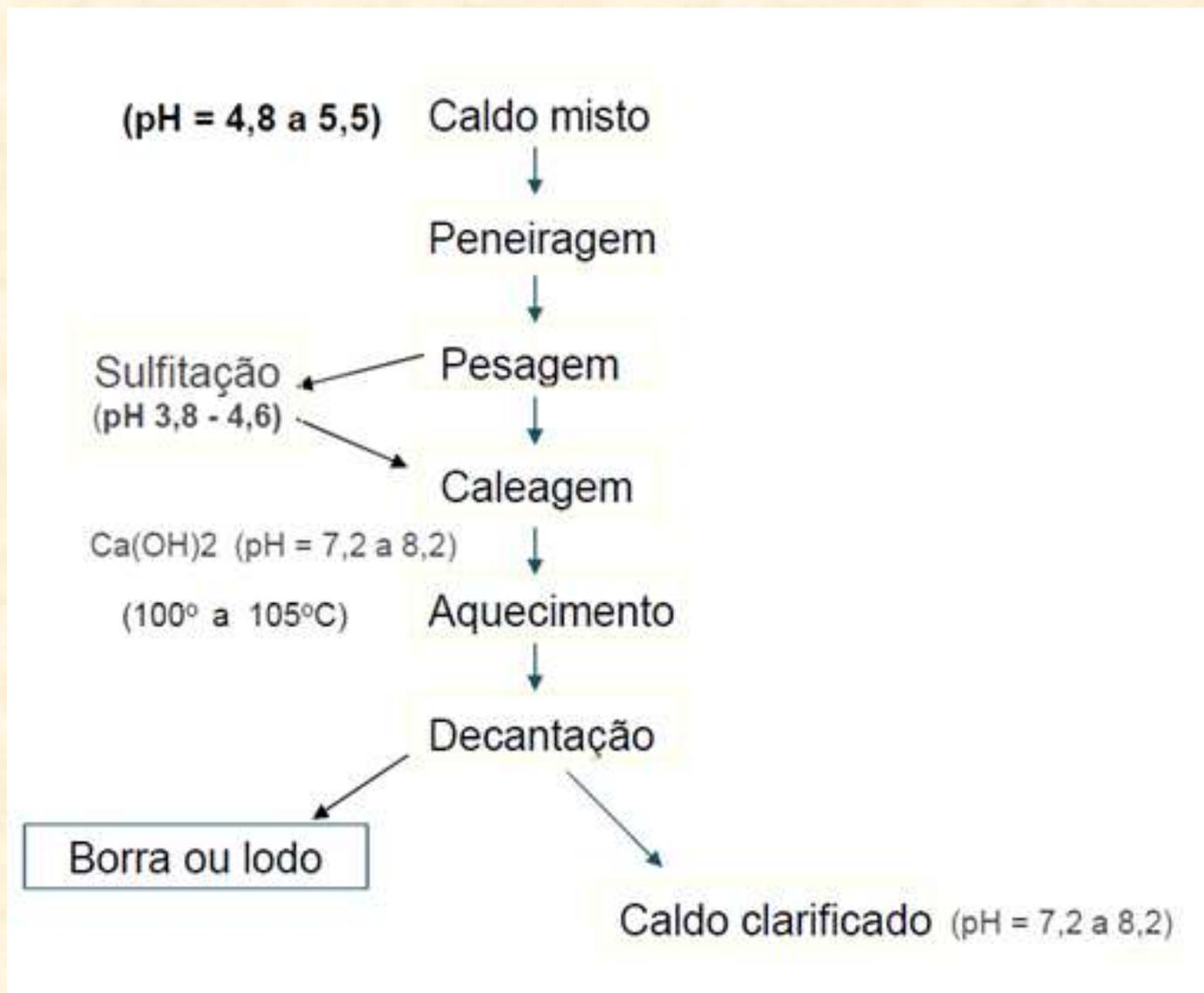


- ✓ Produção de açúcar cristal branco





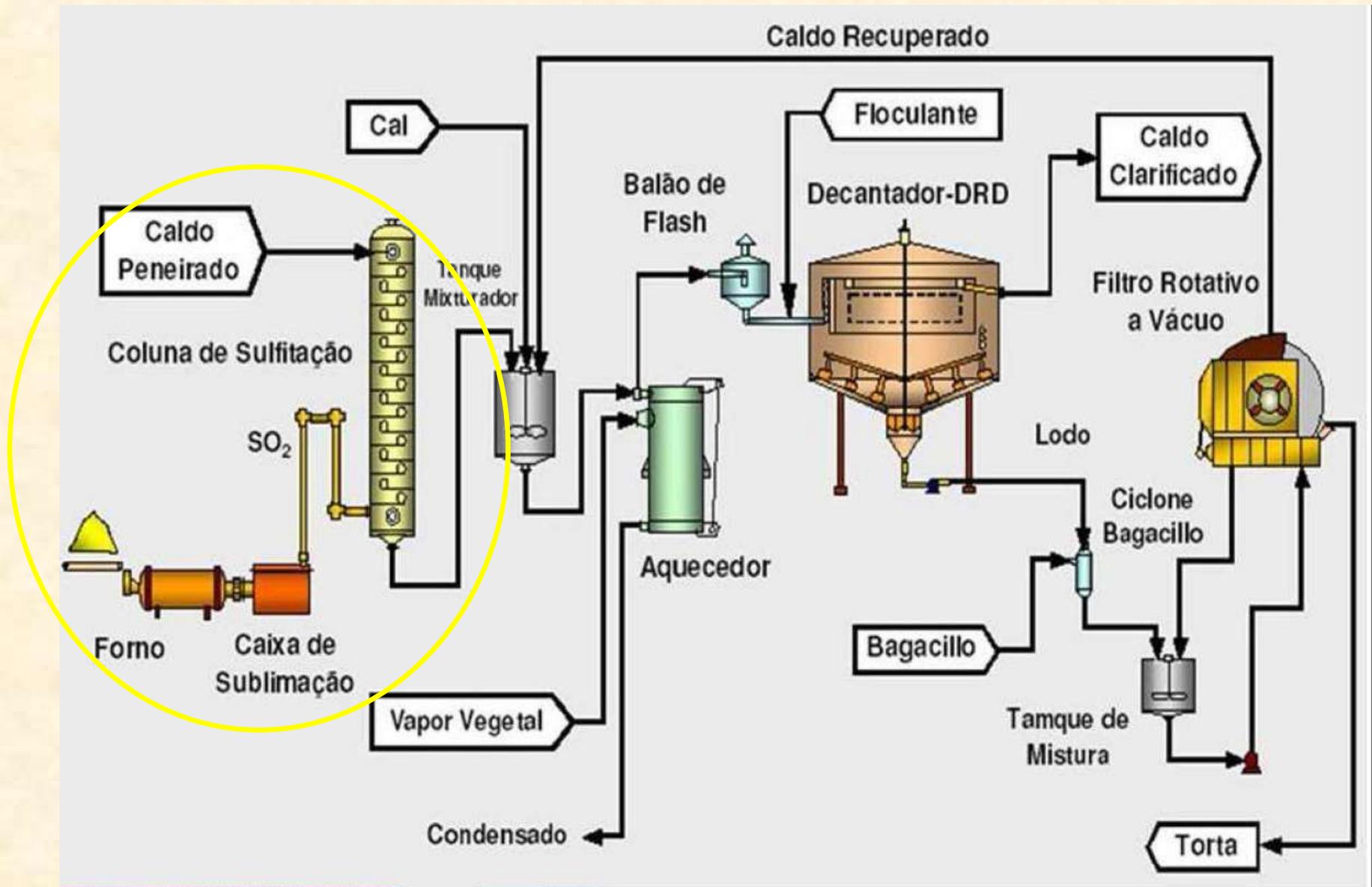
CLARIFICAÇÃO DO CALDO PARA PRODUÇÃO DE AÇÚCAR CRISTAL BRANCO



Esquema da clarificação do caldo para produção de açúcar Cristal Branco



CLARIFICAÇÃO DO CALDO PARA PRODUÇÃO DE AÇÚCAR CRISTAL BRANCO





CLARIFICAÇÃO DO CALDO PARA PRODUÇÃO DE AÇÚCAR CRISTAL BRANCO



18 Sulfitação

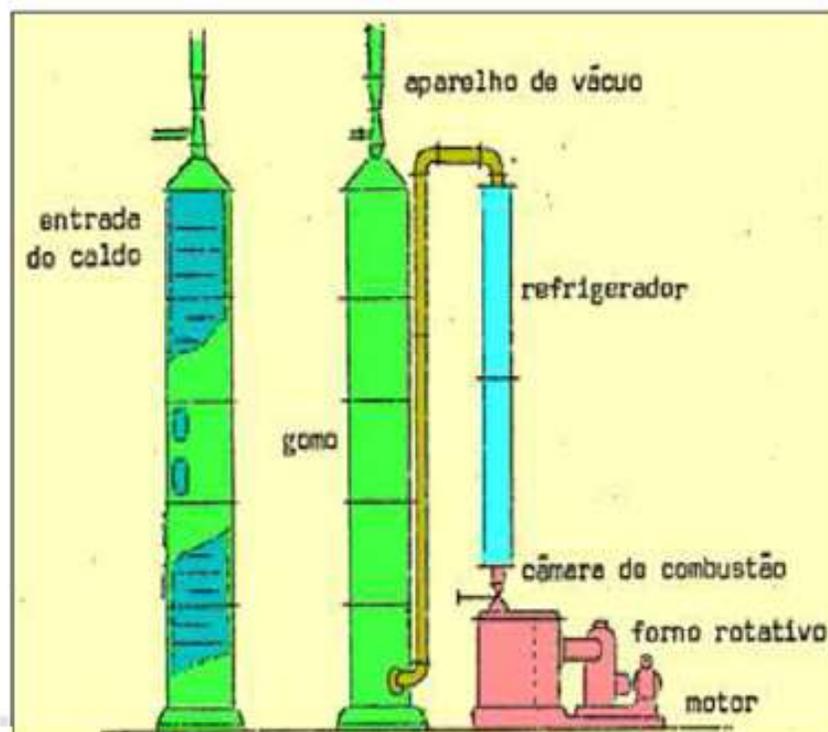
- ✓ O processo consiste na passagem do caldo misto peneirado por uma coluna de formato cilíndrico com as extremidades tronco-cônicas, onde recebe o gás SO_2 em contra-corrente, conferindo-lhe o pH variável entre 3,8 a 4,3.
- ✓ O anidrido sulfuroso exerce diversas funções sobre o caldo: ação purificante, descorante dada pelo abaixamento do pH, neutralizante, fluidificante, preservativa, precipitativa e inversiva se desejável.

2 Sulfitação

SISTEMAS DE ADIÇÃO DO GÁS (SO₂)

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

▶ a) COLUNA DE SULFITAÇÃO



2 Sulfitação



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



PURIFICAÇÃO DO CALDO



2 Sulfitação

AÇÕES DO ANIDRIDO SULFUROSO

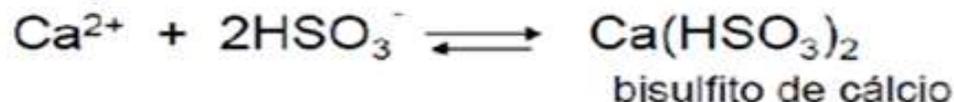
- ▶ purificante
- ▶ neutralizante
- ▶ inversiva
- descorante
- fluidificante
- precipitativa

Ação precipitativa

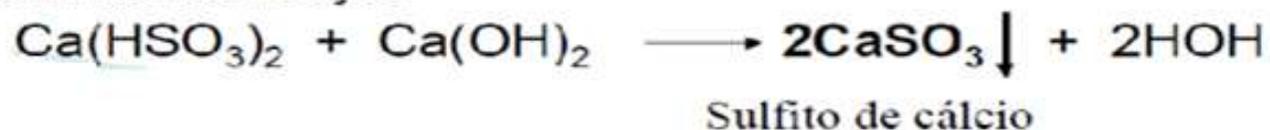
Adição gás sulfuroso



Adição do leite de cal



Continuando reação





CLARIFICAÇÃO DO CALDO PARA PRODUÇÃO DE AÇÚCAR CRISTAL BRANCO

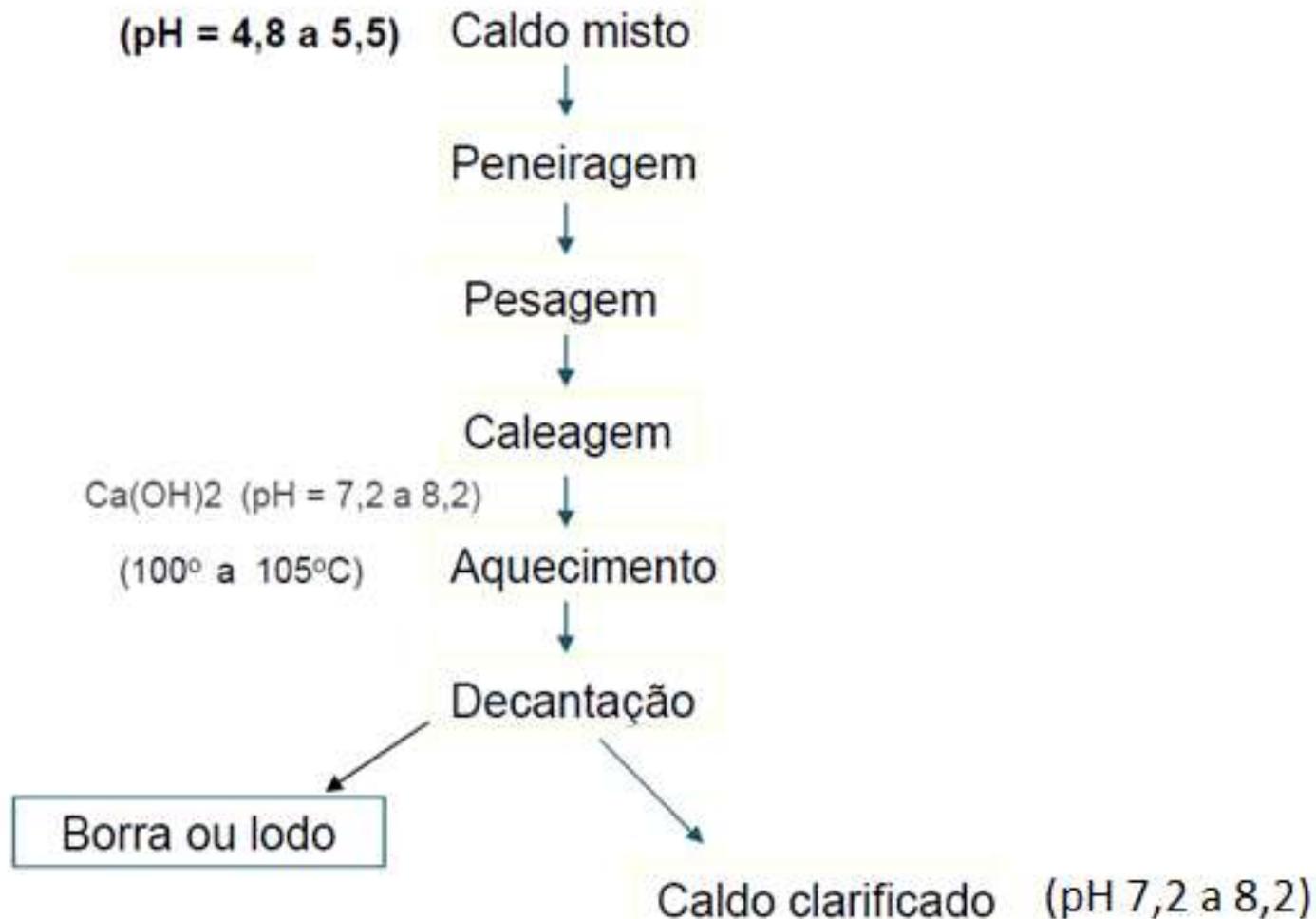


19 Caleagem

O processo consiste em se adicionar ao caldo extraído pelas moendas e sulfitado, cujo pH varia de 3,8 a 4,3 , o leite de cal - solução de hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2) obtida pela hidratação da cal virgem (CaO) em água - até obtenção de pH entre 7,2 a 8,2, atingindo o ponto isoelétrico das proteínas, fazendo com que elas floculem. Os íons Ca^{2+} formam ligações com as cargas negativas dos colóides, auxiliando a agregação destes em flocos.



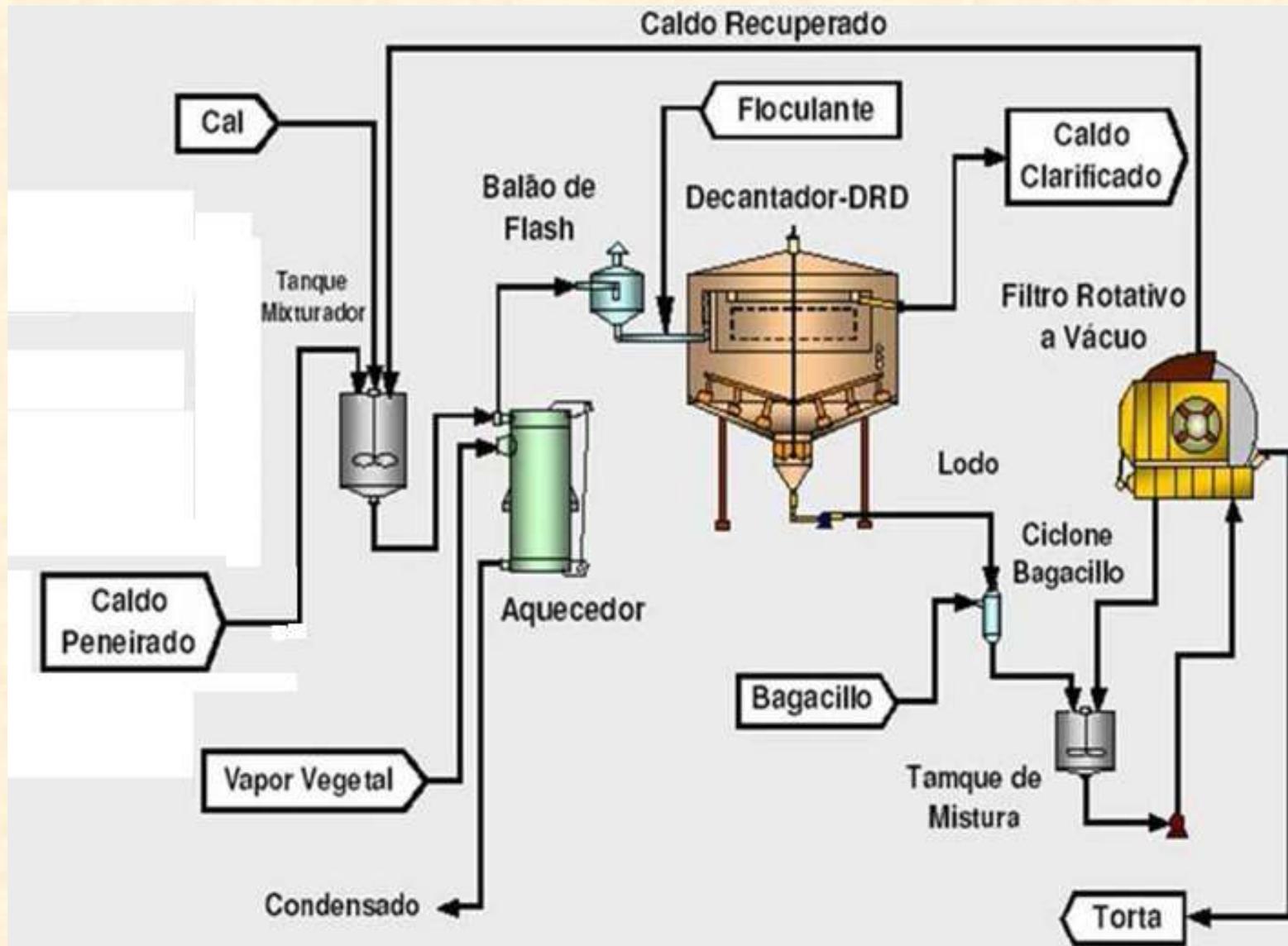
CLARIFICAÇÃO DO CALDO PARA PRODUÇÃO DE AÇÚCAR VHP



Esquema da clarificação do caldo para produção de açúcar VHP



CLARIFICAÇÃO DO CALDO PARA PRODUÇÃO DE AÇÚCAR VHP



Esquema da clarificação do caldo para produção de açúcar VHP



CLARIFICAÇÃO DO CALDO PARA PRODUÇÃO DE AÇÚCAR VHP



19 Caleagem

O processo consiste em se adicionar ao caldo extraído pelas moendas, cujo pH varia de 4,8 a 5,3, o leite de cal - solução de hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2) obtida pela hidratação da cal virgem (CaO) em água - até obtenção de pH entre 7,2 a 8,2, atingindo o ponto isoelétrico das proteínas, fazendo com que elas floculem. Os íons Ca^{2+} formam ligações com as cargas negativas dos colóides, auxiliando a agregação destes em flocos.



PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE AÇÚCAR



20 Aquecimento

A operação de aquecimento consiste em se elevar a temperatura do caldo por volta de $103-105^{\circ}\text{C}$, a fim de que a floculação dos seus colóides se processe com maior rapidez dada pelo aumento do movimento browniano das partículas coloidais, e eficiência, uma vez que o calor é fator complementar da operação de clarificação do caldo.



PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE AÇÚCAR



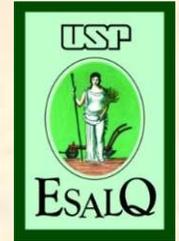
21 Decantação para produção de açúcar

A decantação é um estágio do processo que objetiva separar do caldo a maior quantidade permissível das impurezas em solução ou mesmo em suspensão.

Na fabricação do açúcar a decantação ocorre na mesma temperatura da decantação para a produção de álcool (103 a 105 °C). Contudo, o pH do caldo é maior 7,2 a 8,2 e o tempo de decantação pode variar de 2 a 6 h. Há maior remoção de colóides e elementos presentes no caldo.



PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE AÇÚCAR



22 Filtração

A operação de filtração visa recuperar o caldo arrastado com as borras ou lodo, o qual tem considerável teor de sacarose (cerca de 2% da sacarose da cana moída).

Esta operação é feita em filtros rotativos à vácuo.

O caldo extraído do lodo retorna ao processo de clarificação, devido à sua maior contaminação. O lodo filtrado, denominado de torta de filtro, consiste num adubo orgânico que é enviado à lavoura.



PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE AÇÚCAR



23 Evaporação

A evaporação do caldo visa retirar a maior quantidade de água possível do caldo. Normalmente, o caldo entra no evaporador com 13 °Brix e sai com 55 a 65 °Brix. Esta etapa é realizada em equipamentos denominados evaporadores de múltiplos-efeitos. Após passar por tal etapa do caldo concentrado recebe o nome de xarope (55 a 65 °Brix).



PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE AÇÚCAR



24 Cozimento

Esta etapa é realizada em evaporadores simples. Com a concentração do xarope de 50 a 65 °Brix até a saturação da massa cozida (80 a 95 °Brix - depende do equipamento). Com essa concentração começa ocorrer a deposição e a formação dos cristais de açúcar.



PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE AÇÚCAR



25 Cristalização

Após a operação de cozimento chegar ao seu final, a massa cozida é descarregada em equipamentos conhecidos, por cristalizadores.

A massa cozida, descarregada nos cristalizadores, pode ser mantida nesses equipamentos por um período variável de 6 a 72 horas e, em muitos casos, segue-se quase imediatamente para as turbinas, onde se dá a separação dos cristais.

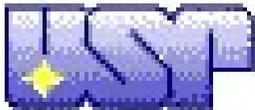


PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE AÇÚCAR

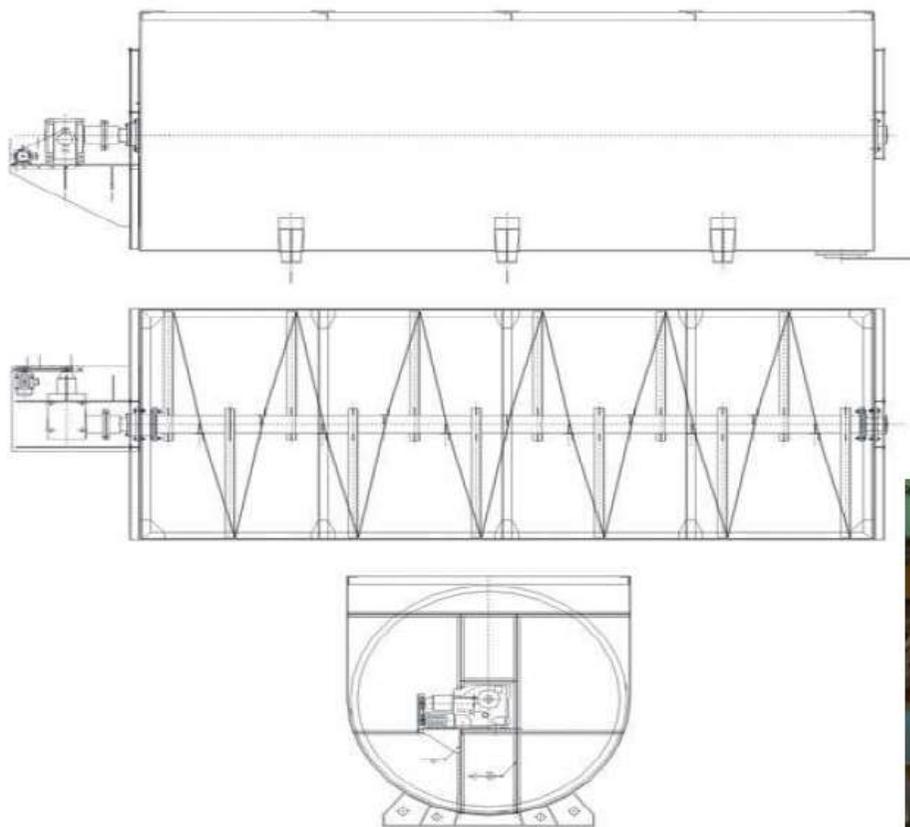


Cristalização





Cristalização





PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE AÇÚCAR



26 Centrifugação

A separação dos cristais da massa cozida é feita pela ação da força centrífuga em centrífugas de tipos variáveis - fluxo intermitente e fluxo contínuo - em função da natureza da massa cozida.

As centrífugas açucareiras constam essencialmente de cesto perfurado suspenso por um eixo ligado a um motor elétrico, que propicia rotações de 1200-2600 rpm.



PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE AÇÚCAR



Centrifugação

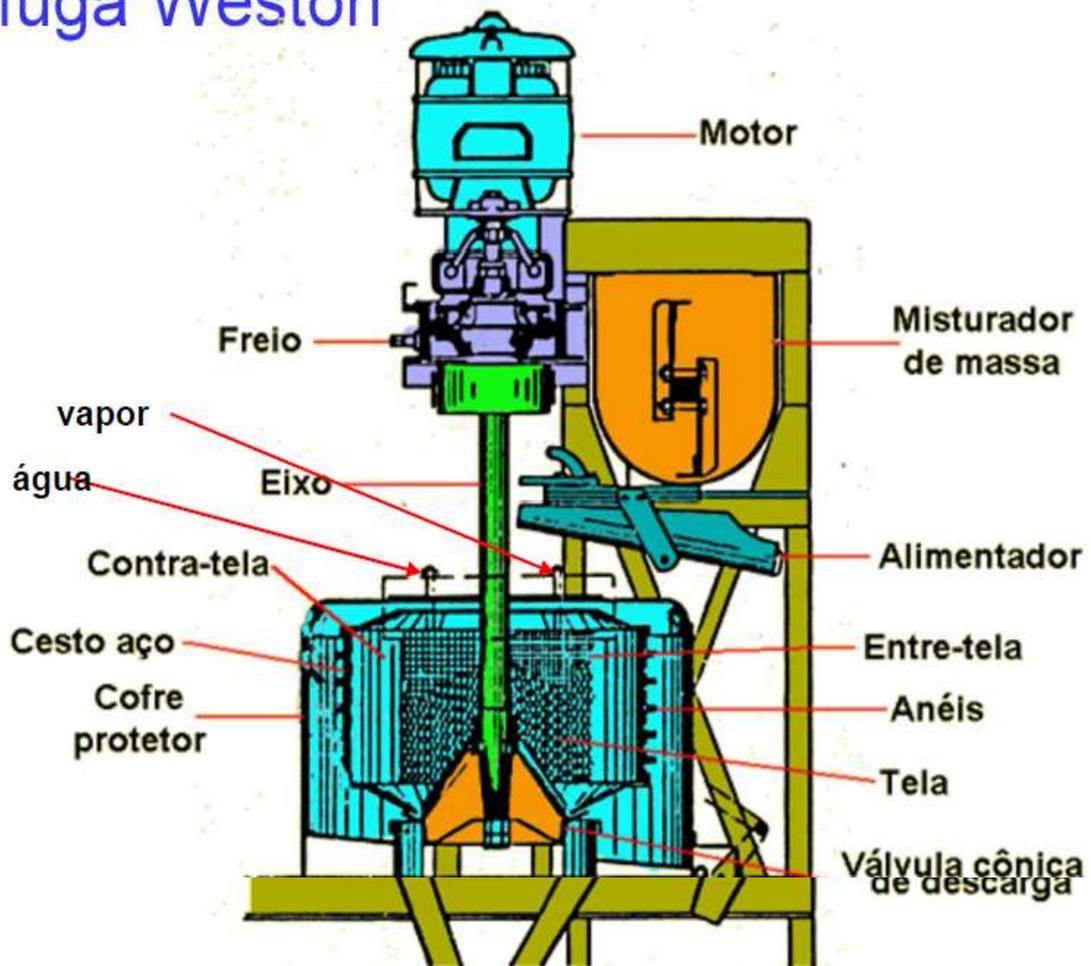


b) Centrífuga

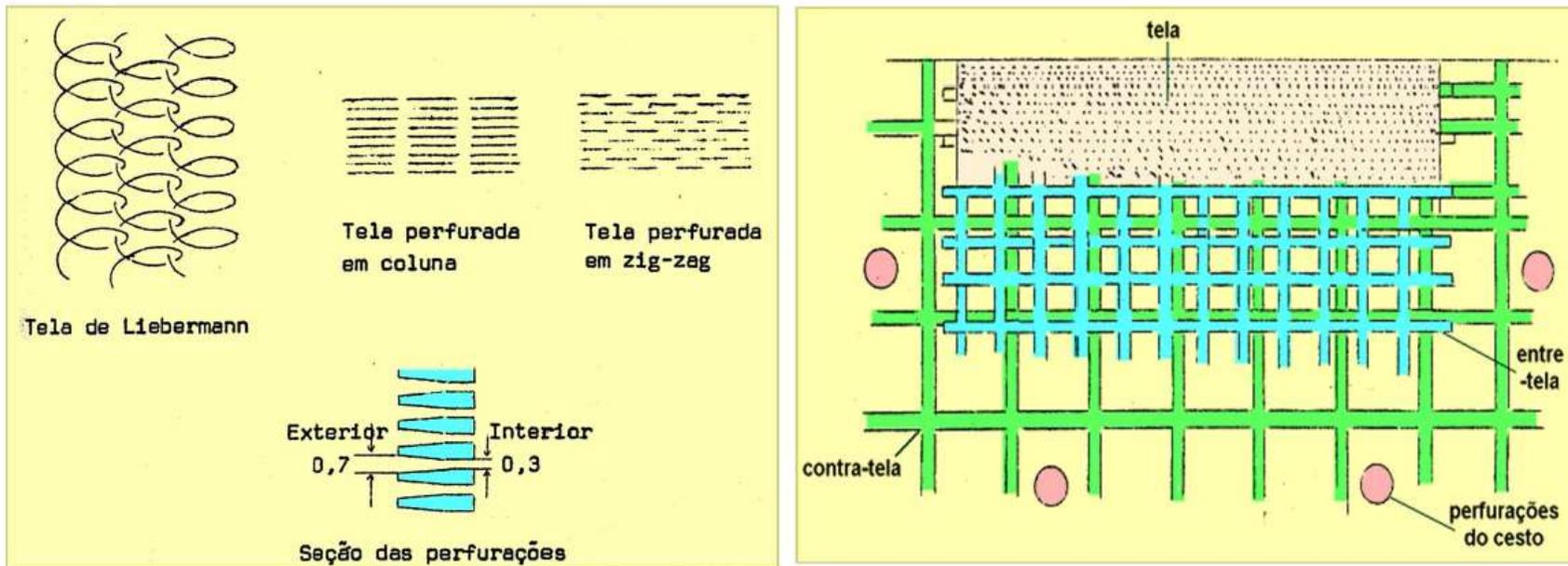
Constituição
equipamento

{
 mecânico
 pneumático
 elétrico

Descrição: centrífuga Weston

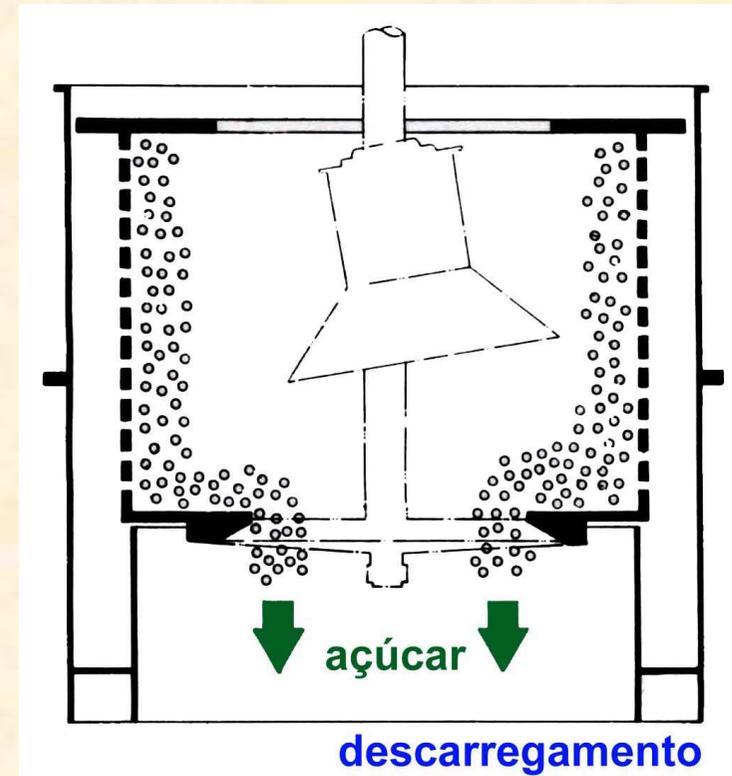
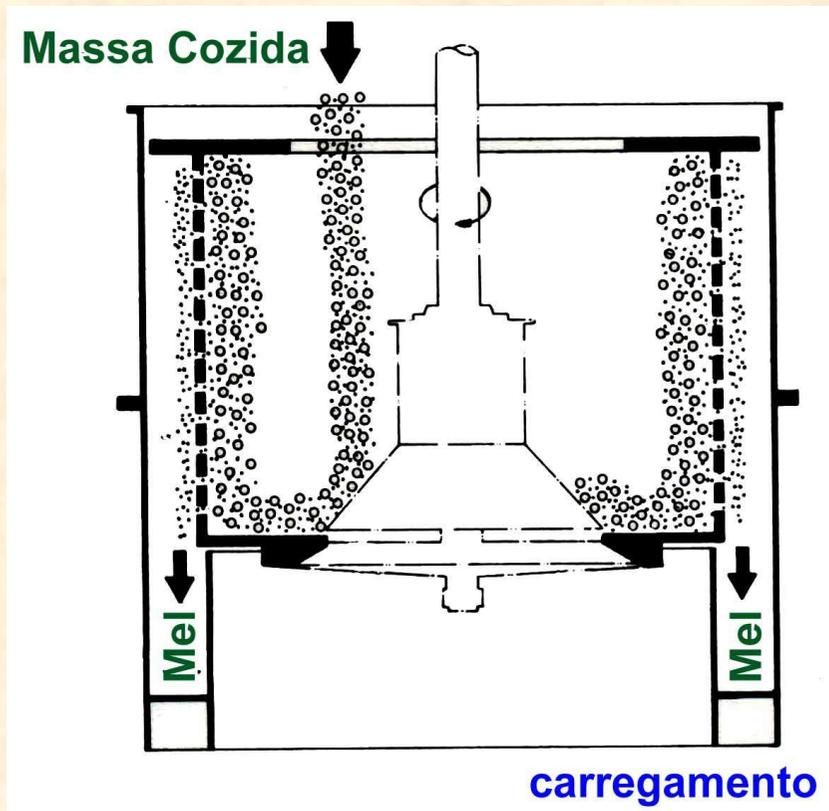


Detalhe das telas:



- Tela {
- arame trançado em espiral - topo fixo bem menor
 - chapa perfurada {
 - o circular
 - o retangular

Ilustração da operação de centrifugação





PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE AÇÚCAR



27 Secagem

O açúcar que deixa as centrífugas encerra um alto teor de umidade, entre 0,5 a 2,0% , e está a uma temperatura relativamente elevada, entre 56-60° C - deste modo não se apresenta em boas condições para ser ensacado e armazenado. Portanto é necessário que se faça uma prévia secagem e resfriamento.

O teor de umidade permissível para preservar a qualidade do açúcar, depende de sua polarização. No caso do açúcar branco, deve-se reduzir a umidade dentro de uma faixa de 0,04 a 0,07%.



Secagem do Açúcar



Açúcar centrífuga – umidade (0,5 - 2,0%)
– temperatura (50-60°C)
Secagem e resfriamento

{ Sem condição de ensacamento e armazenamento

FATORES NA QUALIDADE DO AÇÚCAR

Açúcar cristal permanece por longo período de tempo.

- ❖ POL/Umidade; —————> Determina o potencial de resistência ou não à ação de m.o.
- ❖ Temperatura; —————> Influencia a % de decomposição e susceptibilidade ao empedramento.
- ❖ Umidade relativa. —————> Influencia a decomposição e susceptibilidade ao empedramento.



Secagem do Açúcar



TIPOS DE SECADORES DE AÇÚCAR

Classificação
(tipos) { Horizontais
Verticais

(A) SECADORES HORIZONTAIS

Partes (secadores)

- a) tambor rotativo inclinado gira sobre mancais. Duas partes { secagem
resfriamento
- b) exaustor
- c) separador de pó

Açúcar bruto

Umidade relativa = 0,5-2,0%

↓ Secador

Umidade relativa = 0,1-0,2%

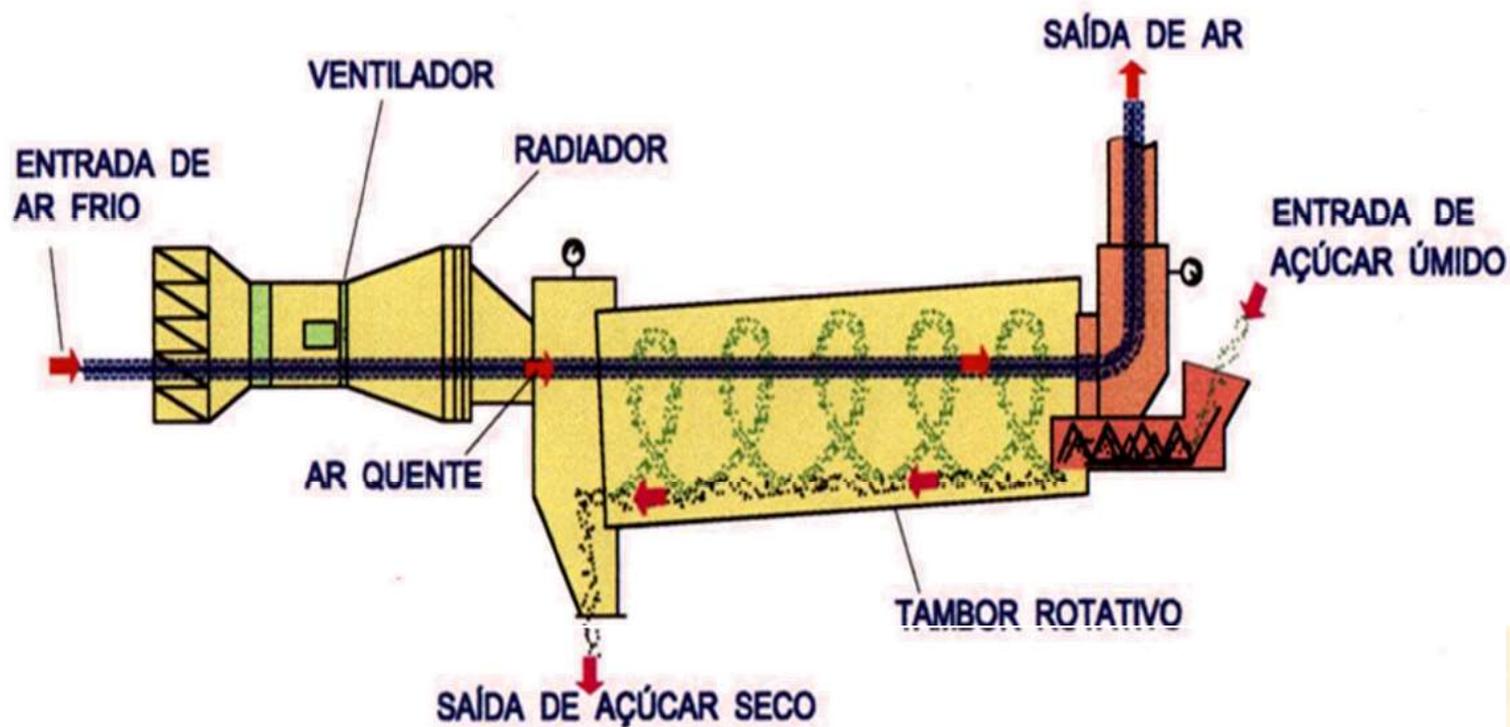
Açúcar branco

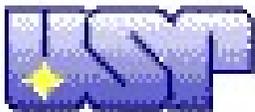
Umidade relativa = 0,5-2,0%

↓ Secador

Umidade relativa = 0,04-0,07%

SECADOR HORIZONTAL DE AÇÚCAR





Armazenamento do Açúcar



ESTOCAGEM DO AÇÚCAR

Armazenamento {
saco
a granel

CONDIÇÕES DE ARMAZENAGEM

- não permite desenvolvimento de microrganismo (deterioração microbiológica, modificação físico-químicas) → {
bactérias
fungos
leveduras
- deterioração depende composição impurezas
teor de umidade
- Umidade relativa de Equilíbrio (URE)
- Umidade ambiente - 65% equilíbrio (não perde e nem absorve umidade)



Armazém de açúcar



Armazenamento do Açúcar



CUIDADOS GERAIS NO ARMAZENAMENTO DO AÇÚCAR (A GRANEL/ ENSACADO):

- ❖ Vedação do piso, parede e teto;
- ❖ Cobertura (teto) com material com bom coeficiente isolante térmico e elevado índice de reflexão;
- ❖ Circulação de ar: portas fechadas. $URe \sim 65\%$ (Sacas: inclinação de 20°);
- ❖ As pilhas de açúcar devem ser feitas sobre estrados de madeira, papel betumado ou lona plástica;



Armazenamento do Açúcar



CUIDADOS GERAIS NO ARMAZENAMENTO DO AÇÚCAR (A GRANEL/ ENSACADO):

- ❖ As pilhas devem ser compactas e o mais próximas possíveis (diminuir a superfície de exposição em relação ao volume);
- ❖ Pilhas devem ser cobertas com material betumado ou lona plástica;
- ❖ A granel: ângulo de talude 33-36° quando seco, açúcar úmido até 53°.



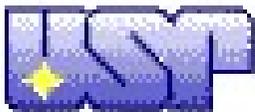
Armazenamento do Açúcar





Armazenamento do Açúcar





Armazenamento do Açúcar



EMPEDRAMENTO DO AÇÚCAR

Depende umidade, temperatura de ensacamento e condições de tempo de armazenamento.

Temperatura do açúcar $< 43^{\circ}\text{C}$
Umidade Atmosférica $\sim 65\%$

AGLOMERAÇÃO E DISSOLUÇÃO DE CRISTAIS

Umidade Açúcar
na superfície

em função

UR do ambiente

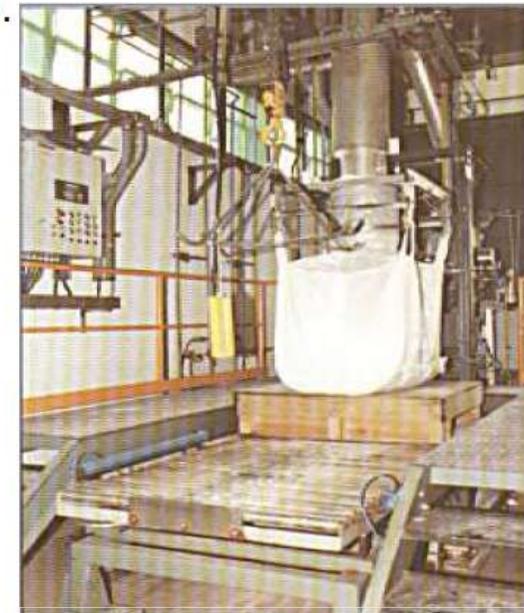
PESAGEM DO AÇÚCAR

controle do açúcar seco em armazenamento
(granel)

3 depósitos (balanças)

- ✓ **superior:** recebe o açúcar;
- ✓ **intermediário:** faz a pesagem;
- ✓ **inferior:** recebe o açúcar pesado e alimenta o sistema de transporte.

balanças automáticas ou comuns
(até 200kg)



ENSACAMENTO DO AÇÚCAR

Manejo e acondicionamento
de açúcar

Tendências:

- A granel
- Containers ou big-bag (900 a 1200kg)
- Sacos (50kg)



Armazenamento do Açúcar





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;
- ✓ A operação de sulfitação é a principal diferença do processo de purificação do caldo para a produção de açúcar cristal branco quando comparado com o processo de purificação do caldo para produção de açúcar VHP.



11 CONSIDERAÇÕES FINAIS



- ✓ O processo de concentração do caldo para a produção de açúcar é realizado em duas etapas. A primeira é chamada de evaporação e é realizada em evaporadores de múltiplos-efeitos. A segunda etapa é denominada cozimento e é realizada em evaporador de simples efeito, também conhecido como cozedor ou vácuo;



Considerações finais



As principais operações finais do processo de produção de açúcar são: cristalização, centrifugação, secagem e armazenamento;

Os principais tipos de açúcares produzidos no Brasil são açúcar cristal branco, açúcar VVHP, Açúcar VHP e açúcar refinado (amorfo ou cristalizado);

As principais diferenças na composição dos açúcares cristal branco, açúcar VVHP, Açúcar VHP e açúcar refinado (amorfo ou cristalizado) são a cor ICUMSA, o teor de sacarose e as quantidades de impurezas.



Referências



- <http://www.apta.sp.gov.br/cana/workshops.php>. Acesso em 12/03/2010
- http://www.techpetersen.com.br/video_limpeza_seco.php
- 2 - RIBEIRO, C., BLUMER, S., HORII. **Fundamentos de tecnologia sucroalcooleira: tecnologia do açúcar.** Piracicaba: ESALQ/Depto de Agroindústria, Alimentos e Nutrição, V.2, 1999. 66p.
- 3 - 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.
- 4 - DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A. **Cana-de-açúcar.** Campinas: Instituto Agrônomo, 2008. 882 p.