

Faculdade de Teologia e Ciências

# Unidade I - Fabricação de Açúcar: Preparação e Extração

## 1. Introdução

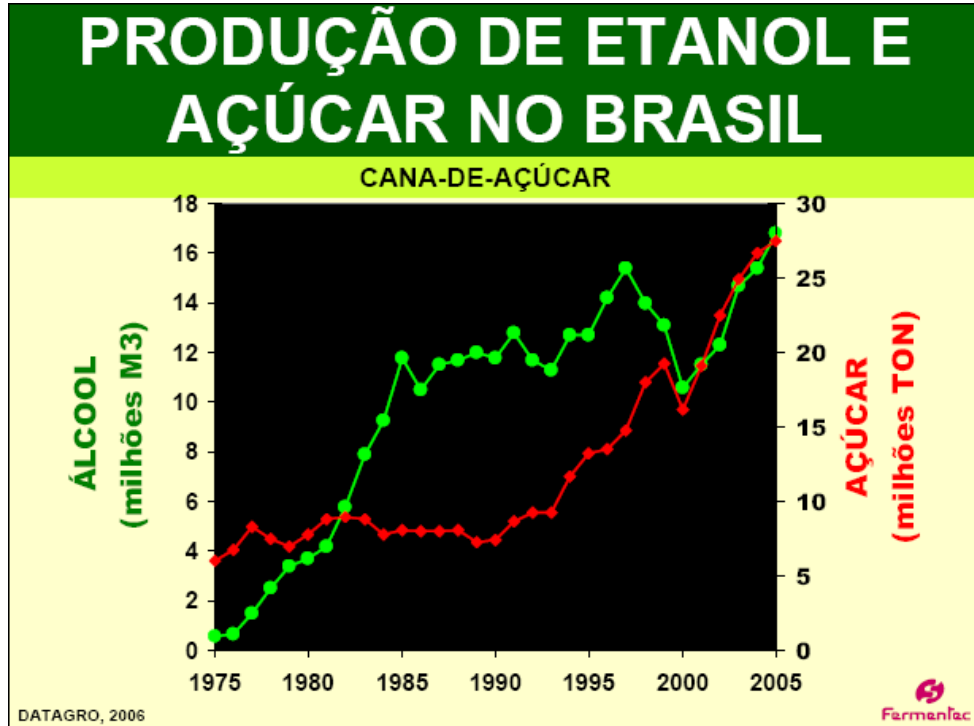


Figura 1.1 – Produção de Etanol e Açúcar no Brasil

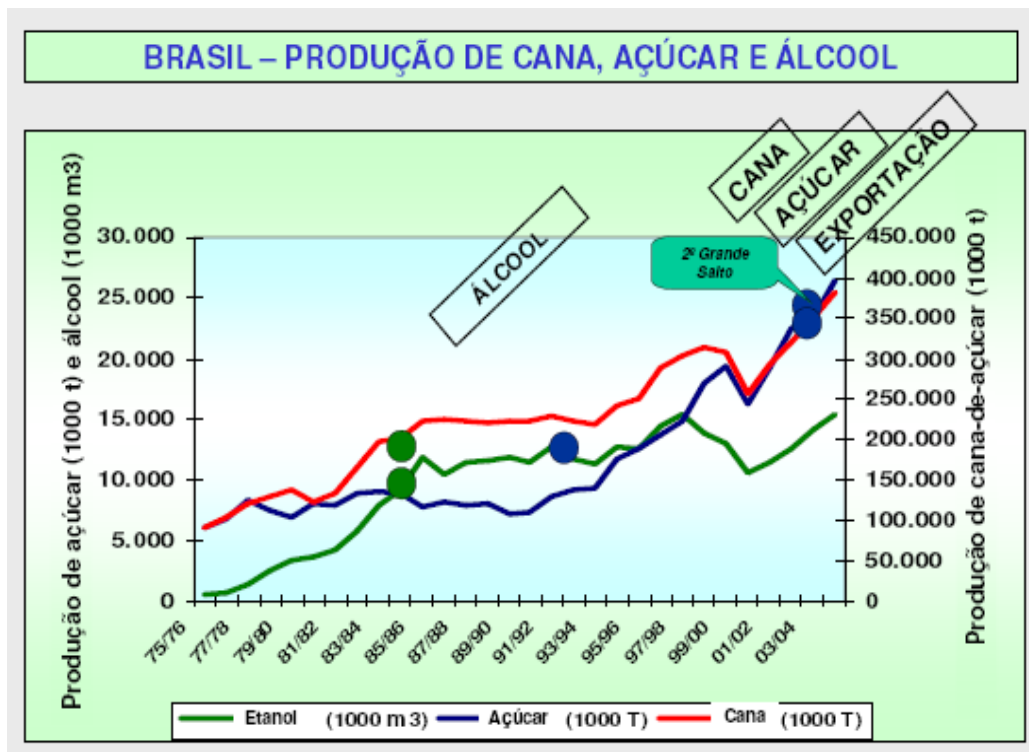


Figura 1.2 – Produção de Cana, Álcool e Açúcar no Brasil



Figura 1.3 – Setor Sucroalcooleiro

OS 10 MAIORES PRODUTORES DE AÇÚCAR NA SAFRA 2005/06

Safra 2005/06	PRODUÇÃO Milhões de ton	EXPORTAÇÃO Milhões de ton	POPULAÇÃO Milhões	CONSUMO PER CAPITA em KG	CONSUMO Milhões de ton
Brasil	27,9	16,5 [1]	181	59	10,7
UE	21,7	8,0 [2]	461	39	18,0
Índia	19,9	1,1 [7]	1.086	18	19,5
China	9,7	-	1.324	9	11,9
USA	6,8	-	297	32	9,5
México	5,8	0,3 [19]	105	53	5,6
SADC	5,7	1,6 [5]	163	22	3,6
Austrália	5,4	4,1 [3]	20	50	1,0
Tailândia	4,9	2,6 [4]	64	39	2,5
Rússia	2,7	-	143	43	6,1

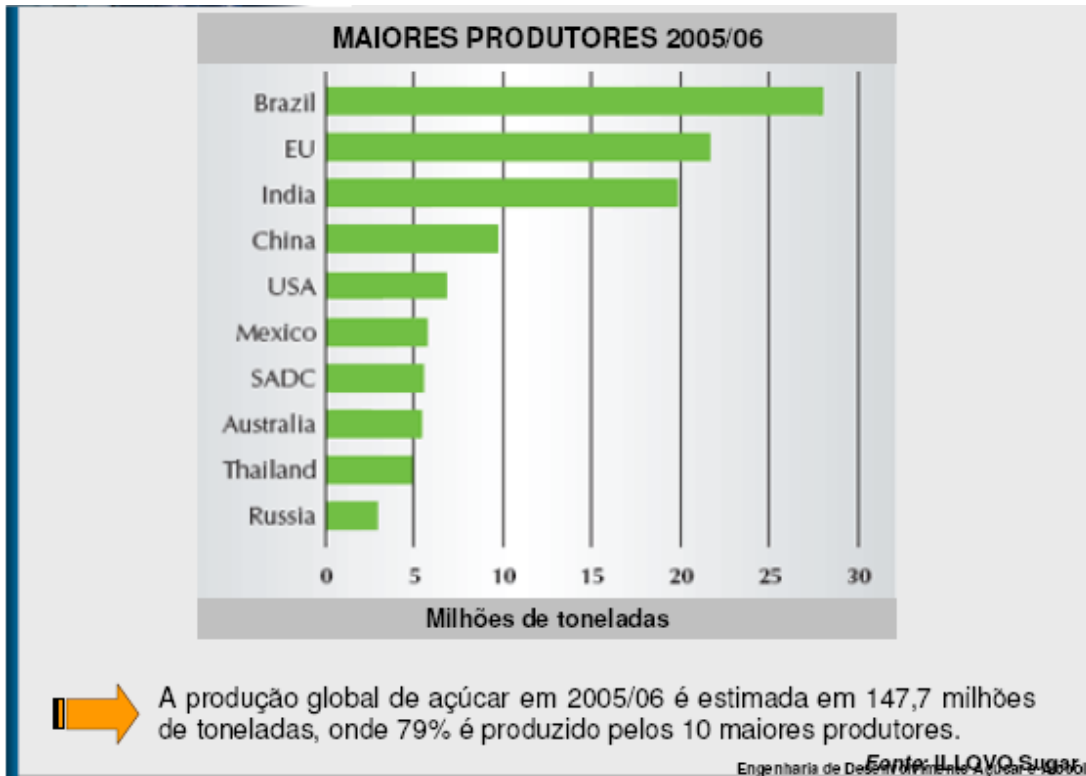
Mais de 100 países são produtores de açúcar, sendo que 74% é originário da cana de açúcar cultivada nas zonas tropicais do hemisfério sul e o restante é proveniente da beterraba da zona temperada do hemisfério norte.

África do Sul é um membro da SADC

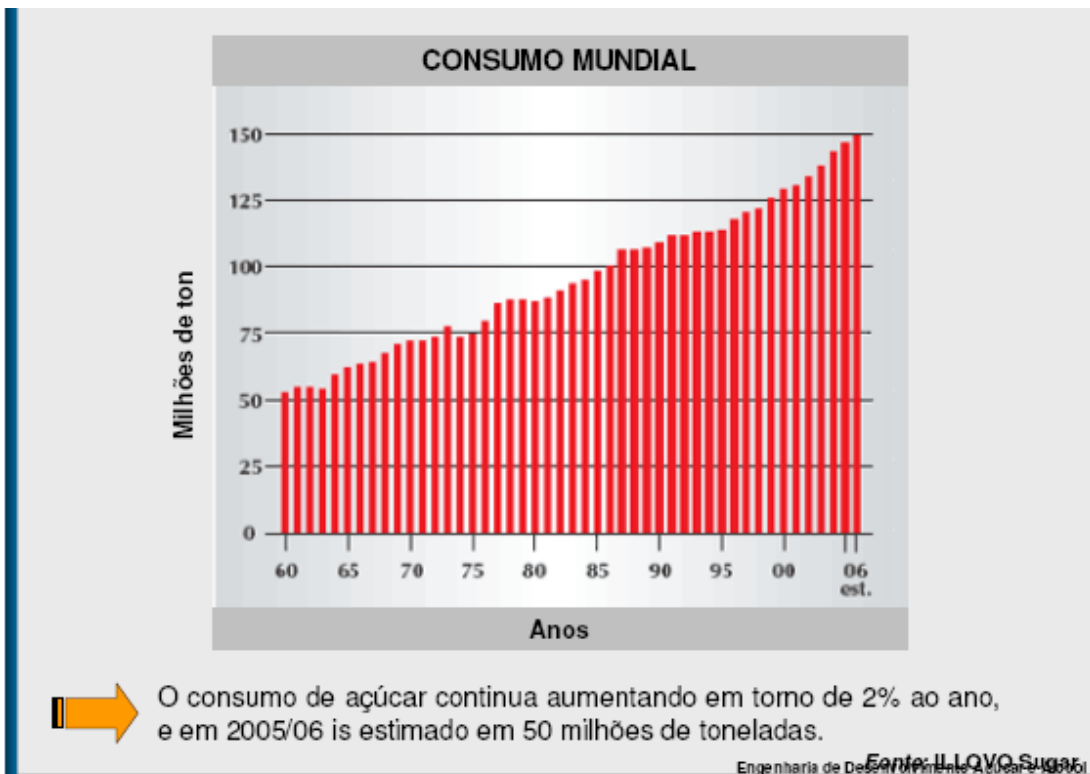
Engenharia de Desenvolvimento Açúcar e Alcool

Fonte: ILOVO Sugar

Figura 1.4 – Os Maiores Produtores de Açúcar (2005 / 2006)



**Figura 1.5 – Os Maiores Produtores de Açúcar (2005 / 2006)**



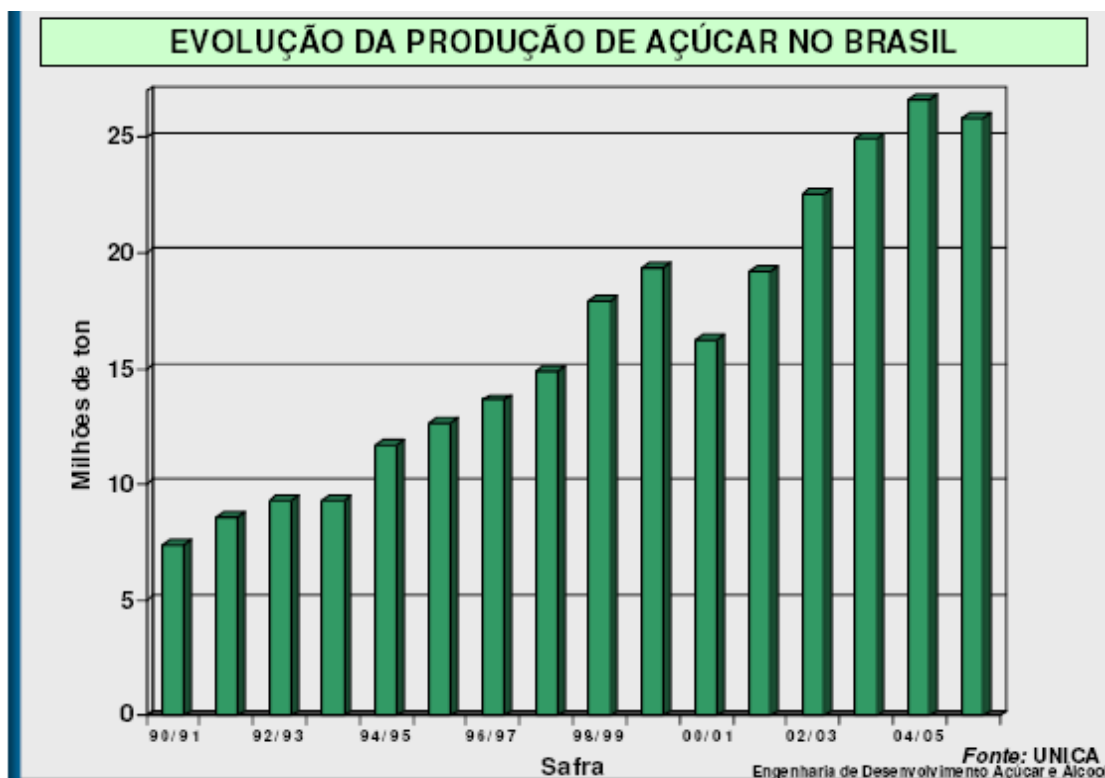
**Figura 1.6 – Consumo Mundial**



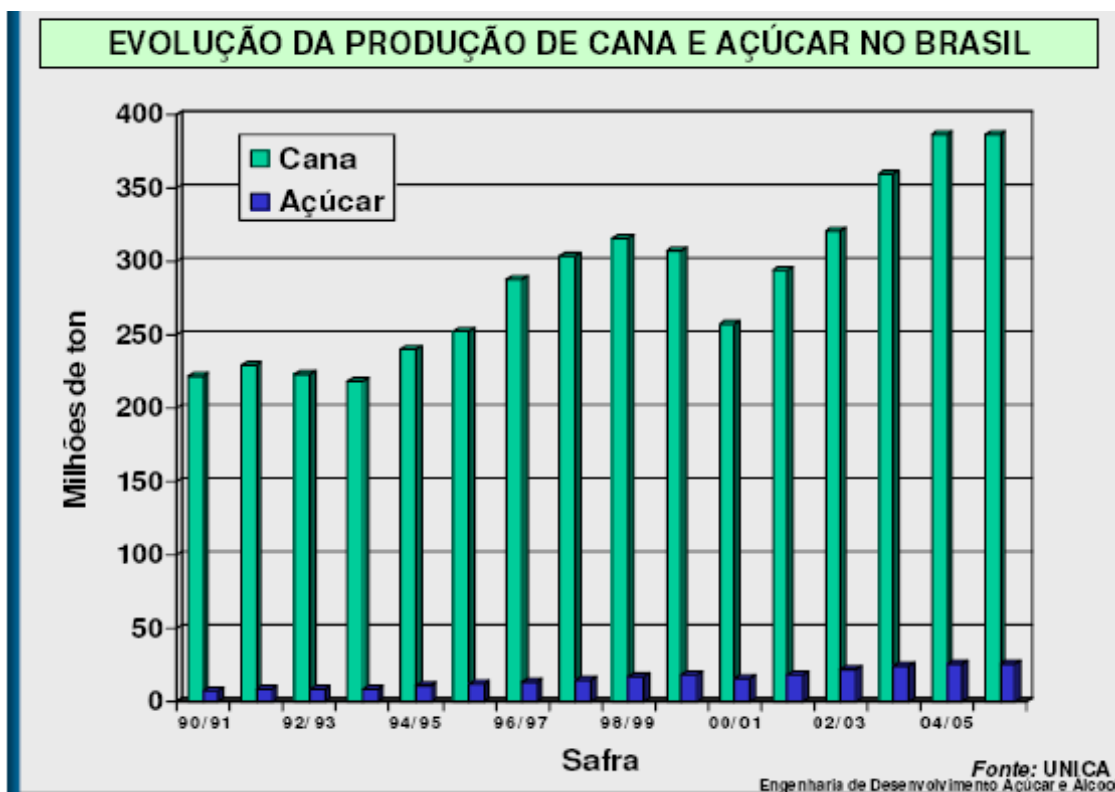
**Figura 1.7 – Maiores Exportadores (2005 / 2006)**



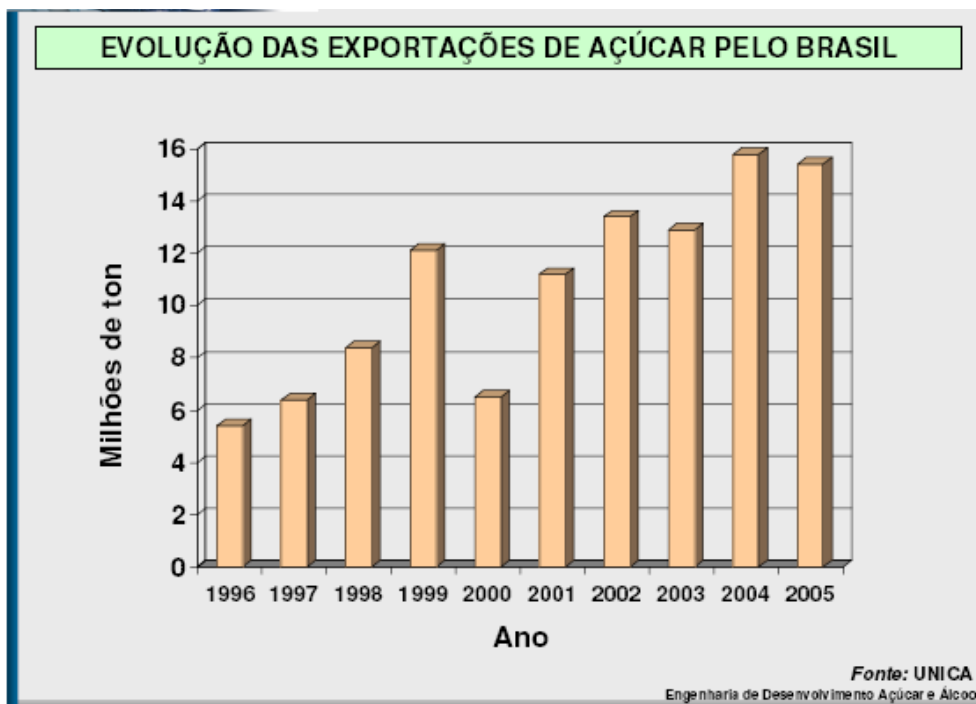
**Figura 1.8 – Maiores Exportadores (2005 / 2006)**



**Figura 1.9 – Evolução da Produção de Açúcar no Brasil**



**Figura 1.10 – Evolução da Produção de Cana e Açúcar no Brasil**



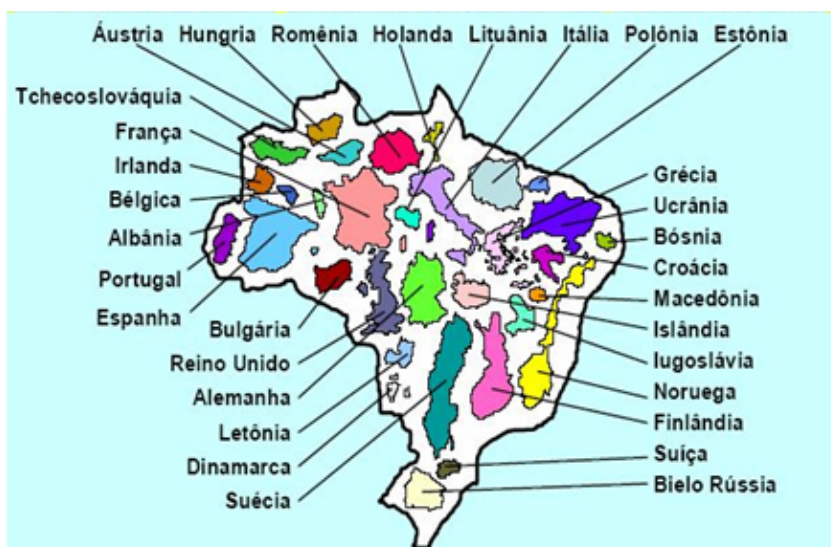
**Figura 1.11 – Evolução das Exportações de Açúcar**

## 2. Capacidade de Expansão

**Tabela 2.1 – Área Agricultável**

Área	Milhões de Hectares
Território Nacional	850,00
Total da Área Agricultável	320,00
Área Cultivada (Todas as Culturas)	64,40
Área Cultivada (Cana de Açúcar)	5,34
Área Cultivada (Cana de Açúcar para Alcool)	2,66

## 3. Área Agricultável



**Figura 3.1 - Área Agricultável**

A área agricultável do Brasil (550 milhões de hectares) é aproximadamente igual à área total de 35 países da Europa.

#### 4. Tecnologia Tradicional de Produção

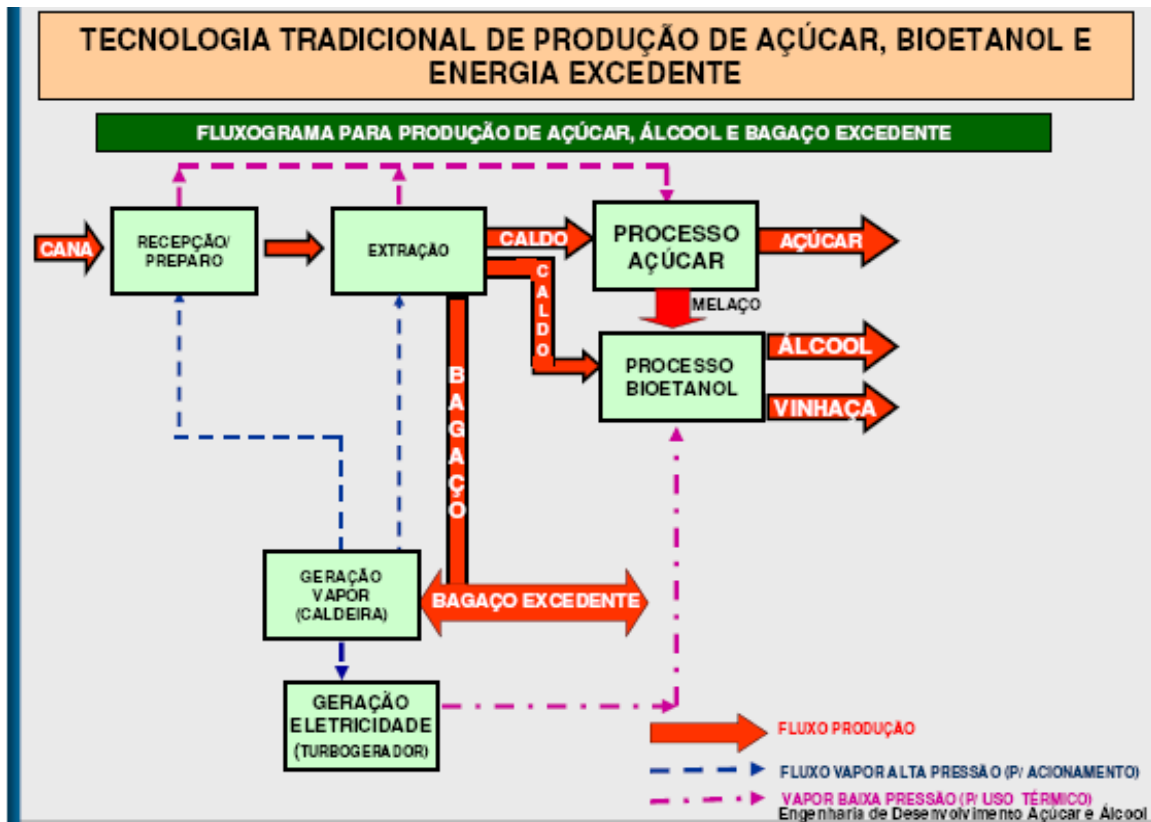


Figura 4.1 – Tecnologia de Produção

#### 5. Industrialização

##### 5.1 Sistemas de Corte da Cana

- Corte manual de cana crua;
- Corte manual de cana queimada;
- Corte mecânico de cana queimada;
- Corte mecânico de cana crua inteira;
- Corte mecânico de cana crua em toletes.

##### 5.2 Influência no Corte na Qualidade da Matéria Prima

- Para uma usina de açúcar, o ideal seria o despalhe, corte e carregamento manual de uma cana madura e que esta seja processada fresca.
- A queima acarreta a agregação de impurezas minerais ao colmo.
- O corte a máquina resulta num alto índice de impurezas vegetais.



### 5.3 A Cana Queimada

- A deterioração dos colmos é mais rápida.
- A clarificação do caldo é mais complexa.
- A cana necessita ser lavada, o que aumenta as perdas de sacarose.

### 5.4 A Cana Colhida à Máquina

- Maior incidência de impurezas vegetais, tais como folhas e ponta.
- Em geral são nas folhas e nas pontas que se concentram o amido, corantes como os polifenóis e compostos precursores da cor como os aminoácidos.

### 5.5 Cana de Açúcar com Qualidade

- Madura, com Brix elevado, baixo teor de açúcares redutores e baixo teor de ácidos.
- Baixa presença de material estranho de origem mineral (terra) e material de origem vegetal (folhas e pontas).
- Fresca (pouco tempo de corte)
- Alto teor de fosfatos.
- Baixa presença de dextrana (cana fresca).
- Baixo teor de polifenóis e aminoácidos (sem a presença de folhas e ponta).
- Baixo teor de polissacarídeos como amido (sem material estranho vegetal).
- Teor de fibra entre 12 a 14 %.

### 5.6 Fibra de Cana

- O teor ideal de fibra na cana para a indústria está entre 12 a 13 %.
- Teores de fibra baixos tornam o colmo da cana de moagem mais fácil, no entanto resulta em pouca produção de bagaço, que torna necessário uma complementação energética.
- Teores altos de fibra tornam a moagem difícil e exigem altas potências nas moendas.

### 5.7 Alguns Conceitos

#### a) Cana de Açúcar

Matéria-prima entregue na indústria constituída por colmos de cana limpa e matéria estranha (palhas, terra, etc).

**b) Caldo**

Caldo absoluto, cuja massa é igual à massa total de cana menos a massa total de fibra.

**c) Caldo Primário (Caldo do 1° Terno)**

Caldo não diluído extraído na primeira unidade de esmagamento do conjunto de moendas.

**5.8 Composição da Cana de Açúcar**

Vegetal pertencente à família das gramíneas do gênero *saccharum*, natural da Ásia e cujos colmos são ricos em sacarose. A composição do colmo é a seguinte:

**Tabela 5.8.1 – Composição da Cana de Açúcar**

Componente	Porcentagem (%)
Água	70
Fibra	13
Material solúvel	17
Sacarose	15
Açúcares redutores	2,5
Pureza	88
Sais minerais	0,3

**5.9 Composição da Cana Madura**

- Possui em média de 10 a 16% de fibras;
- De 84 a 90% de caldo, desta composição 75 a 82% representa água, o restante são substâncias sólidas dissolvidas.
- Os sólidos dissolvidos dividem-se em:
  - ✓ Sacarose (14,4 a 24%)
  - ✓ Glicose (0,2 a 1,0%)
  - ✓ Frutose (0 a 0,5%)
  - ✓ Não Açúcares (1,0 a 2,5 %)



**Figura 5.9.1 – Cana de Açúcar**

Tabela 5.9.1 - Composição

ELEMENTO	%
Água	70,0
Açúcar (Sacarose)	14,0
Fibras	12,0
Açúcares Redutores	0,9
Cinzas	0,8
Nitrogenados	0,6
Ceras	0,6
Ácidos Complexos	0,6
Substâncias Corantes	0,5

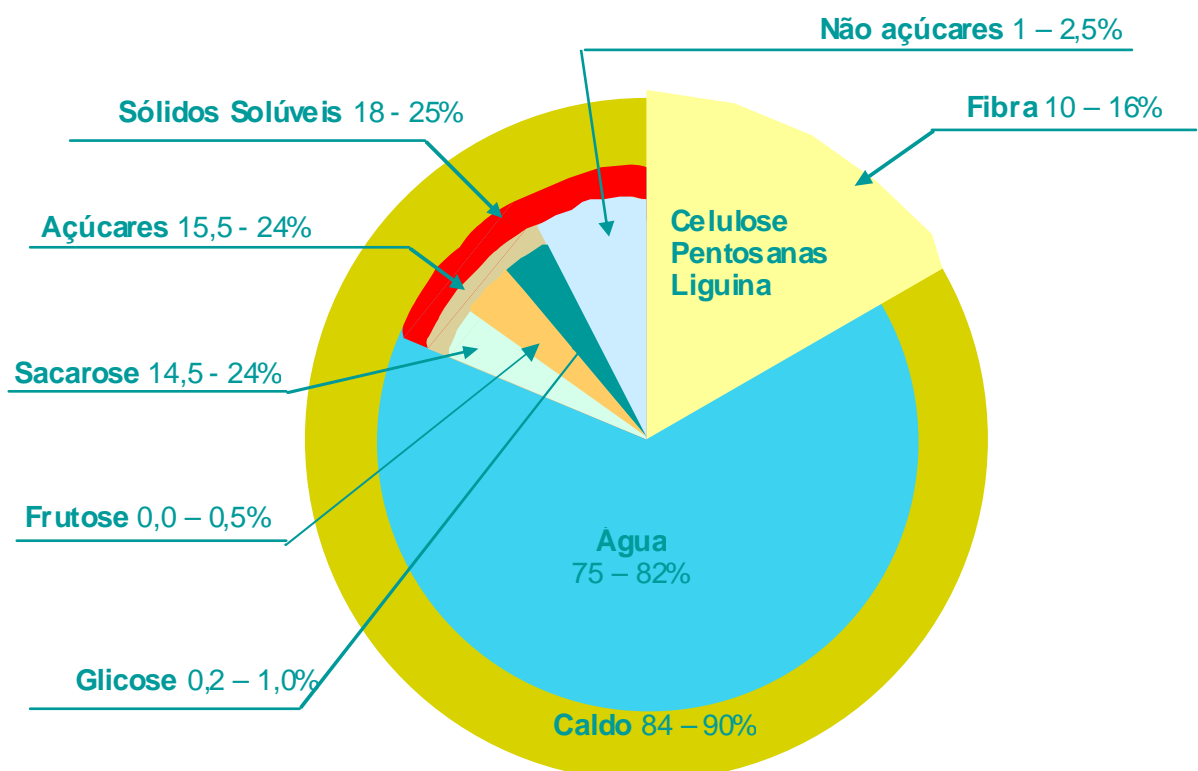


Figura 5.9.2 – Composição

### 5.10 Definições

a) **POL**: Determina a % de sacarose presente na amostra.

b) **BRIX**: Determina a quantidade de sólidos solúveis presentes na amostra.

c) **AR**: Determina a quantidade de açúcares redutores, ou seja, a % de açúcar invertido, compreendendo glicose, frutose e demais substâncias redutoras, presentes na amostra.

d) **ART**: Determina a quantidade de açúcares redutores totais presentes na amostra, por hidrólise total.

$$\text{Pureza} = (\text{Pol} / \text{Brix}) * 100$$

Quando se quer determinar a Pureza real usa-se a fórmula:

$$\text{Pureza real} = (\text{Sacarose real} / \text{Sólidos totais}) * 100$$

### e) Polarímetro

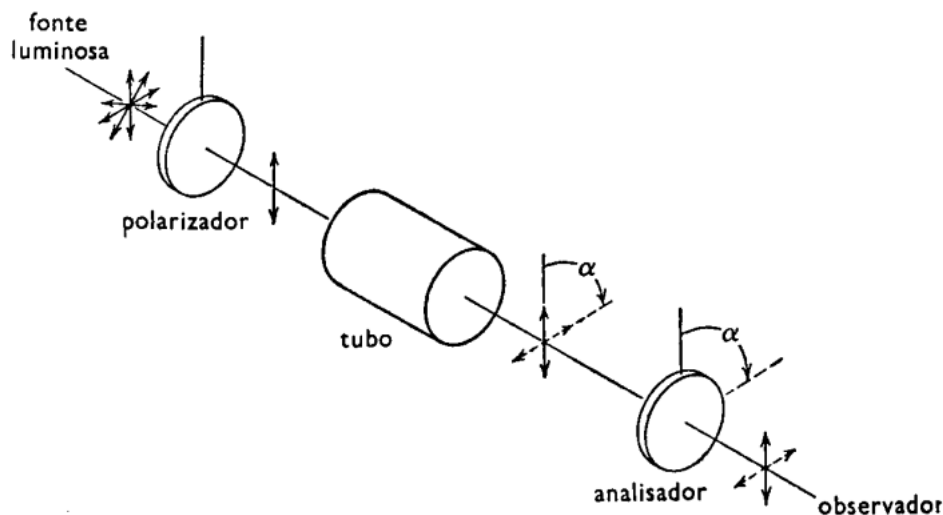


FIG. 3.2 Representação esquemática do polarímetro. Linhas a cheio: antes da rotação. Linhas a pontuado: depois da rotação.  $\alpha$  é o ângulo de rotação.

**Figura 5.10.1 – Polarímetro**

**f) Caldo misto:** Caldo obtido no processo de extração e enviado para a fabricação de açúcar e álcool.

**g) Fibra:** Matéria seca e insolúvel em água contida na cana-de-açúcar.

**h) Pol:** Porcentagem em massa de sacarose aparente, contida em uma solução açucarada.

**i) Pureza:** Relação entre a porcentagem em massa de sacarose e a de sólidos solúveis contido em uma solução açucarada.

**j) Embebição:** Processo na qual a água ou caldo é aplicado ao bagaço em benefício da extração.

**l) Bagaço:** Resíduo da cana após a moagem em um terno ou em um conjunto de ternos.

**m) Extração:** Define a proporção de um componente da cana, em porcentagem, que foi removido durante o processo de moagem.

### 5.11 Dados da Cana Madura

Tabela 5.11.1 - Dados

Fator	Valor
Brix	18,0 (no mínimo)
Pol	15,3 (no mínimo)
Pureza	85,0 (no mínimo)
Redutores	1,00 (no máximo)

### 5.12 Índice de Maturação

$$IM = \frac{\text{Brix da ponta do colmo}}{\text{Brix da base do colmo}}$$

Admitem-se para a cana-de-açúcar, os seguintes estágios de maturação:

Tabela 5.12.1 – Índice de Maturação

IM	Estágio de Maturação
< 0,6	Cana Verde
0,6 – 0,85	Cana em maturação
0,85 – 1,00	Cana madura
> 1,00	Cana em declínio de maturação

### 5.13 Deterioração

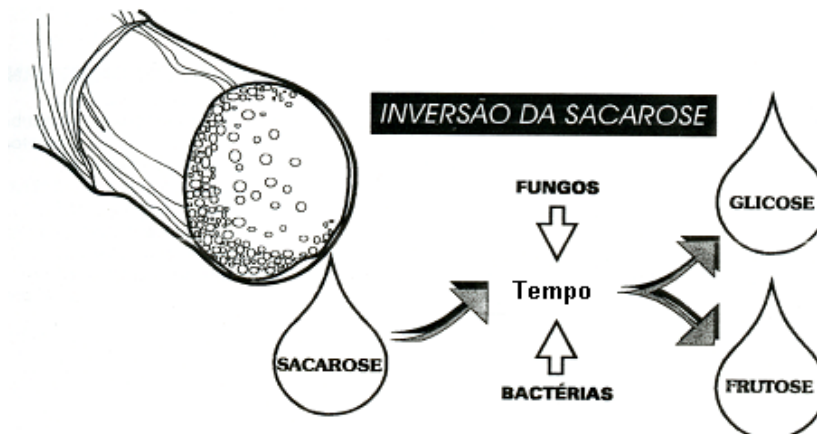


Figura 5.13.1 – Inversão da sacarose

- Fator determinante: Tempo entre corte e processamento.
- Ocorre inversão de Sacarose para Glicose e Frutose.
- Causada pela ação de Fungos e Bactérias.
- Perdas consideráveis de produção (sacarose).

### 5.14 Impurezas

São elementos indesejáveis ao processo de origem mineral ou vegetal.

#### a) Mineral (Pedra ou pedrisco)

- Causa prejuízos a indústria por provocarem desgastes em equipamentos (Bombas, tubulações, desgaste de moendas).
- Geralmente removida na mesa de Alimentação (lavagem de cana).

#### b) Vegetal

- São fibras que não contém sacarose. Geralmente palha resultante de mal queima da cana devido umidade do canavial ou do desponte alto.
- Aumenta o volume de cana reduzindo o rendimento da extração.
- Consome potencia desnecessária das turbinas e motores.

### 6. Visão Geral

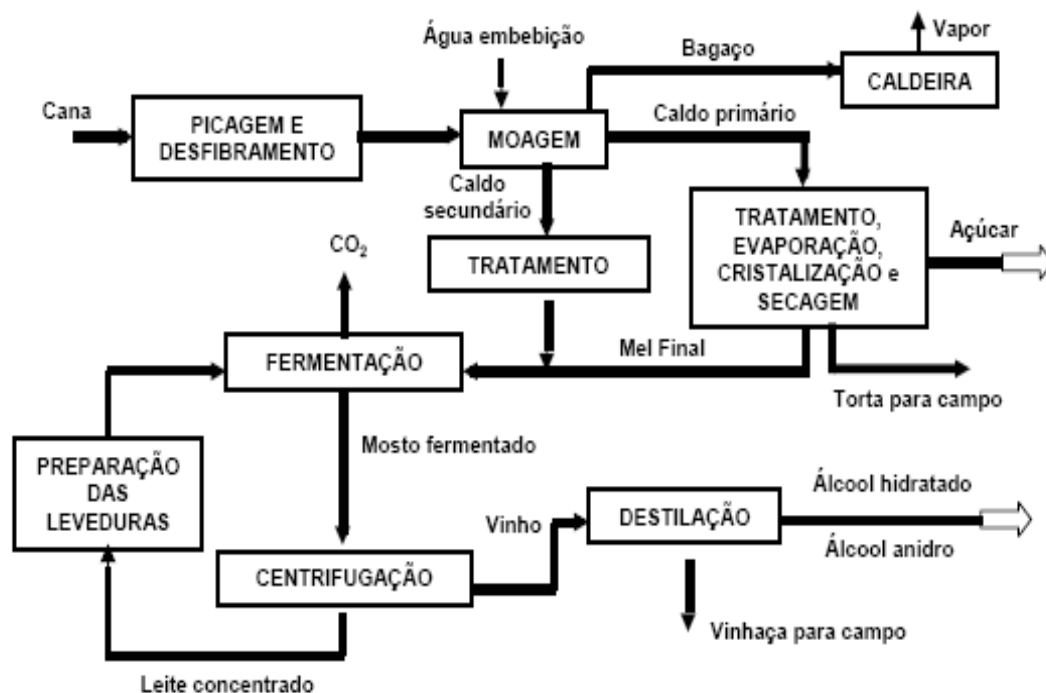


Figura 6.1 – Visão Geral do Processo

## 7. Preparo e Moagem

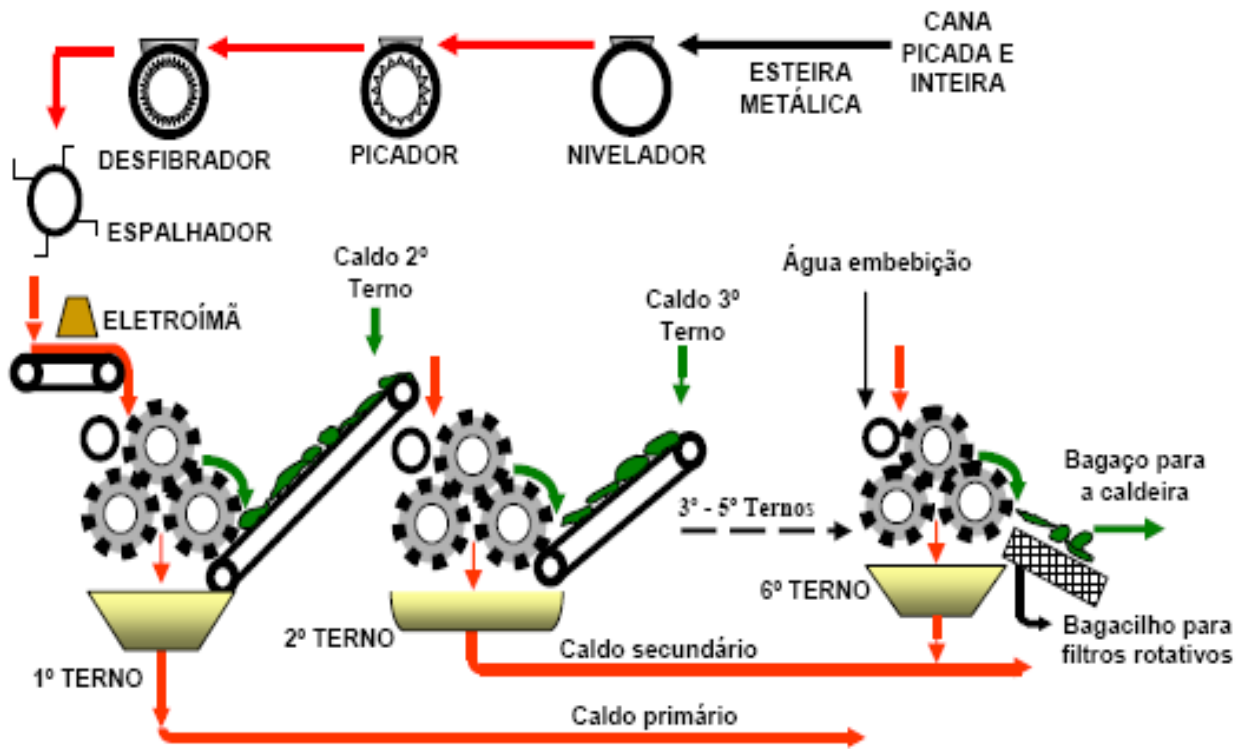


Figura 7.1 – Preparo e Moagem

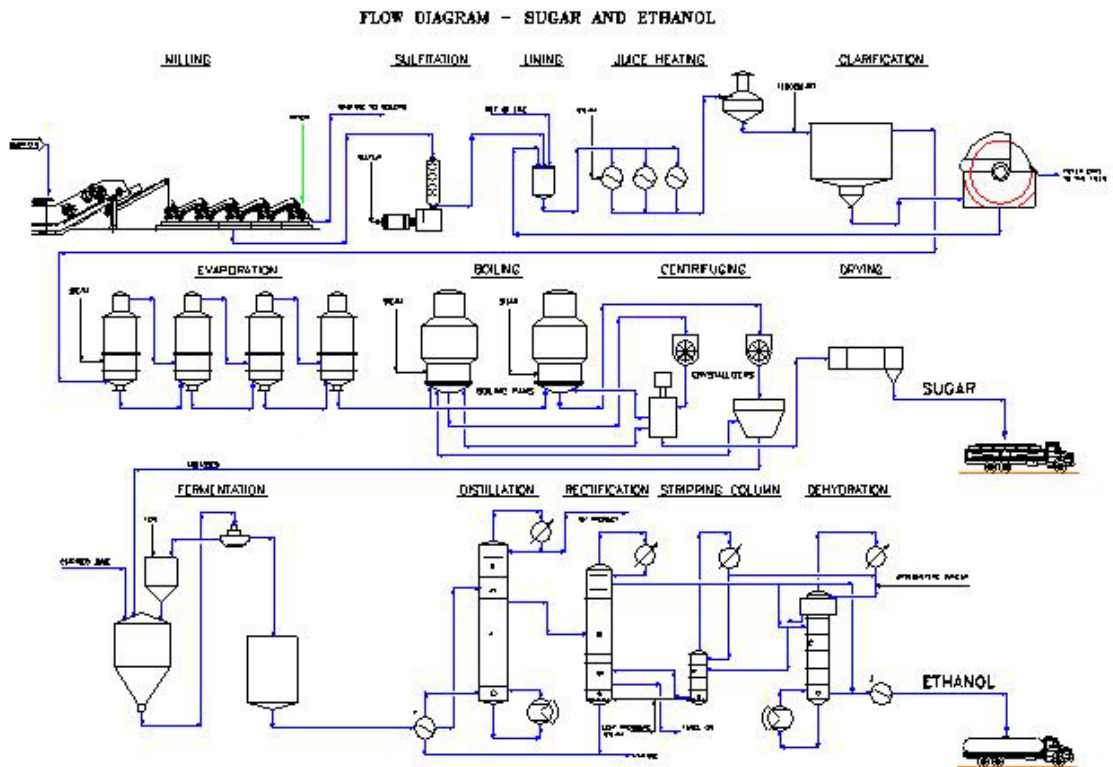


Figura 7.2 – Processo Brasileiro

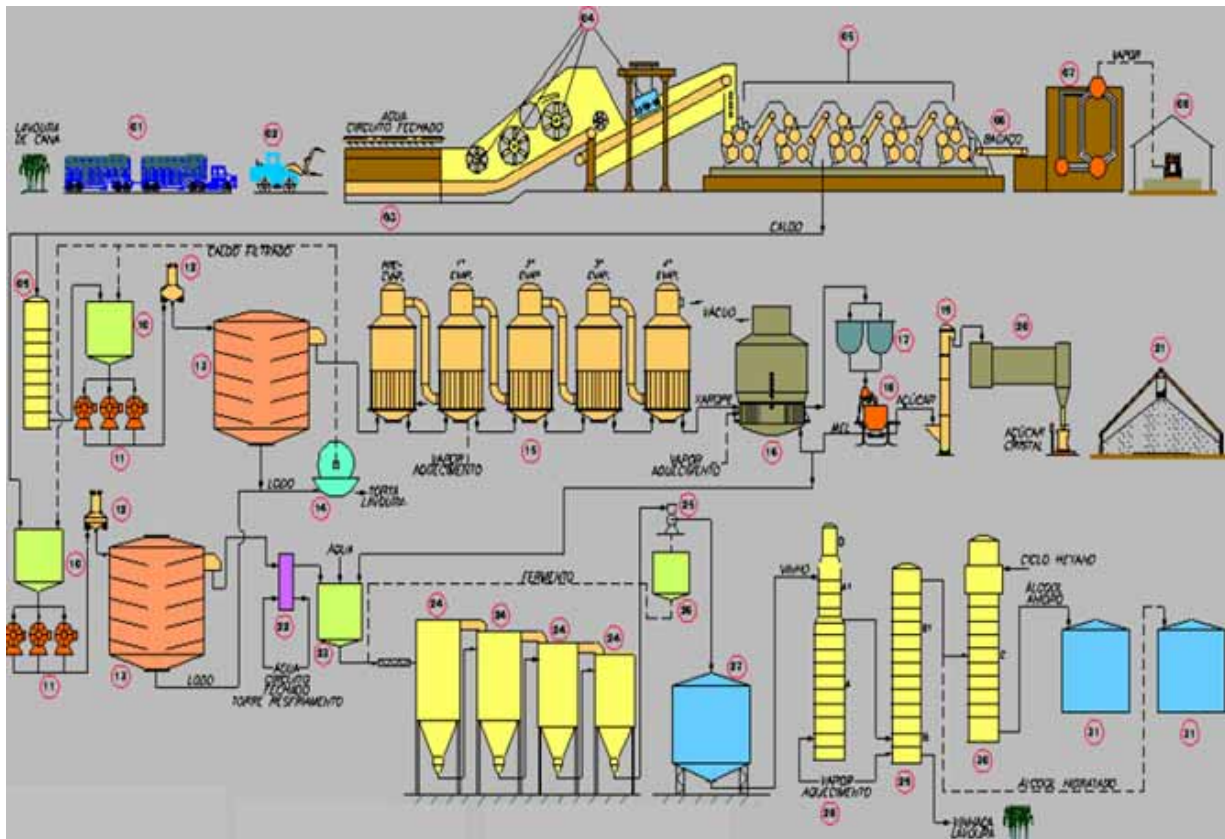


Figura 7.3 – Processo Geral

## 8. Recepção e Preparo

### 8.1 Balança de Cana

Tem como objetivo quantificar a matéria-prima recebida pela indústria.

### 8.2 Tomador de Amostras

Retira amostras de cana para serem analisadas no laboratório, onde obteremos resultados para qualificar a matéria-prima.

### 8.3 Barracão

O barracão tem a função de estocar a cana. Isso é feito para suprir possíveis faltas por motivo de chuva ou por falha no transporte, e também por poder haver eventuais quebras e avarias nos silos e nas mesas alimentadoras.

## 9. Preparação para a Extração

### 9.1 Índice de Preparo (Open Cell)

Relação porcentual do pol das células abertas em relação ao pol total da cana.



## 9.2 Densidade da Cana

É a relação existente entre a massa de cana (Kg) e o volume que esta se ocupa ( $m^3$ ). A moagem é um processo volumétrico e que, portanto ela será mais eficiente à medida que aumentamos a densidade da cana na entrada do primeiro terno.

Isto é conseguido após a passagem da cana pelo picador e pelo desfibrador, elevando a densidade da cana inteira ( $175 \text{ kg}/m^3$ ) ou da cana picada ( $350 \text{ kg}/m^3$ ) para valores em torno de  $450 \text{ kg}/m^3$  de cana desfibrada.



Figura 9.2.1 - Cana Inteira

Cana Picada

Cana Desfibrada

## 9.3 Preparo da Cana

Transforma a cana em um material homogêneo, composto por longas fibras, o que facilita a alimentação no primeiro terno e melhora a extração. Têm por objetivo:

- Promover o rompimento da estrutura da cana;
- Romper as células da cana para facilitar a extração do caldo;
- Aumentar a densidade da cana;
- Melhorar a eficiência da embebição.

## 9.4 Picadores



Figura 9.4.1 – Picador

- Picar a cana, facilitando a alimentação do desfibrador.
- Sentido de rotação correspondente ao da esteira metálica.

## 9.5 Desfibrador



Figura 9.5.1 – Desfibrador

- ❖ Completa o preparo de cana rompendo a maior quantidade possível de células, desfibrando a cana.
- ❖ Realiza o desfibramento da cana picada ao esfregá-la contra uma placa desfibradora.
- ❖ A placa desfibradora é fixada logo acima do rotor, tem formato curvo e acompanha o diâmetro do giro dos martelos.
- ❖ O tambor alimentador força a passagem de cana entre os martelos e a placa desfibradora. Posiciona-se antes do rotor em nível pouco acima.



Figura 9.5.2 – Desfibrador

## 9.6 Espalhador



Figura 9.6.1 – Espalhador

- Faz-se necessária esta descompactação para obtermos uma camada fina e uniforme na cana desfibrada.
- Otimiza a alimentação → tornando-a homogênea.
- Descompacta a cana desfibrada, pois a mesma sai do desfibrador de forma de pacotes.

## 9.7 Eletroímã

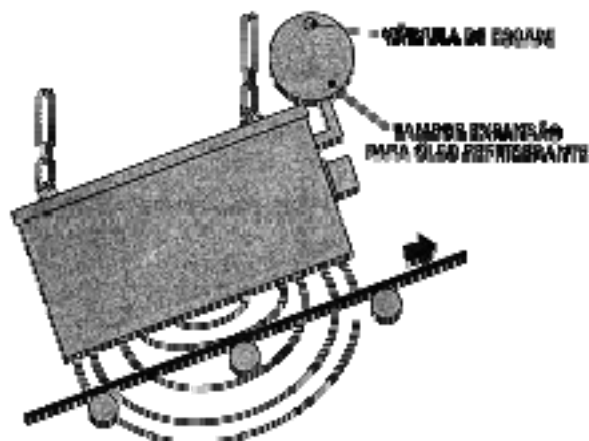


Figura 9.7.1 – Eletroímã

Protege os componentes da moenda contra materiais ferrosos estranhos, que por ventura venham junto com o carregamento ou desprendidos dos equipamentos.

## 10. Extração do Caldo

### 10.1 Moagem

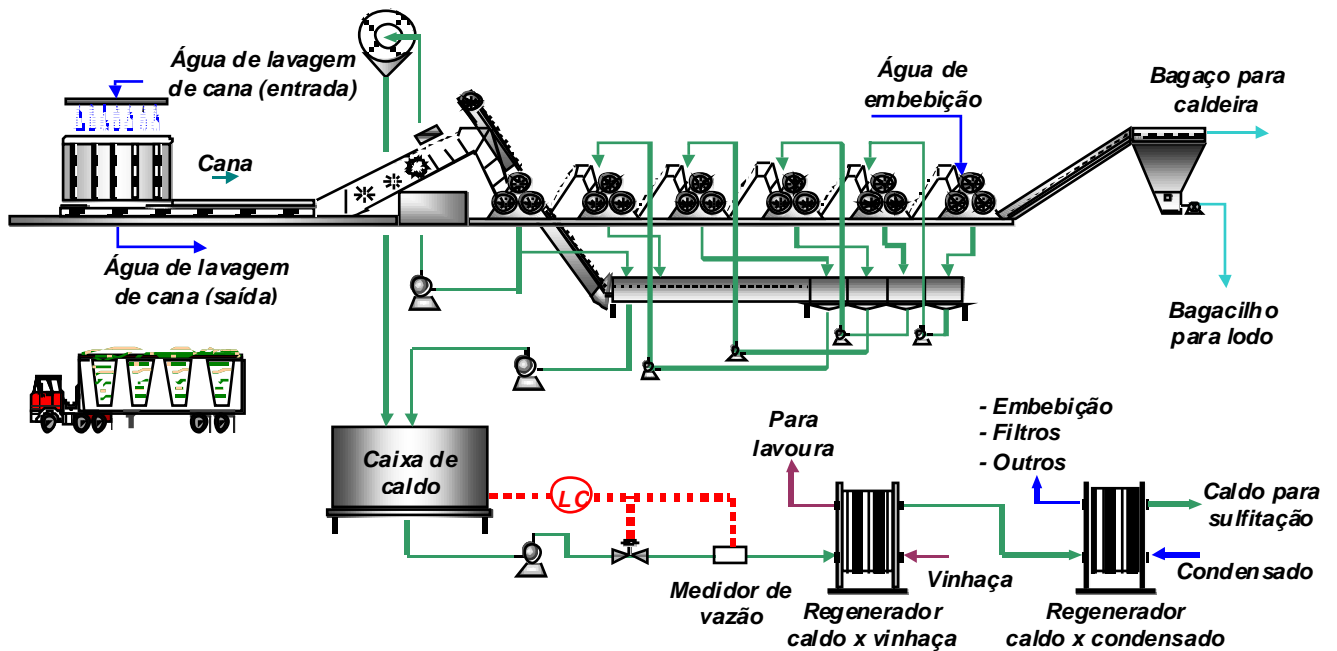


Figura 10.1.1 – Moagem

### 10.2 Equipamentos utilizados na Moagem

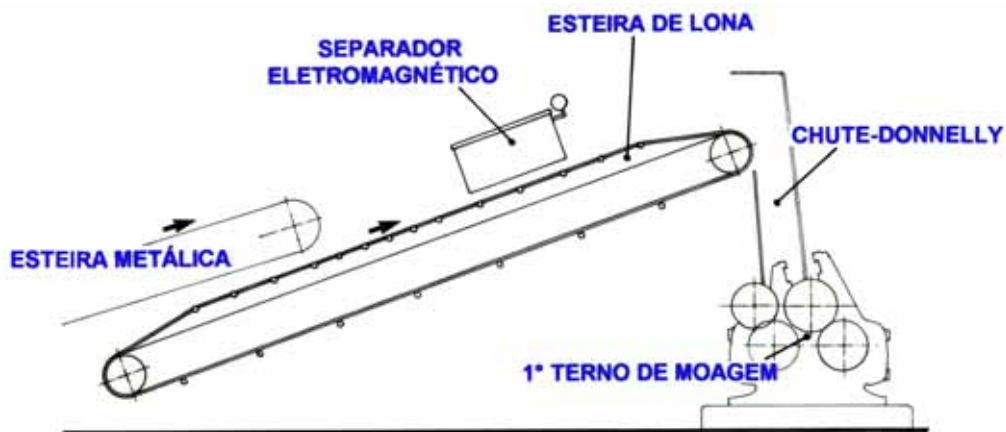


Figura 10.2.1 – Equipamentos

#### a) Operação

Para alimentar esta calha é necessário uma camada de cana (desfibrada uniforme) fina, que conseguimos através da velocidade elevada da esteira.

#### b) Função

Regularizar e uniformizar a moagem, e ainda tornar a pressão dos rolos sobre o colchão de cana mais constante durante o processo de moagem desde que a mantenha cheia.

### 10.2.1 Ternos de Moenda

Conjunto de 04 rolos de moenda dispostos de maneira a formar aberturas entre si, sendo que 03 rolos giram no sentido horário e apenas 01 no sentido anti-horário.

Sua função é forçar a cana a passar por essas aberturas de maneira separar o caldo contido no bagaço.

### 10.2.2 Rolos de Moenda



Figura 10.2.2 (a) – Rolos de Moenda

#### a) Rolo de Pressão

Encontra-se na parte superior do terno logo acima do rolo inferior de entrada. Sua função é compactar a camada de cana permitindo uma melhor alimentação do terno.

#### b) Rolo Superior

Está localizado na parte superior do castelo, entre o rolo de entrada e o rolo de saída, gira no sentido anti-horário. É muito importante no conjunto de ternos devido ao maior contato com a cana.

Também recebe a força através do acoplamento e transmite aos demais rolos por intermédio dos rodetes.

#### c) Rolos Inferiores

Em cada terno de moenda possui 02 rolos (*entrada e saída*), a função do de entrada é fazer uma pequena extração de caldo e direcionar a cana na abertura de saída.

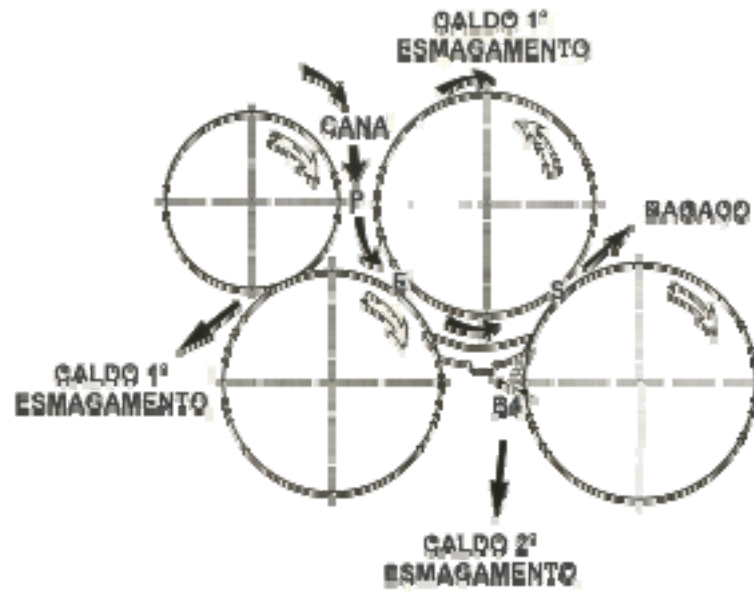


Figura 10.2.2 (b) – Rolos de Moenda

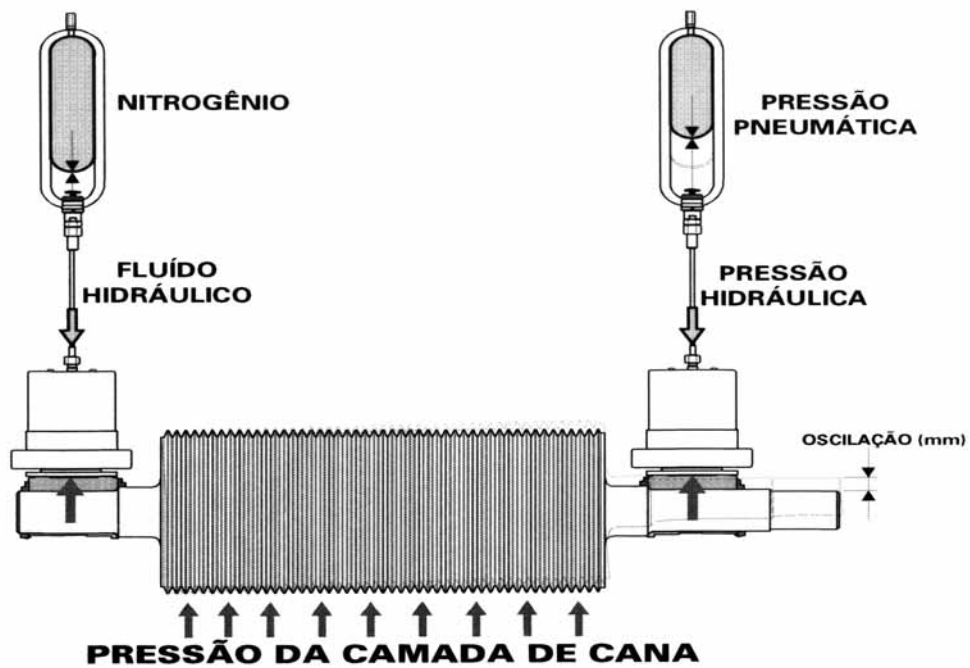


Figura 10.2.2 (c) – Rolos de Moenda

### 10.2.3 Desempenho dos Ternos

O desempenho dos ternos está relacionado ao:

- Preparo da cana;
- Regulagem do terno;
- Condições operacionais.

Os seguintes fatores devem analisados visando melhora na performance dos ternos:

- Índice de Preparo;
- Alimentação de Cana;
- Pressão hidráulica aplicada;
- Rotação e oscilação;
- Aberturas;
- Condições Superficiais dos rolos
  - Picotes,
  - Chapiscos;
  - Frisos;
- Estados dos Pentes;
- Ajuste entre a bagaceira e o rolo de Entrada.

**Observação:** É de fundamental importância no processo de moagem a extração no 1º Terno, este é responsável por cerca de 70% de todo caldo contido na cana. Quando não atingimos esta extração de caldo, a extração global da moenda é insatisfatória.

#### 10.2.4 Castelos

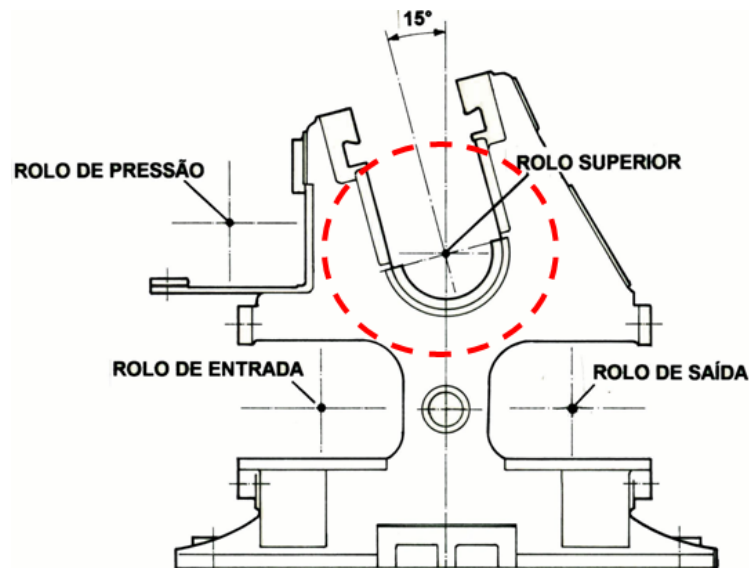


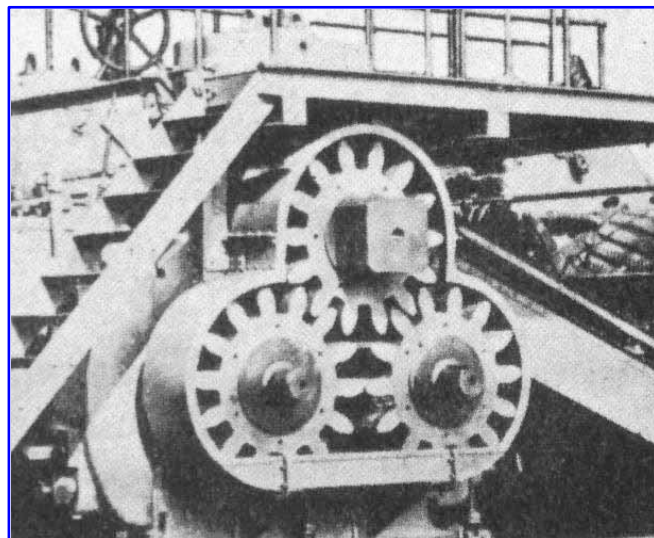
Figura 10.2.4 (a) – Castelo Inclinado

São amações laterais da moenda, construídos em aço e são fixados em bases de assentamento. São responsáveis pela sustentação da moenda. Podem ser inclinados ou retos.



**Figura 10.2.4 (b) – Castelo**

### 10.2.5 Rodetes



**Figura 10.2.5 (a) – Rodetes**

○ São construídos em aço, tem como função acionar o rolo de entrada, saída e o rolo de pressão através do rolo superior.

○ Tem 15 dentes.

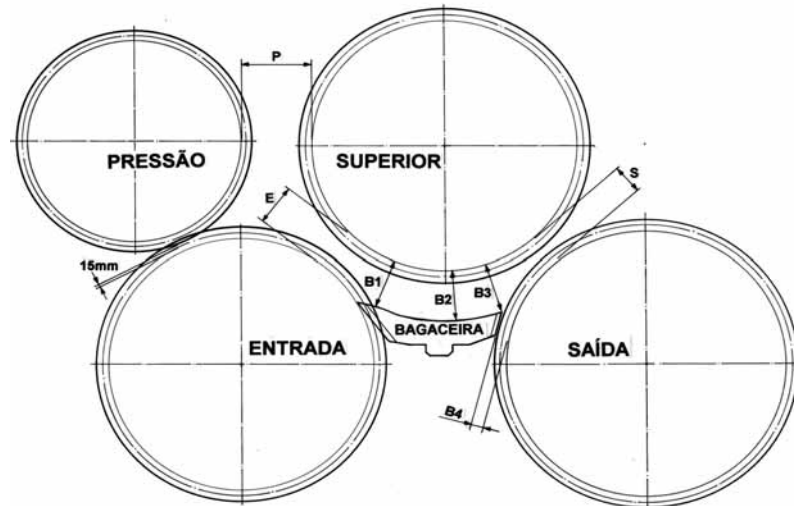
### 10.2.6 Pentes

Elementos colocados na região de descarga da moenda para limpeza das camisas:

- Pente do Rolo superior;
- Pente do rolo de saída.

### 10.2.7 Bagaceira





**Figura 10.2.7 (a) – Bagaceira**

Tem como função conduzir o bagaço do rolo de entrada para o rolo de saída. É resultante do traçado de cada terno objetivando o melhor desempenho do terno.

#### ▪ Cuidados

- ✓ Se for instalada muito alta, a carga sobre o rolo superior é muito elevada, ocorrendo desgaste da bagaceira, aumentando a potencia absorvida, sufocando a passagem de bagaço. Resultando em alimentação deficiente do terno.
- ✓ Se for instalada muito baixa, o bagaço ao passar sobre ela não é comprimido suficientemente para impedir que o rolo superior deslize sobre a camada de bagaço resultando em embuchamento.

### 10.2.8 Messchaerts

São sulcos efetuados entre os frisos do rolo de pressão.

#### a) Limpeza

Deve-se ter atenção com sua limpeza, pois se enchem de bagaço rapidamente. Para se efetuar a limpeza contamos com os seguintes acessórios:

- Jogo de facas para remoção dos sulcos;
- Eixo quadrado para fixação de facas;
- Braço de regulagem.

#### b) Vantagens

- ✓ Melhora a capacidade da moenda permitindo extrair uma quantidade de caldo que, sem eles provocaria engasgo;
- ✓ Permite maior porcentagem de embebição;

- ✓ Melhora, sobretudo, a extração pelo aumento da proporção de caldo.

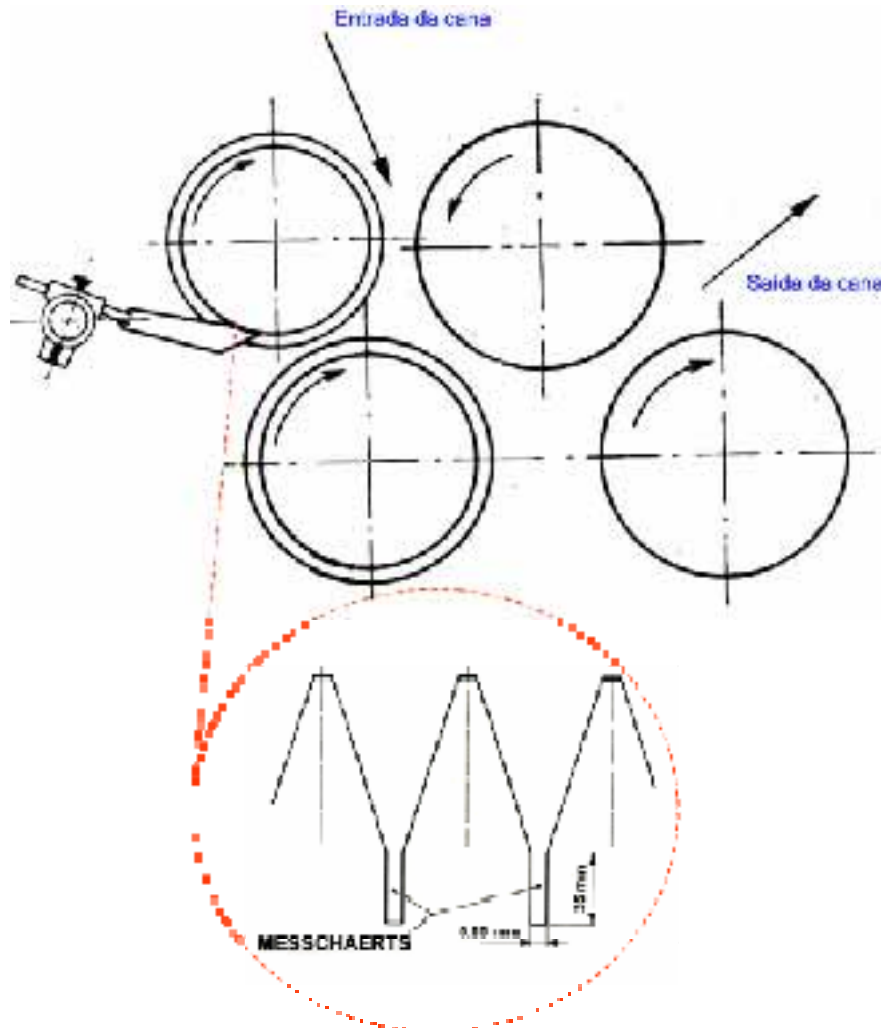


Figura 10.2.8 (a) – Messchaerts

### 10.2.9 Esteira de Arraste Intermediário

É um condutor intermediário que serve para transportar bagaço de um terno para outro.

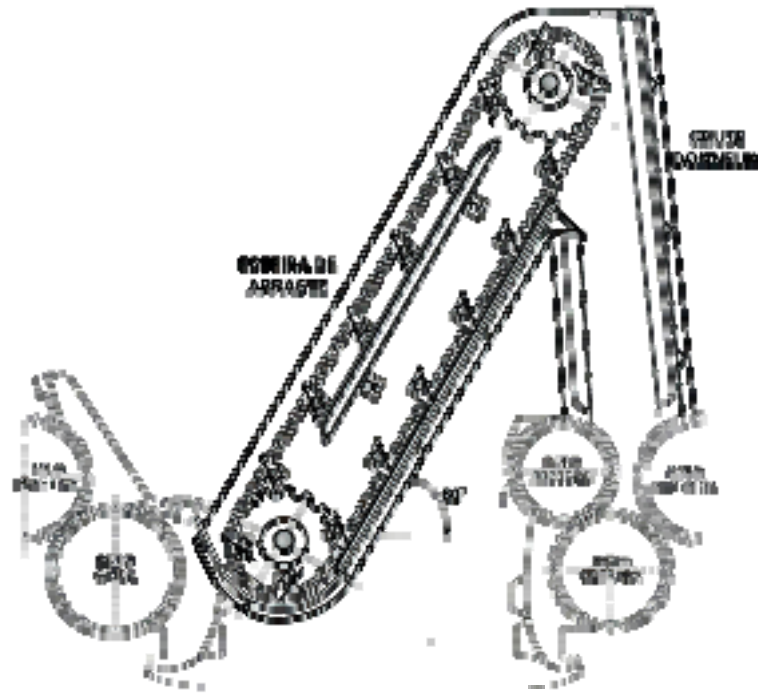


Figura 10.2.9 - Esteira de Arraste Intermediário

## 11. Limpeza

### 11.1 Objetivo

É manter sob controle os processos infecciosos que nela se desenvolvem.

### 11.2 Contaminação

Os microrganismos presentes no ar, ou trazidos pela cana se instalam e se proliferam em esteiras de cana, castelos, calhas, tanques e etc; alimentando-se dos açúcares contidos no caldo, e produzindo, principalmente ácido acético e gomas.

Provoca perdas de açúcar ocasionado pelas infecções, podendo comprometer desde a eficiência de trocadores de calor (a placas) até o processo de fermentação, podem também afetar o processo de cristalização causando o aumento de mel final, pois convertem a sacarose presente no caldo em glicose e frutose.

## 12. Sistema de Embebição

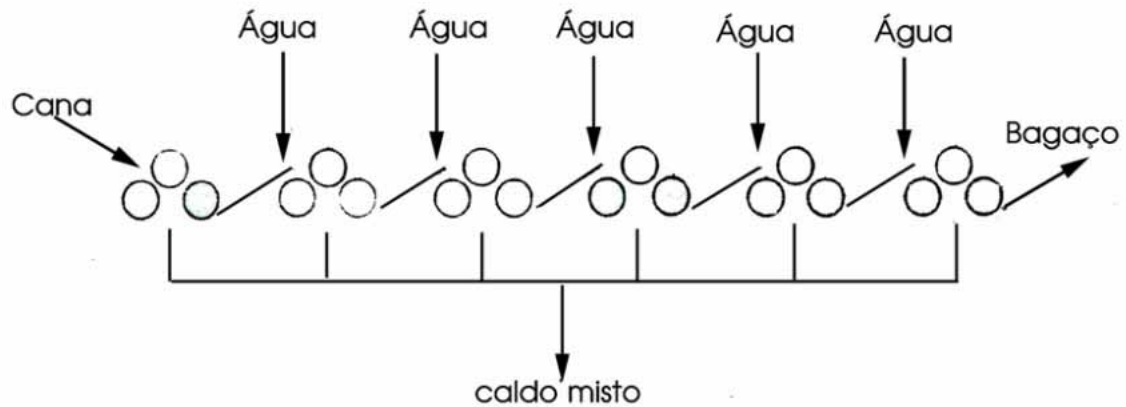
Processo na qual água ou caldo é aplicado ao bagaço de um terno, sob a forma de aspersão, jatos pressurizados ou bicas de embebição.

Tem como objetivo aumentar a diluição do caldo contido no mesmo, levando ao conseqüente aumento da extração do caldo no terno seguinte.

### 12.1 Tipos de Embebição

#### a) Embebição Simples

É uma maneira rudimentar de aplicação da embebição, onde apenas água é aplicada no bagaço de cada terno a partir do 2º terno.

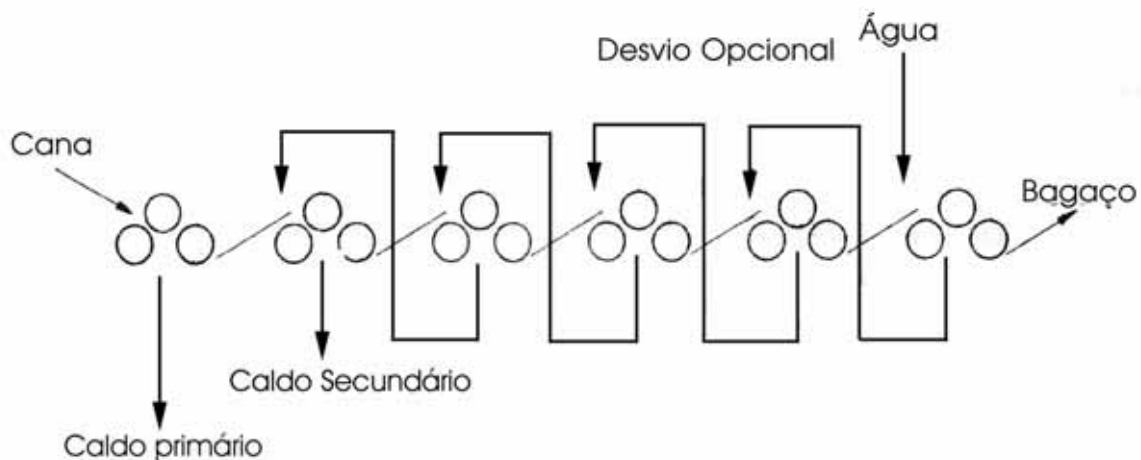


**Figura 12.1.1 – Embebição Simples**

### b) Embebição Composta

Consiste na aplicação de toda a água de embebição no último terno da moenda, o caldo deste é bombeado ao terno anterior assim sucessivamente até o segundo terno.

O caldo extraído neste terno é chamado de caldo misto, este por sua vez é enviado para o peneiramento onde será separado do bagacilho e enviado separadamente do caldo primário para o processo de tratamento do caldo o bagacilho retornará para moenda antes do primeiro ou segundo terno.



**Figura 12.1.2 – Embebição Composta**

## 12.2 Métodos de Aplicação de Água e Caldo para Embebição

### a) Água

- Pode ser aplicada por meio de bica, neste caso existe o inconveniente de se embeber a parte superior da camada de bagaço deixando a parte inferior menos embebida.
- Ou pressurizada tem o poder de penetração da água na camada devido a pressão dos jatos, pois provoca uma agitação do bagaço na sai do pente o quer leva a uma embebição mais uniforme sendo assim mais eficiente.

## b) Caldo

- A aplicação é feita normalmente através de bicas que tem por função distribuir o mesmo de maneira uniforme por toda a largura da esteira.

### 12.3 Temperatura da Água de Embebição

**Tabela 12.3.1 Vantagens e desvantagens da aplicação da água quente na embebição**

Vantagens	Desvantagens
Melhor diluição do caldo residual contido no bagaço;	Aumento na dificuldade de alimentação das moendas
Aumento da temperatura no bagaço final, que pode levar a uma pequena diminuição da umidade até a alimentação das caldeiras;	Dificuldade na aplicação de soldas nas moendas, devido às condições de trabalho dos soldadores.
Melhor extração	
Eliminação de acúmulos de 60°C	

**Observação:** Existem meios para contornar as desvantagens, recomenda-se a aplicação de água quente em torno de 70°C.

## 13. Peneira Rotativa



**Figura 13.1 - Peneira Rotativa**

São cilindros rotativos inclinados, revestidos com tela e sua principal função é de filtrar o caldo.

## 14. Acionamento das Moendas e Equipamentos de Preparo da Cana

O sistema é formado por vários equipamentos que acionam os temas de moenda e preparo de cana.

### 14.1 Acionamento das Moendas

- As turbinas a vapor são predominantes nas unidades industriais, devido ao baixo custo e elevada eficiência. São acionadas por vapor superaquecido direto das caldeiras. Normalmente uma turbina aciona dois ternos de moendas, havendo uma redução de velocidade até a faixa usual de 3 a 7 rpm, que é a faixa usual de rotação das moendas.
- O acionamento de um terno de moenda é feito através do cilindro superior, que é ligado à última engrenagem motora (da turbina ou motor), sendo os movimentos transmitidos aos cilindros inferiores através de engrenagens denominadas rodetes. O acionamento atualmente é quase que apenas por turbinas a vapor.

### 14.2 Turbina à Vapor



**Figura 14.2.1 - Turbina à Vapor aberta para reparos**

É o principal equipamento do sistema de acionamento da moenda, por que é responsável pela transformação da energia térmica do vapor que vem das caldeiras em energia mecânica.



**Figura 14.2.2 - Turbina à Vapor em funcionamento**

### 14.3 Redutor de Velocidade



**Figura 14.3.1 - Redutor de Velocidade**

São equipamentos constituídos de várias engrenagens e tem a função de reduzir a velocidade de rotação a partir da turbina, porém mantém a mesma potência que é a força transmitida através dos eixos e engrenagens.

Acoplada ao redutor há uma bomba de óleo para lubrificação e resfriamento dos mancais da turbina e redutor, além de acionar e regular as válvulas da turbina. Existe também uma bomba de óleo acionada por motor elétrico o qual exerce a mesma função anterior servindo para lubrificar os mancais na partida/ parada.

### 14.4 Trocador de Calor

Serve para resfriar o óleo lubrificante das turbinas e redutor do sistema de acionamento. Constitui-se em seu interior vários tubos com chicanas fixadas, por onde circula água fria a 25°C sendo que o óleo circula externamente aos tubos, efetuando assim a troca térmica.

### 14.5 Engrenagem Bi-helicoidal



**Figura 14.5.1 – Engrenagem Bi-helicoidal no cavalete para reparo**

É um conjunto de pinhão e engrenagens, constituídos com destes helicoidais na forma de espinha de peixe. Tem a função de reduzir velocidade de rotação e transmitir potência.

#### 14.6 Engrenagem de Dentes Retos (Volandeira)

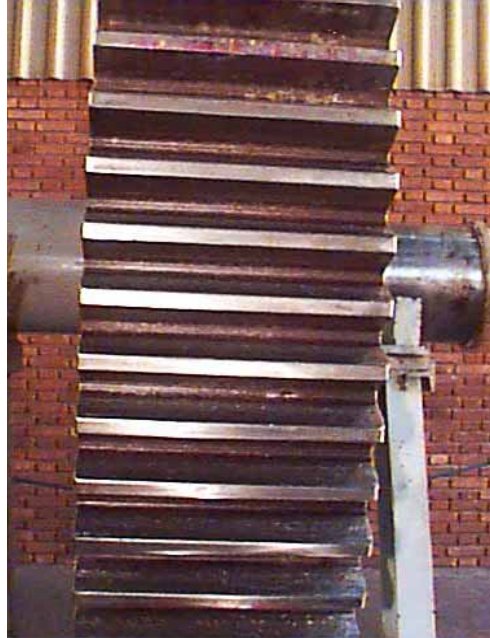


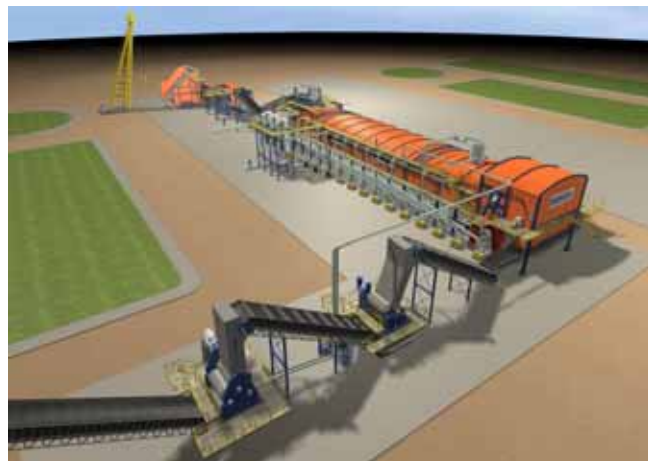
Figura 14.6.1 Engrenagem de Dentes Retos (Volandeira) no cavalete para reparo

É o conjunto de pinhão e engrenagens constituídos com dentes retos. Possui a mesma função do engrenamento bi-helicoidal, reduzir, a velocidade de rotação e transmitir potência, através do acoplamento, até os ternos de moenda.

### 15. Extração por Difusor

#### 15.1 Introdução

Além do sistema de moagem, existe um sistema denominado de DIFUSOR, onde a cana preparada, com um índice de células abertas (open cell) superior a 90 % sobre uma série de lavagens em número que varia de 12 a 18 vezes. Este processo pode extrair até 98 % da sacarose, valor superior ao da moenda.





## 15.2 Representação Esquemática de um Difusor

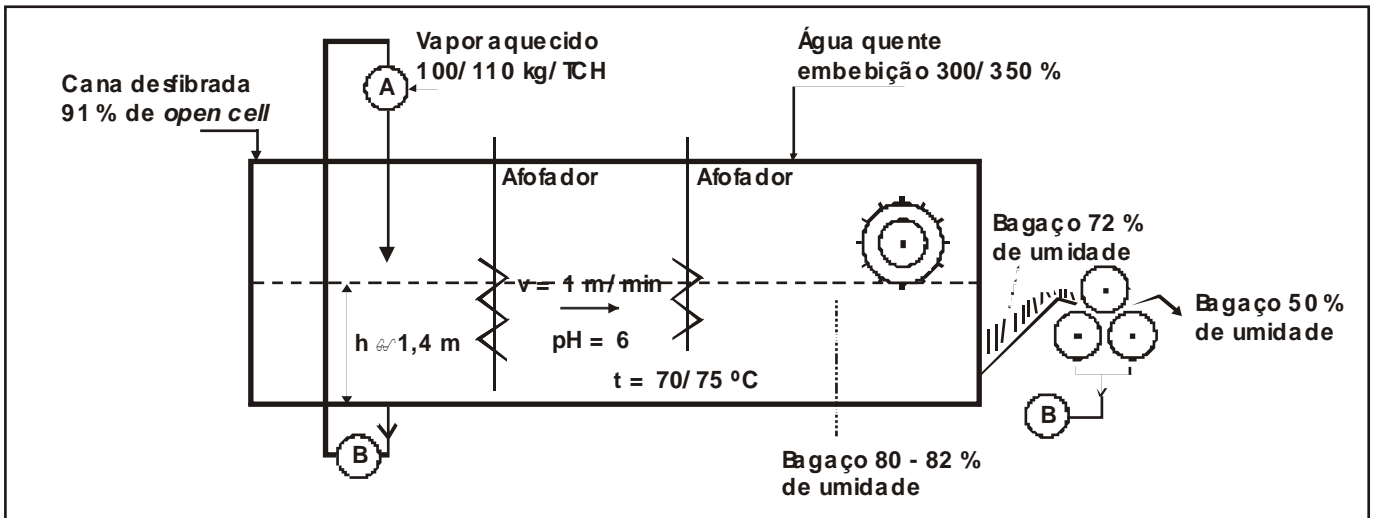


Figura 15.2.1 - Representação Esquemática

## 15.3 Croqui dos Difusores Tipo de Smet e BMA que são os mais usados no Brasil

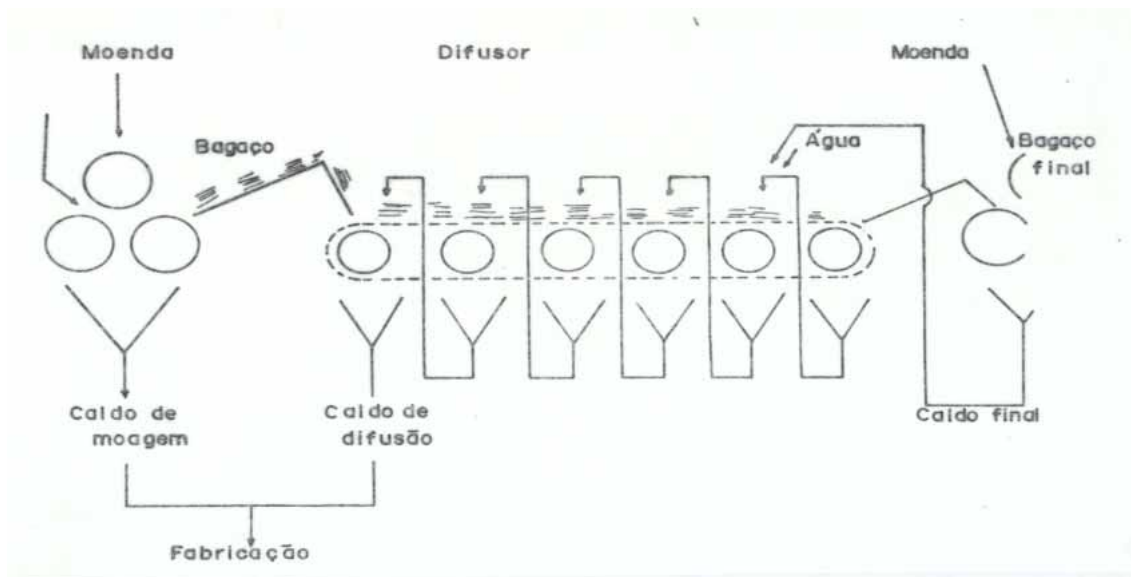


Figura 15.3.1 - Croqui dos Difusores

## 15.4 Vantagens e Desvantagens do Difusor

### a) Vantagens

- Maior extração;
- Consumo menor de energia;
- O caldo gerado é parcialmente tratado;
- Sistema mais limpo e higiênico;
- Processo mais automatizável;

**b) Desvantagens**

- Pouca flexibilidade operacional sendo pouco tolerante a variações de processamento;
- Exige um apoio técnico maior;
- Seu custo de implantação é maior que o da moenda.

**15.5 Vantagens e Desvantagens da Moenda****a) Vantagens**

- Grande flexibilidade operacional
- Operação sem grande apoio técnico
- Modular podendo ser ampliada à medida que a moagem cresce

**b) Desvantagens**

- Equipamento grosseiro e anti-higiênico
- Pouco eficiente (baixa extração)
- Manutenção cara

## Unidade II – Produção de Açúcar Cristal

### 1. Fluxograma da Produção de Açúcar

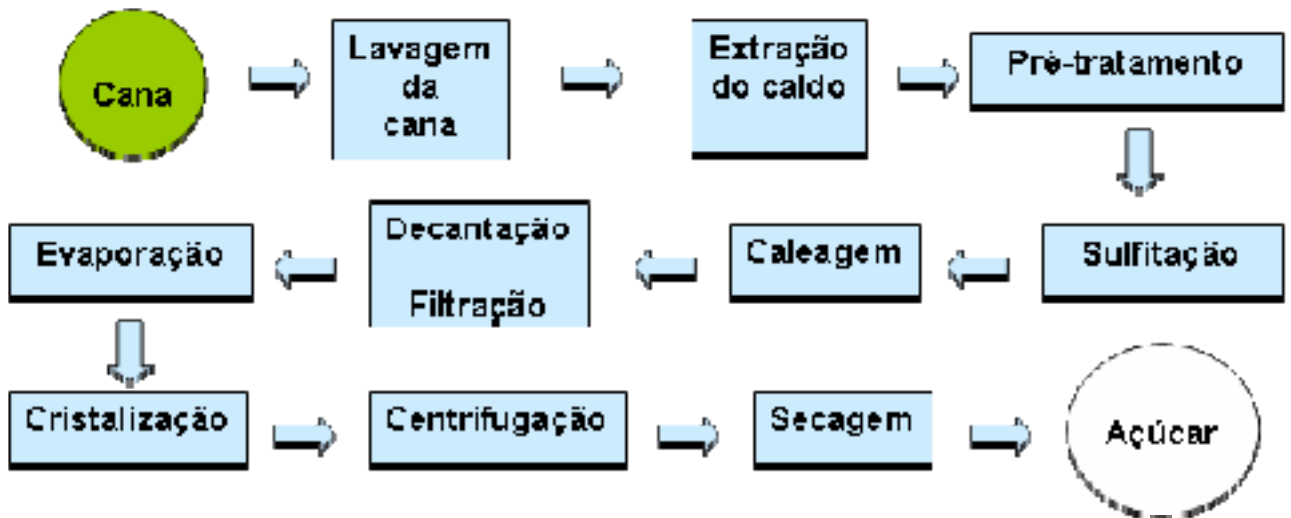


Figura 1.1 – Fluxograma

### 2. Tipos de Açúcar

**a) Açúcar refinado granulado:** Puro, sem corantes, sem umidade ou empedramento e com cristais bem definidos e granulometria homogênea. Seu uso maior é na indústria farmacêutica, em confeitos, xarope de transparência excepcional e mistura seca.

**b) Açúcar branco (tipo exportação):** Há dois tipos para exportação: o branco para consumo direto (humano), com baixa cor (100), produzido diretamente em usina, sem refino; e o branco para reprocessamento no destino, também produzido diretamente em usina, sem refino, cor 400.

**c) Açúcar cristal:** Açúcar em forma cristalina produzido diretamente em usina, sem refino. Muito utilizado na indústria alimentícia na confecção de bebidas, massas, biscoitos e confeitos.

**d) Açúcar demerara ou bruto:** Produto de cor escura, que não passou pelo refino.

**e) Açúcar mascavo:** Úmido e de cor castanha, não passa por processo de cristalização ou refino. Usado na confecção de doces que não requeiram transparência.

**f) Açúcar orgânico:** Açúcar de granulação uniforme, produzido sem qualquer aditivo químico tanto na fase agrícola como na industrial, disponível nas versões clara e dourada. Segue padrões internacionais e certificação por órgãos competentes.

**g) Açúcar refinado amorfo:** É o mais utilizado no consumo doméstico, por sua brancura excelente, granulometria fina e dissolução rápida, sendo usado ainda em

bolos e confeitos, caldas transparentes e incolores e misturas sólidas de dissolução instantânea.

**h) Açúcar VHP:** O açúcar VHP - Very High Polarization é o tipo mais exportado pelo Brasil. Mais claro que o demerara, apresenta cristais amarelados.

**i) Açúcar de confeitiro:** Tem grânulos bem finos, cristalinos, é produzido na refinaria e destinado à indústria alimentícia, sendo muito utilizado no preparo de bolos, glacês, suspiros etc.

**j) Xarope de açúcar invertido:** Solução aquosa com 1/3 de glicose, 1/3 de sacarose e 1/3 de frutose, têm alto grau de resistência à contaminação microbológica. De poder umectante e anticristalizante, é utilizado em produtos aditivados, com microbiologia e temperatura controladas, além de frutas em calda, sorvetes, balas, bebidas, massa, geléias, biscoitos, licores e bebidas carbonatadas.

**l) Xarope simples ou açúcar líquido:** Transparente e límpido é uma solução aquosa usada pela indústria farmacêutica e aplicado onde a ausência de cor é essencial, como bebidas claras, balas e outros confeitos.

### **Observação**

Tudo vive em constante transformação, na maioria sempre para melhor e com mais qualidade. Com o açúcar não é diferente. Por exemplo, no nosso uso doméstico, viemos do açúcar mascavo para o açúcar cristal e, depois, para o açúcar refinado para fazer doces, bolos e outras inúmeras receitas do dia-a-dia. E o açúcar de uso industrial também mudou.

Antes o melhor era o VHP, mas agora também temos o VVHP (Very Very High Polarization), que possui Pol acima de 99,5° - enquanto que o VHP tem Pol abaixo de 99,3° - e cor mais baixa (ICUMSA entre 300 e 500 UI). É quase um intermediário entre os açúcares crus e os refinados.



**Figura 2.1 – Tipos de Açúcar**

### 3. Análise de Açúcar

- a) **Cor:** Análise que classifica o tipo de açúcar.
- b) **Resíduo insolúvel:** Determina sólidos insolúveis presentes na amostra.
- c) **Umidade:** Determina se o açúcar está úmido, pois se estiver forma grumos nos cristais prejudicando a qualidade do açúcar.
- d) **Dextrana:** É causada por uma bactéria que quando presente leva o açúcar a formar grumos e goma sendo prejudicial à qualidade do açúcar.
- e) **Pol :** Determina a pureza do açúcar.
- f) **Cinzas :** Determina a quantidade de substâncias inorgânicas presentes no açúcar.
- g) **Pontos pretos:** Determina a presença de pontos pretos ( sujeiras, bagaçinha, fuligem, etc...) no açúcar
- h) **Sulfito:** Determina a quantidade de enxofre presente no açúcar, pois no processo de fabricação ele é usado para a clarificação dos caldos.

#### 4. Determinação da Cor

O termo ICUMSA é a sigla da International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis (Comissão Internacional para Métodos Uniformes de Análise de Açúcar).

$$\text{ICUMSA (UI)} = \frac{(\text{Abs})}{b \times c} \times 1000$$

**Abs:** Leitura de absorvância a 420nm da solução

**b:** Comprimento interno da cubeta (cm)

**c:** Concentração de sacarose açucarada (g/L) 20°C.

#### 5. Especificação para Açúcar Cristal de acordo com a Cor

- **Tipo 1:** máximo 100 UI
- **Tipo 2:** máximo 150 UI
- **Tipo 3:** máximo 200 UI
- **Tipo 4:** acima de 200 UI

#### 6. Tratamento do Caldo (Clarificação do Caldo)

##### 6.1 Introdução

O caldo de cana bruto é opaco, de cor amarela pardacenta a esverdeado, mais ou menos escuro e viscoso. As impurezas do caldo podem ser classificadas como impurezas em suspensão (terra, areia, bagacilho) e impurezas solúveis (corantes, sais minerais).

A opacidade é causada pelos colóides, proteínas, pentosanas, pectina e compostos inorgânicos como sílica. A cor varia com a cana e com a energia do esmagamento e é dada pela clorofila, antocianina, sacaretina e substâncias cromógenas. A viscosidade do caldo é causada por gomas, pectinas, albuminas e sílica coloidal.

O pH do caldo varia de 5 a 6 A acidez aumenta nas canas queimadas, doentes, praguejadas, cortadas a mais de 24 horas, verdes e passadas.

Na clarificação visa-se separar do caldo a maior quantidade possível de impurezas dissolvidas e em suspensão, sem afetar a sacarose. Deve ser feita logo após a moagem para evitar a ação de fermentos e enzimas.

A clarificação pode ser realizada de várias formas segundo o tipo de açúcar a ser produzido, ou se o caldo vai ser usado para fermentação a etanol. A clarificação consta de vários processos e combinações de processos, que variam de acordo com o tipo de açúcar que se quer obter e com a região.

A clarificação por simples decantação do caldo é impossível. Somente se pode consegui-la após a floculação dos colóides, pois o caldo tem que ser considerado na clarificação como um sistema coloidal muito complexo, no qual o meio de dispersão é a água.

No caldo á temperatura ambiente, predominam os colóides com pontos isoelétricos entre pH 7,0 e 7,2. Nessa faixa há a melhor floculação possível. A deposição da parte floculada arrasta quase todo o resto por adsorção.

## 6.2 Métodos de Clarificação do Caldo

Existem 5 métodos utilizados no processo de clarificação do caldo de cana que possuem destaque:

1. **Caleação, calagem ou defecação** – uso de cal virgem (CaO);
2. **Sulfitação** – uso de anidrido sulfuroso (SO<sub>2</sub>);
3. **Fosfatação** – uso de ácido fosfórico (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>);
4. **Carbonatação** – anidrido carbônico (CO<sub>2</sub>);
5. **Uso de óxido de magnésio.**

### TRATAMENTO DE CALDO P/ FABRICAÇÃO DE AÇÚCAR

#### FLUXOGRAMA DE TRATAMENTO DE CALDO

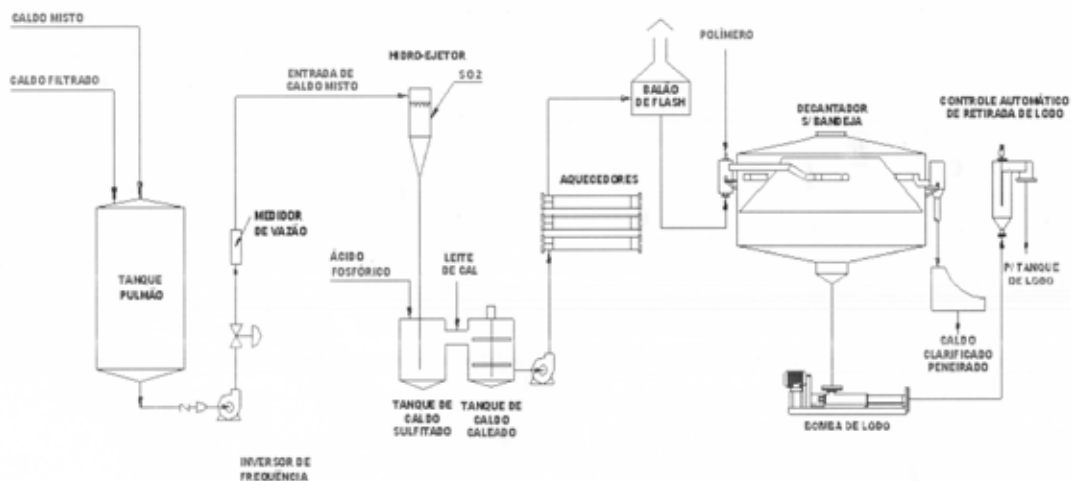


Figura 6.2.1 – Fluxograma de Tratamento do Caldo

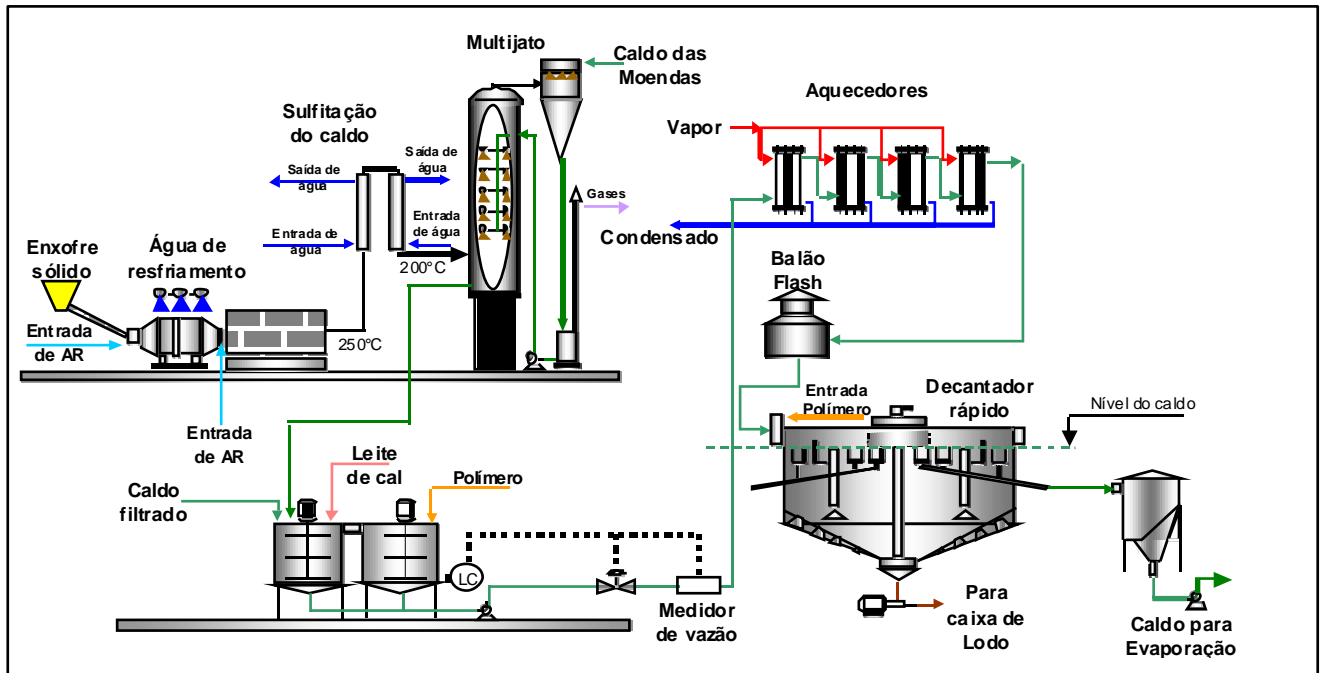


Figura 6.2.2 – Tratamento do Caldo

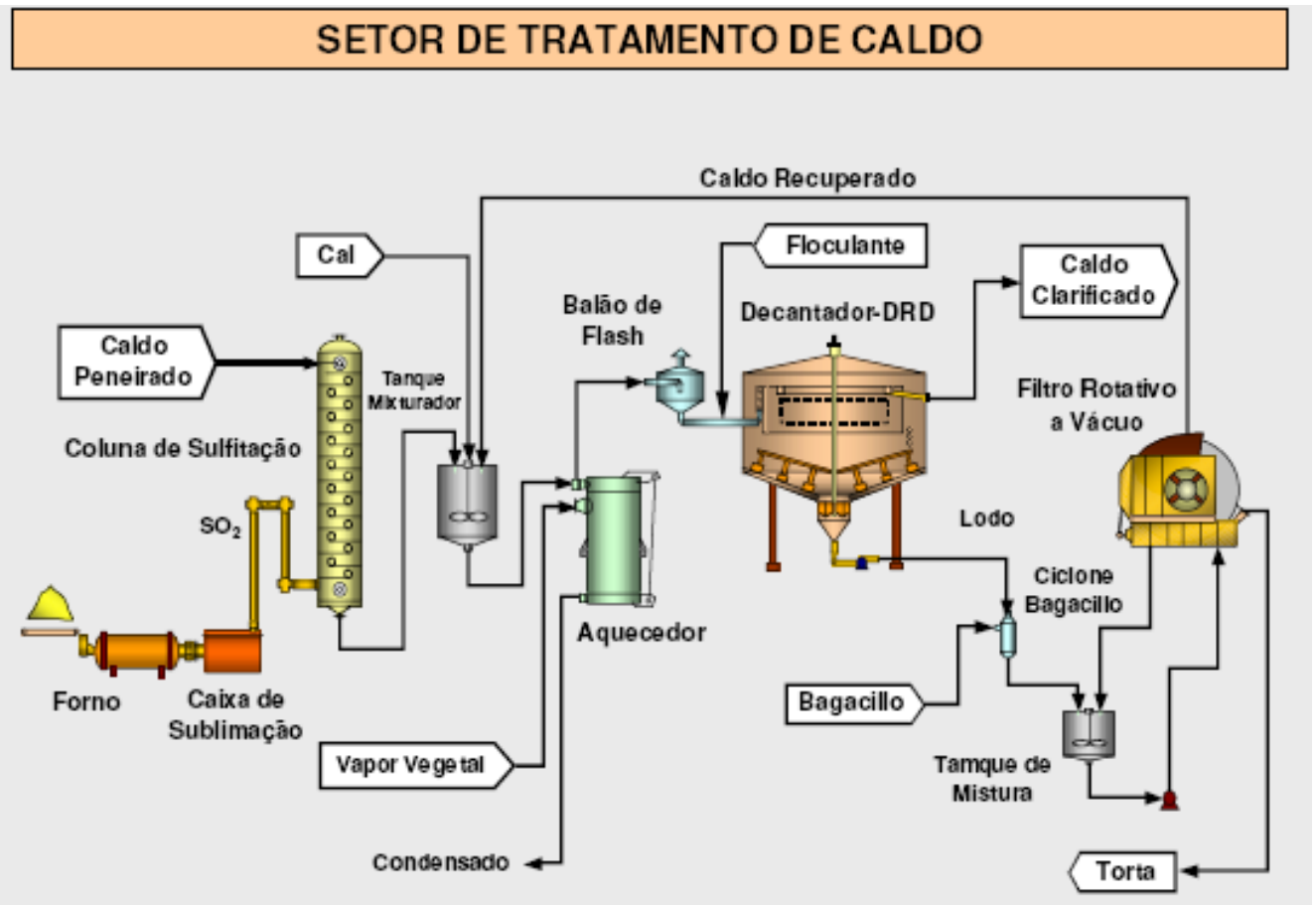


Figura 6.2.3 – Setor de Tratamento do Caldo



### 6.3 Tratamento de Caldo para Fermentação em Destilarias Anexas

O tratamento de caldo mais recomendado para a produção de álcool para destilarias anexas é aquele que prevê peneiramento, caleação, aquecimento, decantação e resfriamento.

As peneiras mesmo quando arranjadas em cascata, com eficiência gradativa de retenção, não conseguem remover mais que 80% das impurezas em suspensão, passando argila e bagacilho para o processo.

O tratamento que permite a eliminação de argila e bagacilho, após o peneiramento e desaeração, é o aquecimento, seguido de decantação. Estas duas impurezas entopem os bicos das centrífugas impedindo uma separação eficiente do fermento.

O aquecimento do caldo a 105°C reduz a carga microbiana contaminante e o volume de espuma na fermentação.

### 6.4 Tratamento de Caldo para Fermentação em Destilarias Autônomas

O tratamento de caldo para produção de álcool para as destilarias autônomas é o mesmo das destilarias anexas, acrescido da operação de concentração do caldo que permite:

- A elevação do teor de açúcar total do mosto para fermentação implica em aumento do teor de álcool no vinho, aumentando a capacidade de produção da destilaria e diminuindo o consumo de vapor;
- Desnaturação de proteínas, reduzindo a viscosidade do caldo e diminuindo a formação de espumas;
- Menor desgaste dos bicos das centrífugas provocando menor perda de fermento (que permite menor consumo de ART do mosto).

## 7. Sulfitação

Consiste em promover o contato do caldo com o gás sulfuroso (SO<sub>2</sub>) para sua absorção, o que implica em:

- **Redução do pH:** Auxilia a precipitação e remoção de proteínas do caldo.
- **Diminuição da viscosidade do caldo:** Conseqüentemente do xarope, massas cozidas e méis, facilitando a cristalização da sacarose nos cozimentos;
- **Formação de complexos com açúcares redutores:** Impede a sua decomposição e controla a formação de compostos coloridos em alcalinidade alta;
- **Preservação do caldo:** Contra alguns microrganismos;

- **Prevenção do amarelamento do açúcar (Cristal Branco):** Por algum tempo, durante o armazenamento;
- O caldo decanta-se mais rapidamente e ocorre melhor eliminação de fosfatos e ceras, permitindo uma filtração melhor;
- Eliminar materiais corantes do caldo, possibilitando a fabricação do açúcar branco;
- Transformar em compostos ferrosos incolores os sais de ferro presentes no caldo devidos a desgastes de moendas e tubulações;
- O  $\text{SO}_2$  é um redutor enérgico e atua sobre as substâncias corantes do caldo, reduzindo a sua cor.

A principal reação química ocorre com o hidróxido de cálcio usado na calagem na etapa seguinte, produzindo um precipitado de sulfito de cálcio que, ao ser eliminado na decantação, permite a obtenção de um caldo límpido e claro.

O efeito mais importante da sulfitação, quando da clarificação do caldo de cana é sua ação inibidora de formação de cor, proveniente da reação entre açúcares redutores e aminoácidos (reação de Maillard).

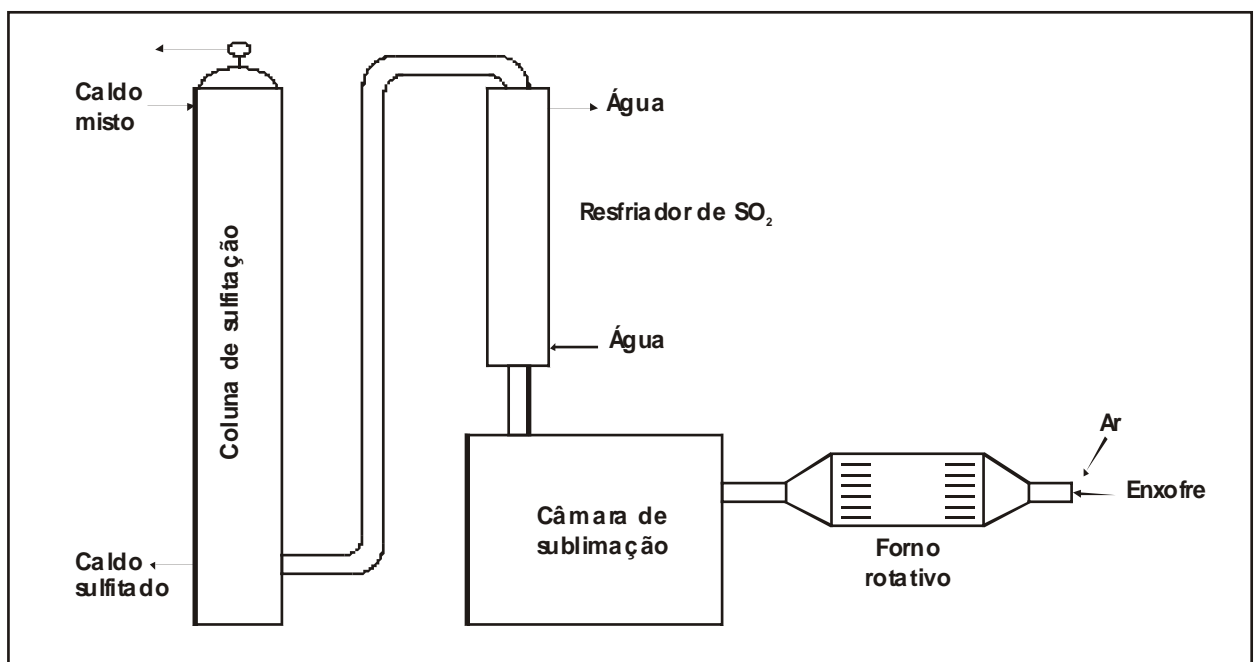


Figura 7.1 – Diagrama do Processo

## 7.1 Métodos de Sulfitação

### a) Sulfitação fria do caldo bruto

- Sulfitar em pH na faixa de 3,8 a 4,5;
- Efetuar calagem até pH 7,0;
- Aquecer até 105°C e enviar para o clarificador;

**b) Sulfitação quente do caldo bruto**

- Aquecimento entre 65 – 75°C;
- Sulfitação em pH na faixa de 3,8 a 4,5;
- Efetuar calagem até pH 7,0;
- Aquecer até 105°C e enviar para o clarificador;

**c) Sulfitação quente do caldo bruto (Java)**

- Aquecimento até 50°C;
- Calagem;
- Sulfitação até pH 7,2;
- Aquecer até 105°C e enviar ao decantador. Este processo é muito usado na Índia e reduz a quantidade de cal e de anidrido sulfuroso.

**d) Calagem fracionada e sulfitação do caldo bruto**

- Aquecimento até 55 ou 60°C;
- Pré-calagem com 400 g de CaO por T.C.
- Sulfitação com 0,4 g de SO<sub>2</sub> por litro de caldo;
- Calagem final até pH 7,4;
- Aquecimento a 105°C e envio ao decantador.

Existem variantes dos processos gerais de sulfitação citados anteriormente.

A sulfitação é o primeiro tratamento químico que o caldo recebe na usina, e consiste na passagem do gás anidrido sulfuroso (SO<sub>2</sub>) ao caldo aquecido. O caldo passa em contato direto com o SO<sub>2</sub>, ambos escoando em contra corrente, em colunas de absorção de gases, contendo bandejas perfuradas (pratos), as quais aumentam o contato gás-líquido.

O SO<sub>2</sub> age de forma complexa ao reagir com o caldo, formando um sal pouco solúvel que será removido na seção da decantação, auxiliando na clarificação do caldo. Além disso, o SO<sub>2</sub> ajuda a converter compostos coloridos em incolores, impedindo o desenvolvimento de cor pela oxidação e inibindo o desenvolvimento de cor pela reação de escurecimento entre açúcares redutores e aminoácidos.

O gás SO<sub>2</sub> é obtido pela queima de enxofre, que reage com o oxigênio, como mostra a reação exotérmica:  $S + O_2 \rightarrow SO_2$ .

Infelizmente, nem todo o enxofre queimado se transforma em SO<sub>2</sub>, pois nem sempre se consegue parar a reação, podendo formar SO<sub>3</sub>, devido à alta temperatura que pode ser atingida pela liberação da reação de formação de SO<sub>2</sub>.

## 7.2 Inconvenientes da Presença de $\text{SO}_3$ no Gás de Sulfitação

- Formar ácido sulfúrico, que pode causar corrosão nos equipamentos e inversão na sacarose;
- Formação de sulfato de cálcio que é mais solúvel que o sulfito de cálcio, aumentando o teor de sais no caldo e causando incrustações nos evaporadores;
- Aumenta o consumo de enxofre. Para minimizar a formação de  $\text{SO}_3$ , alguns cuidados devem ser seguidos:
  - Controle da vazão de ar na alimentação do forno, bem como sua umidade;
  - Resfriamento dos gases de combustão contendo o  $\text{SO}_2$  para em torno de  $250^\circ\text{C}$ , onde a taxa de formação do  $\text{SO}_3$  é mínima.

A combustão do enxofre e a temperatura:

- **$119^\circ\text{C}$** : fusão do enxofre;
- **$119 - 180^\circ\text{C}$** : enxofre fundido aumenta viscosidade e escurece
- **Acima de  $180^\circ\text{C}$** : a viscosidade diminui;
- **$250^\circ\text{C}$** : inicia-se o processo de combustão;
- **$250 - 400^\circ\text{C}$** : inicia a formação de  $\text{SO}_3$ ;
- **$400 - 500^\circ\text{C}$** : intervalo de temperatura no qual a formação do  $\text{SO}_3$  é ótima;

A

A queima do enxofre é realizada em fornos constituídos por um tambor rotativo, câmara de combustão e resfriador. O consumo de enxofre situa-se em torno de 350 g de enxofre por tonelada de cana, e o pH do caldo que deixa a torre está em torno de 4,5. Na produção do açúcar orgânico, o caldo não passa pela sulfitação.

## 7.3 Processo de Sulfitação

O caldo é enviado a um pré-aquecimento em trocador de calor tipo placa ou casco tubo, onde é aquecido pela troca de calor com um fluido quente (que em muitos casos é vinhaça) até a temperatura desejada.

A seguir o caldo é introduzido na parte superior de uma coluna de sulfitação e os gases pela parte inferior, ocorrendo assim, a absorção do  $\text{SO}_2$  pelo caldo.



**Figura 7.3.1 - Forno Rotativo para Queima de Enxofre**

Alguns técnicos afirmam que se pode sulfitar antes ou após a calagem, que o que realmente importa é chegar ao mesmo pH final do caldo decantado. Mas no geral, principalmente no Brasil, o processo preferido é a sulfodefecação, ou seja, primeiro faz-se a sulfitação.

Se a calagem é feita primeiro, o caldo fica exposto mais tempo a pH alcalino, favorecendo a formação de gomas, como a dextrana, inconveniente por levar a entupimentos de canalizações e interferir na cristalização do açúcar. Além do mais, a rapidez da decantação e o volume do lodo dependem do pH do meio (reação do meio) no qual se forma o precipitado.

O lodo sendo formado num meio alcalino será hidratado, portanto forma um maior volume de lodo que será enviado para a filtração. O lodo formado em meio ácido é mais compacto e apresenta maior velocidade de decantação.

Na prática admite-se:

- Calagem antes da sulfitação: decantação mais lenta, maior volume de lodo, necessita maior capacidade de filtração;
- Sulfitação antes da calagem: melhor para canas não maduras, decantação mais rápida, menor volume de lodo, necessita menor capacidade de filtração;

A sulfodefecação para uma boa coagulação das impurezas deve ser conduzida:

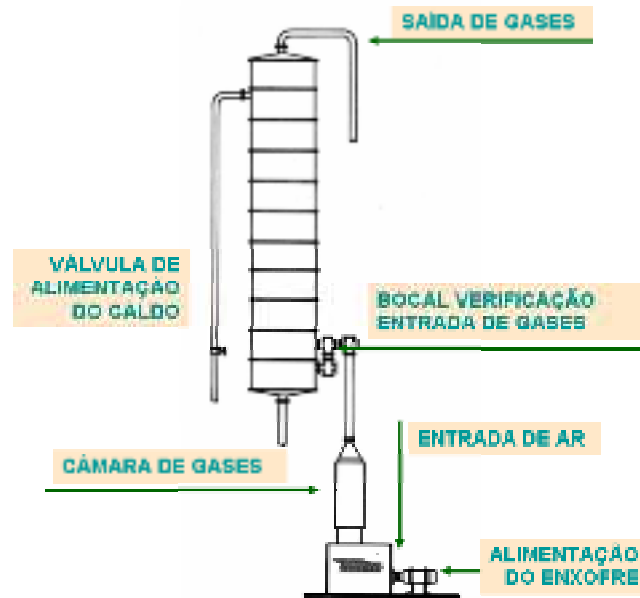
- pH de 3,8 a 4,0 numa temperatura de 30 a 40°C;
- pH de 5,1 a 5,3 numa temperatura de 70 a 75°C.

Numa temperatura mais baixa a absorção do  $\text{SO}_2$  no caldo é maior. Na reação química entre o  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  e o  $\text{SO}_2$  forma-se  $\text{CaSO}_3$ . Uma sulfitação exagerada conduz à formação de  $\text{Ca}(\text{HSO}_3)_2$  que é muito mais solúvel em água que o sulfito.

A formação do bissulfito é inconveniente, pois durante o aquecimento e evaporação do caldo o bissulfito é transformado em sulfito de cálcio insolúvel, que se deposita nos equipamentos.

Incrustações nos evaporadores implicam em gastos com limpeza química e mecânica, além de maior gasto de vapor. Além disso, implica em açúcar com maior teor de cinzas (minerais).

## 7.4 Manutenção do pH



**Figura 8.1.1 – Coluna de Sulfitação**

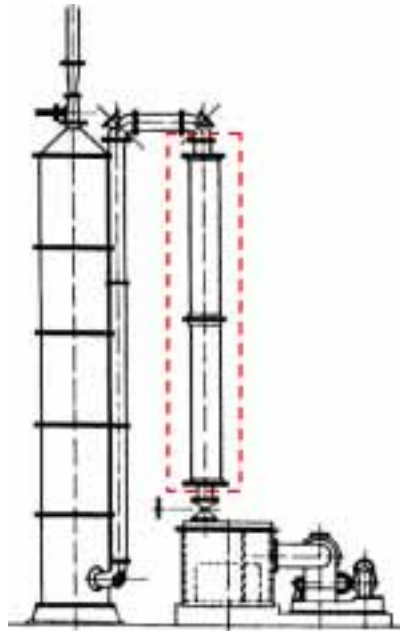
Para manter o pH estipulado dos caldos da saída das 3 colunas, deve-se:

- ▶ Distribuir o caldo nas colunas.
- ▶ Controlar a alimentação do enxofre.
- ▶ Regular a entrada de ar após o forno.
- ▶ Verificar a entrada de gases nas colunas.
- ▶ Controlar a temperatura da água de resfriamento da câmara de gases.

## 7.5 Camisa de Resfriamento

Resfriamento do gás para temperatura abaixo de 200°C

- Abaixo de 230°C para reduzir a formação de SO<sub>3</sub>.
- Acima de 120°C para evitar o empedramento.



**Figura 7.5.1 – Camisa de Resfriamento**

## 9. Fosfatação

O fosfato, expresso em ácido fosfórico é encontrado na cana sob duas formas principais: como fosfatos solúveis do caldo e combinado nas proteínas das células. A clarificação de caldos deficientes em fosfato natural é muitas vezes auxiliada pela adição de fosfatos.

Em geral, caldos contendo menos de 0,03% de fosfatos são considerados deficientes. A adição de fosfatos até este nível assegura maior formação de flocos de fosfato de cálcio, mas teores de fosfato da ordem de 0,09% podem implicar em aumento do volume de lodo e mais baixa velocidade decantação.

A fonte normalmente utilizada para aumentar o fosfato natural presente na cana é o ácido fosfórico, mas é comum usar fosfato de amônia, de manuseio mais fácil e mais barata que o ácido fosfórico.

A fosfatação auxilia na remoção de materiais corantes e parte dos colóides do caldo. O precipitado formado com a cal é o fosfato tricálcico. O ácido fosfórico é acrescentado antes da calagem.

Tem a possibilidade de substituir a sulfitação, mas no geral deve ser considerado como um auxiliar da clarificação e é usado numa dosagem de 250 a 300 ppm (mg/L).

**Tabela 9.1 – Uso do Ácido Fosfórico ( $P_2O_5$ )**

<b>Vantagens</b>	<b>Aplicação</b>
Caldo mais claro	Varia de acordo com a quantidade de $P_2O_5$ presente no caldo
Alta taxa de sedimentação	Dosagem ideal normalmente entre 200 e 300 ppm
Lodo mais concentrado	Nunca superior a 600 ppm → Formação de flocos leves que decantam lentamente, além de causar incrustações.

Melhor filtrabilidade do lodo	
Menor cor no açúcar	
Açúcar de melhor qualidade	

## 10. Carbonatação

O caldo é aquecido, tratado com leite de cal e depois com CO<sub>2</sub>. Há precipitação de carbonato de cálcio, que englobará as matérias primas corantes e as gomas, tornando um complemento da clarificação.

É um método usado na produção de açúcar de beterraba e muito pouco citado para açúcar de cana. Pode ser simples quando se usa apenas um tratamento com CO<sub>2</sub> e uma filtração e duplo quando ocorrem duas operações de cada.

Há também um método com tratamento com gás carbônico e calagem simultaneamente. Para caldo de cana o maior inconveniente é a caramelização dos açúcares redutores, que escurece o produto.

## 11. Caleação ou Calagem

### 11. Introdução

Normalmente o pH do caldo de cana varia entre 4,8 - 5,5, sendo que as canas maduras apresentam um pH mais elevado, e nas canas passadas e queimadas, este valor tende a um limite mais baixo.

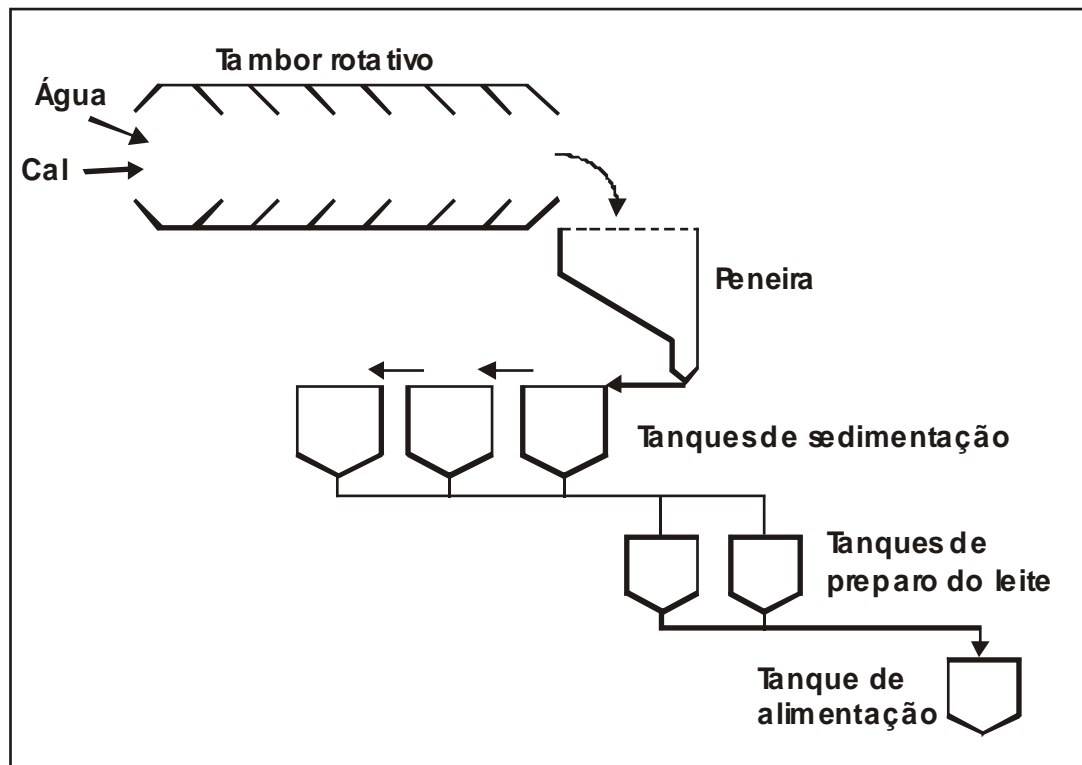
Esta acidez pode ser alterada para menos, mediante a adição de álcalis, assim como o leite de cal Ca(OH)<sub>2</sub>, o qual constitui a base fundamental de todos os processos de clarificação do caldo de cana, por formar compostos insolúveis no mesmo, sendo estes, de fácil remoção por decantação e filtração.

O objetivo da caleação é a reação com o sulfito e com o ácido fosfórico (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), formando sulfito e fosfato de cálcio, que são insolúveis em pH neutro e se precipitam na decantação. O pH do caldo atinge a faixa de 7,2 a 7,8.

Pela adição de leite de cal, além da formação de compostos insolúveis, verifica-se a coagulação de grande quantidade de colóides, e ainda uma elevação na concentração hidroxiniônica do caldo, pois se trabalhando com este em pH próximo à neutralização, evita-se os produtos escuros resultantes da decomposição dos açúcares redutores. Sob a ação do hidróxido de cálcio, quando este é aplicado em excesso ocorre à inversão da sacarose, com conseqüente diminuição no rendimento da indústria, causado pela alta alcalinidade do caldo em processamento.

A adição ou dosagem de leite de cal ao caldo proveniente da sulfitação é feita de maneira contínua com controle automático nos tanques dosadores.





**Figura 11.1.1 – Sistema de Calagem**

## 11.2 Ação da Cal sobre os Caldos

Os ácidos orgânicos são eliminados, as matérias albuminóides são coaguladas, uma parte das matérias corantes torna-se insolúvel. Com a caleação ocorre pequeno aumento da pureza dos caldos (0,5 a 2,0 pontos).

A purificação é física, formando um precipitado que engloba as impurezas físicas e as arrasta consigo. Assim, o objetivo da caleação é a reação com o sulfito e com o ácido fosfórico, formando sulfito e fosfato de cálcio, que são insolúveis em pH neutro e se precipitam na decantação.

## 11.3 Parâmetros

- **Preparação do leite de cal:**  $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2$  (exotérmica). O leite de cal é preparado em dois tanques, dos quais um se esvazia, enquanto o outro enche, dotados de agitador, girando a 8 – 10 rpm. A capacidade de cada tanque é de 90 – 120 minutos de operação da usina.
- $\text{Ca(OH)}_2 \rightarrow \text{Ca}^{2+} + 2 \text{OH}^{-1}$ ;
- $2 \text{HSO}_3 + \text{Ca}^{2+} \rightarrow \text{Ca(HSO}_3)_2$  (bissulfito de cálcio – solúvel)
- $\text{Ca(HSO}_3)_2 + \text{Ca(OH)}_2 \rightarrow 2 \text{CaSO}_3 + 2 \text{H}_2\text{O}$ ;
- Cal hidratada pura apresenta 76% de CaO  $(56/74) \times 100\%$ ;
- Calagem até pH na faixa de 7,2 a 7,4 (processo de caleação de caldo sulfitado).

- Fundamental o controle automático do pH;
- Consumo de cal: 500 – 800 g de CaO por tonelada de cana;
- Um bom processo de caleação apresenta um teor de CaO do caldo clarificado não superior a 400 mg/L.

#### **11.4 Métodos de defecação**

##### **a) Calagem Fria**

- O caldo recebe calagem até pH na faixa de 7,2 a 8,3 com média em 7,8;
- Em seguida enviado aos aquecedores, aquecido até ebulição (105°C);
- Após aquecedores, o caldo passa por um tanque de flash e é enviado ao decantador;
- A decantação é completada após um tempo que varia de 60 a 180 minutos.

##### **b) Calagem Quente**

- Aquecimento do caldo a 70°C;
- Calagem até pH 7,8 e aquecimento até ebulição (105°C);
- Flash e decantador.

##### **c) Calagem Fracionada e Aquecimento Duplo**

- Calagem a pH 6,2 – 6,4;
- Aquecimento a 105°C;
- Nova calagem até pH de 7,6 a 8,2;
- Aquecimento a 105°C;
- Tanque de flash e a seguir decantação;
- O pH final do caldo clarificado deve situar entre 6,8 a 6,9.

##### **d) Calagem com Ebulição**

- Aquecimento a 105°C;
- Flash seguido de calagem até pH 7,8;
- Decantação;
- O pH final deve se situar entre 6,8 e 6,9.

##### **e) Adição de Cal com Sacarato**

- Este método consiste na mistura de leite de cal com caldo clarificado ou xarope, mantendo o contato acima de 5 minutos, dando tempo para formação de sacarato de cálcio. Então é feita a adição da cal com esta mistura de sacarato ao caldo bruto. Afirma-se que o caldo fica mais claro e mais puro;

- Deve ser formado sacarato monocálcico e para isso a temperatura deve ser abaixo de 58°C e a relação sacarose para óxido de cálcio deve ser acima de 6,1 para 1;
- Diminui o problema de entupimentos de tubulações.

**Um processo típico de uso de sacarato é:**

- 20% de caldo misto: aquece até a ebulição, caleia até pH 11,0 a 11,5;
- 80% de caldo misto, pH 6,0-6,5 (frio), aquece até ebulição;
- Misturam-se as duas partes e envia para o balão flash (pH = 7,0).

### 11.5 Características da Cal

A cal utilizada no processo de clarificação do caldo de cana é obtida pela dissociação do carbonato de cálcio, gerando CaO e CO<sub>2</sub>. O CaO reage com H<sub>2</sub>O para formar a cal hidratada através de uma reação exotérmica, conforme segue:



Normalmente para tal preparação existem duas caixas sendo a primeira com entrada de água pela parte superior. Na primeira caixa é adicionado CaO e água, e com auxílio de um agitador mecânico, faz com que em solução fique pré-homogenizada, em seguida a solução é transferida para a segunda caixa, obtendo uma solução na faixa de 4,0 a 7,0° Baumé.

A água a ser utilizada no preparo do leite de cal não deve ser dura, sendo recomendado o uso de águas condensadas. O tempo de hidratação e maturação da cal é da ordem de 7,7 horas. Esta solução é agitada e bombeada para o processo sendo que o excesso retorna para as caixas de preparação.

A acidez ou a alcalinidade final do caldo clarificado entrando na evaporação não é indiferente. Na obtenção de açúcar branco é necessário um caldo caleado ligeiramente ácido. Para açúcar demerara pode-se deixar o caldo levemente alcalino. O pH alcalino implica em aumento de tempo de cozimento, dificultando a cristalização. O tempo de cozimento é cerca de 20% maior para um pH 7,5 do que para pH 7,0.

## 12. Aquecimento do Caldo

O aquecimento do caldo apresenta os seguintes objetivos:

- Acelerar as reações químicas que levam à formação de compostos insolúveis;
- Promover a coagulação das proteínas e a floculação máxima possível dos colóides do caldo;

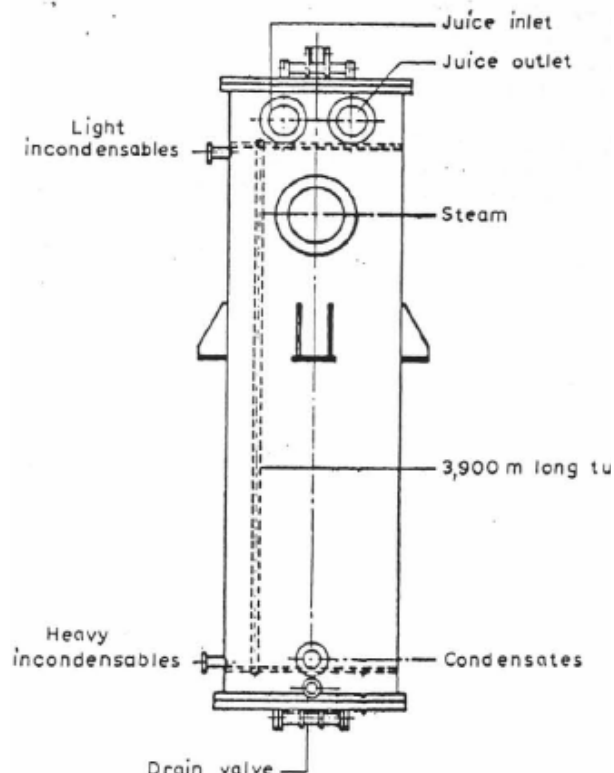
- Reduzir a solubilidade dos sais de cálcio e a viscosidade do meio e acelerar o processo de decantação e clarificação do caldo;
- Saturar os sais formados nas reações químicas;
- Controle microbiológico (conseqüência);
- Diminuir a densidade e viscosidade;
- Provocar a floculação.

O aquecimento é feito em trocador de calor, geralmente do tipo casco e tubos, do tipo vertical / horizontal ou trocadores de placas.

O aquecedor (normalmente trocador tipo casco tubo) é formado por uma calandra tubular: o caldo circula por dentro dos tubos e o vapor em volta dos tubos. Os aquecedores (trocadores de calor) podem ser de simples ou de múltiplos passes.

A temperatura do caldo deve ser elevada acima do ponto de ebulição na pressão atmosférica, podendo chegar a 110°C na entrada do decantador, sendo a temperatura de aquecimento mais usada 105°C e a velocidade de circulação do caldo considerada ótima se situa na faixa de 1,5 a 2,0 m/s.

Esse aquecimento é feito pelo vapor vegetal gerado nos evaporadores. Há grande incidência de incrustações nos tubos dos aquecedores, e por isso deve ser feita uma limpeza periódica nos mesmos, para evitar perdas na transferência de calor. Um aquecedor típico de caldo é mostrado na Figura 5.



**Figura 6 – Esquema de um Aquecedor de Caldo com vários passes**

## 13. Balão de Flash

É um simples recipiente cilíndrico, colocado imediatamente antes e acima do decantador, com uma chaminé aberta para a atmosfera e ao qual o caldo vindo dos aquecedores, chega tangencialmente.

Como o caldo está a 105°C, há uma evaporação espontânea, assim que chega a este recipiente, à pressão atmosférica.

Este fenômeno libera todas as partículas em suspensão das bolhas de ar que ali estão agregadas e que impediriam a deposição das partículas de bagaço (bagacilho) durante a clarificação, se não fossem retiradas.

Portanto, por meio da ebulição espontânea, há a eliminação do ar dissolvido no caldo que dificulta a decantação das impurezas mais leves (bagacilho). O único parâmetro a ser controlado é a temperatura do caldo, a 105°C, ou seja, acima do ponto de ebulição para haver o flasheamento.

## 14. Decantação

### 14.1 Introdução

É a separação física entre sólido e líquido por diferença de densidade. A velocidade de decantação é regida pela lei de Stokes:

$$v = \frac{K \times D^2 (d_1 - d_2)}{\mu}$$

- **v**: velocidade de queda da partícula em cm/s,
- **D**: diâmetro da partícula em cm,
- **d1**: densidade da partícula em g/cm<sup>3</sup>,
- **d2**: densidade do fluido em g/cm<sup>3</sup>,
- **μ**: viscosidade do fluido em poise ou centipoise,
- **k**: constante que depende da forma da partícula.

A decantação é a mais importante etapa do processo de clarificação, que visa purificar o caldo pela remoção de compostos coagulados por sedimentação. Basicamente, pode-se dizer que um açúcar de boa cor e poucas impurezas depende da qualidade da decantação.

O processo de decantação se dá nos decantadores que podem ser do tipo convencional ou rápido.

A decantação é um processo contínuo, que leva aproximadamente três horas no decantador convencional, e uma hora no decantador rápido. É usual a aplicação de floculantes na entrada do decantador, visando agrupar os flocos formados nas reações químicas, deixando-os mais pesados para que decantem mais rapidamente.

Os floculantes são polímeros, que podem ser tanto catiônicos quanto aniônicos. Eles recebem a denominação de polieletrólitos e são poliacrilamidas parcialmente hidrolisadas.

Melhoram a floculação, a decantação torna-se mais rápida e o volume de lodo torna-se menor e não modificam o pH. A dosagem dos floculantes é da ordem de 1 a 3 g/TC, usados em solução numa concentração de 0,01 a 0,05%.

A capacidade de um clarificador é determinada pelo tempo de retenção necessário para permitir a sedimentação do lodo. A área disponível para a sedimentação constitui o maior fator para garantir a eficiência. Quanto maior a área por unidade de volume, mais rápida a decantação e menor o volume de lodo obtido.

Os principais parâmetros da sedimentação são:

- **pH do caldo clarificado:** 6,8 a 7,0;
- **Transmitância:** > 60%;
- **Concentração do lodo:** 45 a 55% de impurezas;
- **Teor de  $P_2O_5$**  < 30 ppm;
- **Tempo de retenção:** 30 min à 3 horas;
- **Flocos pequenos:** falta de polímero;
- **Caldo turvo:** pH baixo ou falta de sulfito;
- **Impurezas flotando:** temperatura baixa;
- **Caldo com cor amarelo forte:** pH alto.

Os decantadores devem ser esvaziados a cada 6 semanas, para evitar problemas de contaminação.

O decantador separa o lodo do caldo alimentado, que resulta em um caldo mais puro e límpido, e a esse caldo se dá o nome de caldo clarificado. O lodo retirado do decantador possui uma grande quantidade de sacarose.

Este lodo passa por um processo de filtração gerando um caldo filtrado que é utilizado na produção de álcool. Na Figura 8 é apresentado um esquema de um decantador convencional com bandejas.

## 14.2 Decantação do Caldo de Cana

O caldo de cana após sofrer tratamento químico e térmico é colocado em repouso para que as impurezas sejam removidas por decantação ou emersão (flotação).

Inicialmente esta operação era realizada de forma intermitente em caixas individuais, como hoje é feito em pequenos engenhos de açúcar mascavo. As usinas atualmente utilizam processos contínuos nessa operação.

Para se acelerar a velocidade de decantação, o processo mais utilizado é o aumento do tamanho das partículas, especialmente no caso das suspensões coloidais, onde o movimento browniano e a repulsão elétrica não permitem a decantação.

Em geral a aglomeração se consegue pela utilização de floculantes, que podem atuar de diversas formas:

- **Substâncias eletrolíticas:** descarregam as cargas elétricas,
- **Substâncias coagulantes:** provocam a formação de precipitados gelatinosos,
- **Polieletrólitos:** que consistem em polímeros de alto peso molecular e de cadeia longa com um grande número de pontos eletricamente ativos.

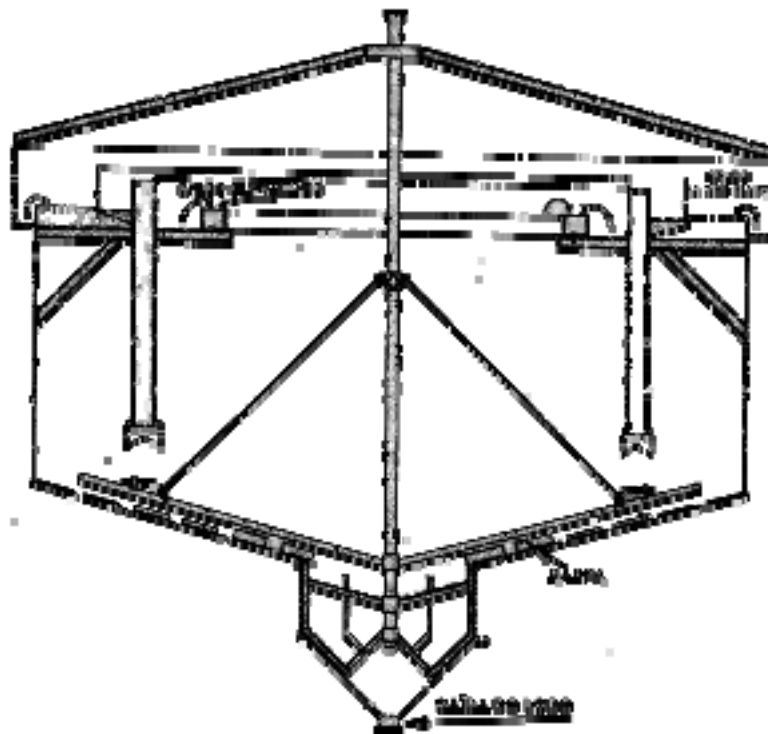
## 14.3 Tipos de Decantadores

### 14.3.1 Decantador Rápido (Sem Bandejas)

Equipamento onde o caldo é alimentado através de um anel concêntrico, sendo o caldo claro retirado por calhas e o lodo retirado pelo fundo com auxílio de pás raspadoras.

**Tabela 14.3.1 – Vantagens e Desvantagens do Decantador Rápido**

Vantagens	Desvantagens
Baixo tempo de retenção (1 hora).	Bastante sensível às variações de fluxo, sendo obrigatória à automação.
Baixas perdas por inversão.	Apresenta um alto consumo de polímeros (4 g/ m <sup>3</sup> de caldo).
Menor volume e um menor tempo de liquidação.	Produz um lodo menos concentrado aumentando a recirculação de filtrado e conseqüentemente as perdas.
Menor custo de implantação.	Não decanta bem caldos com Brix elevado (maior que 18%).
	Não é aconselhável para a fabricação de álcool por necessitar de tratamento químico.



**Figura 14.3.1 – Decantador Rápido (Sem Bandejas)**

### 14.3.2 Decantador Convencional

O decantador mais utilizado nas usinas de açúcar é do tipo Dorr (Dorr Oliver). É constituído de um cilindro de fundo e tampa cônicos. Internamente é composto por

seções ou compartimentos (em torno de 5), separadas por bandejas cônicas paralelas ao fundo, as quais possuem uma abertura central que faz a comunicação entre os compartimentos, constituindo o espaço por onde saem as borras.

Este canal é atravessado por um eixo que sustenta suportes para os raspadores em número de quatro. O eixo central é acionado por motor elétrico, e movimenta a uma rotação entre 10 e 12 rph.

O caldo é alimentado pela parte central descendo pelo tubo central onde é distribuído para as bandejas. O caldo claro é retirado por serpentina externa e sua vazão é controlada através de canecas. O lodo é retirado por raspadores e direcionado para o fundo.

Visando assegurar uma menor quantidade de bagacilhos ou resíduos sólidos no açúcar e no mosto, o caldo clarificado passa por uma filtração adicional. Essa filtração pode acontecer tanto na peneira rotativa que se encontra após os decantadores quanto nas peneiras abertas.



**Figura 14.3.2 (a) – Decantador Convencional**

**Tabela 14.3.2 – Vantagens e Desvantagens do Decantador Convencional**

<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
Alta estabilidade a qualquer variação de fluxo.	Maior tempo de retenção (2,5 horas).
Apresenta lodo mais concentrado e menor recirculação de caldo filtrado.	Maior queda de pH.
Baixo consumo de polímeros.	Volume inoperante na parte superior, acima da primeira bandeja, onde pode ocorrer pontos mortos aumentando o nível de infecção.
Decantação normal mesmo com Brix elevado (> 18 <sup>o</sup> Brix).	O caldo das bandejas inferiores recebe o lodo das bandejas superiores.
Alta estabilidade a qualquer variação de fluxo.	Alto custo de implantação.



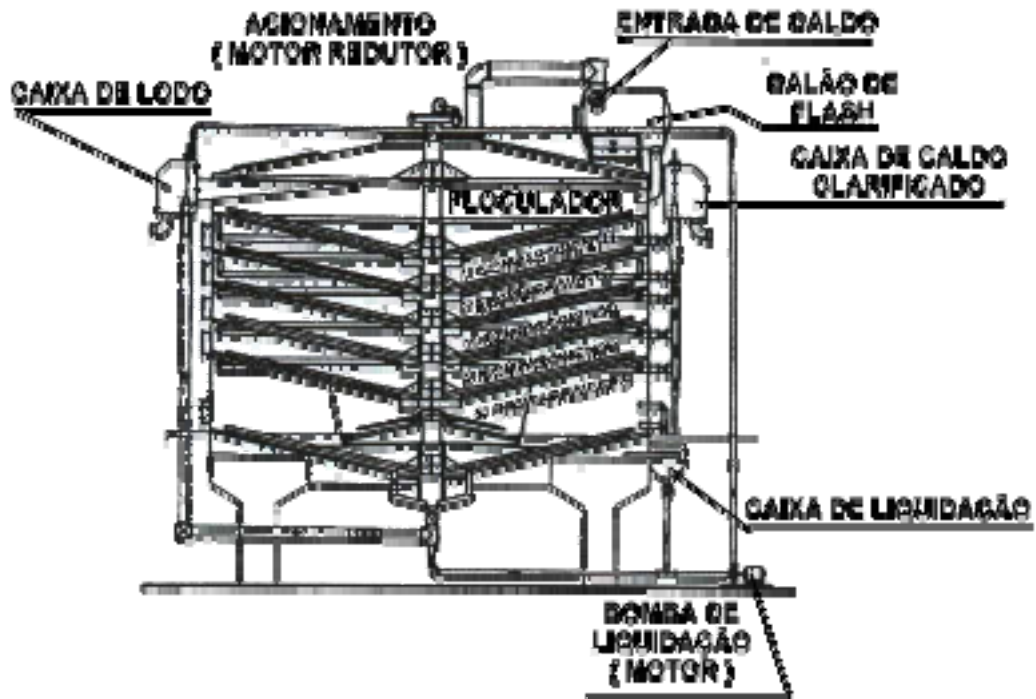


Figura 14.3.2 (b) – Decantador Convencional

### 14.3.3 Braço

Onde são fixadas as raspas, tendo cada compartimento formado por dois ou quatro braços.

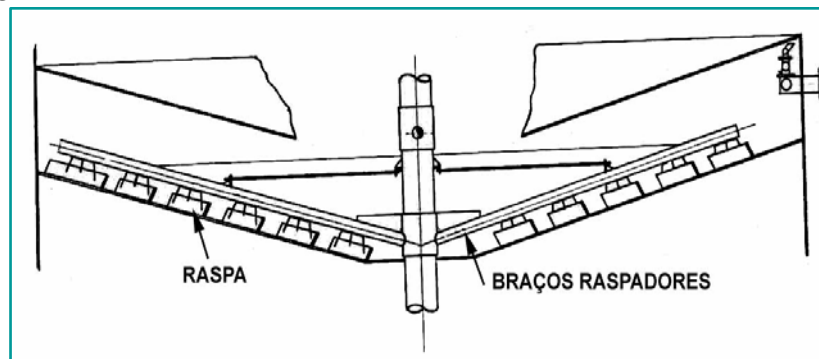


Figura 14.3.3 – Braço

## 15. Avaliação de um Sistema de Filtração

Um sistema de filtração deve alguns pré-requisitos para poder ser considerado como eficiente, que seriam:

- Apresentar baixa perda de sacarose na torta do filtro;
- Apresentar um caldo filtrado com baixa turbidez;
- Apresentar uma alta taxa de retenção de material insolúvel.

$$r = 100 \times \frac{\text{material insolúvel na torta}}{\text{Material insolúvel no lodo}}$$

Define-se filtração como a separação de sólidos suspensos em um líquido pela passagem através de um meio permeável (meio de filtração).

### 15.1 Filtração do Lodo ou Tratamento do Lodo

O objetivo da filtração é recuperar açúcar do lodo, retornando-o ao processo na forma de caldo filtrado. O lodo removido dos decantadores possui uma considerável quantidade de açúcar que, portanto, deve ser aproveitado.

Após sair do decantador o lodo recebe uma pequena quantidade de polímero, que ajudará na separação das impurezas, e recebe também uma adição de bagacilho, que aumentará o rendimento dessa extração.

O caldo clarificado é enviado à fabricação, ou seja, mais freqüentemente, diretamente à evaporação.

O lodo deve ser primeiramente filtrado, para separar do caldo o precipitado contido, juntamente com os sais insolúveis formados e o bagacilho arrastado.

Existem certas condições necessárias para se obter uma boa filtração.

A filtração é uma operação difícil de ser regulada e que exige cuidados. Para reunir as melhores condições à sua realização, é preciso observar vários pontos:

**Temperatura:** A viscosidade dos caldos, sobretudo, das gomas e das ceras que decantam na superfície filtrante deve diminuir com o aumento da temperatura. É, portanto, conveniente filtrar o caldo a alta temperatura. Trabalhe-se, preferivelmente, acima de 80°C.

**Reação:** Os caldos alcalinos são mais facilmente filtrados que os caldos ácidos ou neutros. Geralmente acrescentava-se cal ao lodo, antes de filtrá-lo, deixando-o com um pH de 8 a 8,5. Isto era necessário com filtros-prensa, porém não com os filtros rotativos a vácuo.

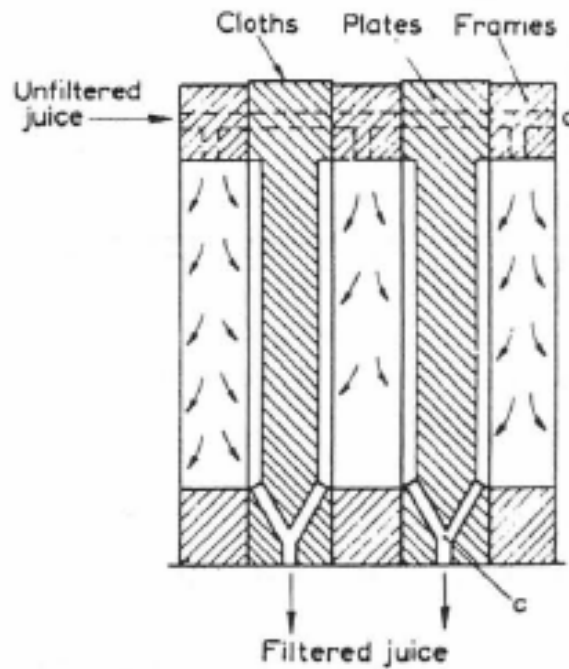
Na fabricação do açúcar, utilizam-se normalmente Filtros-Prensa e Filtros Rotativos a vácuo.

### 15.2 Parâmetros da Filtração

- **% de impurezas no caldo filtrado:** 2 a 12% matérias sólidas em suspensão;
- **Retenção ideal dos filtros:** > 90% (rotativo apresenta em média 70%);
- **Dosagem de bagacilho (adicionado ao lodo para formar a torta):** 6 – 15 kg /TC (ou o suficiente para dar espessura adequada na torta do filtro);
- **Umidade da torta:** 70 a 75%;
- **Pol da torta:** o menor possível;

### 15.3 Filtro Prensa

Equipamento pouco usado hoje em dia na filtração do lodo, em função da grande mão de obra exigida e de sua capacidade relativamente baixa. A figura a seguir apresenta o esquema de funcionamento de um filtro prensa.



**Figura 15.3.1 – Esquema de Funcionamento de um Filtro Prensa**

O tempo de ciclo é aproximadamente:

- **Descarga e Montagem:**  $\frac{3}{4}$  h;
- **Filtração:**  $1 \frac{3}{4}$  h;
- **Lavagem:**  $\frac{1}{2}$  h;
- **Total do Ciclo:** 3 h.

#### 15.4 Filtro Rotativo



**Figura 15.4.1 – Filtro Rotativo**

O filtro rotativo a vácuo é composto de um tambor perfurado que gira em volta de um eixo horizontal e parcialmente submerso no líquido a ser filtrado. A periferia do tambor constitui a superfície filtrante, sendo esta dividida em 24 seções independentes, cada uma das quais ocupando  $15^\circ$  da circunferência e estendendo-se por todo o comprimento do tambor.

Cada uma destas seções é ligada individualmente a uma tubulação de vácuo. Figuras 11 e 12 ilustram tal equipamento. O tambor gira a uma rotação que varia de 0,1 a 0,5 rpm.

As fases de cada ciclo de filtração são as seguintes: formação e crescimento da torta, filtração, lavagem, secagem, quebra vácuo e descarga da torta, conforme Figura 11. Na suspensão de lodo a ser filtrada há a adição de bagacilho, na proporção de 6 a 15 kg por tonelada de cana para formação da torta na superfície do filtro.

Como pode ser observado na Figura 11, no filtro rotativo existem a região de baixo e de alto vácuo. O baixo vácuo (7 – 10 polegadas de Hg) evita a compactação da torta de sólidos e bagacilho, o que ocasionaria bloqueio da passagem de líquido. A formação de camada de torta porosa propiciará boas condições de lavagem da torta a seguir.

A seção submersa do filtro no tanque emerge do mesmo com a camada de torta formada, há uma transição para o alto vácuo, 20 –22 polegadas de Hg. Inicia-se uma sucção mais forte.

Ao ultrapassar a linha de centro horizontal do tambor, começa a fase de lavagem da torta com bicos pulverizadores com água aquecida, extraindo o açúcar, fase conhecida como embebição.

A fase de secagem da torta sob a ação do alto vácuo vai até a metade de uma câmara, antes da borda superior da raspadeira. A capacidade e a eficiência da filtração estão ligadas à velocidade periférica do tambor.

Quanto mais lenta for esta rotação, melhor serão a lavagem e secagem da torta, fatores redutores da pol, com conseqüente redução da capacidade de extração do lodo dos decantadores.

O sistema de lavagem da torta consta de:

- **Filtro Mause**: 6 fileiras de 37 bicos;
- **Filtro Zanini**: 5 fileiras de 28 bicos.

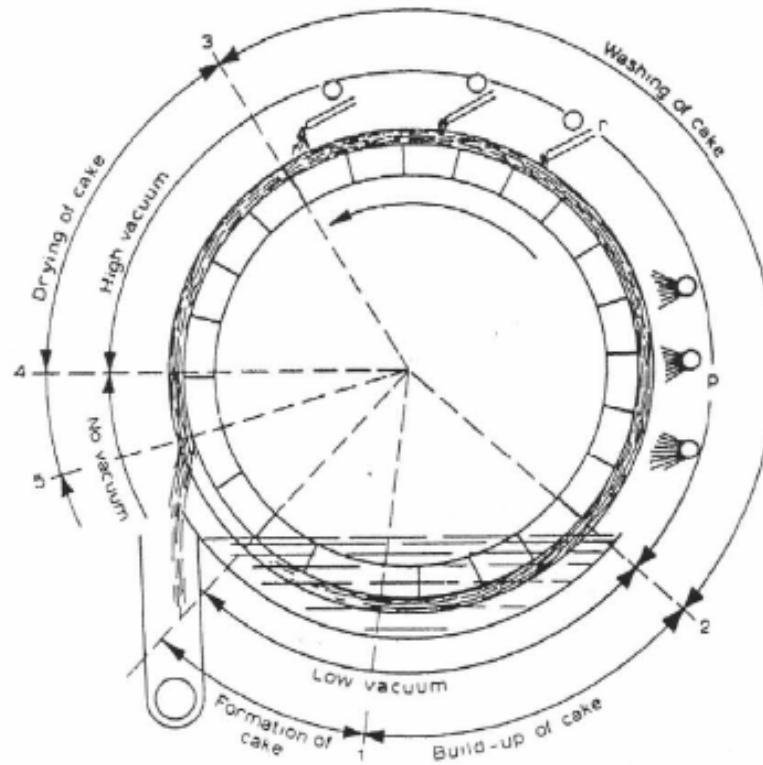


Figura 15.4.2 – Vista do Filtro Rotativo



Figura 15.4.3 – Detalhe da retirada da Torta formada no Filtro Rotativo.

## 15.5 Sistema de Vácuo

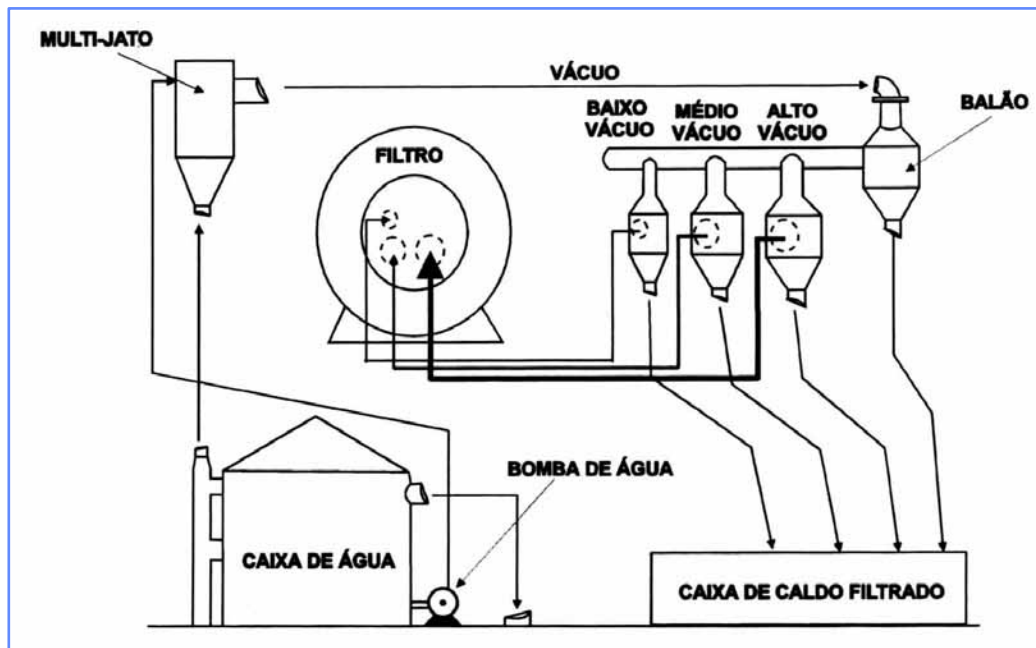


Figura 15.5.1 – Sistema de Vácuo

## 15.6 Prensa Desaguadora

Na figura a seguir é apresentado um tipo de filtro que vem substituindo com vantagens os filtros rotativos. Estes filtros já eram utilizados na indústria de papel e celulose.

Para lodos de decantadores na indústria do açúcar, permite a obtenção de um caldo, mais limpo. Apresenta maior extração de sacarose da torta devido à drenagem por sucção.

Apresenta maior capacidade de produção com uma umidade da torta entre 68 a 70%, equivalente à produção de dois filtros rotativos de 13'X52' (13 pés de diâmetro por 52 pés de comprimento).

Usa bagacilho na proporção de 1,5 a 3,0 kg/TC. O filtro VP apresenta caixas de vácuo: 1,5 a 2,0 polegadas de Hg nas três primeiras caixas e vácuo de 2,5 a 3,0 polegadas de Hg nas três últimas caixas. As telas filtrantes apresentam uma velocidade de 6 a 8 m/min. O VP possui água de embebição que lava a torta, possui alto e baixo vácuo e sistema de prensagem da torta, tal que a umidade da mesma no VP é da ordem de 68 a 70%, comparado com o rotativo que produz torta com 70 a 75% de umidade.

De maneira geral, pode-se afirmar que:

- **Filtro Rotativo:** menor consumo de polímero, maior área ocupada na fábrica, maior custo de instalação e maior quantidade de torta.
- **Filtro Vacuum Press:** melhor qualidade do caldo filtrado, facilidade operacional, pode operar sem bagacilho, maior capacidade, maior consumo de polímero, gera água de lavagem de tela com 0,5 brix (usada na embebição), gera um caldo filtrado mais diluído.

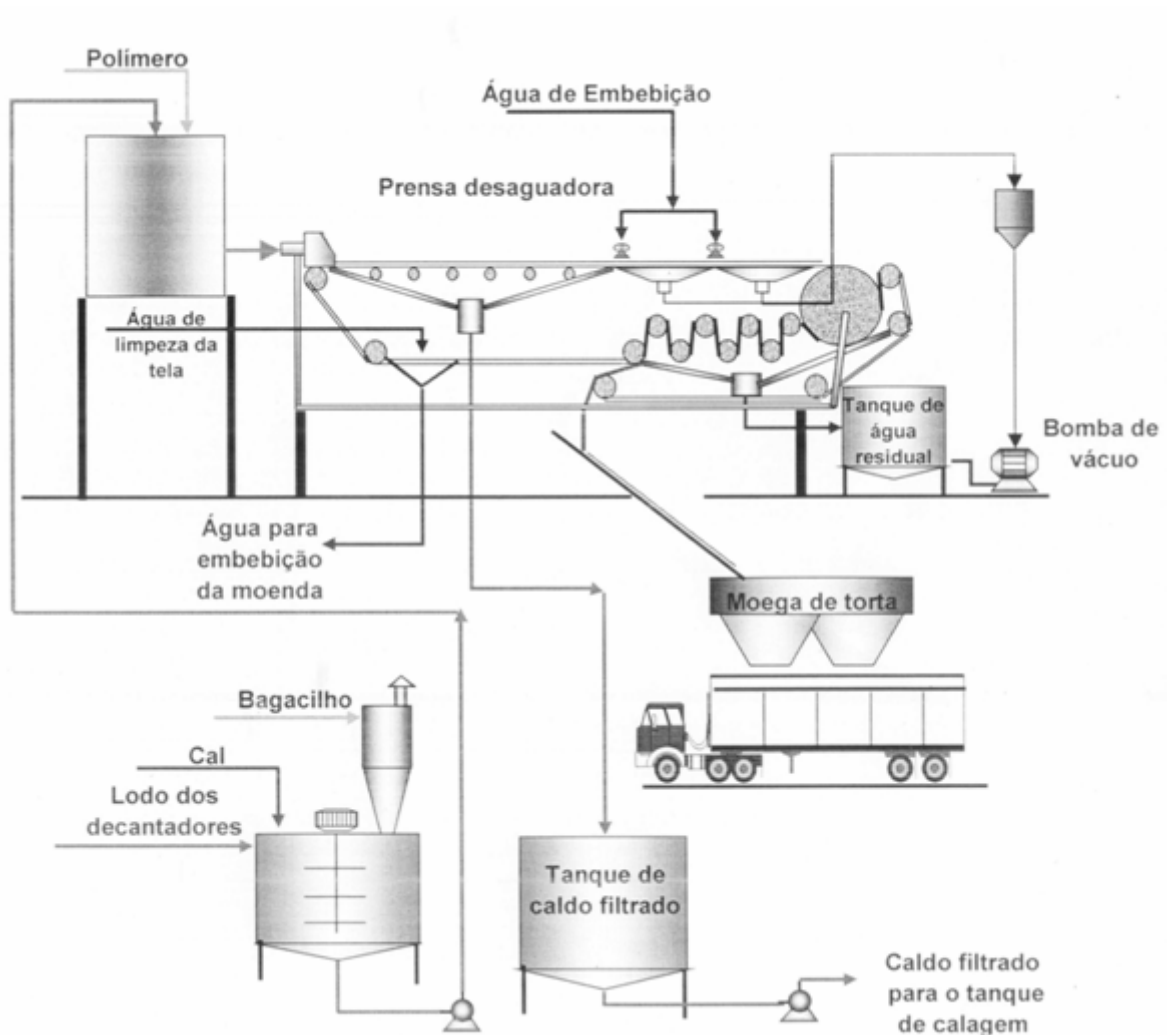


Figura 15.6.1 – Prensa Desaguadora

## 16. Concentração do Caldo

O objetivo da evaporação é concentrar o caldo clarificado, produzindo o xarope com uma 60 – 70° brix.

A concentração do caldo, por motivos técnicos e econômicos é realizada em duas etapas. A primeira em evaporadores de múltiplos efeitos aquecidos a vapor, produzindo xarope.

A segunda etapa realiza-se em evaporadores de simples efeito, aquecidos a vapor, denominados cozedores. Nestes o caldo entra na forma de xarope e sai na forma de massa cozida, na qual a sacarose apresenta-se parcialmente cristalizada.

### 16.1 Limite entre a Evaporação e o Cozimento

A evaporação é programada para que a concentração do xarope fique entre 60 e 70° brix, sendo recomendado 65° brix.

É possível obter a evaporação até 75° brix, porém os cozedores precisam de um xarope ainda capaz de dissolver cristais, para dissolver os falsos cristais formados durante o início do cozimento.

## 16.2 Evaporação do Caldo

A quantidade de água removida na evaporação é cerca de 80% em peso do caldo ou aproximadamente 70 – 80% do peso da cana.

O vapor que iria ser necessário para operar os evaporadores em simples efeito iria exceder o vapor gerado pela queima do bagaço. Assim usa-se evaporação em múltiplo efeito e se usa vapor de escape das turbinas no primeiro efeito da evaporação.

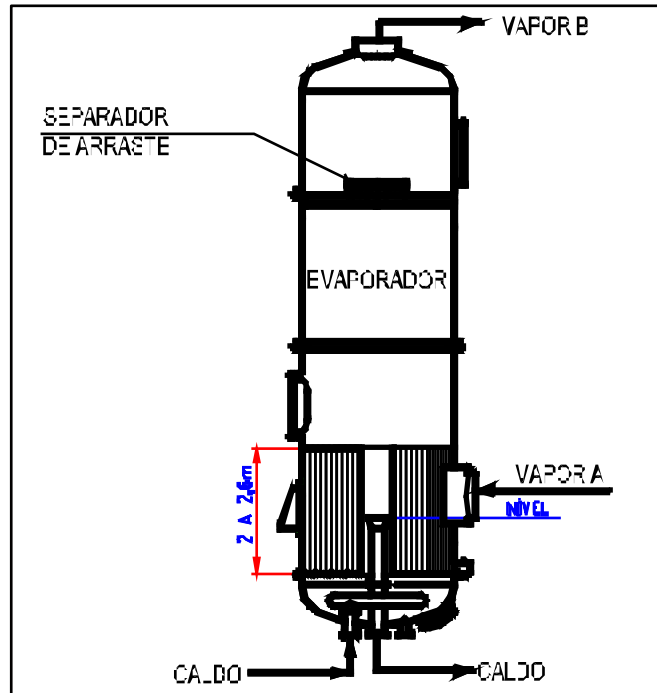


Figura 16.2.1 – Evaporador Tipo Roberts

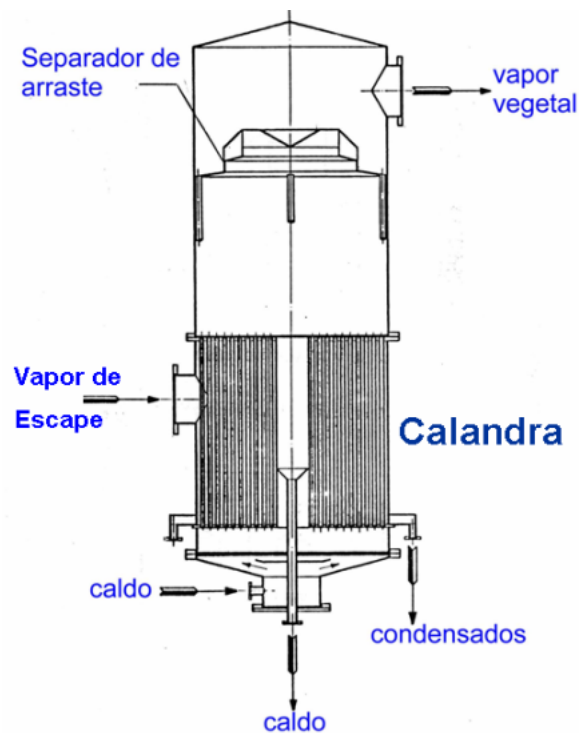
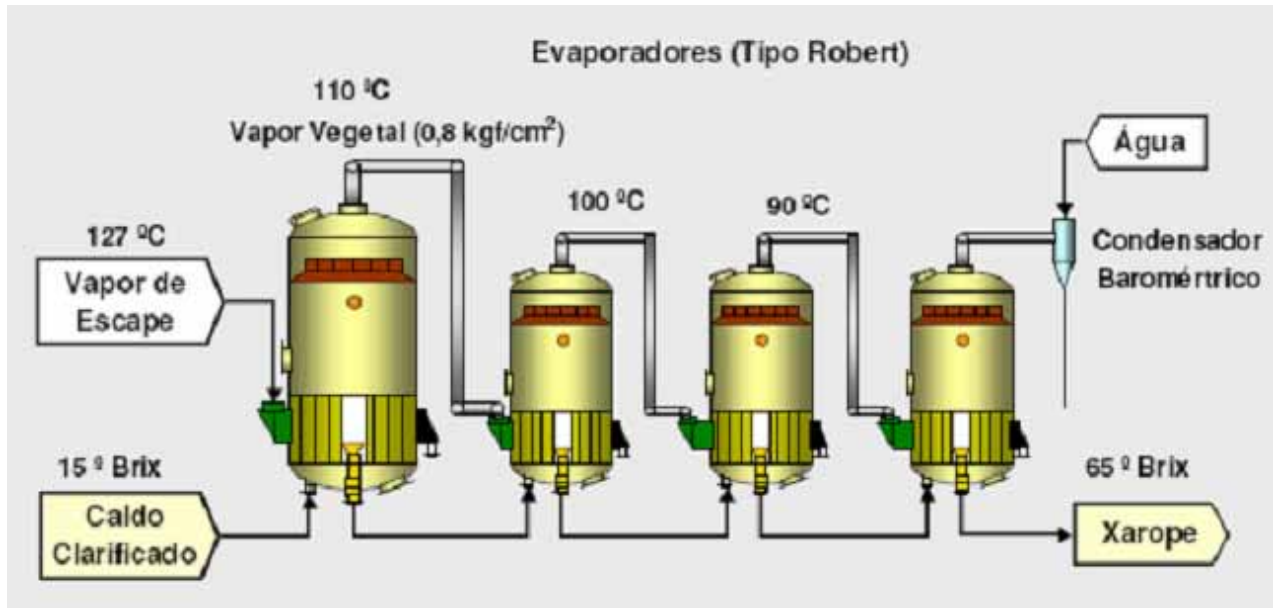


Figura 16.2.2 – Evaporador Tipo Roberts





**Figura 16.2.3 – Evaporador de Múltiplo Efeito (Tipo Roberts)**

O 2º e demais evaporadores são aquecidos pelo vapor vegetal (vapor produzido pela evaporação de água do caldo) do efeito anterior.

O vapor de escape das turbinas entra no primeiro efeito, condensa, transfere calor para o caldo que se encontra dentro dos tubos, produzindo assim a evaporação da água (caldo) dentro dos tubos. Este vapor gerado (vapor vegetal) é utilizado no evaporador (efeito) seguinte. O evaporador múltiplo efeito é econômico ao usar vapor vegetal.

### 16.2.1 Tubos de Evaporadores Roberts

- **Material de construção:** aço carbono, latão ou aço inox
- **Comprimento:** 1,60 a 4,5 m
- **Diâmetro interno:** 27 a 46 mm
- **Espessura:** 1,0 a 2,65 mm

Os tubos são mandrilados nos espelhos e desgastam-se principalmente nas extremidades, próximo aos espelhos. Para substituição de tubos, aqueles retirados dos primeiros evaporadores são utilizados nos posteriores, pois em geral estes são menores.

É importante adotar para a usina toda um diâmetro padrão para tubos e empregá-lo tanto nos aquecedores, como nos múltiplos efeitos. Quanto mais estreitos são os tubos, mais facilitam a subida do caldo, porque esta subida depende da proporção entre a superfície de aquecimento do tubo e sua seção interna.

### 16.3 Pressão nos Evaporadores

O múltiplo efeito trabalha com pressões decrescentes do primeiro para o último efeito. Assim, não são necessárias bombas para deslocar o xarope de um efeito para o seguinte. O evaporador múltiplo efeito foi descoberto por Rillieux na Louisiana em 1840.

### 16.3.1 Princípio de Rillieux

Em um múltiplo efeito, 1 kg de vapor de escape alimentado no primeiro efeito irá evaporar a mesma quantidade de água, quantos forem os efeitos, ou seja, 1 kg de vapor de escape produz 1 kg de vapor vegetal por efeito.

Na prática este princípio não é rigorosamente correto, sendo a evaporação um pouco menor que a prevista, devido:

- Calor necessário para elevar a temperatura do caldo até o ponto de ebulição no primeiro efeito;
- Perdas de calor por irradiação e remoção de gases incondensáveis;
- Aumento no calor latente do vapor à medida que a temperatura decresce.
- Decréscimo do calor específico do caldo à medida que este é concentrado;
- Reevaporação (flash) do caldo ao entrar num efeito de menor pressão;
- Reevaporação do condensado.

Os três primeiros efeitos contribuem para o decréscimo da evaporação total, enquanto os três últimos tendem a aumentá-la.

O caldo clarificado com uma concentração variando entre 13 e 15° brix inicia seu processo de concentração no 1º efeito ou no pré-aquecedor, que pode ser um evaporador convencional, um reboiler ou trocador de placas e tem como objetivo auxiliar na evaporação da água contida no caldo e gerar maior quantidade possível de vapor vegetal, resultando um caldo clarificado na primeira caixa de evaporação mais concentrado.

### 16.4 Transmissão de Calor em Tubo de Evaporação

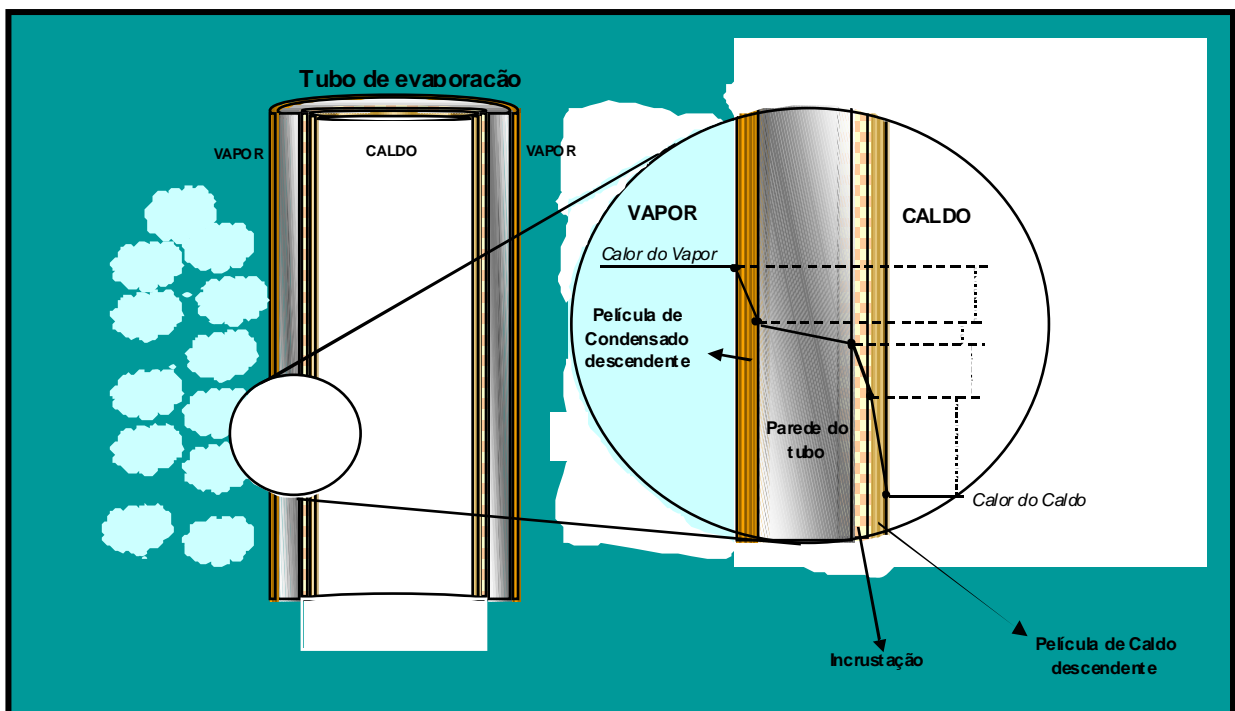


Figura 12.4.1 – Transmissão de Calor em Tubo de Evaporação

## 16.5 Pré-aquecedor com Reboiler

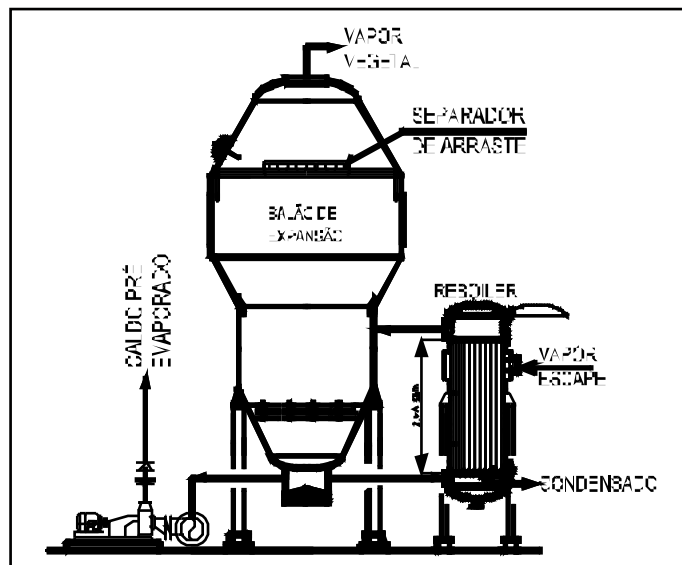


Figura 12.5.1 – Pré-aquecedor com Reboiler

## 16.6 Pré-aquecedor de Placas

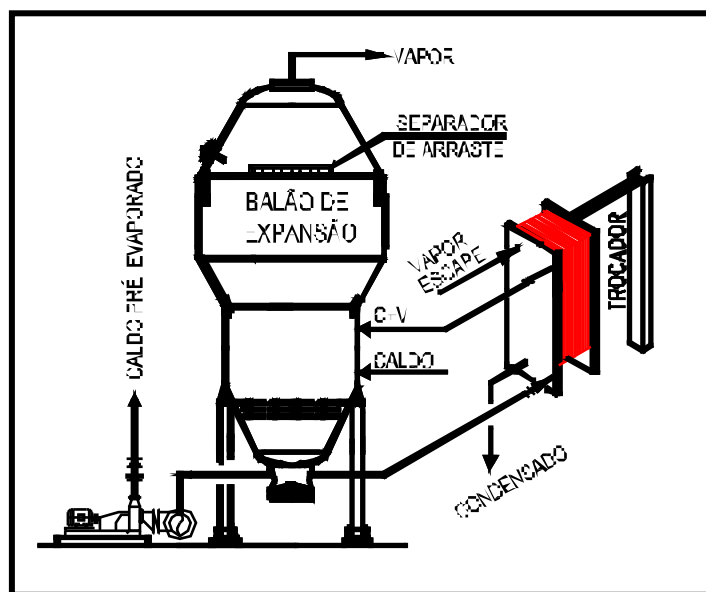


Figura 12.6.1 – Pré-aquecedor de Placas

## 16.7 Temperatura do Caldo Clarificado

A temperatura de alimentação do caldo clarificado tem uma relação direta com a superfície de aquecimento necessária neste primeiro efeito.

Normalmente a temperatura do caldo clarificado que entra no pré-evaporador é de aproximadamente 115°C (após pré-aquecimento).

Este caldo entrará em ebulição dentro deste equipamento. Se a temperatura de alimentação for inferior a 115°C, parte da superfície disponível no pré-evaporador será destinada, exclusivamente a aquecer o caldo até 115°C e posteriormente evaporar.

## 16.8 Limite Superior e Inferior da Temperatura na Evaporação

**Temperatura crítica:** o açúcar do caldo se carameliza, provocando perda de sacarose e uma coloração que subsiste até nos cristais de açúcar.

Para caldos de cana, alguns técnicos recomendam uma temperatura máxima do vapor (**limite superior de temperatura**) na calandra entre 127 e 130°C, o que corresponde a uma temperatura de cerca de 125°C no caldo.

O vapor de aquecimento entra na calandra do 1º efeito numa temperatura entre 125°C (1,3 kgf/cm<sup>2</sup>) a 130°C (1,7kg/cm<sup>2</sup>).

O **limite inferior da temperatura** em que funciona um múltiplo-efeito é a temperatura de ebulição correspondente ao vácuo existente no último corpo. Um vácuo de 64 cm de Hg (25,2 in de Hg, 55°C) são os parâmetros indicados para o último efeito, mas existem algumas oscilações nestes valores. Assim a evaporação acontece numa faixa de temperatura de 125 a 55°C.

Na indústria açucareira os múltiplos efeitos são formados de 3, 4 ou 5 corpos, sendo denominados tríplexes, quádruplos ou quádruplos efeitos, respectivamente. Todos os evaporadores (corpos) são iguais em forma, constituição, capacidade, mas podem ter alturas dos tubos decrescente do primeiro ao último corpo.

## 16.9 Calandra

Situa-se no fundo do evaporador e é constituída de duas placas perfuradas, uma superior e uma inferior denominadas espelhos, os quais são interligados pelos tubos.

Existe na calandra um tubo central de diâmetro maior que os tubos periféricos. Desta maneira, durante a evaporação existem duas correntes de circulação de caldo, uma ascendente nos tubos periféricos e da periferia para o centro e uma segunda descendente pelo tubo central.

As águas condensadas depositam-se sobre o espelho inferior e devem ser retiradas da calandras.

A partir do 2º corpo há formação de gases incondensáveis, os quais se acumulam sob o espelho superior, formando zonas inativas, dificultando a transferência de calor do vapor em condensação para os tubos.

Tais gases devem ser removidos através de tubos, às vezes denominados tubos amoniacais. No próximo slide é apresentado um detalhe da eliminação destes gases.



## Figura 16.9.1 – Evaporador

### 16.10 Retirada de Gases Incondensáveis

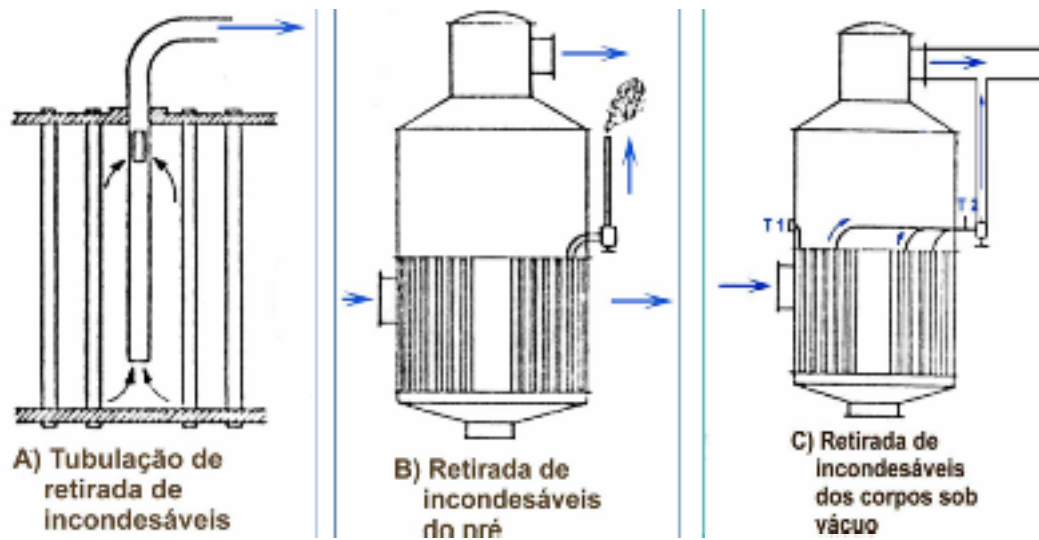


Figura 16.10.1 – Retirada de Gases Incondensáveis

### 16.11 Disposição dos Tubos nos Evaporadores

Os tubos são dispostos em quincôncio nos espelhos dos evaporadores. Esta disposição permite colocar um número maior de tubos por unidade de superfície dos espelhos, com uma mesma distância entre os tubos. Os tubos são alinhados segundo três direções diferentes a  $120^\circ$  (ou os centros de três tubos vizinhos formam um triângulo equilátero). O vapor entra na calandra por uma, duas ou mais entradas:

- **Altura de tubo < 3 m:** uma entrada de vapor
- **Altura de tubo > 3 m:** duas entradas de vapor
- **Altura de tubo >> 3 m:** quatro entradas

Como exemplo de um quádruplo efeito sem pré-evaporador, tem-se:

#### 1º Efeito

**Pressão na calandra:**  $1,63 \text{ kgf/cm}^2$

**Temperatura na calandra:**  $114^\circ\text{C}$

**Pressão na câmara de gases:**  $1,24 \text{ kgf/cm}^2$

**Temperatura na câmara de gases:**  $106^\circ\text{C}$

**Brix de entrada:** 16

**Brix de saída:** 19,3

#### 2º Efeito

**Pressão na calandra:**  $1,24 \text{ kgf/cm}^2$

**Temperatura na calandra:**  $106^\circ\text{C}$

Vácuo na câmara de gases: 10,16 cm Hg

Temperatura na câmara de gases: 96°C

Brix de entrada: 19,3

Brix de saída: 25

### 3º Efeito

Vácuo na calandra: 10,16 cm Hg

Temperatura na calandra: 86°C

Vácuo na câmara de gases: 38,5 cm Hg

Temperatura na câmara de gases: 80,5°C

Brix de entrada: 25

Brix de saída: 36,5

### 4º Efeito

Vácuo na calandra: 38,5 cm Hg

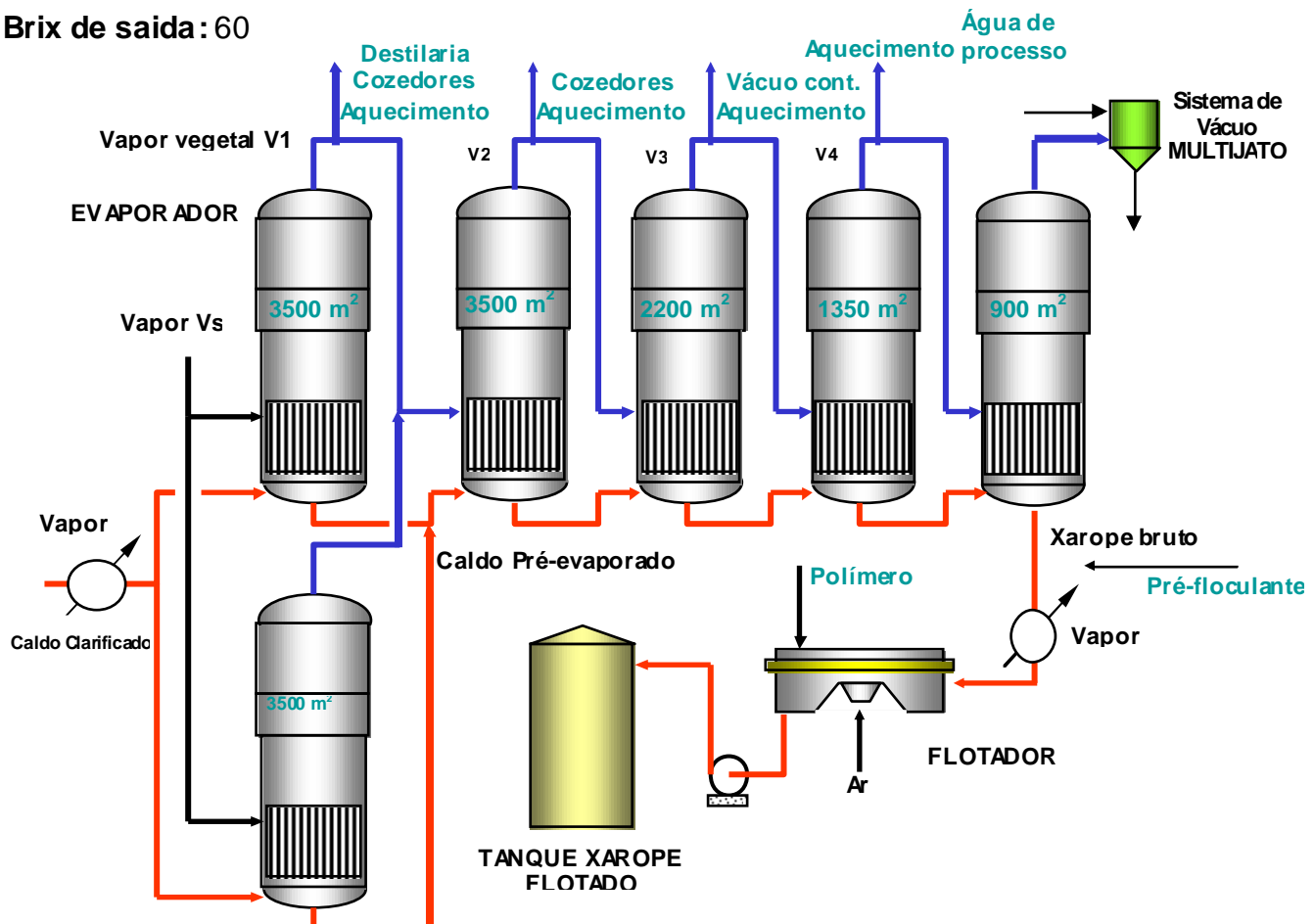
Temperatura na calandra: 80,5°C

Vácuo na câmara de gases: 66 cm Hg

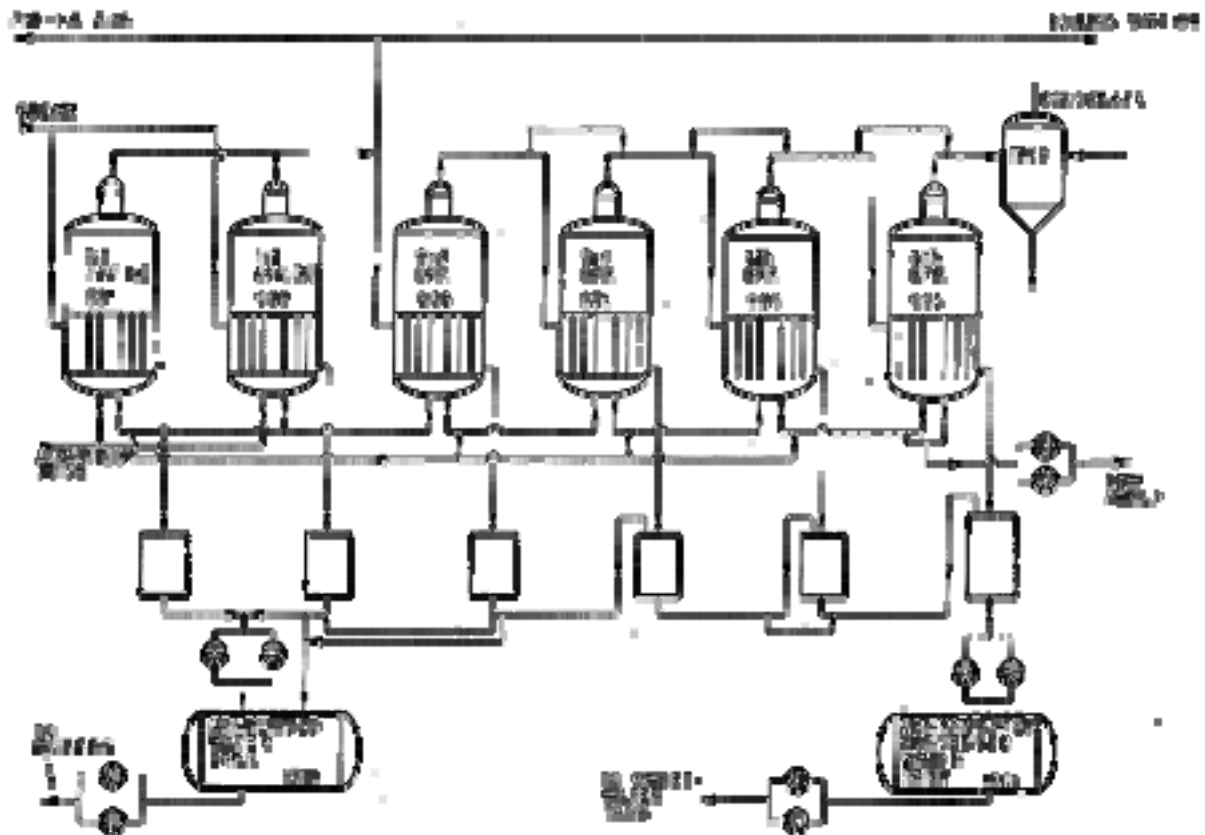
Temperatura na câmara de gases: 52°C

Brix de entrada: 36,5

Brix de saída: 60



**Figura 16.11.1 - Evaporadores**



**Figura 16.11.2 – Evaporação**

### 16.12 Causas de uma Evaporação Deficiente

- Temperatura baixa caldo clarificado alimentando os pré - evaporadores (<105 °C)
- Tubos incrustados
- Tubos furados ou soltos
- Remoção de condensados deficiente
- Remoção de gases incondensáveis deficiente
- Tubos operando com nível incorreto de caldo
- Baixo vácuo no último efeito
- Baixa pressão do vapor de escape das turbinas
- Partidas e paradas freqüentes
- Variações na vazão de caldo
- Vazão de caldo acima do projetado (embebição elevada na moagem, moagem elevada)

### 16.13 Consequências de Falhas na Evaporação

- Redução na extração das moendas
- Redução na produção

- Perdas de álcool na vinhaça
- Geração de energia reduzida (Falta bagaço)
- Água desmineralizada insuficiente, devido à falta de condensado de escape.
- Filtro rotativo com perdas na torta devido volume baixo de água para embebição

## **16.14 Fatores que influenciam na Eficiência dos Pré – Evaporadores**

### **16.14.1 Incrustações**

A formação de incrustações nos evaporadores, aquelas pertinentes à parte interna dos tubos, se deve, principalmente a uma crescente redução de água no caldo em concentração, redução esta que permite aos não-açúcares atingirem, com mais intensidade, nos últimos vasos, a condição de supersaturação e precipitarem. Entretanto não só o efeito da concentração, mas também o efeito da temperatura pode provocar precipitações de alguns sais.

Concorrem para a formação de maior ou menor quantidade de incrustações nos evaporadores, que varia de região para região. E depende das seguintes condições:

#### **a) Composição do Caldo**

- Variedade de cana
- Tipo de solo cultivado
- Sistema de colheita de cana
- Estado de limpeza da cana (terra)
- Sistema de lavagem de cana
- Grau de extração pela moenda

#### **b) Peneiramento do Caldo**

#### **c) Qualidade da Cal, Má hidratação da Cal**

#### **d) Qualidade do Enxofre e dos Aditivos da Clarificação**

#### **e) Processos de Clarificação: sulfitos formam 30% das incrustações**

#### **f) Nível de Caldo nas Calandras dos Evaporadores**

#### **g) Velocidade de Circulação de Caldo nos Diversos Vasos;**

#### **h) Condição de Vácuo nos Evaporadores**

#### **i) Sistema Operacional e Qualidade de Mão-de-Obra utilizada na Evaporação**

#### **j) Pressão e Temperatura do Vapor de Alimentação**



A incrustação pode ser acelerada se houver:

- Oscilação na vazão do caldo;
- Descontrole da correção do pH na dosagem.

#### 16.14.2 Incrustação devido à Operação

A presença de uma maior formação de incrustação em determinadas regiões da calandra, é um dos sintomas característicos de má circulação do caldo.

É muito importante que o nível do caldo seja mantido em aproximadamente um terço da altura dos tubos, para proporcionar uma boa circulação do caldo.

Com relação à limpeza, deve-se registrar que se a tubulação de uma evaporação não estiver bem limpa, mais rapidamente a incrustação se formará; Já se estiver bem limpa, com a superfície dos tubos lisa, mais dificilmente ocorrerão depósitos de sujeira.

#### 16.14.3 Métodos de Limpeza

a) **Limpeza mecânica:** Efetuada com rasquete ou roseta rotativa.

b) **Limpeza com Jato de Água sob Alta Pressão**

c) **Limpeza Química CIP (Clean In Place)**

- Encher os tubos com solução 2 a 3% de NaOH, ferver por várias horas e lavar em seguida com água;
- Eventualmente pode-se após o tratamento com soda, lavar com solução 2% HCl.

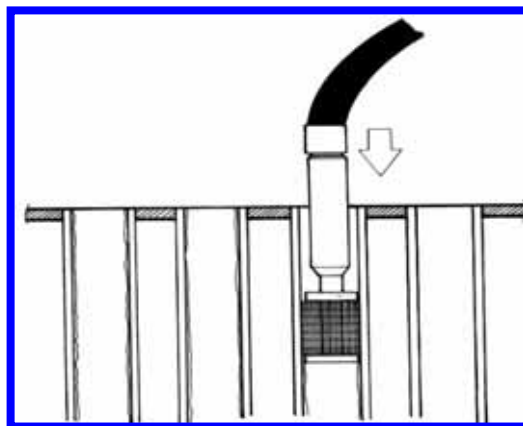


Figura 16.14.3 – Rosqueta Rotativa

#### 16.14.4 Nível do Caldo

Em todos os corpos deve-se manter aproximadamente 1/3 da altura dos tubos, tendo como objetivo reduzir o efeito da pressão hidrostática no ponto de

ebulição do caldo, aumentando assim a circulação do caldo e conseqüentemente obter uma máxima taxa de evaporação.

**a) Nível do Caldo muito Baixo:** O caldo tende a ferver e não consegue chegar à parte superior dos tubos, concentrando.

**b) Nível do Caldo demasiadamente Alto:** Os tubos ficam submersos e a evaporação é prejudicada. Proporciona maior arraste e perda de açúcar, e contaminação do condensado para as caldeiras.

### **c) Recomendações**

- ✓ Instalar medidor de nível em todas as caixas de evaporação.
- ✓ O funil coletor de caldo situado no interior do tubo central deve ser posicionado a 1/3 da altura dos tubos.
- ✓ Um outro meio pratico é observar através das lunetas, de tal forma o caldo se mantenha jorrando dos tubos sobre toda a superfície do espelho, molhando-o sem submergi-lo.
- ✓ Sistema de retirada de condensado com sifão ou sistema automático.

### **16.14.5 Retirada de Gases Incondensáveis**

Em qualquer equipamento que se utiliza vapor como fonte de calor, após a sua condensação é necessária uma continua retirada de incondensáveis, pois eles ocupam espaço e impedem a entrada de vapor naquela região, reduzindo significamente o processo de transferência de calor.

### **16.14.6 Origem da Formação de Gases**

- ◆ Ar trazido pelo vapor de escape geralmente pouco.
- ◆ Gases dissolvidos no caldo, liberados pela ebulição nos vapores vegetais.

### **16.14.7 Concentração de Gases**

A quantidade desses gases é muito mais freqüente em corpos aquecidos com vapor vegetal e principalmente nos corpos sob vácuo.

## **17. Extração do Xarope**

A operação de um múltiplo efeito deve ser contínua, desde a alimentação do caldo clarificado, passagem entre as caixas até a retirada do xarope, vazão de favor, retirado de condensados e incondensados, até a vazão de água do sistema de vácuo.

A retirada é efetuada no último corpo de evaporação, por sifão, e direcionado para os tanques.

### **Alguns cuidados quanto à extração são:**

- Brix acima de 72% pode iniciar o processo de cristalização

- Brix baixo aumenta o consumo de vapor e tempo de cozimento
- Deve-se checar a bomba regularmente para evitar vazamento de xarope, evitando perdas, pois o produto está concentrado.
- Manter o vácuo da última caixa acima de 24 pol Hg (61 cm Hg), pois influência diretamente na evaporação.

### 17.1 Efeitos dos Gases

Se estes gases não forem retirados continuamente eles irão se acumular e num caso extremo, tomam toda calandra interrompendo rapidamente a evaporação.

Além de problemas relacionados com a diminuição da transferência de calor, normalmente estes são os principais causadores de corrosão.

### 17.2 Extração dos Gases

- É efetuada por diferença de pressão.
- Nos corpos sob vácuo, aos tubos vindos da calandra se unem em um coletor. Normalmente irá condensar no último efeito.
- A regulagem da retirada desses gases pode ser feita por válvulas ou placas de orifício dimensionadas.

### 17.3 Separadores de Arraste

**a) Objetivo:** Eliminar arraste de caldo nas caixas de evaporação e cozimento.

Durante a evaporação, a ebulição lança ao ambiente-vapor do corpo, finas gotículas de caldo. Estas gotículas, na forma de bolhas, são muito leve e a corrente de vapor as leva facilmente para a calandra do corpo seguinte, ou em direção ao condensador barométrico.

Quanto maior for o vácuo maior é a incidência de arraste (perdas de açúcar) e, portanto, são mais críticos no último corpo.

#### **b) Como diminuir o Arraste**

- Evitar que o vácuo chegue a um valor exagerado (24 – 26 cm de Hg);
- Instalar a chegada do caldo no fundo do corpo do evaporador e não por cima do espelho;
- Evitar operar o múltiplo efeito além de sua capacidade normal, lembrando que o corpo acima da calandra não serve ao caldo;

- Evitar deixar subir o nível do caldo muito acima do nível ótimo;
- Munir a tubulação de vácuo dum separador de arraste eficiente;
- O corpo do evaporador acima do espelho superior da calandra deve ser no mínimo 2 vezes a altura da calandra.
- **Perdas de Açúcar:** 20 ppm no vapor e 0,5 ppm na água.

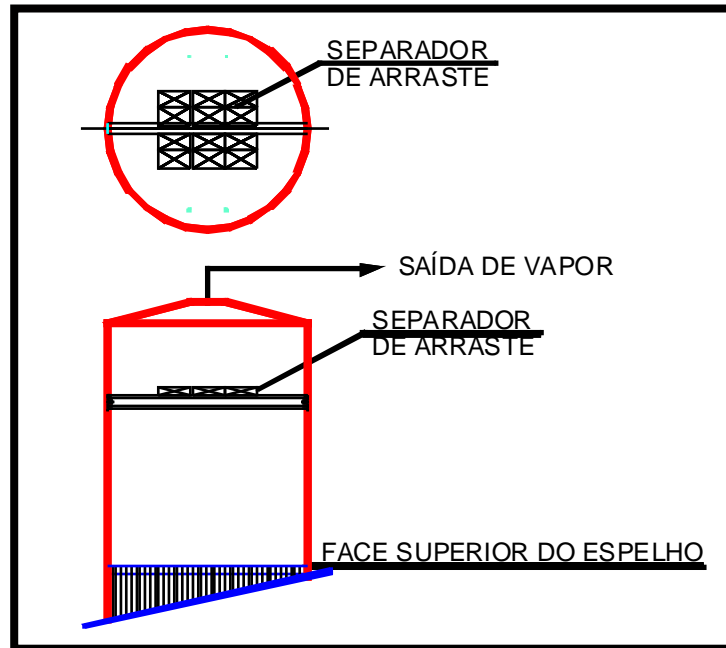


Figura 17.3.1 – Separador de Arraste



Figura 17.3.2 – Separador de Arraste

## 17.4 Diagrama de Instalação

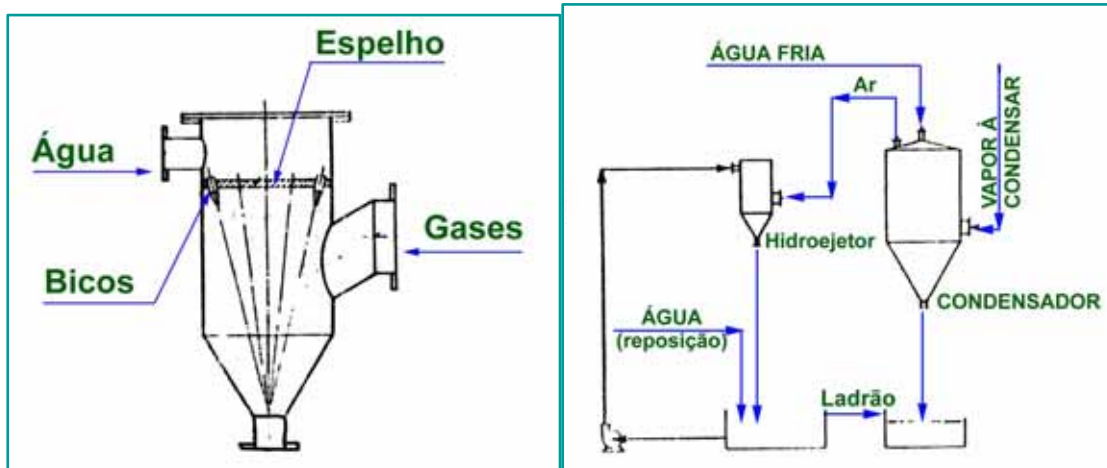


Figura 17.4.1 – Diagrama

## 17.5 Evaporador Falling Film

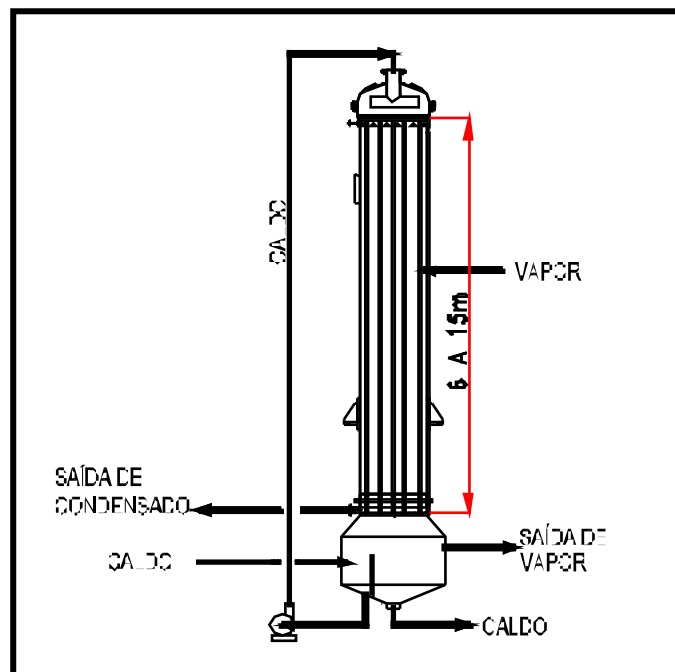


Figura 17.5.1 – Evaporador Falling Film

## 17.6 Isolamento

A evaporação é o coração térmico da fábrica quando se trata do consumo de energia em processo, perdas de calor por radiação, quando os evaporadores não estão propriamente isolados, podem chegar a 5 – 10%, além do desconforto operacional.

## 17.7 Comparações entre Evaporadores

Tabela 17.7.1 – Comparações entre Evaporadores

<b>Tipo de Evaporador</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
<b>Roberts (Convectivo)</b>	Taxa mais constante	Instalação alta e onerosa.
	Recirculação natural.	Reserva para limpeza cara.
	Baixa potência.	Ampliação cara.
		Campanha de 7 dias.
		Elevação da temperatura de ebulição.
	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
<b>Falling Film (Tubo Longo: 8 a 12 m)</b>	Taxa alta (limpo).	Taxa variável operando com produtos de incrustação inorgânica.
	Limpeza química.	Eventual limpeza mecânica.
	Campanhas mais longas (15 dias).	Problema com distribuidor de caldo dos tubos.
	Compacto e auto-portante.	Ampliação cara.
	Tempo de residência menor.	Recirculação forçada com alta potência
	Sem elevação de temp. de ebulição.	
	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
<b>Multi – Reb (Convectivo)</b>	Taxa mais constante	Campanha de 7 dias.
	Recirculação natural.	Elevação da temperatura de ebulição
	Baixa potência.	
	Limpeza mecânica com alta segurança operacional.	
	Sistema modular de baixo custo.	
	Reserva para limpeza de baixo custo.	
	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
<b>Placa (Convectivo)</b>	Taxa alta (limpo).	Taxa variável (40/25).
	Limpeza química.	Não permite limpeza mecânica.
	Facilidade de ampliação.	Ampliação barata.
	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
<b>Falling Film (Placa)</b>	Taxa alta.	Não permite limpeza mecânica.
	Limpeza química.	Ampliação cara.
	Campanha mais longa.	Taxa variável (70/30).

## 18. Extração de Águas Condensadas

O calor transmitido do vapor ao caldo, através da calandra, corresponde ao calor latente de vaporização do vapor. Todo o vapor de aquecimento se transforma em água condensada na calandra. É necessário retirar da calandra uma massa de água igual à massa de vapor utilizado.

Esta retirada de água efetua-se por meio de drenos colocados na parte inferior da calandra, por várias maneiras, conforme a pressão na calandra:

- **Calandra sob pressão:** purgador.
- **Calandra sob vácuo:** caixa de sifão (Marais)
- **Calandra sob pressão ou sob vácuo:** bomba, sifão, tanque flash.

### 18.1 Resfriamento de Águas Condensadas



Figura 18.1.1 – Resfriamento de Águas Condensadas

## 19. Transformações Físico-químicas no Caldo durante a Evaporação

### 19.1 Formação da Cor

- É maior no primeiro corpo onde a temperatura é mais alta.
- É também causada por deficiente circulação do caldo na calandra e altos tempos de retenção.
- Quando o vácuo é baixo, a temperatura de sistema sofre uma elevação, aumentando a formação de cor.

## 19.2 Diminuição do pH

- Durante a evaporação é comum um decréscimo no pH de valores próximos a 0,3 e não deve ultrapassar uma queda de 0,5. Como exemplo, cita-se: pH do caldo clarificado 6,9 e do xarope 6,5.
- As perdas de açúcar por inversão na evaporação não deveriam ultrapassar 0,2%, sendo acompanhadas pelo teor de glicose no caldo.
- Este decréscimo é proporcional ao tempo de retenção na evaporação.

## 19.3 Pureza do Xarope

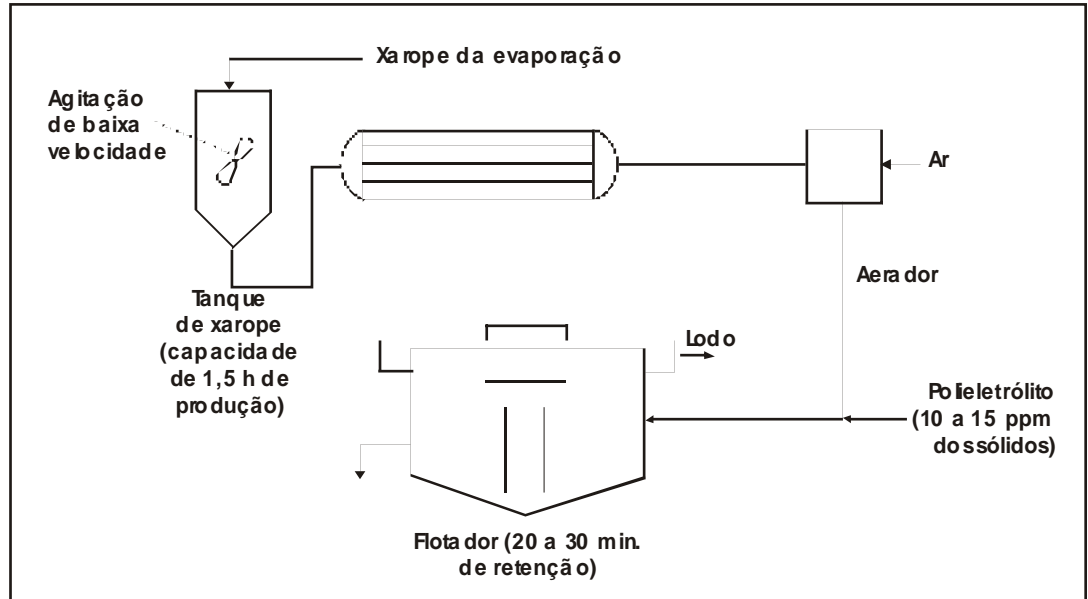
- Ocorre um pequeno aumento devido à mudança na rotação específica dos componentes não-açúcares.
- Quando há uma queda nesta pureza, é uma indicação de inversão de sacarose, causando perdas indesejáveis.
- Perdas por inversão, tanto mais elevadas quanto mais altas forem a temperatura e a acidez. Acima de 100°C, a inversão aumenta muito e fica proibitiva acima de 125 -130°C.

## 20. Flotador de Xarope

Tem como objetivo a remoção das substâncias que dão cor ao açúcar, bem como dos materiais insolúveis em suspensão (que aparecem como “insolúveis” no produto final) e das macromoléculas (dextrana) responsáveis pelo aumento da viscosidade do xarope e conseqüentes problemas nas etapas seguintes de fabricação. Os equipamentos que compõem um flotador de xarope são:

- Caixa cilíndrica de aço carbono geralmente com pintura em epóxi.
- Raspadores em sua superfície, também uma caixa com saída de xarope.
- Aquecedores de xarope, que são do tipo tubular e estão dispostos na horizontal, ou aquecedores diretos.





**Figura 20.1 – Flotação do Xarope**



**Figura 20.2 – Flotador do Xarope**



Figura 20.3 – Xarope

## 20.1 Purificação por Flotação

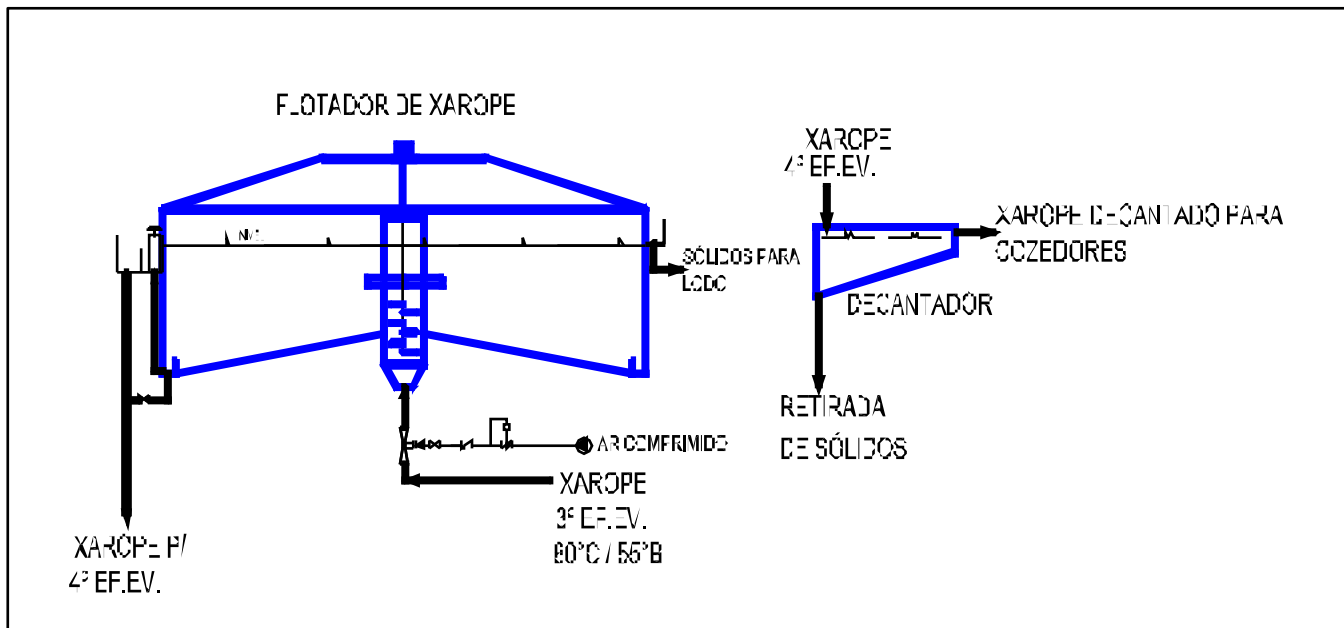


Figura 20.1 – Purificação por Flotação

## 20.2 Conceitos Gerais

A flotação é um processo de separação sólido-líquido e líquido-líquido onde os materiais em suspensão são recuperados através de sua adesão às bolhas de um gás (geralmente ar), tornando-os mais leves que no meio.

## 20.3 Descrição Geral

- O controle da operação do flutador é efetuado de forma a se obter um lodo flotado o mais concentrado o possível.
- A concentração e espessura da camada do lodo flotado é regulada pelo ajuste do nível de operação do flutador.

- O xarope clarificado é retirado por gravidade do flotor para o tanque.
- O lodo flotado é removido por meio de raspadores de superfície e recolhido na calha de lodo, onde seguirá para caixa de caldo misto.

#### **20.4 Fosfatação**

Utiliza-se ácido fosfórico para promover a microfloculação das impurezas do xarope, e sua dosagem vai depender da qualidade do xarope.

#### **20.5 Aquecimento**

O xarope deve ser aquecido, próximo de 85°C, e o objetivo é de acelerar as reações de microfloculação e reduzir a viscosidade do meio.

#### **20.6 Macrofloculação**

A adição de polímero floculante é feita entre os aeradores e o flotor, possibilitando uma rápida dispersão do produto no xarope.

## Unidade III – Cozimento

### 1. Concentração do Caldo

O objetivo da evaporação é concentrar o caldo clarificado, produzindo o xarope com uma 60 – 70° brix.

A concentração do caldo, por motivos técnicos e econômicos é realizada em duas etapas. A primeira em evaporadores de múltiplos efeitos aquecidos a vapor, produzindo xarope.

A segunda etapa realiza-se em evaporadores de simples efeito, aquecidos a vapor, denominados cozedores. Nestes o caldo entra na forma de xarope e sai na forma de massa cozida, na qual a sacarose apresenta-se parcialmente cristalizada.

#### 1.1 Limite entre a Evaporação e o Cozimento

A evaporação é programada para que a concentração do xarope fique entre 60 e 70° brix, sendo recomendado 65° brix.

É possível obter a evaporação até 75° brix, porém os cozedores precisam de um xarope ainda capaz de dissolver os falsos cristais formados durante o início do cozimento. A evaporação é realizada em evaporadores em múltiplos efeitos por questão de economia.

Com a concentração ocorre um aumento na viscosidade do xarope, tornando mais denso e viscoso, passando a ser denominado “massa cozida”, de difícil circulação nos tubos aquecedores e de vazo a vazo. Por isso o cozimento é realizado em um evaporador de único efeito.

Quando o caldo é submetido ao processo de concentração, sua viscosidade aumenta rapidamente e concomitante com o Brix, de tal forma que, quando este alcança 70 a 80 Brix, se inicia o surgimento dos cristais de sacarose.

Nesse momento, a massa transforma-se, passando do estado líquido a um estado meio sólido, meio líquido, caracterizando a massa cozida. Esta redução de fluidez torna imperativa a mudança na forma de sua manipulação. Sua consistência não mais permite ferver esta massa em tubos de pequenos diâmetros, nem circular com facilidade de um evaporador a outro.

**Assim, a evaporação nesta etapa passa a ser realizada em evaporadores de simples efeito com detalhes e adaptações efetuadas em função das características do produto a ser concentrado.** Esta etapa da concentração é o cozimento.

#### 1.2 Evaporadores de Simples Efeito (Cozedores)

- Semelhantes a um evaporador do conjunto de múltiplo efeito, são independentes e cada um acha-se ligado a um condensador e a uma bomba de vácuo;
- Trabalham em torno de 60°C, num vácuo de 62 – 65 cm Hg;

Os cozedores têm fundo cônico, visando facilitar a descarga da massa cozida. Nessa região encontra-se a válvula de descarga. Nos múltiplo-efeito utilizam-se tubos com diâmetro interno de 27 a 46 mm, já nos cozedores utilizam diâmetros de

100 mm (4 "). O tubo central (poço central) da calandra tem diâmetro de 40% do diâmetro do corpo.

- Devem ser retos, para reduzir pontos mortos e facilitar a circulação da massa;
- Fundo o menor possível;
- Volume da calandra 1/3 do volume total da massa;
- Calandra fixa com tubos de 0,90 a 1,0 m de altura;
- Altura da massa acima da calandra:máximo de 1,5 m;
- Relação superfície/volume da ordem de  $7,0 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ;
- Entrada única de vapor;
- Espelho em aço inox 304, tubos em inox e paredes revestidas por chapa de inox, para evitar formação de ferrugem e reações com polifenóis, que escurecem a massa.

### 1.3 Concentração da Massa Cozida

O Brix da massa cozida é proveniente dos sólidos dissolvidos no licor mãe, mais o açúcar contido na massa de cristais. No cozimento, eleva-se a concentração até o máximo possível, podendo-se atingir um Brix 100, o que corresponde a 94% de matérias dissolvidas reais. Na prática, não ultrapassa 96%.

#### Exemplo:

Partindo de 1000 kg de caldo a 13° Brix, concentrando em múltiplo efeito até 65° Brix, a água evaporada foi de 800 kg. A seguir, no cozimento, concentrou-se até 96° Brix, evaporando nesta etapa mais 65 kg de água. A quantidade de água evaporada no múltiplo efeito é muito maior que no cozimento. Este fato contribui para a economia do processo, já que no múltiplo efeito utiliza-se vapor vegetal.

### 1.4 Conceitos

A solubilidade da sacarose na água aumenta rapidamente com o aumento da temperatura. A 40°C dissolve-se 2,334 kg de sacarose pura em 1 kg de água. A 80°C este valor passa para 3,703 kg de sacarose pura.

#### 1.4.1 Caldo

Solução impura. Estas impurezas diminuem a solubilidade da sacarose. A maior influência é devida à presença de glicose e frutose. No caldo de cana, a sacarose tem seu ponto de saturação em concentração menor do que teria em solução de água pura.

### 1.4.2 Solubilidade (q)

$$q = \frac{\text{sacarose}}{\text{água}} = \frac{\text{brix}}{(100 - \text{brix})}$$

Solubilidade é a relação entre a massa de sacarose e água, numa solução saturada, a uma dada temperatura.

### 1.4.3 Coeficiente de Saturação ou coeficiente de Solubilidade (s)

$$s = \frac{(\text{sac.} / \text{água}) \text{ sol. sat. impura}}{(\text{sac.} / \text{água}) \text{ sol. sat. pura}} = \frac{\text{massa sac. solúvel} \% \text{ sol. impura}}{\text{massa sac. solúvel} \% \text{ água}}$$

A solubilidade da sacarose diminui consideravelmente na presença de açúcares redutores. É comum relacionar o valor de (s) com a pureza (p).

Pureza (p) %	Solubilidade (s)
100	1,00
90	0,98
80	0,95
70	0,91
60	0,85
50	0,80
40	0,73
30	0,65

Tabela 1.3.1 Pureza x Solubilidade

### 1.4.4 Supersaturação

#### a) Coeficiente de Supersaturação (ss)

$$ss = \frac{(\text{sac.} / \text{água}) \text{ sol. sup. sat.}}{(\text{sac.} / \text{água}) \text{ sol. sat.}} = \frac{(\text{massa sac.} \% \text{ água na sol. sup. sat.})}{(\text{massa sac.} \% \text{ água na sol. sat.})}$$

#### b) Três regiões ou Zonas de Supersaturação

**1. Metaestável:** ss variando de 1,0 a 1,2. É a região mais próxima à saturação e nela não há a formação de cristais. Se forem adicionados cristais de sacarose à solução nesta região, estes crescerão, fazendo o coeficiente de supersaturação tender para o seu limite inferior, igual a 1,0.

**2. Região ou Zona Intermediária:** ss variando de 1,2 a 1,3. Não há também nesta zona, cristalização em ausência de cristais, mas se forem adicionados à solução,

não somente estes crescerão, como haverá a formação de novos cristais e, conseqüentemente, o índice ss decrescerá.

Se a região metaestável for atingida, cessará a formação de cristais, mas continuará o crescimento dos cristais, até que o valor de ss atinja 1,0.

**3. Região ou Zona Lábil:** ss maior que 1,3. Nesta região haverá sempre a formação de novos cristais, quer em presença, quer em ausência de outros cristais.

No cozimento, a supersaturação do licor mãe deve permanecer na zona metaestável superior. Para caldos, a pureza influi muito nos valores de ss.

O limite superior da zona metaestável apresenta-se como uma função inversa da pureza do caldo. Para uma pureza 60, esse limite é 1,55; para pureza 70 este valor é 1,30 e para 80 atinge 1,25.

### 1.5 Velocidade de Cristalização

A velocidade de cristalização é função de:

#### a) Viscosidade

O aumento de viscosidade diminui a mobilidade e retarda a cristalização.

#### b) Temperatura

O aumento da temperatura implica em diminuição da viscosidade e diminuição de ss. Se T diminui, é preciso aumentar ss para manter a velocidade de cristalização. A velocidade de cristalização é a mesma nas seguintes condições: ss = 1,25 a 70°C; 1,30 a 60°C e 1,35 a 50°C; 1,40 a 40°C.

#### c) Coeficiente de Supersaturação (ss)

A velocidade de absorção da sacarose pelos cristais é proporcional ao quadrado da supersaturação. Na prática, o valor de ss não deve ultrapassar 1,44, acima do qual a cristalização se realiza de modo desordenado, com abundante formação de falso cristal.

#### d) Pureza do Licor Mãe

A velocidade de cristalização diminui rapidamente quando a pureza do licor mãe diminui. Por este motivo, um cozimento de de baixa pureza exige mais tempo que uma massa cozida de primeira.

Em valores relativos, pode-se afirmar que para uma pureza 100, tem-se uma velocidade de cristalização 100. Para uma pureza 90, a velocidade de cristalização cai pra 30 e para uma pureza 80, a velocidade cai pra 10 (Pureza = (Pol / Brix) x 100).

#### e) Movimentação da Massa Cozida

Aumenta a velocidade de cristalização. A pureza do licor mãe é o mais importante efeito. Massas cozidas de 3ª gastam até vários dias para cristalizar.

## 2. Cozimento

Com um vácuo de 62 a 65 cm de Hg, adiciona-se xarope até cobrir a calandra e matem a mesma coberta durante a concentração, pois respingos de xarope sobre a superfície de aquecimento implicariam em caramelização de açúcar.

### 2.1 Métodos de Condução do Cozimento (Granagem)

#### a) Método de Espera

Este método consiste em alimentar o cozedor com xarope, enquanto processa a evaporação da água. Há um aumento do ss. Quando este atinge 1,1 a 1,2 (metaestável), nada ocorre, pois não tem cristais. Quando ss atinge a região intermediária, também não ocorre cristalização.

Quando ss atinge valores superiores a 1,3 correspondente à zona lábil, ocorre a granagem ou o surgimento espontâneo dos cristais, ou seja, moléculas de sacarose deixam a solução passando a constituir a fase cristalina.

Assim o ss do licor mãe reduz, atingindo a região intermediária. Nesta, agora, ocorre a formação de novos cristais, que são os falsos cristais ou cristais poeira, assim denominados por serem menores que os formados na zona lábil, que tiveram tempo para crescer.

Os falsos cristais são indesejáveis, pois são menores, causam desuniformidade na massa de cristais e causam obstrução na tela das centrífugas.

O método de cristalização (cozimento) por espera é o mais antigo da indústria açucareira e está fora de uso.

Os pontos fracos do processo são:

- Dificuldade de controlar o número de grãos formados;
- Inevitável a formação de conglomerados;
- Aplicável para cristalizar massas com alta pureza.

#### b) Método de Choque

Neste método promove-se a concentração até a zona intermediária. Para isso trabalha-se com temperatura acima da temperatura normal de funcionamento do cozedor (vácuo menor).

Quando a zona intermediária é atingida, promove-se uma redução do aquecimento às (ou aumento brusco do vácuo) condições normais do aparelho, promovendo uma redução da temperatura do xarope dentro do cozedor.

Isso faz com que haja um aumento em ss, atingindo a zona lábil, quando ocorre a cristalização da sacarose. Uma vez ocorrida a cristalização, há redução de ss no licor mãe, tendo a retornar à condição de saturação.

Assim novas alimentações de xarope devem ser realizadas para manter ss na região metaestável, para que haja crescimento no tamanho dos cristais.



### c) Método da Semeadura

Este método consiste em concentrar o xarope até a região metaestável, e em seguida, injetar no interior do cozedor uma suspensão de microcristais preparada em laboratório através da moagem de cristais de sacarose suspensos em etanol absoluto.

Estes cristais passarão a crescer em tamanho, pois o processo é realizado na região metaestável através da adição de xarope durante o cozimento.

A quantidade de semente a ser adicionada varia de 15 a 40 g por 100 hL, geralmente 25 g por 100 hL. O açúcar depois de triturado passa na peneira (por exemplo, peneira 50), deve ser seco para evitar aglomerados.

No caso de suspenso em etanol absoluto, a mistura deve passar por agitação para romper possíveis grumos, que produzirão aglomerados de cristais.

#### 2.2 Falsos Cristais

São assim chamados os cristais que se formam quando os outros já cresceram bastante. São também chamados poeira, em razão de sua aparência, quando observados nas amostras sobre lâminas de vidro.

Para evitar a formação dos falsos cristais: manter constantes o vácuo e a pressão do vapor, evitar entrada de ar por junta mal vedada, evitar a introdução de xarope ou mel frios e evitar evaporação muito rápida.

#### 2.3 Crescimento dos Cristais

**Exemplo:** 1 g de cristais de 0,25 mm quando crescem até 0,60 mm, atingem a massa de  $1 \times (0,60/0,25)^3 = 13,82$  g.

Para a produção de 100000 kg de açúcar com cristais de 0,3 mm, a massa de semente de cristais de 0,008 mm será:

$$100000 / ms = (0,3)^3 / (0,008)^3$$

$$ms = 1,896 \text{ kg}$$

#### 2.4 Tamanho dos Cristais

- **Açúcar A:** 0,8 a 1,0 mm.
- **Açúcar B:** em torno de 0,6 mm.
- **Açúcar C:** menor que 0,35 mm.

#### 2.5 Esgotamento da Massa Cozida (r)

$$r = \frac{100(j - m)}{j(100 - m)}$$

Onde:

- **r**: esgotamento (r varia na prática de 52 a 64)
- **j**: pureza da massa cozida
- **m**: pureza do melaço

## 2.6 Objetivos do Cozimento

Efetuar cada cozimento dentro das características previstas no menor tempo possível, depende dos seguintes fatores:

- Viscosidade.
- Temperatura (*da qual aliás depende a viscosidade*).
- Supersaturação.
- Pureza do licor mãe.

O cozimento visa:

- Produzir máxima porcentagem de cristais.
- Produzir um açúcar uniforme e com os cristais no tamanho desejado.
- Processar uma massa cozida de boa fluidez, mesmo com elevada porcentagem de cristais, que irá centrifugar facilmente, sem necessidade de lavagem excessiva.

## 2.7 Zonas de Saturação

Existem vários níveis de supersaturação, sendo que faixas destes níveis delimitam zonas de supersaturação.

### a) Zona Não-Saturada

Nenhum cristal se forma e qualquer um existente irá se dissolver.

### b) Zona Metaestável (Primeira acima da Saturação)

Aqui não aparecem novos cristais, mas crescem os existentes.

### c) Zona Intermediária

Aqui **nascem os cristais** e os existentes crescem. Portanto, aqui há a possibilidade de formação de falsos grãos (poeira) e também de conglomerados.

Conglomerados podem se formar na parte superior da zona metaestável, antes da formação do falso grão, então, quando houver formação de falso grão é

quase certeza que encontraremos conglomerados. Um cristal se forma e qualquer um existente irá crescer.

#### d) Zona Lábil (Supersaturada)

Aqui os cristais existentes crescem e novos cristais se formam espontaneamente, mesmo sem a presença de outros na massa.

**Portanto os cristais devem ser obtidos e o cozimento deve ser conduzido, até o final, na zona metaestável, para que haja controle sobre o crescimento dos cristais.**

Se a concentração cair, cristais se dissolverão, levando, inclusive, a acréscimos de cor, quando voltarem a crescer e se a concentração subir, ela pode invadir a zona intermediária, ocasionando o aparecimento de falsos grãos.

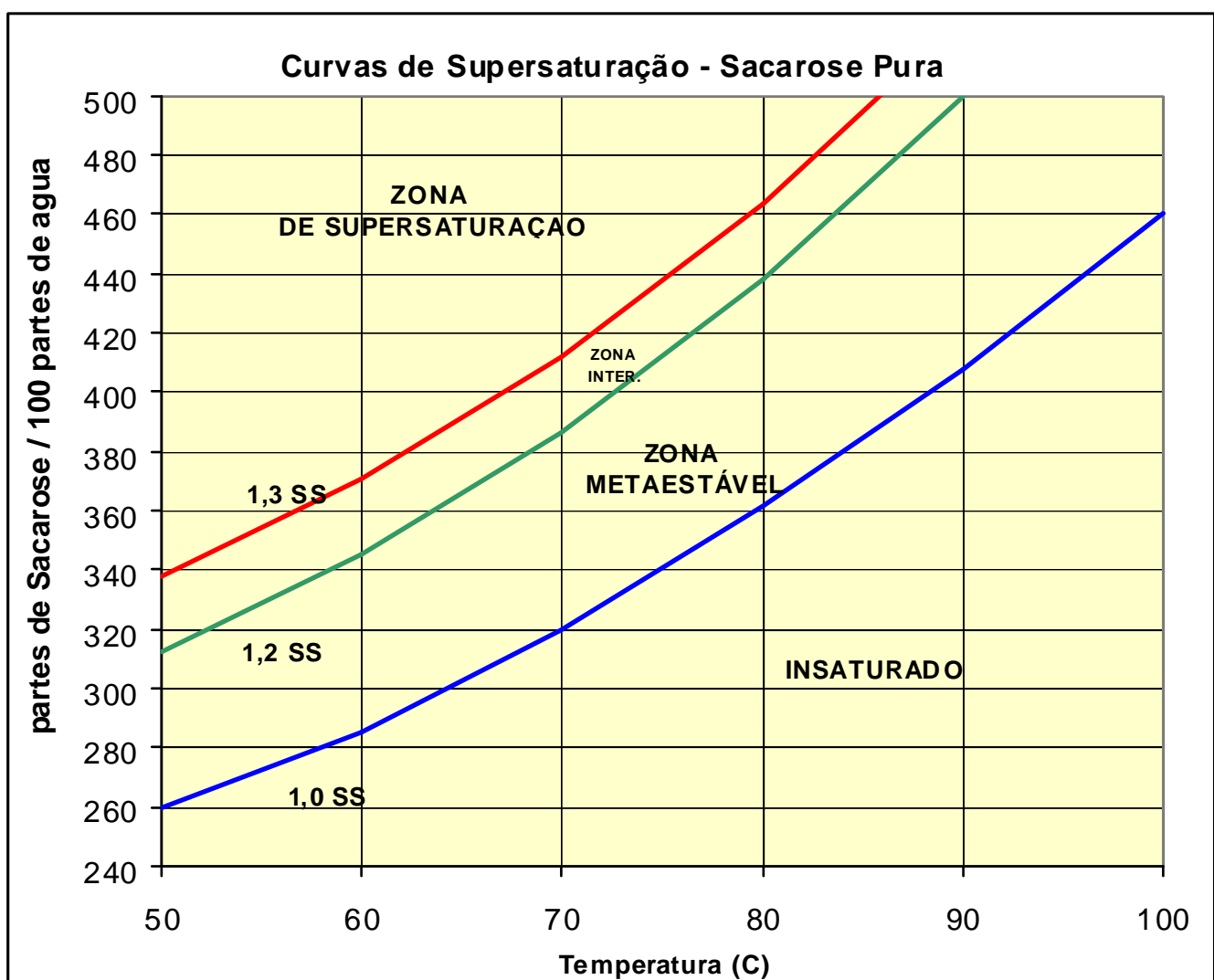


Figura 2.6.1 – Zonas de Saturação

## 2.8 Cozedor

Um cozedor é perfeitamente similar ao corpo de um evaporador e possui:

**a) Cabeça**

É de chapa de aço carbono e possui separador tipo chicana.

**b) Corpo**

É de chapa de aço carbono e dentro possui um tubo de (inox) para alimentação da massa cozida e dispositivo para limpeza do equipamento a cada cozimento efetuado.

**c) Calandra**

É de aço carbono do tipo plana e fixa com tubo central.

**d) Tubos**

São de aço inox ou ferro.

**e) Fundo**

É de chapa de aço carbono com saliência para a saída da massa cozida e circulação e circulação.

**f) Circulador Mecânico**

Reduz o tempo de cozimento, melhora a granulometria por proporcionar uma melhor circulação.

**2.9 Formas de Cozimento**

Os méis devem ser diluídos aproximadamente a 65° Brix. O líquido utilizado na diluição dos méis irá evaporar no tacho, promover a circulação eficaz da massa por ocasião da alimentação, garantindo uma boa velocidade de crescimento dos cristais.

A diluição devesa garantir a dissolução dos pequenos cristais nos méis para não comprometer a qualidade do açúcar.

<b>Massa A</b>	<b>Massa B</b>
Sucção do pé	Sucção do mel / xarope
Crescimento dos cristais	Concentração
Aperto	Granagem
Descarga	Crescimento
Lavagem	Aperto
	Descarga

**Tabela 2.9.1 – Cozimento de Massa A e Massa B**

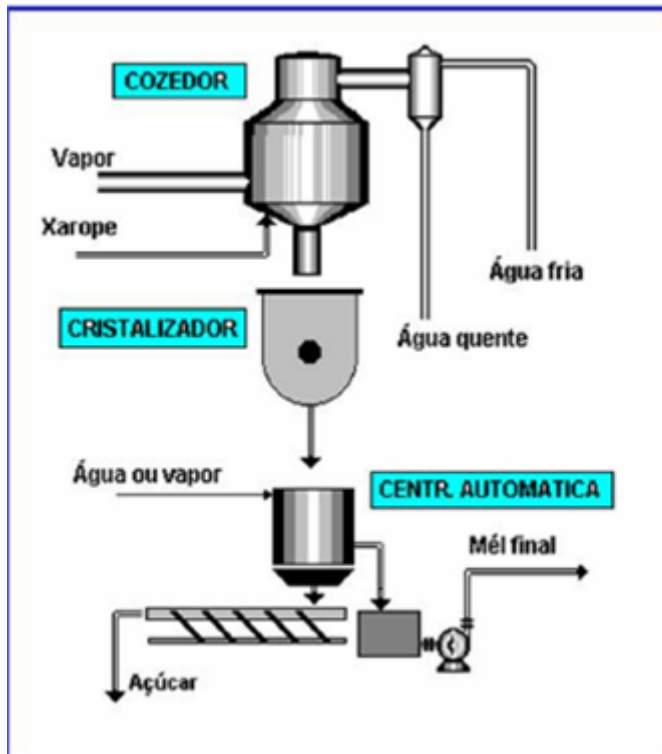


**Figura 2.9.1 – Cozedor de Massa A**



**Figura 2.9.2 – Cristalizadores**

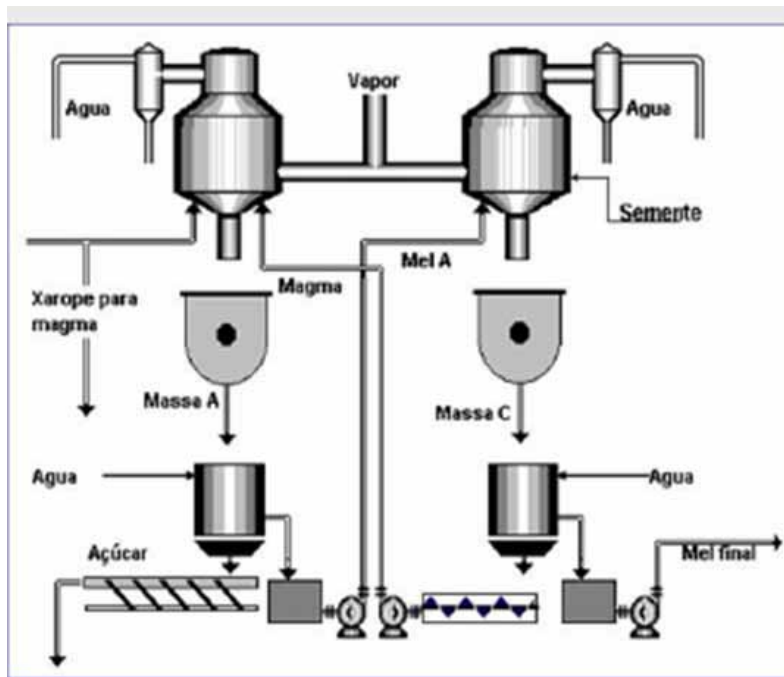
### 2.9.1 Sistema de Cozimento com Uma Massa



- Típico somente para o Brasil.
  - Méi final de alta pureza
- Açúcar fácil
- Queda de pureza:
  - 15 a 17 pontos.
- Produção:
  - 75 Kg/Tons/Cana
- Vantagem:
  - Baixo investimento inicial
- Desvantagem:
  - Baixa produção de açúcar, mais álcool.

Figura 2.9.1 – Sistema de Cozimento com Uma Massa

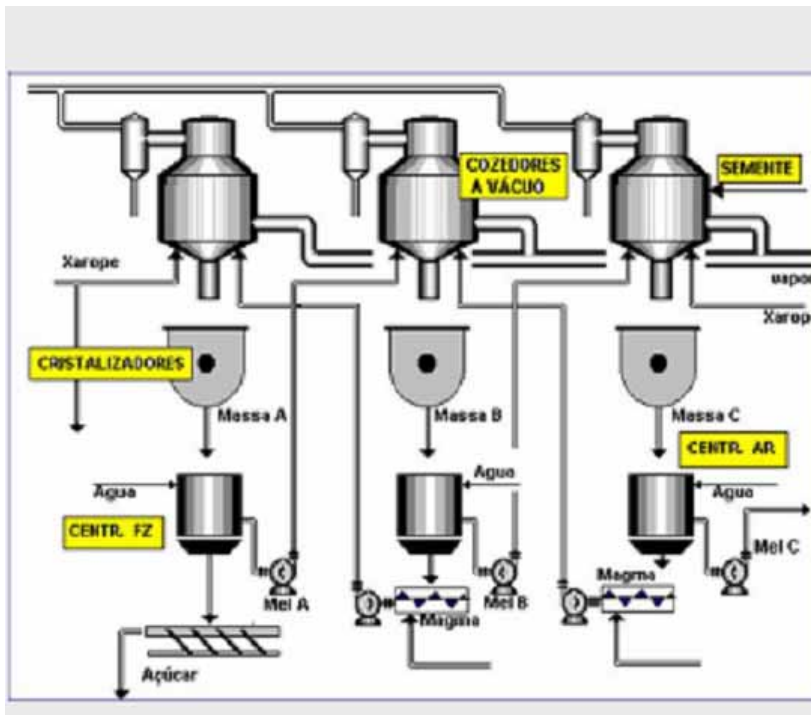
### 2.9.2 Sistema de Cozimento com Duas Massas



- Hoje é o sistema mais usado no Brasil
- Queda pureza
  - 30 a 34 pontos
- Produção de açúcar
  - 95 a 100 Kg/t.
- Vantagens:
  - Médio investimento
- Com boa Produção de açúcar e Álcool
- Bom resultado no balanço térmico
- Melhor cristalização

Figura 2.9.2 – Sistema de Cozimento com Duas Massas

### 2.9.3 Sistema de Cozimento com Três Massas



- É o sistema mais usado no mundo
- Queda pureza – 45 a 50 pontos
- Produção – 110 a 120 Kg/TC
- Ótima produção de açúcar
- Esgotamento do mel final
- Ótimo balanço térmico
- Ótima qualidade de cristalização do açúcar

Figura 2.9.3 – Sistema de Cozimento com Três Massas

### 2.9.4 Fluxograma do Cozimento

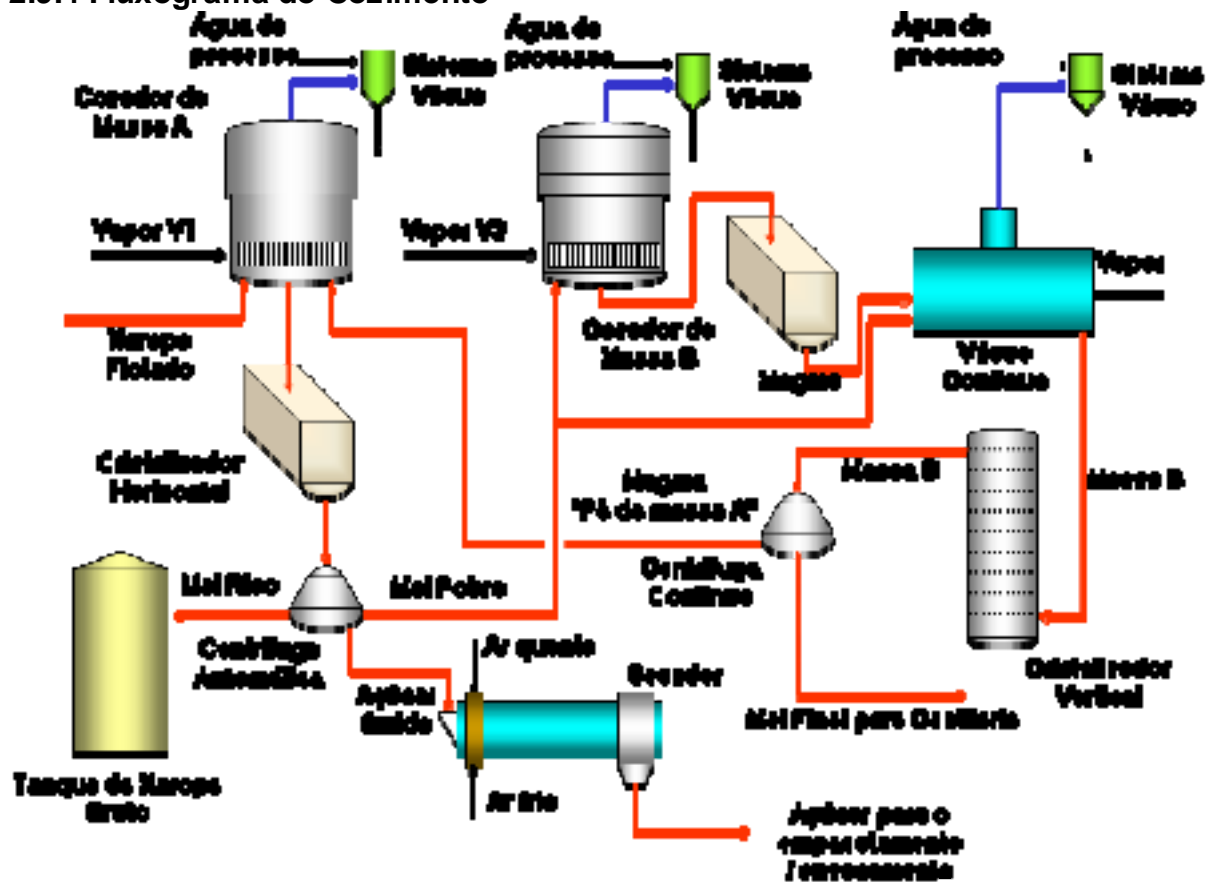


Figura 2.9.4 – Fluxograma do Cozimento

## 2.10 Granagem

### 2.10.1 Concentração

Retira água do xarope ou mel + xarope, aumentando sua concentração de acordo com a granagem requerida.

Devendo atentar-se:

- 🌿 Esta quantidade deve ser o menor possível, porém suficiente para cobrir a calandra.
- 🌿 A alimentação deve ser de forma constante, mantendo o nível.
- 🌿 Quanto menor o volume de semente introduzido, menor será o número de cristais e o tamanho destes será maior.

Nesta etapa adicionamos a semente (açúcar triturado com álcool), estes cristais introduzidos à massa irão orientar o crescimento de todos os cristais.

Este procedimento é adotado para termos uma maior quantidade de cristais uniformes e com melhor qualidade.

### 2.10.2 Vantagens da Adição da Semente

- 🌿 Padronização e rapidez das operações.
- 🌿 Controle do tamanho do cristal obtido.
- 🌿 Exaustão mais completa dos melaços.
- 🌿 Garantia da qualidade do açúcar.

### 2.10.3 Aspectos Importantes da Granagem

- Manter o vácuo/ vapor sob controle de forma que a temperatura fique estável.
- Começar a alimentação com mel somente após o aparecimento dos cristais na massa  
(bem estabelecidos).
- A granagem deve ser feita até o ponto de supersaturação, que pode ser percebido pelo ponto de fio ou por instrumentos adequados.

## 2.11 Crescimento dos Cristais

### a) Xarope Muito Concentrado

Aumenta o risco de cristalização espontânea.



## **b) Xarope de Baixa Concentração**

- Aumenta o tempo de cozimento (*o tacho precisa trabalhar evaporando*).
- Aumenta o consumo de vapor.
- Aumenta o tempo de cozimento, com possibilidade de formação de cor.
- Para diluição com o mel este também deverá estar diluído a 65°brix e isento de cristais.

A água contida no xarope e nos méis tem grande importância, pois é ela que ao evaporar, vai agitar a massa em cozimento, promovendo a circulação natural.

Esta circulação é que renovará as camadas de mel ao redor dos cristais promovendo seu crescimento.

O vácuo e a pressão do vapor vegetal devem permanecer constantes, pois variações bruscas poderão aparecer novos cristais.

## **2.12 Desenvolvimento na Cor de Cozimento**

A cor apresentada pelos cristais de açúcar já lavados é causada pela absorção de compostos coloridos presentes no licor mãe. Quanto mais uniforme for o cristal menor a formação de cor.

## **2.13 Aperto**

O objetivo do aperto é obter uma massa com Máximo teor de cristais permitido, buscando um mel mais pobre possível.

### **a) Massas de Pureza Elevada (A)**

Onde facilmente pode-se chegar à situação em que mais de 60% da sacarose foi cristalizada, requerem cuidado nesta fase, pois podem se transformar numa massa sólida que não poderá ser centrifugada.

### **b) Massas com Pureza Baixa (B ou C)**

O conteúdo dos cristais seja elevado neste estágio, à cristalização é muito lenta devido à baixa pureza do licor mãe, sendo sua circulação mais difícil.

## **2.14 Descarga**

O equipamento deverá possuir um bom escoamento de massa, para evitar restos de massa de um cozimento a se misturar com outro pé de magma.

## **2.15 Lavagem do Vácuo**

É importante a retirada dos restos de massa que tenham ficado no equipamento. A limpeza garante uma boa qualidade do produto final.

Sempre que possível deve-se ferver água no interior do vaso, cobrindo-se a calandra e se abrindo o vapor.

## Unidade IV – Centrifugação

### 1. Centrifugação

O objetivo da centrifugação consiste basicamente na separação do mel que envolve os cristais de açúcar em uma massa cozida.

A centrifugação do açúcar é uma etapa fundamental para obtenção de um produto de qualidade. O conhecimento das máquinas, equipamentos e técnicas corretas envolvidas é fundamental para obter desta operação o máximo de eficácia, qualidade e segurança.

### 2. Tipos de Centrífugas

Podem ser classificadas em dois tipos:

- Centrífugas Intermitentes (Descontínuas);
- Centrífugas Contínuas.

#### 2.1 Centrífuga Descontínua

Este tipo de centrífuga é normalmente utilizada para centrifugação de massa A para produção de açúcar cristal, demerara e VHP.

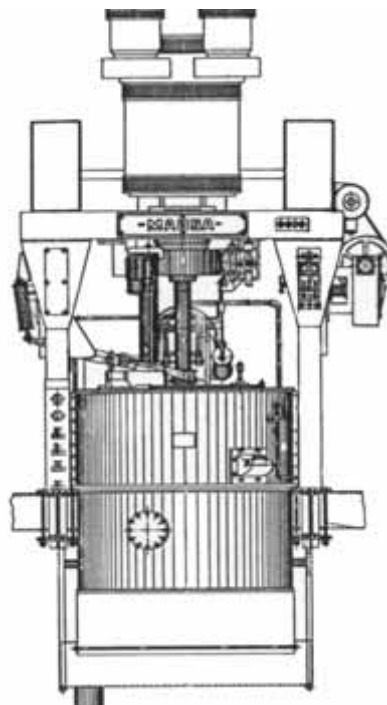


Figura 2.1.1 – Centrífuga Descontínua

### 2.1.1 Capacidade de Produção

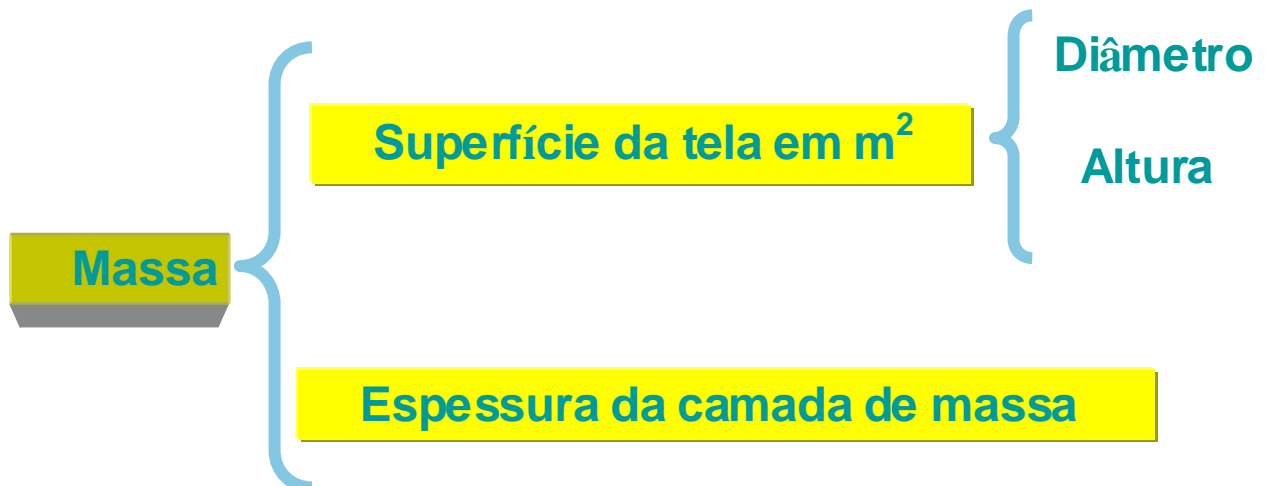
A capacidade de produção de açúcar deste equipamento depende de três fatores principais:

- Conteúdo do cesto em volume;
- Duração do ciclo;
- Conteúdo de cristais na massa cozida.

### 2.1.2 Ajustes Operacionais

- Pressão e temperatura da água superaquecida;
- Bicos de lavagem de açúcar entupidos;
- Carregamento completo do cesto com massa;
- Mínimo de açúcar no fundo e tela da centrífuga após descarga;
- Ajuste mínimo do tempo de lavagem de açúcar;
- Ajuste mínimo do tempo de carregamento (válvula);
- Limpeza da tela da centrífuga;
- Vazamento e gotejamento de mel na bica de jogo;

### 2.1.3 Conteúdo do Cesto em Volume



### 2.1.4 Duração do Ciclo

- Rotação.
- Tempo de operação de cada etapa do ciclo.

### 2.1.5 Conteúdo de Cristais na Massa Cozida

A espessura da camada de massa cozida é dada em função do diâmetro interno.

### 2.1.6 Ciclos de uma Operação

Variam muito dependendo de:

- ✚ Tipos de centrifugas;
- ✚ Controle automático das diversas etapas do ciclo;
- ✚ Qualidade da massa cozida;
- ✚ Qualidade do açúcar desejado.

### 2.1.7 Composição Típica de um Ciclo

- Carregamento
- Tempo de Retirada de Mel (**centrifugação**)
- Lavagem com Água (**Normalmente durante a aceleração**)
- Lavagem com Vapor (**Logo após lavagem com água até o fim da frenagem caso não seja água superaquecida**)
- Frenagem e Descarregamento
- Lavagem do Cesto.

### 2.1.8 Condições para uma Boa Centrifugação

Quanto mais uniformes forem os cristais e quanto menor for a viscosidade do mel (varia com a pureza) mais rápido será seu escoamento entre os cristais.

Porém, a massa cozida é constituída de três frações de mel:

**Excesso de mel:** É facilmente eliminado pela força centrífuga.

**Mel entre espaços vazios dos cristais:** É a retirada mais difícil.

**Película fina de mel que envolve os cristais:** É aderente ao cristal por forças capilares, dificilmente removíveis por simples centrifugação necessitando de operações de lavagens.

A lavagem com água consiste na pulverização uniforme sobre a parede do açúcar e deve ser utilizada a mínima quantidade possível de água para evitar a dissolução do açúcar.

Lavagem com Vapor tem como função elevar a temperatura diminuindo a fluidez do mel residual caso não seja água superaquecida.

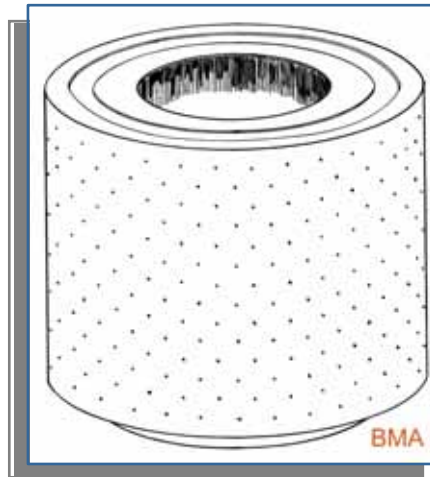
Um sinal característico de um cristal não homogêneo é o aparecimento de uma película de mel sobre a parede do cesto, isto porque pequenos cristais fecham os furos da tela dificultando a passagem do mel.

**Observação:** É importante salientar que muitas vezes a qualidade do açúcar depende de uma centrifugação muito bem conduzida.

### 2.1.9 Cesto

É construído em chapas de ferro fundido revestido com pintura epóxi ou em aço inox perfurado.

Possui a extremidade inferior raiada onde é fixado o eixo de acionamento, nos cestos são fixadas as contra tela, que são de latão ou inox, tendo a tela furações de 0,5 mm de diâmetro e a contra tela 0,5 mm de lado.



**Figura 2.1.9 – Cesto**

#### a) Impureza do Cesto

Caso ocorra de se encontrar na massa grande quantidade de bagaço, este ficará aderido na extremidade inferior do cesto.

### 2.1.10 Cabeçote de Acionamento

Onde está fixado o eixo de acionamento juntamente com os rolamentos e o acoplamento do motor elétrico da centrifuga. Possui sistema de lubrificação manual.



**Figura 2.1.10 – Cabeçote de Acionamento**

### 2.1.11 Descarregador Automático

A finalidade deste componente é retirar o açúcar retido na tela e dirigi-lo à bica de jogo. É constituído de um eixo quadrado com rosca interna onde numa das extremidades está a raspadeira e na outra, a polia do motor.

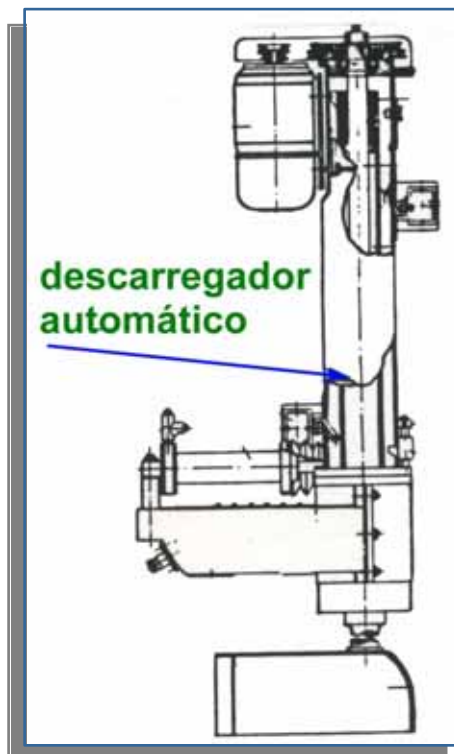


Figura 2.1.11 – Descarregador Automático

### 2.1.12 Sistema de Água Superaquecida

É composto de válvulas automáticas que tem por finalidade:

- Lavar o açúcar.
- Lavar o Chute-Bajar (bandeja).
- Lavar a articulação do cônico de fechamento do cesto (*BMA*).
- Lavar o cesto.

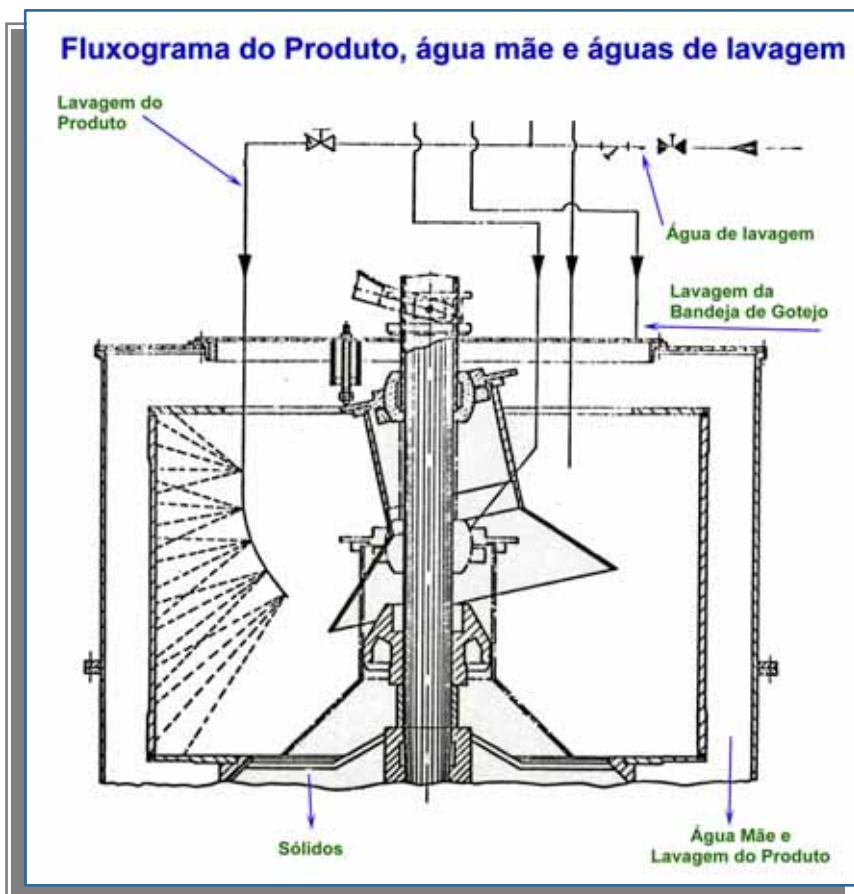


Figura 2.1.12 – Fluxograma do Produto, Água-Mãe e Águas de Lavagem

### 2.1.13 Sistema de Vapor

É constituído de uma válvula com a finalidade de desentupir a comporta de alimentação de massa e outra para vaporização da caixa do cesto a fim de limpar suas paredes do mel remanescente.

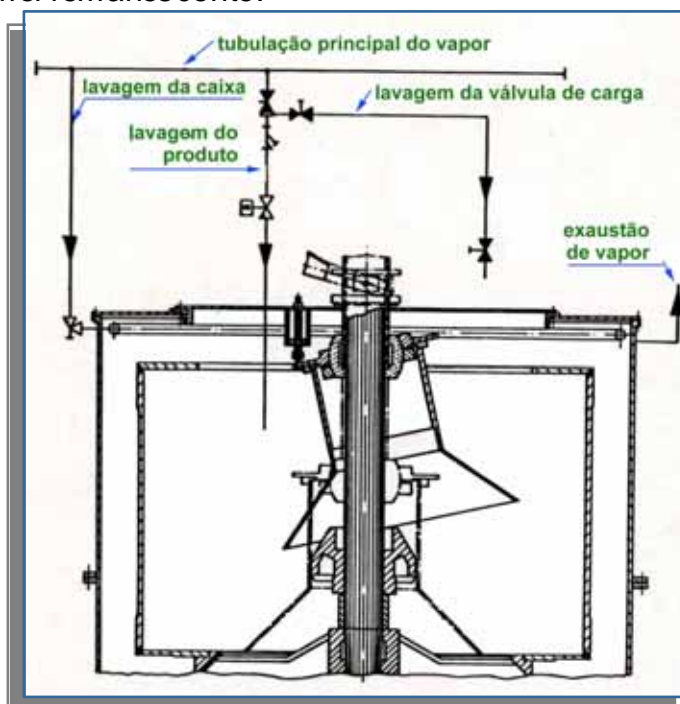


Figura 2.1.13 – Sistema de Vapor



#### 2.1.14 Cônico de Fechamento de Fundo

O cônico de fechamento tem como finalidade:

- Distribuir a massa no cesto durante a alimentação.
- Fechar o fundo do cesto durante a centrifugação.

#### 2.1.15 Sistema de Alimentação da Massa

É constituída de uma válvula borboleta, de acionamento pneumática com a finalidade de fazer a alimentação da centrifuga.

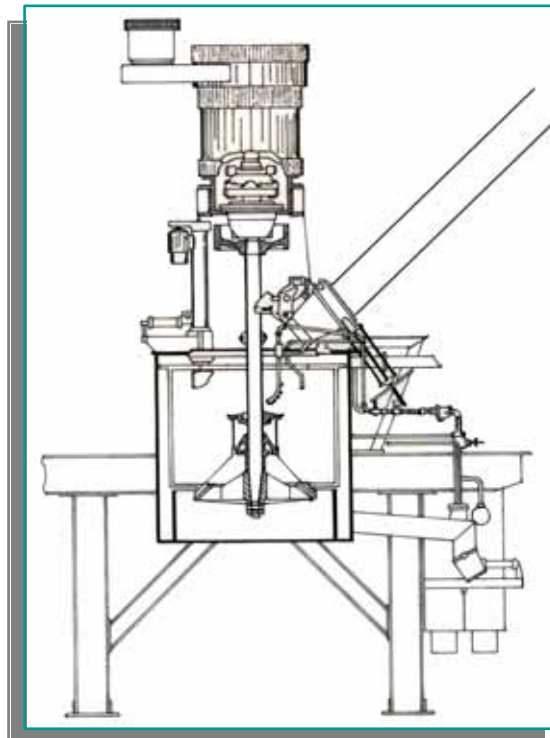


Figura 2.1.15 – Sistema de Alimentação da Massa

#### 2.1.16 Limitador de Carga ou Apalpador

Tem por função controlar a camada de massa no cesto, trabalhando em combinação com a válvula de carga, a qual está ligada pneumaticamente em paralelo, o limitador de carga comanda a abertura e fechamento da mesma.

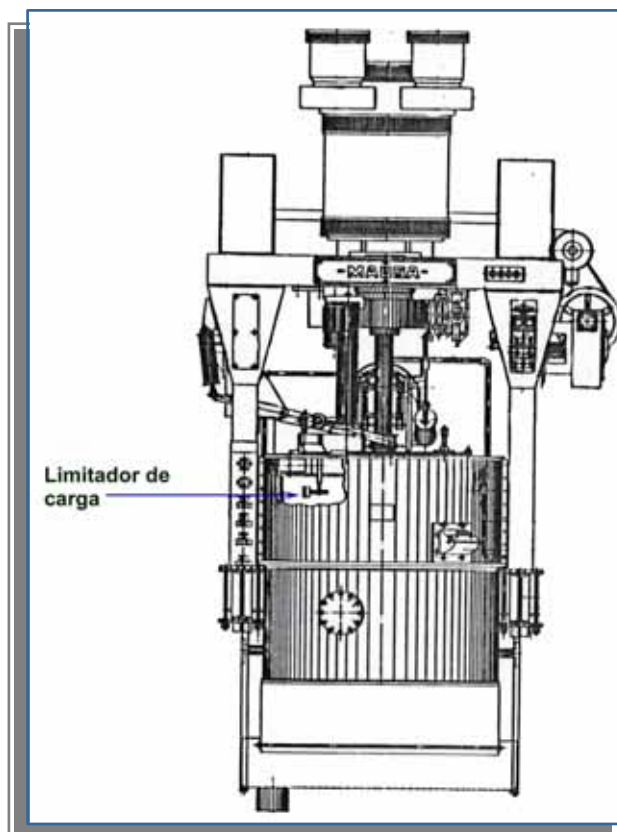


Figura 2.1.16 – Limitador de Carga ou Apalpador

### 2.1.17 Bandeja de Gotejo

É construída em aço inox posiciona-se no fechamento superior do cesto e é acionada por pistão pneumático tem por finalidade reter respingos de água e mel que por ventura possam cair da comporta de alimentação.

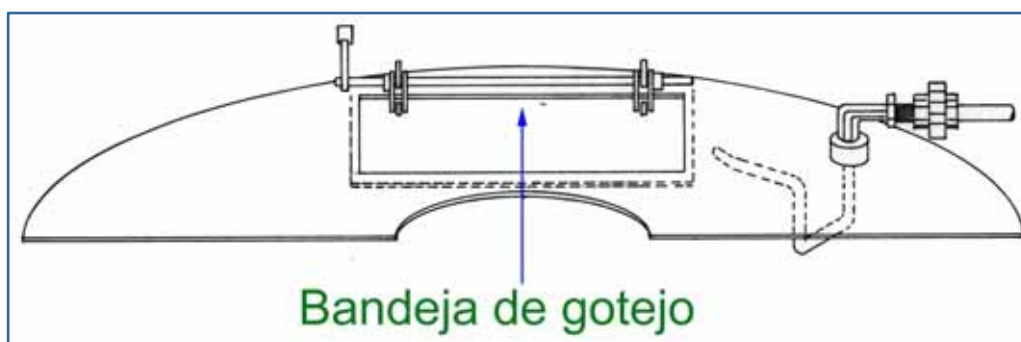
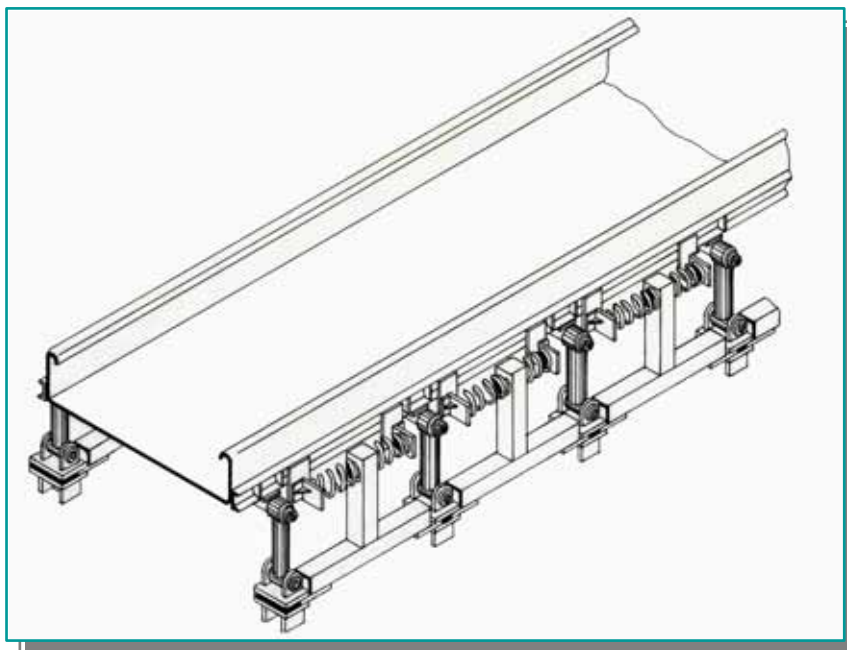


Figura 2.1.17 – Bandeja de Gotejo

### 2.1.18 Bica de Jogo

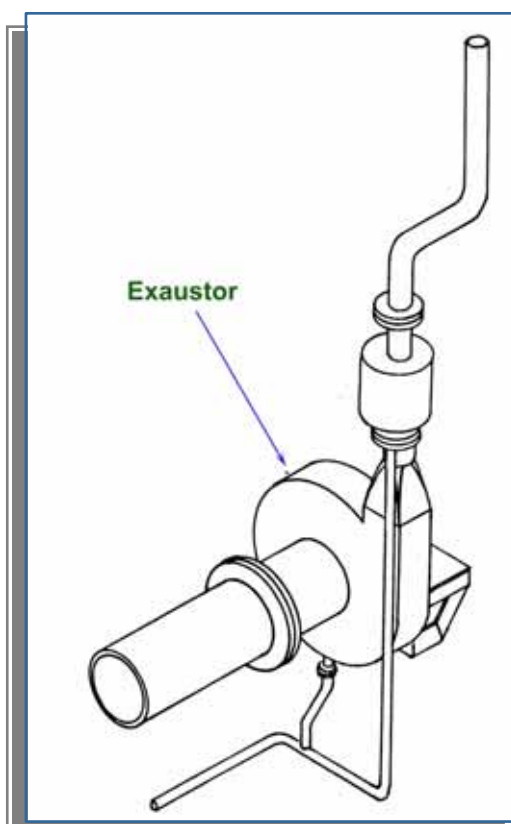
Construída em aço inox que tem por finalidade transportar o açúcar centrifugado até o elevador de canecas.



**Figura 2.1.18 – Bica de Jogo**

### **2.1.19 Sistema de Exaustão**

São exaustores instalados nas extremidades do conjunto de centrifugas que tem por finalidade retirar os gases decorrentes da centrifugação.



**Figura 2.1.19 – Sistema de Exaustão**

### 2.1.20 Princípio de Funcionamento

A massa cozida é descarregada no interior do cesto, sob o cônico de fechamento que distribui uniformemente. Sob a ação da força centrífuga decorrente da rotação do cesto, o mel flui dos orifícios da tela, sendo encaminhado para a caixa de mel.

Os cristais de açúcar retidos na malha da tela são lavados com água e vapor, sendo em seguida retirados pela raspa e encaminhados à bica de jogo.

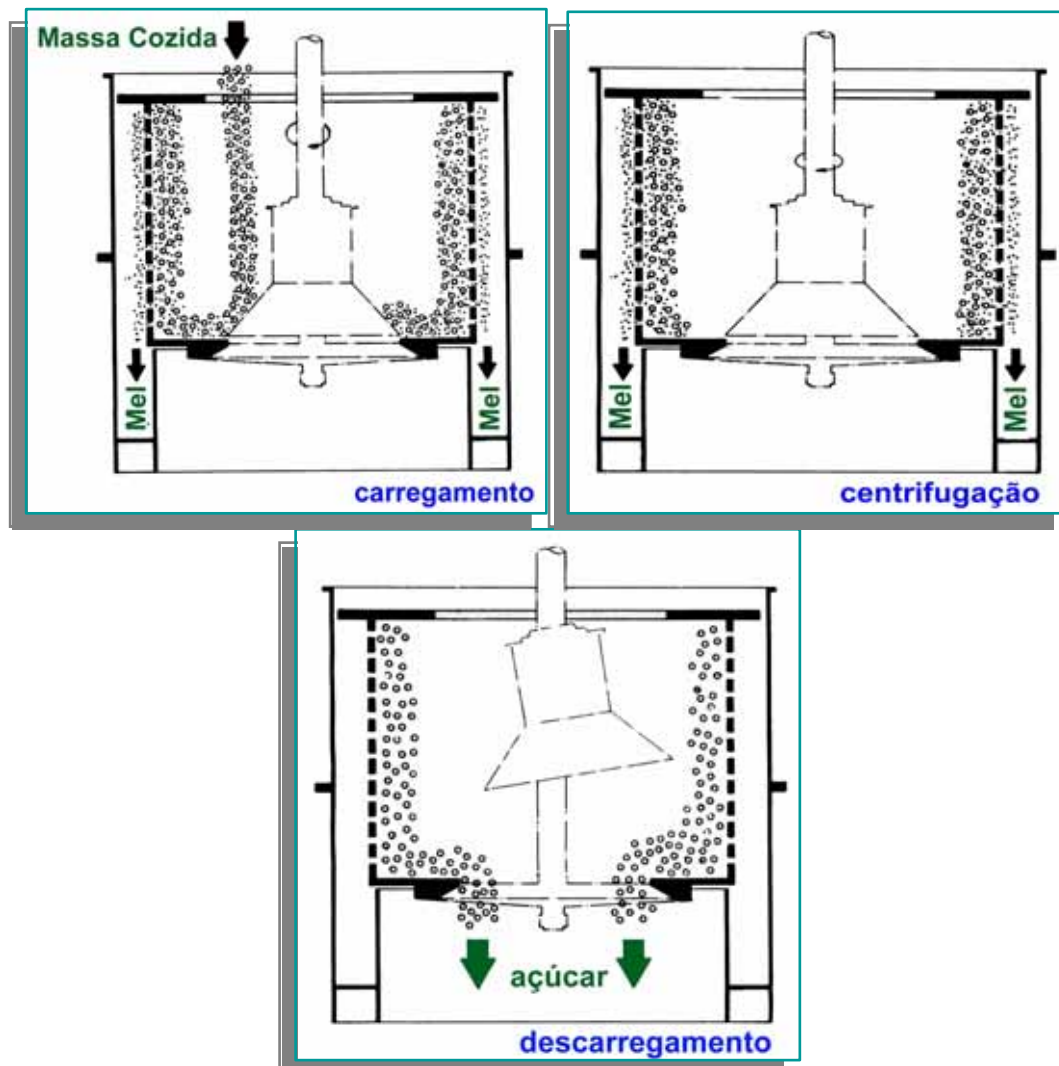


Figura 2.1.20 – Princípio de Funcionamento de uma Centrífuga Descontínua

### 2.1.21 Agentes Auxiliares

#### a) Vapor

Utiliza-se vapor direto, para desobstruir a comporta após ter sua pressão rebaixada através de válvula rebaixadora.

## b) Água Superaquecida

Mistura de água condensada com vapor, resultando em temperatura de aproximadamente 112°C com pressão de 7 a 10 Kgf/cm<sup>2</sup>.

### Vantagens de se utilizar água superaquecida

- Pulverização mais eficiente pelo efeito flash nos bicos das centrifugas melhorando a distribuição de água sobre a camada de açúcar;
- Temperatura constante da água de lavagem;
- Possibilidade de redução da temperatura do açúcar na alimentação do secador, reduzindo temperatura no ensaque;
- Redução do consumo de vapor;
- Redução no tempo de lavagem.

### Desvantagem de se utilizar água superaquecida

Haverá uma maior tendência de dissolução de açúcar dos cristais, sendo recomendável **otimizar o tempo de lavagem**.

### Observação:

Para obter uma distribuição do fluido de lavagem sobre a camada de açúcar é necessário que o espaçamento entre os bicos e a distancia até a parede de açúcar não permita sobreposição dos leques provocando formação de cavidades pela dissolução do açúcar.

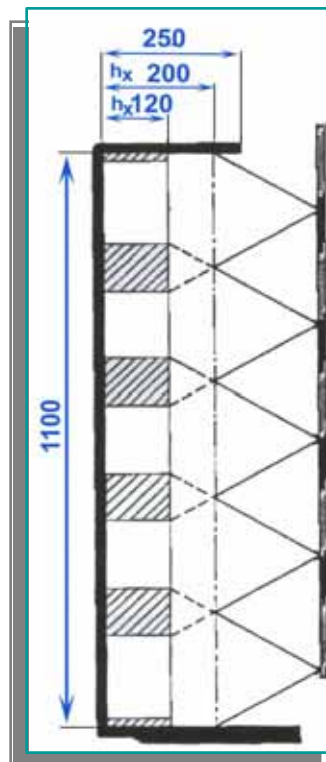


Figura 2.1.21 - Espaçamento entre os Bicos

### c) Ar Comprimido

É fornecido com pressão de 80 lbf/pol<sup>2</sup> tem por finalidade acionar os pistões pneumáticos nas centrífugas e proporcionar a limpeza de fundo.

**Cuidados Especiais:** Periodicamente o operador deverá observar 01 ciclo completo de cada centrífuga para constatar se não há ocorrência de nenhuma anomalia.

### 2.2 Centrífugas Contínuas

- São utilizadas para massa B ou C.
- Não utilizadas para massa A por trabalharem a altas rotações e ocasionarem apreciável quebra do açúcar.
- Tempo de residência da massa na centrífuga é pequeno requer altas velocidades.
- A centrífuga gira a uma velocidade constante e é alimentada por um “fio” contínuo fornecendo uma vazão constante de açúcar.

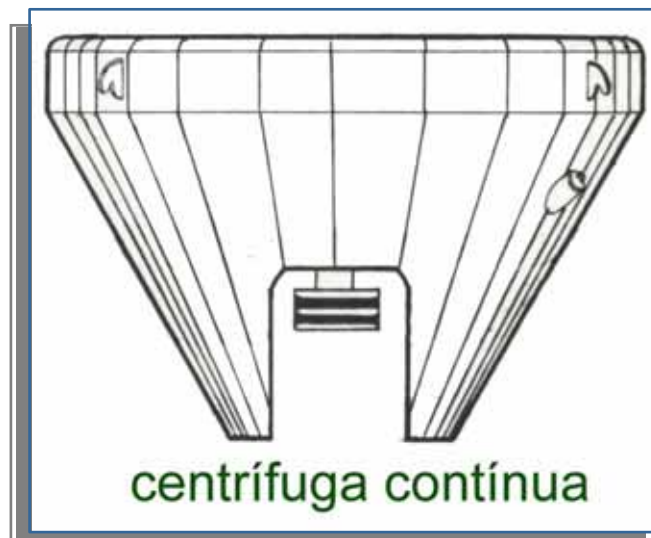


Figura 2.2.1 – Centrífugas Contínuas

#### 2.2.1 Capacidade de Produção

A capacidade destas centrífugas depende de:

1. **Altura do Cesto**
2. **Diâmetro do Cesto**
3. **Rotação do Cesto**

Estes três fatores influem na **Superfície de Contato com a Massa**.

### 2.2.2 Princípio de Funcionamento

A massa cozida escoar através do sistema central, continuamente para a centrifugação, sendo distribuída uniforme e continuamente sobre a tela de separação do cesto.

O mel separará sozinho da massa cozida durante o avanço da mesma sobre a tela. O mel desliza então sobre o cone liso, que se encontra sob a tela, devido à ação da força centrífuga.

O mel sai pelos orifícios do anel superior do cesto e dirige-se até a caixa dos méis.

O ajuste da qualidade do açúcar deve ser feito através de alguns parâmetros:

- Controle da vazão de massa por meio da válvula de controle de fluxo;
- Controle das vazões de água e vapor na tubulação de alimentação da massa;
- Controle da Vazão de água no conjunto de bicos pulverizadores de água.

### 2.2.3 Limpeza das Centrífugas

A tubulação de alimentação, o distribuidor de produto, as telas e a câmara de açúcar da centrífuga devem ser limpos periodicamente. Os intervalos podem ser mais longos ou mais curtos dependendo das condições de processo.

### 2.2.4 Equipamentos de uma Centrífuga Contínua

#### a) Telas

São construídas em aço níquel-cromo, com furações de 0,09 mm de diâmetro, por exemplo. Devem ser inspecionadas cuidadosamente sempre que a produção normal de massa não puder ser alcançada (açúcar de baixa qualidade), a presença de substâncias estranhas atrás da tela pode obstruir os furos de tal modo que o mel não possa mais fluir.

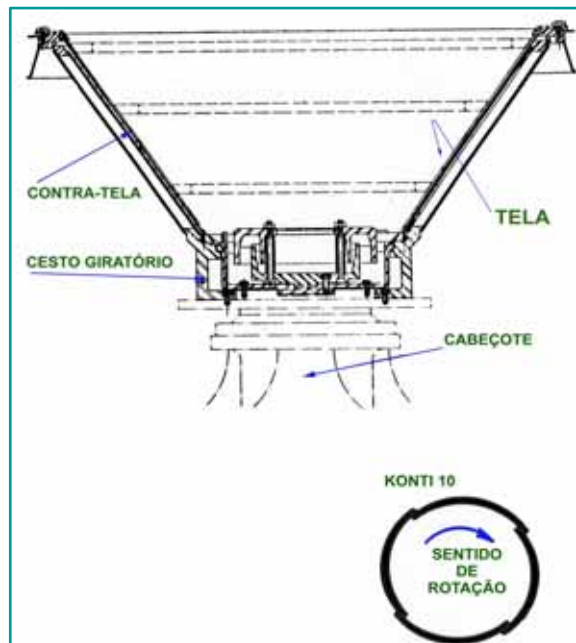


Figura 2.2.4 (a) – Telas

### b) Caixa

Tem por finalidade acomodar o cesto e conduzir os cristais para o transportador de magma. É construído em aço carbono, possui internamente um compartimento separador de mel.

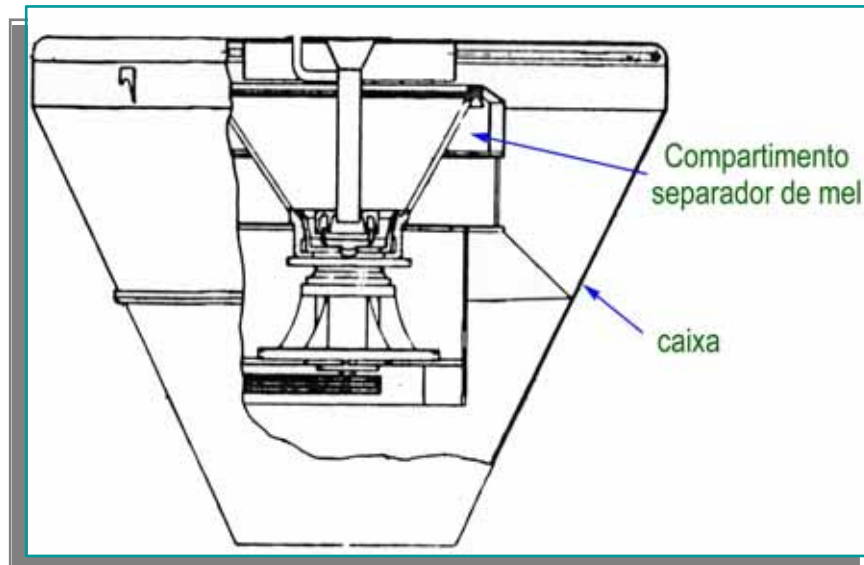


Figura 2.2.4 (b) – Caixa

### c) Cesto Giratório

Construído em aço inox, tem formato cônico com inclinação de 34° e possui uma contra tela fixa, do mesmo material sobre a qual são fixadas as telas. O cesto está acoplado sob o cabeçote que lhe transmite a força centrífuga.

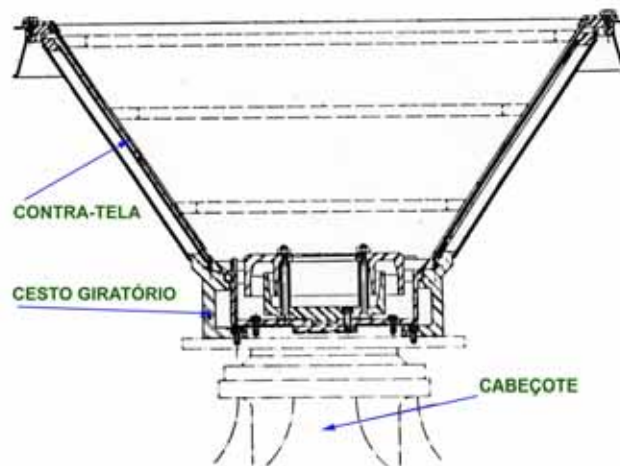


Figura 2.2.4 (c) – Cesto Giratório



#### d) Cabeçote de Acionamento

Tem por finalidade transmitir potencia do motor para o cesto giratório ao qual está acoplado. O cabeçote é composto basicamente de:

- Polia
- Eixo
- Rolamentos
- Retentores
- Sistema de Lubrificação

A lubrificação é feita através de óleo sendo que a centrífuga nunca deverá estar operando sem antes ter ligado a bomba de óleo, na qual existe um pressostato que bloqueia o acionamento do motor quando a bomba não for ligada.

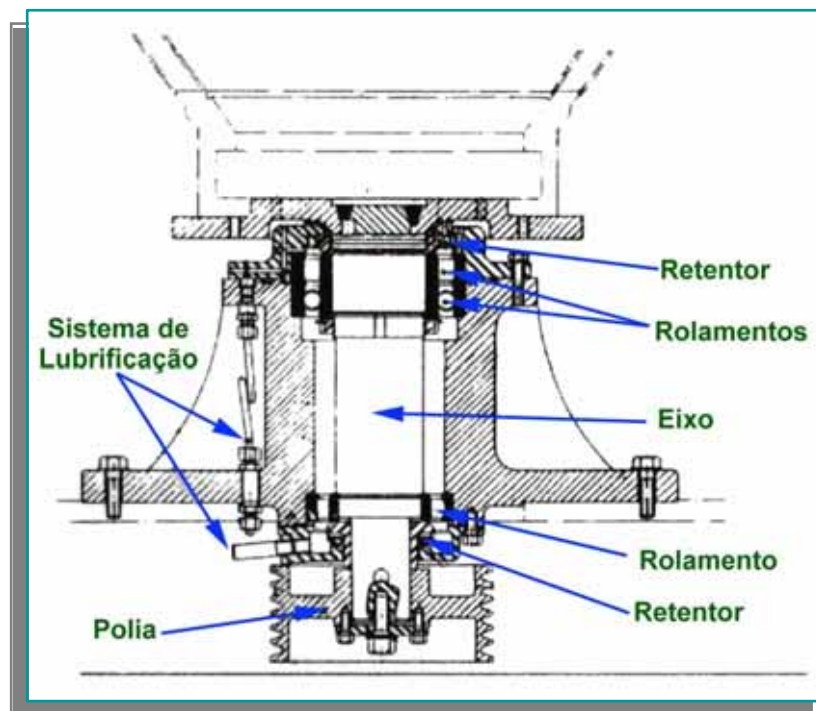


Figura 2.2.4 (d) – Cabeçote de Acionamento

#### 2.2.5 Sistema de Alimentação

##### a) Válvula de Acionamento Automático

Regular o fluxo de massa para centrífuga.

##### b) Filtro Angular Metálico

Reter partículas indesejáveis que possam afetar a tela.

### c) Duto de Alimentação

Conduzir o fluxo de massa até o distribuidor.

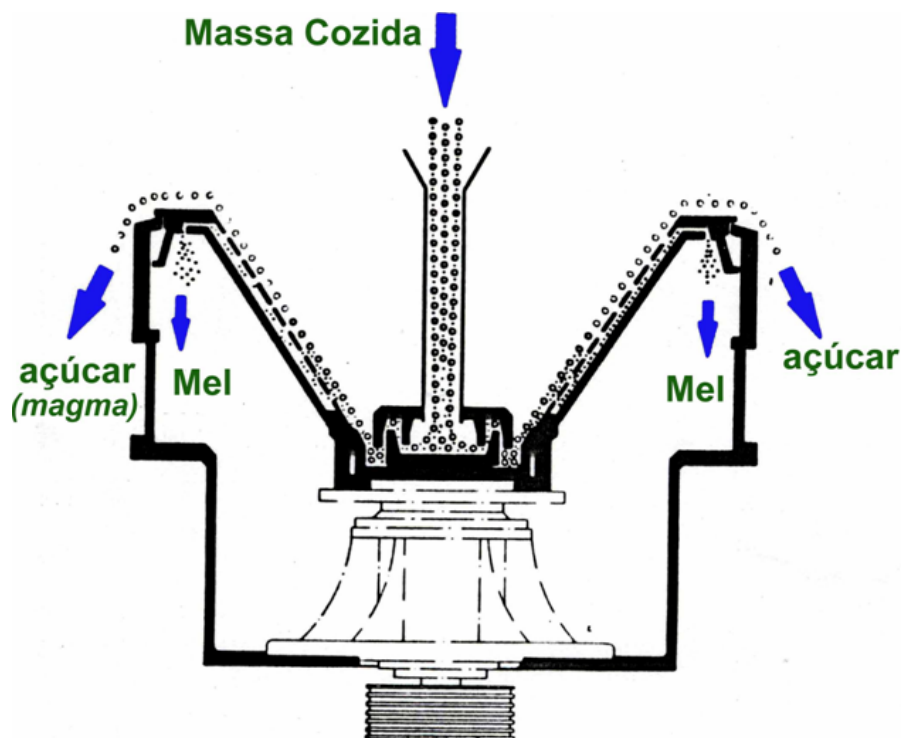


Figura 2.2.5 - Sistema de Alimentação de uma Centrífuga Contínua

### 2.2.6 Sistema de Lavagem

Tem como finalidade melhorar a qualidade do açúcar, através de um sistema de bicos dispostos de forma estratégica abrangendo toda a superfície da tela.

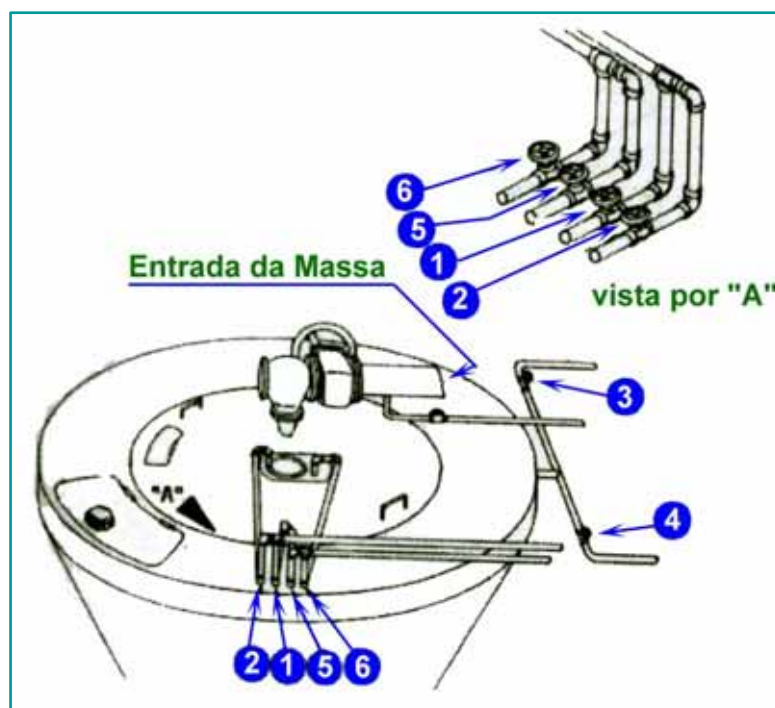
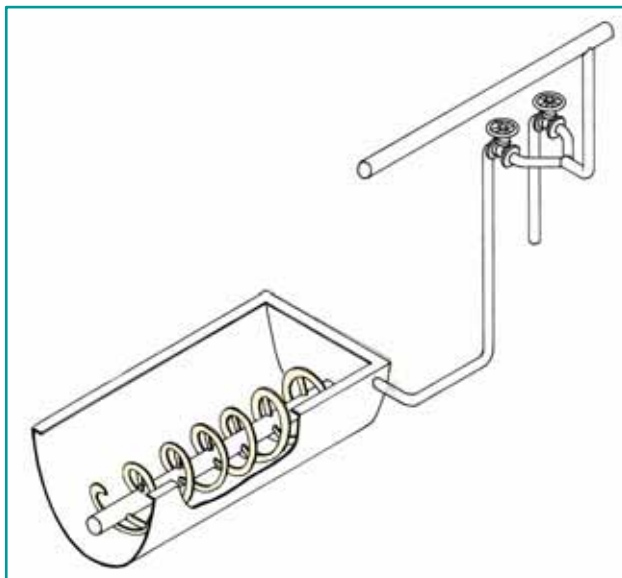


Figura 2.2.6 – Sistema de Lavagem

### 2.2.7 Transporte de Magma

É composto de uma caixa de aço inox com eixo central onde estão fixadas aletas espirais de transporte. Tem por finalidade misturar os cristais de açúcar com água, formando o magma, conduzindo-o até a bomba que o enviará ao reservatório.



**Figura 2.2.7 (a) – Transporte de Magma**



**Figura 2.2.7 (b) – Magma**

## Unidade V – Secadores

### 1. Introdução

A operação de secagem consiste num abaixamento da umidade do açúcar até um ponto que ela seja compatível com a estocagem, outro ponto importante a considerar é que a temperatura do açúcar na saída dos secadores deve ser mantida preferencialmente na faixa de 30 a 40°C para que não ocorra amarelamento e empedramento do açúcar no período de estocagem.

### 2. Recomendações

Os principais fatores que acarretam temperaturas muitas elevadas no ensaque são:

- ◆ Falta de vapor para aquecimento do ar
- ◆ Vazão de ar do ventilador insuficiente do ar
- ◆ Vazão de ar do exaustor insuficiente do ar
- ◆ Tempo de retenção insuficiente; valor recomendado é de 5 a 10 minutos dependendo da temperatura do ar e umidade do açúcar desejado no ensaque.
- ◆ Cascadeamento do açúcar no interior do secador rotativo deficiente devido à distribuição e geometria das aletas.
- ◆ Temperaturas muito elevadas na alimentação do secador
- ◆ Tempos de lavagem com vapores excessivamente longos nas centrifugas.

### 3. Tipos de Secadores

Os mais utilizados são:

- ◆ Secador de Tambor Rotativo (Secador Horizontal)
- ◆ Secador Vertical de Bandejas

#### 3.1 Secador de Tambor Rotativo

O secador de uso mais corrente é o de tambor rotativo, que consiste num cilindro metálico montado na horizontal levemente inclinado 5 a 7° para facilitar a progressão do açúcar, este é provido internamente de aletas destinadas a recolher o açúcar e deixá-lo cair em forma de cascata.

Geralmente o açúcar caminha ao longo do secador em contra corrente com o ar. Nos melhores projetos o corpo secador é dividido em 2 partes: a de secagem e a de resfriamento.

Fazem parte ainda um transportador de alimentação, aquecedor de ar, exaustor, ciclone e separador de pó.

### 3.1.1 Separador Magnético

O separador de partículas magnéticas que tem por finalidade remover as ferrugens que tem origem na corrosão dos equipamentos. O equipamento mais recomendado é a grade imantada, com limpeza automática.

O aparecimento de partículas magnéticas no açúcar pode indicar mal funcionamento do separador magnético.

### 3.1.2 Algumas Medidas para a Redução de Pontos Pretos

- Isolar transportador de açúcar, para evitar depósitos de partículas em suspensão no ar sobre o açúcar, através de coberturas apropriadas.
- Evitar quedas de gotas de mel ou massa sobre o açúcar centrifugado, pela eliminação de vazamento nas centrifugas.
- Para completar o conjunto têm-se as peneiras classificadoras que servem para remover os torrões de açúcar.
- O silo por sua vez mantém a alimentação do ensaque de açúcar.

### 3.1.3 Processo de Secagem

Consiste basicamente das etapas de secagem propriamente dita e, resfriamento até a temperatura de ensaque por uma corrente de ar, formada por um ventilador de capacidade adequada.

**A umidade do açúcar é removida por evaporação, para qual se necessita de uma determinada quantidade de calor suficiente para transformar o líquido em vapor.** O ar servido carregado de pó de açúcar é enviado por meio de dutos a um sistema de separação de pó, onde poderá haver perdas de açúcar para a atmosfera.

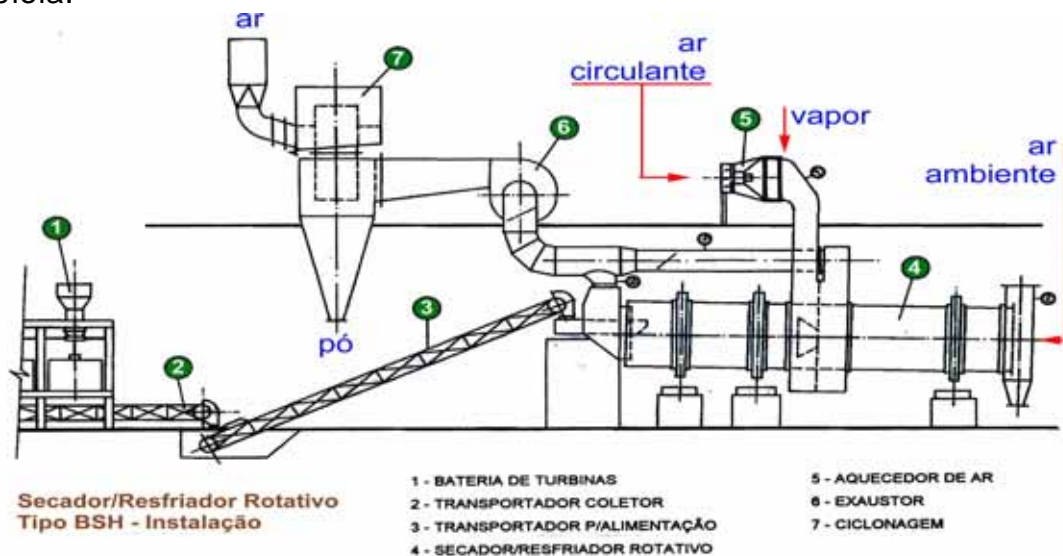


Figura 3.1.3 – Secador de Tambor Rotativo