



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Escola de Engenharia de Lorena – EEL

Processos Químicos Industriais II

Apostila 1

INDÚSTRIA AÇUCAREIRA

Profa. Heizir F. de Castro

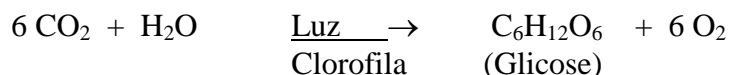
2013

Terminologia

| | |
|--------------------|--|
| Açúcar: | Produto final de uma usina de açúcar, constituído por cristais de sacarose, contendo ou não pequenas porções de mel que os envolvem. |
| Bagaço: | Resíduo fibroso resultante da extração do caldo de cana. |
| Caldo absoluto: | Caldo em cuja composição entram todos os sólidos solúveis e toda a água da cana. |
| Caldo primário: | Caldo extraído da primeira unidade de esmagamento do conjunto de moendas. |
| Caldo residual: | Caldo retido no bagaço após a moagem. |
| Caldo misto: | Mistura dos caldos obtidos no processo de extração, enviado para a fabricação de açúcar. |
| Caldo sulfitado: | Caldo misto após passar pela coluna de sulfitação, etapa na qual adsorve certa quantidade de anidrido sulfuroso. |
| Caldo clarificado: | Caldo obtido após as operações de tratamento químico, aquecimento e decantação. |
| Caldo filtrado: | Caldo resultante da filtração do lodo. |
| Embebição: | Água aplicada ao bagaço durante o processo de extração. |
| Extração: | Percentagem de sacarose extraída da cana. |
| Magna: | Mistura de açúcar com xarope, caldo clarificado, água ou mel, para ser usada como pé de cozimento. |
| Massa cozida: | Produto resultante da concentração do xarope ou mel, constituído de cristais de açúcar envoltos no mel-mãe. |
| Mel: | Licor mãe, resultante da centrifugação de uma massa cozida. |
| Melaço: | Mel esgotado do qual não mais se extrai açúcar por razões de ordens técnico-econômicas. |
| Sacarose: | Principal produto da cana, dissacarídeo de fórmula $C_{12}H_{22}O_{11}$ |
| Torta: | Resíduo obtido da filtração do lodo dos decantadores. |
| Xarope: | Produto resultante da concentração parcial do caldo clarificado. |

1. Introdução

O açúcar é produzido por todos vegetais clorofilados, por meio de um processo conhecido como fotossíntese.



A composição básica do açúcar comercial comum é a sacarose ($\text{C}_{12}\text{H}_{24}\text{O}_{12}$), que é um dissacarídeo formado por uma molécula de glicose e outra de frutose. A sacarose é facilmente convertida em quantidades iguais de glicose e frutose, através da hidrólise ácida ou enzimática (ação da enzima invertase, presente em células de levedura).

As matérias primas empregadas para produção de açúcar industrial são a cana de açúcar e a beterraba. O açúcar de beterraba é muito comum nas regiões mais frias do planeta. A beterraba empregada na produção de açúcar é diferente da beterraba ordinária pelo fato de ser muito maior e não ser vermelha. Depois de processado (industrializado) o açúcar de beterraba não apresenta diferença nenhuma em relação ao açúcar de cana e somente um químico muito hábil poderia dizer se uma amostra de açúcar refinado provém da cana tropical ou de beterraba crescida na zona temperada.

O açúcar refinado produzido industrialmente é uma das substâncias mais puras que se conhece, aproximadamente 99,96% de sacarose, isto se deve principalmente ao desenvolvimento e aperfeiçoamento dos processos de refinação provocados pela Engenharia Química aplicada à Indústria.

2. Consumo

Aproximadamente 90% da produção de açúcar destina-se ao uso alimentar, que abrange desde o açúcar vendido a granel para uso doméstico, como a parte empregada nas indústrias alimentícias. Na Tabela 1 são mostrados os dados de produção mundial de açúcar em 2011.

Tabela 1. Produção mundial de açúcar em toneladas e percentual no ano de 2011

| Posição | País/União | Toneladas | % | Posição | País/União | Toneladas | % |
|---------|------------|-----------|--------|---------|----------------------|-----------|-------|
| 1 | Brasil | 35750000 | 21,25% | 13 | Ucrânia | 2300000 | 1,37% |
| 2 | Índia | 28300000 | 16,82% | 14 | Turquia | 2300000 | 1,37% |
| 3 | U. E. | 16740000 | 9,95% | 15 | Colômbia | 2250000 | 1,34% |
| 4 | China | 11840000 | 7,04% | 16 | Argentina | 2200000 | 1,31% |
| 5 | Tailândia | 10170000 | 6,04% | 17 | Indonésia | 2088000 | 1,24% |
| 6 | E. U. A. | 7153000 | 4,25% | 18 | Egito | 2025000 | 1,20% |
| 7 | México | 5650000 | 3,36% | 19 | África do Sul | 2000000 | 1,19% |
| 8 | Rússia | 4800000 | 2,85% | 20 | Cuba | 1250000 | 0,74% |
| 9 | Paquistão | 4220000 | 2,51% | 21 | Japão | 770 | 0,46% |
| 10 | Austrália | 4150000 | 2,47% | 22 | República Dominicana | 520 | 0,31% |
| 11 | Guatemala | 2474000 | 1,47% | 23 | Canadá | 95 | 0,06% |
| 12 | Filipinas | 2400000 | 1,43% | | Mundo | 168247000 | |

Fonte: Foreign Agricultural Service/United States Department of Agriculture

Entre os usos não alimentares do açúcar, pode ser destacado o emprego como matéria prima para fabricação de:

- ⇒ glicerol e manitol;
- ⇒ plastificantes (octobenzoato de sacarose);
- ⇒ surfatantes: ésteres de ácidos mono e dicarboxílicos;
- ⇒ dextran (polissacarídeo obtido a partir da sacarose por certas bactérias).

Outros usos para os derivados da sacarose estão sob investigação, estimulada pela International Sugar Research Foundation, como por exemplo, a obtenção de ésteres de óleos secativos derivados de açúcares para indústria de tintas e de detergente.

3. Fabricação do Açúcar

3.1. Breve histórico

É difícil determinar quando o açúcar tornou-se conhecido da humanidade, entretanto na literatura europeia existem indicações que a cana-de-açúcar foi descoberta na Índia Ocidental, por um dos oficiais de Alexandre o Grande, mais ou menos no ano de 325 A.C.

Os métodos de extração e de purificação do açúcar da cana foram muito lentamente desenvolvidos. Existem registros, que por volta de 1400, métodos grosseiros foram trazidos do Oriente para a Europa. O comércio de açúcar entre a Ásia e a Europa era então, um dos mais importantes nos séculos passados.

No Brasil, Martim Afonso de Sousa ao fundar a 1ª Vila do Brasil, a de São Vicente, também introduziu a cana-de-açúcar fazendo com que esta vila se tornasse o primeiro centro produtor de açúcar do país. A cultura da cana foi, então, o elemento agrícola da civilização brasileira, fazendo crescer as cidades, influenciando no organismo econômico e na vida social. Atualmente a cultura da cana está largamente difundida no Brasil, tendo no Nordeste e Sudeste do país seus principais produtores e industrializados.

3.2. Composição da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar pertence à família das gramíneas. Tem um caule semelhante ao do bambu e atinge uma altura de 2,5 a 4,5m. Contêm cerca de 11 a 15% de sacarose, em peso. O período de crescimento é de aproximadamente 1 ano. O percentual dos principais componentes da cana-de-açúcar varia em função das condições climáticas, da variedade da cana, com a natureza e as condições do solo, com a classe de fertilizantes, com a idade da cana (estado de maturação) e uma série de outros fatores. Por esta razão, as Usinas realizam um controle rígido da qualidade da cana recebida para o processamento, sendo analisados os seguintes componentes:

Brix: Mede sólidos solúveis e está diretamente associado ao teor de sacarose, tendo um valor de aproximadamente 18% na cana madura.

POL: Teor de sacarose na cana, medido por polarímetro ou sacarímetro.

Pureza: É a relação entre o teor de sacarose e o teor de sólidos solúveis

Açúcares Redutores: Conteúdo de açúcares simples (glicose e frutose)

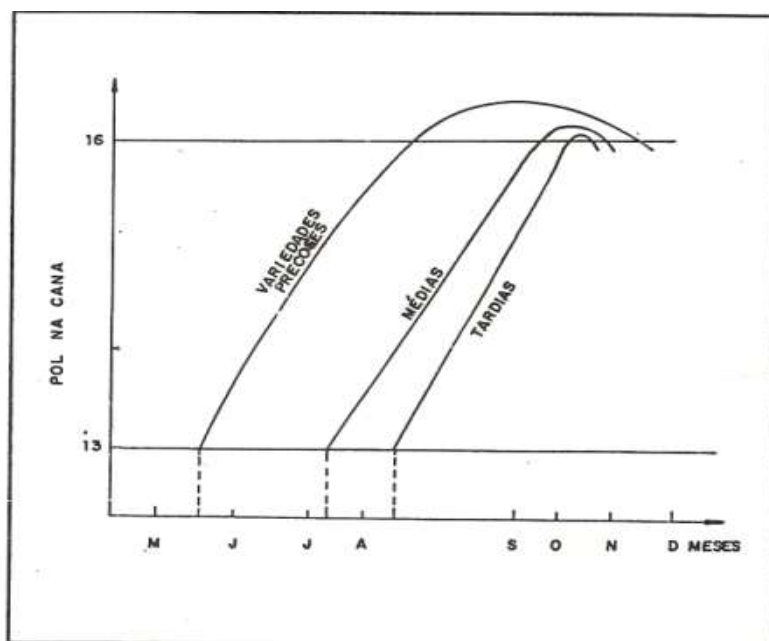
- Fibra:** Conteúdo de celulose, lignina, pentosanas (xilana), gomas (arabana). Interfere negativamente no processo, um aumento de 1% de fibra da cana, implica em uma redução na extração normal em 1,5%. O teor de fibra na cana pode variar entre 7 a 15%.
- Cinzas:** São fatores negativos para produção de açúcar, pois altera a eficiência das etapas de clarificação, evaporação e cristalização. Quanto maior teor de cinzas maior será a quantidade de melaço no açúcar final. Por outro lado, cátions como Ca, Mg e Si podem aumentar as incrustações nos equipamentos.
- Gomas:** Aumentam a viscosidade do xarope. Os maiores teores são detectados em canas verdes (impróprias para o corte). O teor de gomas também pode aumentar após a colheita da cana, decorrente do desenvolvimento de bactérias durante o período de estocagem. O aumento do teor de gomas pode ocasionar: dificuldade na formação dos cristais de açúcar, aumento das perdas de açúcar nos méis, entupimento de tubulações, trocadores de calor etc.

Em geral, uma cana em bom estado de maturação, pode atingir percentuais como listados na Tabela 2.

Tabela 2. Composição da cana de açúcar

| Componentes | % |
|-------------------|-------|
| Água | 71,04 |
| Brix | 16,20 |
| Sacarose | 14,40 |
| Pureza | 88,88 |
| Fibra | 9,56 |
| Corantes e graxas | 0,35 |
| Cinzas | 0,48 |

Curvas de maturação são geralmente realizadas para definir o comportamento das diversas variedades, ou seja, definir o período de corte e colheita da cana, período no qual são obtidos teores elevados de sacarose nos colmos. Este período é designado de PUI: Período Útil de Industrialização. Na Figura 1 apresentam-se curvas de maturação típicas para algumas variedades de cana.



Precoce: máximo + Ago-Set
 Início + Abr-Maio
 Médios : máximo: Set
 Início + Jul
 Tardias: máximo: Out
 Início + Ago-Set

Figura 1 - Curvas de maturação de diferentes variedades de cana

3.3. Colheita

A colheita da cana de açúcar pode ser realizada manualmente com facões, ou por cortadeiras mecânicas. Para proporcionar uma maior produtividade da colheita e maior proteção e ganho do trabalhador rural, tem sido muito empregado a queima da cana antes da colheita. Entretanto, este procedimento tem trazido como efeito residual para os centros urbanos localizados próximos às lavouras, a fuligem. Para contornar esse problema, estão sendo desenvolvidas diferentes ações, como por exemplo: desenvolvimento de máquinas apropriadas para colheita mecânica de cana não queimada, desenvolvimento de variedades de cana com hábito de despalha natural, muito importante para áreas com topografias inadequadas à colheita mecânica.

É importante destacar, que o processamento da cana-de-açúcar deve ser realizado sem grandes demoras após a colheita, para evitar modificações na composição original desta matéria prima (Tabela 3) decorrentes de diversas causas, entre as quais, podem ser destacadas:

- ⇒ Ressecamento dos colmos
- ⇒ Inversão de sacarose (acidez, temperatura, invertase)
- ⇒ Desenvolvimento de microrganismos (leveduras, fungos, bactérias)
- ⇒ Produção de compostos indesejáveis ao processo.

Tabela 3. Modificações da composição da cana de açúcar em função do tempo de estocagem.

| Tempo de estocagem | Brix (%) | Sacarose (%) | Açúcares Redutores (%) | Pureza (%) | Acidez sulfúrica (g/L) |
|---------------------------|-----------------|---------------------|-------------------------------|-------------------|-------------------------------|
| 0 (Original) | 15,45 | 14,00 | 0,123 | 88,88 | 0,49 |
| 3 dias | 17,30 | 14,80 | 0,194 | 88,54 | 0,49 |
| 6 dias | 17,42 | 14,10 | 0,318 | 80,94 | 0,735 |
| 9 dias | 17,90 | 13,90 | 0,542 | 77,65 | 0,784 |
| 12 dias | 17,93 | 13,50 | 0,580 | 75,29 | 0,882 |

Tomando por base os dados descritos na tabela acima, recomenda-se períodos máximos de estocagem da ordem de:

- ⇒ 14 horas de estocagem
- ⇒ 18 horas de estocagem

- Dias quentes e chuvosos
- Épocas frias e secas

3.4. Processo de Fabricação

Descrição das etapas do processo: Da matéria prima à obtenção de açúcar não refinado.

Lavagem da cana

A cana é inicialmente lavada, para remover a terra e os detritos. Esta operação é realizada em uma mesa alimentadora através de chuveiros verticais de água limpa ou reciclada. Antes de ser reciclada, a água de lavagem é decantada e em seguida tratada com cal até pH 7,0 (após a lavagem da cana, o pH da água decresce para níveis próximos de 4,0). Para aumentar a eficiência de decantação, a água deve passar antes por um sistema de peneiramento.

A lavagem pode ser a frio ou a quente. No caso de lavagem à quente é utilizada água dos condensadores. A adição de água sob pressão aumenta a eficiência de lavagem.

O consumo mínimo de água é de aproximadamente 5 m³ por tonelada de cana processada por hora (TCH). Em algumas usinas este consumo é da ordem de 10 a 15 m³/TCH.

São procedimentos comuns numa usina:

- ⇒ Renovar parte da água constantemente (parte limpa e parte reciclada).
- ⇒ Usar bactericidas nas águas de reciclo (bactericidas a base de compostos voláteis como organosulfurosos e quaternário de amônio)

Preparo da cana para moagem

Os objetivos desta etapa são: aumentar a capacidade das moendas através do aumento da densidade das massas de alimentação (menores tamanho de cana) e romper a estrutura da cana, facilitando a extração do caldo e moagem. Para tanto são utilizados os seguintes equipamentos: picador e desfibrador.

As vantagens da etapa de preparo da cana no desempenho do processo são:

- ⇒ Aumento do rendimento da usina
- ⇒ Regularidade de alimentação das moendas
- ⇒ Redução do consumo de energia
- ⇒ Homogeneização do teor de fibras nas canas
- ⇒ Redução do desgaste e quebra de moendas.

Equipamentos:

- ⇒ Picador: São geralmente usados picadores de facas do tipo niveladoras e cortadoras
- ⇒ Niveladoras: Regulariza e uniformiza a carga de cana descarregada no condutor principal
- ⇒ Cortadoras: Reduz a massa heterogênea de cana em massa uniforme e homogênea.
- ⇒ Desfibrador: Consta de um carter cilindro em fundição provido em seu interior de um rotor com série de martelos oscilantes que trabalham sobre barras desintegradoras. A cana picada é alimentada no equipamento pela parte superior e é descarregada triturada pela parte inferior. O desintegrador corresponde a mais um terno da moenda.

Moagem da cana

Após o preparo, a cana é esmagada em moendas para a remoção do caldo. Entende-se por moenda todo o conjunto de 3, 6, 9 ou 12 rolos ou cilindros agrupados na unidade de moagem de funcionamento simultâneo, geralmente, precedido de mais de dois rolos cilindros especiais e denominado de esmagadores, mais destinados a reduzir a cana a pedaços do que propriamente a espremê-la. Em termos gerais, a extração do caldo aumenta percentualmente com o número de ternos ou de cilindros ou rolos pelos quais passam a cana e o bagaço. Os cilindros são providos de ranhuras ou frisos, que tem a finalidade de aumentar a superfície útil de contato com o bagaço.

Uma moenda é classicamente constituída de 3 rolos, dispostos de tal modo que a união de seus centros forma um triângulo isóscele (Figura 2).

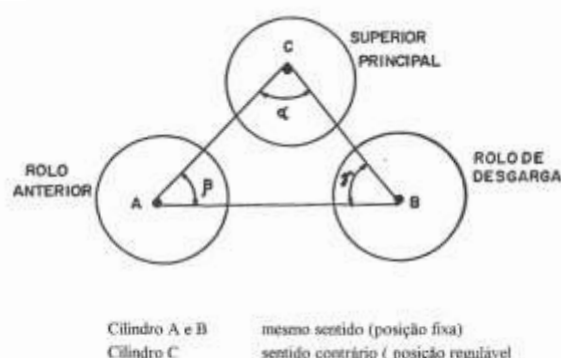


Figura 2 - Disposição dos Cilindros em Moenda de 3 Rolos

Para aumentar o rendimento industrial, é adicionada água no bagaço, por meio de pulverizadores dispostos entre os diversos jogos de moenda. Este procedimento de embebição ou diluição pode ser aplicado apenas em um dos pontos das esteiras entre os ternos das moendas (embebição simples) ou pode ser aplicado em dois ou três pontos (embebição composta), conforme mostrado na Figura 3. Na embebição composta é adicionado água ou caldo diluído às moendas.

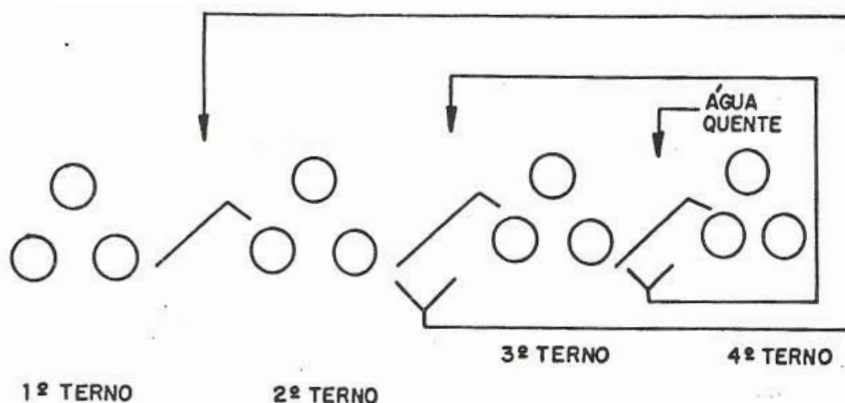


Figura 3 - Sistema de Moagem com Embebição Composta

A quantidade de água de embebição é função de:

- ⇒ Capacidade de evaporação, deve-se tomar cuidado para não reduzir demais o Brix
- ⇒ Teor de fibra da cana (maior teor de fibra maior quantidade de água)
- ⇒ Riqueza da cana: maior concentração de sacarose maior embebição
- ⇒ Balanço de custo X benefício: preço do açúcar extraído X custo da extração

A qualidade da água de embebição é outro fator importante, sendo consideradas inadequadas, águas de condensação e águas ácidas, alcalinas, sujas ou poluídas. Geralmente são utilizadas águas das caixas de evaporação e águas dos rios ou reservatórios. Água quente provoca melhor difusão e produz um bagaço mais seco.

A capacidade de uma instalação de moagem é dada pelo número de toneladas de cana moída por hora ou por dia. E depende de numerosos fatores, tais como do número de cilindros e das dimensões destes, de sua velocidade, das aberturas de entrada e saída da cana, da força da máquina ou dos motores empregados. Extração na faixa de 95% pode ser obtida pelo emprego de uma unidade de moagem composta por 4 ternos de moendas e 1 esmagador. O bagaço resultante da extração do caldo do último terno da moenda é utilizado como combustível para as caldeiras.

Purificação do caldo

O caldo de cana bruto é um líquido viscoso que contém substâncias dissolvidas, material em suspensão e pH em torno de 5,3. Para remover as impurezas grossas, o caldo é inicialmente peneirado, e em seguida tratado com agentes químicos, para coagular parte da

matéria coloidal (ceras, graxas, proteínas, gomas, pectinas, corantes), precipitar certas impurezas (silicatos, sulfatos, ácidos orgânicos, Ca, Mg, K, Na) e modificar o pH.

A definição do processo de purificação depende basicamente do tipo de açúcar a ser fabricado. Entre os agentes químicos empregados nesta etapa, podem ser destacados:

- ⇒ Cal (agente básico em todos processos de clarificação)
- ⇒ SO₂
- ⇒ CO₂
- ⇒ MgO (pode ser usado em substituição a cal)
- ⇒ Auxiliares: fosfatos (min.150 ppm), bentonita, polieletrólitos.

Esses agentes químicos sob efeito da temperatura provocam a formação de precipitados que promovem a remoção das impurezas sem afetar o teor de sacarose. As conseqüências do emprego de caldo tratado de forma deficiente são: problemas de incrustação na etapa de evaporação e formação de cristais de sacarose impuros. Os agentes químicos normalmente empregados nas usinas nesta etapa são: sulfito (sulfitação) e leite de cal (caleação). É comum adicionar-se um pouco de H₃PO₄, pois os caldos que contém baixo teor de fosfato (teor normal deve estar situado entre 70 a 400 ppm), não são clarificados adequadamente. Baixos teores de fósforo acarretam: caldos escuros, pequeno volume de borras, baixa remoção de cálcio, clarificação dificultada e borras não compactas.

A caleação consiste na adição ao caldo, de leite de cal em forma contínua ou intermitente até pH 7,2 a 8,2 (Figura 4). Pelo tratamento do caldo com leite de cal, resulta a formação de substâncias insolúveis e floculação.

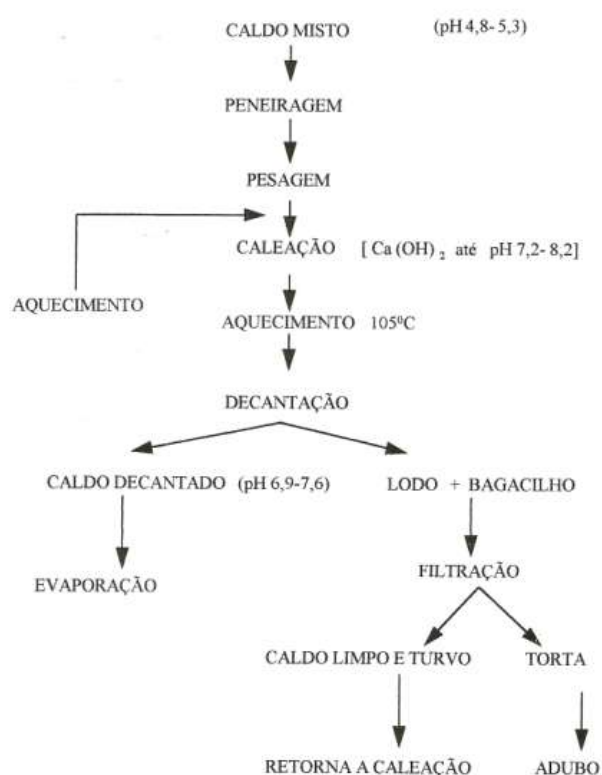


Figura 4 - Purificação do Caldo Bruto

Após a adição do leite de cal, a mistura é aquecida com vapor d'água a alta pressão e as impurezas contidas no caldo formam uma borra que é separada do caldo, através de decantadores. A velocidade de sedimentação das impurezas depende do tamanho e forma das partículas, densidade e viscosidade do caldo. Embora seja facultativa a filtração do caldo decantado, é necessário submeter a borra a uma filtragem adicional, para isso são empregados filtro prensa ou filtro rotativo.

Concentração do caldo

O caldo clarificado é então, submetido a uma concentração gradativa. Primeiro, o caldo toma consistência de xarope nos evaporadores (a etapa de evaporação, geralmente reduz a concentração original de água no caldo de 80% para 40%, resultando na formação de um xarope grosso e amarelado). Os evaporadores são recipientes cilíndricos, fechados e providos de vigia com vidros para o acompanhamento do processo no interior dos mesmos. Na evaporação empregam-se, não apenas um vaso de evaporação mas um conjunto de até cinco, quando então, é chamado de evaporadores de múltiplo efeito. Toda a operação é realizada a vácuo, produzido pela condensação de vapores de cada vaso. Desse modo, o primeiro vaso não trabalha sob vácuo, só do segundo em diante.

O xarope resultante dos evaporadores passa, então aos cozedores, comumente chamados de vácuos, vasos muito semelhantes aos evaporadores em simples efeito, ou seja, cada vaso recebe independentemente uma carga de vapor, através de um distribuidor de vapor. Nesta etapa, num conjunto de vasos que funcionam sob vácuo (maior que o empregado nos evaporadores) tem lugar a segunda fase da concentração e o xarope levado até a super-saturação toma consistência de mel e começam a se formar os cristais de açúcar que após crescerem em tamanho e aumentado o volume da massa cozida (uma mistura de cristais envolvida em mel) é descarregado nos cristalizadores, onde se completa a cristalização do açúcar.

Ainda que construídos segundo diversos modelos os cristalizadores são basicamente iguais, providos de um elemento que gira lentamente, uma espécie de parafuso que movimentando a massa faz com que o açúcar dissolvido no mel entre continuamente, em contato com os cristais, aumentando o volume enquanto, também se processa o resfriamento. Dependendo da quantidade de massas, os cristalizadores também, são empregados em conjunto.

Uma vez completada a cristalização, a massa cozida é então centrifugada, para separar os cristais de açúcar do mel que os envolve. Os cristais obtidos são de açúcar demerara de boa qualidade e o xarope obtido é reciclado para os cristalizadores. O mel final, mel exausto, mel residual ou melaço é, portanto, o subproduto resultante de massas cozidas que já foi pelo menos reciclada duas vezes. O melaço pode ser utilizado para ração de gado e como matéria-prima para diferentes tipos de processos fermentativos.

O açúcar demerara é o tipo conhecido no mercado internacional pela denominação de Raw Sugar, de cor escura amarelada, tendente ao âmbar e que deve passar pelo processo de refinação ou branqueamento antes do seu consumo. É o tipo essencialmente destinado à exportação contendo aproximadamente 98% de sacarose e 0,25% de umidade. Um fluxograma simplificado é mostrado na Figura 5.

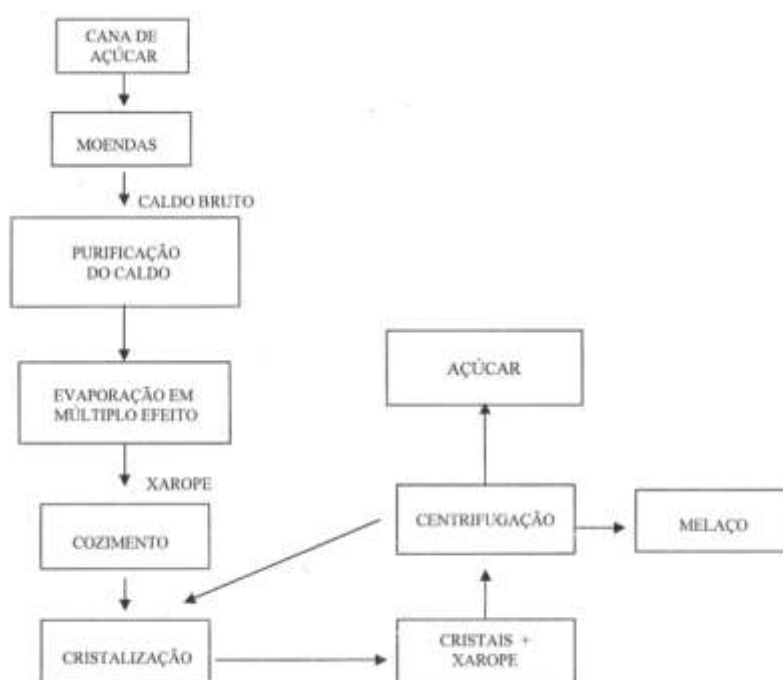


Figura 5. Fluxograma do processo de fabricação de açúcar não refinado

4. Refinação do Açúcar

O açúcar correntemente produzido nas usinas é do tipo cristal e, ainda que de alta pureza, quando destinado ao consumo direto não satisfaz ao paladar, pois possui certo gosto e cheiro de melado e turva os líquidos aos quais é adicionado.

A refinação visa eliminar esses inconvenientes e dispor o açúcar na sua função de adoçante. A refinação é um processo simples e, de uma maneira geral promove essencialmente a transformação do açúcar cristal em açúcar amorfo, isto é, sem cristais, de consumo corrente, com uma ligeira purificação. Em resumo, a refinação tem como objetivo, além da purificação a melhoria da composição do açúcar, do seu sanitário e branqueamento.

A refinação é efetuada por um processo comum a todos os tipos de açúcares encontrados no mercado, recebendo a denominação de Via Líquida. Esta se divide nas seguintes fases:

- ⇒ Dissolução
- ⇒ Clarificação
- ⇒ Filtração em Leito de Areia
- ⇒ Filtração em Leito de Carvão Animal
- ⇒ Filtração em Leito de Resina

O processo de refinação de açúcar tem início com a dissolução do açúcar bruto proveniente das usinas (Figura 6). Este açúcar pode ser recebido em sacos de 50 Kg a granel (através de caminhões basculantes) ou em containers.

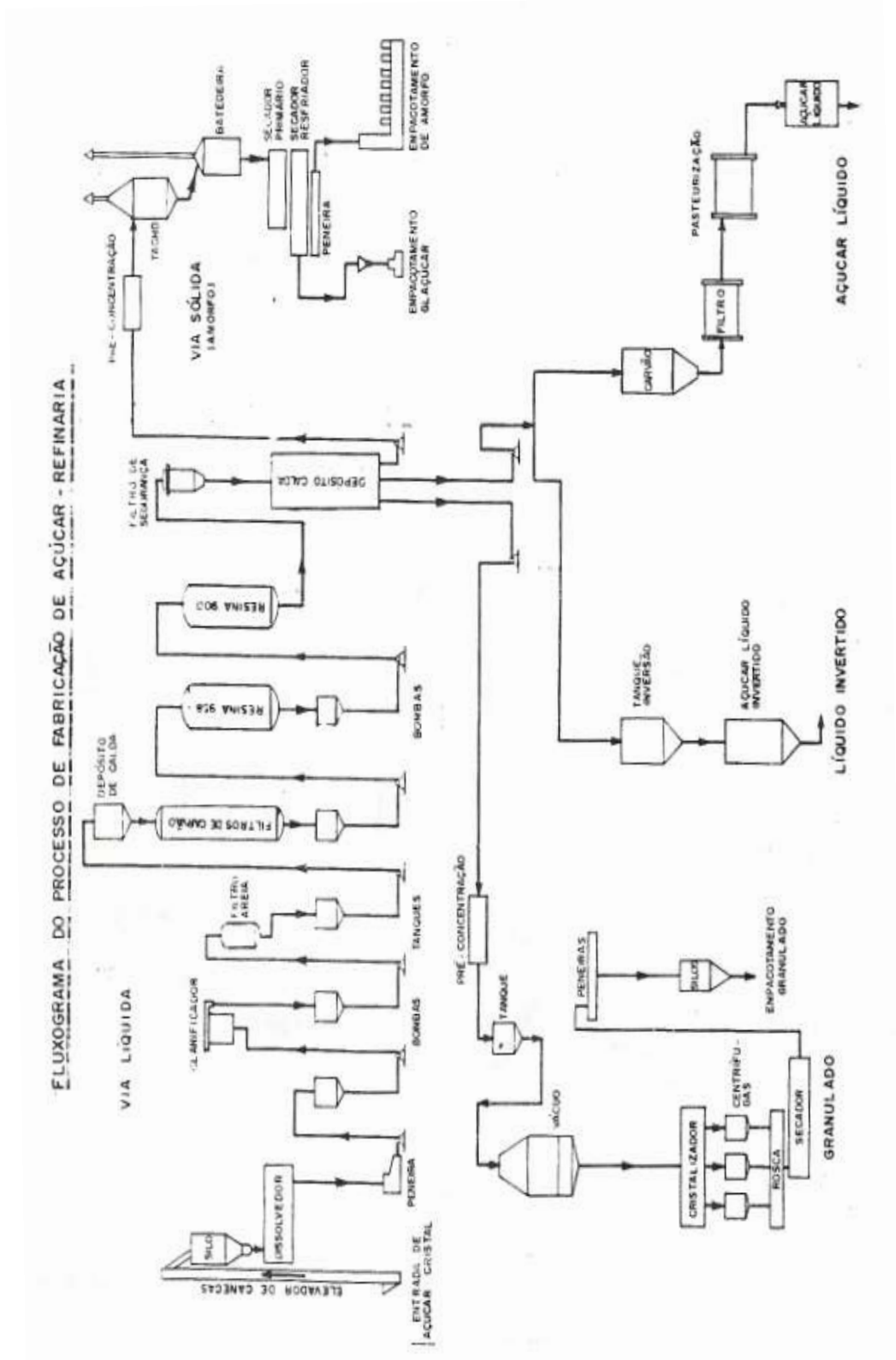


Figura 6 - Fluxograma do processo de refino de açúcar

O açúcar a granel é descarregado sobre uma tela, caindo sobre uma esteira que irá transportá-lo até um dos três Elevadores de Canecas que irão conduzi-los até um dos três Silos de Armazenamento. O mesmo ocorre com o açúcar recebido em sacos ou em containers diferindo apenas na forma como são descarregados e transportados até os elevadores de caneca, isto é, são descarregados sobre dosadoras que irão conduzir o açúcar até os elevadores.

Cada silo irá alimentar, através de Rosca Dosadora um dissolvedor. Neste equipamento, sob aquecimento ocorre a dissolução do açúcar com água doce proveniente do desdoçamento de equipamentos de todos os setores da refinaria. O dissolvedor é dotado de serpentina dentro da qual circula vapor, para que haja aquecimento da calda, e de rotores tipo hélice que irão provocar a agitação. A calda dissolvida apresenta temperatura entre 70 e 80°C, pH de 7,0 a 7,4 e concentração de 66,8 a 68,3° Brix (porcentagem de sólidos solúveis).

Esta calda é passada por Peneiras Vibratórias com malhas de aço inoxidável, com abertura de 0,80 mm, onde é retida grande parte das impurezas (especialmente bagacilho). Em seguida é bombeada aos Tanques de Calda dissolvida, sendo então enviada ao setor de Clarificação.

Na Clarificação, a calda é aquecida em trocadores de calor até atingirem uma temperatura em torno de 85 a 90°C. Na linha que conduz a calda dos trocadores aos clarificadores são adicionados componentes que promovem a floculação e flotação de corantes presentes na calda. Estes corantes são retirados na parte superior dos equipamentos através de pás raspadeiras, e a calda clarificada, retirada pela parte inferior do equipamento, é enviada aos Tanques de Calda Clarificada. Neste processo, ocorre uma redução de 50% da cor.

A próxima etapa é a Filtração. Esta é realizada em três etapas diferentes. A primeira é passagem por Filtros de Areia, a pré -filtração, que retiram as partículas insolúveis, provenientes da clarificação, promovendo redução na turbidez da calda. A calda armazenada no Tanque da Pré-Filtração segue dois caminhos distintos: um deles visa a produção de Açúcar Granulado e o outro de Açúcar Amorfo.

No primeiro caso, a calda é filtrada em colunas contendo Resina de Troca Iônica (tipo IRA 200) que promove o abrandamento, ou seja, a retirada de íons cálcio que poderiam ocasionar incrustações nos equipamentos seguintes. A calda de saída passa por um filtro de segurança de aço inoxidável com abertura de malha 0,164 mm para retenção de partículas de resina eventualmente arrastadas. Em seguida, é enviada ao setor de Açúcar Granulado no qual são produzidos diversos tipos de granulados, ou seja, o tipo Granulado Exportação, Granulado Tipo K, E, e B (Mercado Interno) e Granulado Especial (Tipo Grançucar).

No segundo caso, a calda é bombeada a um tanque que alimenta os Filtros de Carvão Animal, que promove a adsorção de corantes atingindo uma descoloração de aproximadamente 50%.

A calda é armazenada no Tanque de Calda Filtrada e, em seguida bombeada para colunas contendo Resina de Troca Iônica (IRA 900 ou IRA 958). Esta é a última etapa da Via Líquida e tem como objetivo a retirada de corantes fortemente aniônicos, promovendo a redução da cor em aproximadamente 50%. Cada coluna apresenta, na linha de calda, um filtro de segurança de aço inoxidável com abertura de malha de 0,164 mm, que retém eventuais partículas de resina que sejam arrastadas.

Esta calda é enviada a um tanque e, em seguida para um filtro de segurança (Filtro Vela) de aço inoxidável com abertura de malha de 0,12 mm, cuja função é assegurar que

nenhuma partícula, que porventura tenha passado pelo filtro de segurança de cada coluna, chegue à fase seguinte do processo. Na sequência, a calda é armazenada nos Tanques de Calda, de onde segue 4 fluxos diferentes tendo como finalidade a produção de:

- ⇒ Xarope de Açúcar Simples (Açúcar Líquido)
- ⇒ Xarope de Açúcar Invertido (Açúcar Invertido)
- ⇒ Granulado
- ⇒ Açúcar Amorfo

Xarope de Açúcar Simples (Açúcar Líquido)

O processo relativo à produção do xarope de açúcares simples tem início com a calda que vem do Tanque de Calda. Todos os equipamentos envolvidos no processo, assim como, válvulas, tubulações e conexões são de aço inoxidável, com o propósito de não contaminar o produto pelas paredes internas dos equipamentos.

A calda sofre inicialmente um processo de desodorização por adsorção, ao ser introduzida no Filtro de Carvão Vegetal. A seguir existe um Tanque de Recalque que regulariza a vazão do Filtro. Este equipamento realiza a filtração sob pressão, garantindo que nenhuma partícula de impureza permaneça na calda.

A calda é então enviada ao Tanque I, este tanque é dotado de um conjunto de lâmpadas Ultra Violeta que realiza a descontaminação microbiológica no interior do tanque antes que este receba a calda.

Envia-se o xarope ao pasteurizador, para que se realize a redução da contaminação microbiológica, através da elevação da temperatura de 60°C para 120-130°C do produto. Este xarope é resfriado até 40°C e remetido ao Tanque II. Este também possui conjunto de lâmpadas Ultra Violeta. Desta forma se obtém o xarope de açúcar simples.

A expedição deste produto é realizada a granel, em caminhões tanques ou em tambores revestidos com sacos de polietileno. Para introduzir o xarope nos caminhões tanque utiliza-se tampas de engate rápido e telas de inox que impossibilitam a contaminação por agentes externos. Um bico telado de aço inoxidável pode ser acoplado à mangueira de alimentação quando se quer carregar recipientes, nos quais o engate rápido não é possível, como é o caso dos tambores.

Açúcar granulado

O processo de fabricação do açúcar granulado inicia-se com a calda transferida do Tanque de Calda e é armazenada em um dos tanques do granulado.

O cozimento da calda é feito no Tacho à Vácuo Nesse equipamento, ocorre a formação dos cristais de açúcar através da saturação do meio, a uma pressão de vácuo de 20 polegadas de mercúrio e de temperatura em torno de 72°C.

A fim de manter o aquecimento, usa-se vapor a uma pressão de 0,5 a 1,0 Kgf/cm² no interior da calandria, que efetua a troca térmica sem que o vapor entre em contato com a calda.

Passado o tempo de cozimento, de 5 a 6 h, a massa de cristais formada é liberada para o Cristalizador localizado logo abaixo do tacho de vácuo. Esse equipamento possui um meio de agitação interna que promove constante movimentação da massa.

As centrífugas, para onde é transferida a massa após a cristalização, são responsáveis pela separação do açúcar (parte cristalizada), do mel (parte líquida). Esse mel que contém corantes é enviado para tanques apropriados.

O açúcar centrifugado é enviado a um Secador, no qual a umidade é retirada com a introdução de ar atmosférico. Na extremidade do equipamento, o açúcar é coletado e, por meio de um elevador de canecas. O empacotamento do produto acabado é feito numa máquina acoplada a um silo, em embalagens de 30Kg, sendo posteriormente armazenadas e expedidas. Existe outra saída do silo, destinada ao enchimento de containers, que leva o açúcar a outra máquina empacotadora para embalagens de 500 gramas e 5 kg. Antes desse empacotamento, o açúcar passa por uma chapa de aço inoxidável com abertura de 3,4 mm que alimenta, por meio de um elevador de canecas, o silo associado à máquina de empacotamento. O produto acabado é então, devidamente embalado e expedido.

Açúcar granulado (Tipo GRANÇÚCAR)

O processo de fabricação deste tipo de açúcar granulado inicia-se com a calda recebida das Colunas de Resina 200, a qual é armazenada em um dos Tanques do Granulado.

O cozimento da calda é feito no Tacho à Vácuo Nesse equipamento, ocorre a formação dos cristais de açúcar através da saturação do meio, a uma pressão de vácuo de 20 polegadas de mercúrio e de temperatura em torno de 80° C.

A fim de manter o aquecimento, usa-se vapor a uma pressão de 0,3 a 0,4 Kgf/cm² no interior da calandra, que efetua a troca térmica sem que o vapor entre em contato com a calda.

Passado o tempo de cozimento, de aproximadamente de 2,5 -3,0 h, a massa de cristais formada é liberada para o Cristalizador localizado logo abaixo do tacho de vácuo. Esse equipamento possui um meio de agitação interna que promove constante movimentação da massa, tendo como objetivo completar a cristalização.

As centrífugas, que recebem a massa cristalizada, são responsáveis pela separação do açúcar (parte cristalizada), do mel (parte líquida). Esse mel que contém corantes é enviado para tanques apropriados.

O açúcar centrifugado é transferido para um Secador onde a umidade é retirada com a introdução de ar atmosférico. Na extremidade do equipamento, o açúcar é coletado e, por meio de um elevador de canecas é enviado as peneiras.

Antes de passar pelas peneiras, existe um ímã que impede a passagem de qualquer partícula metálica para o produto final. Essas peneiras vibratórias, constituídas por malhas de aço inoxidável possuem mesh de 24, 20 e 14. Desse modo, o açúcar que deixa essa peneira possui granulometria especificada dependendo do fabricante.

O produto acabado é acondicionado em um Silo, sucedido por um outro ímã que garante a eliminação completa das partículas metálicas.

O empacotamento é feito numa máquina acoplada ao silo em embalagens de 30 Kg, posteriormente armazenadas e expedidas.

Existe outra saída do silo, destinada ao enchimento de containers, que leva o açúcar a outra máquina empacotadora para embalagens de 500 gramas e 5 kg. Antes desse empacotamento, o açúcar passa por uma chapa de aço inoxidável com abertura de 3,4 mm que alimenta, através de um elevador de canecas, o silo associado à máquina de empacotamento. O produto acabado é então, devidamente embalado e expedido.

Açúcar amorfo

As caldas purificadas são concentradas até um certo grau de supersaturação, e então recebem a semente de uma quantidade determinada de açúcar fino. Estes cristais crescem até uma dimensão conveniente ao mercado mediante uma taxa de ebulição e de evaporação apropriadamente regulada, junto com a agitação e a entrada da calda.

Os xaropes mais puros são reservados para o açúcar líquido (incolor), os seguintes para o açúcar em tabletes e granulado grosso. O restante é direcionado para os fabricantes de conservas e de bebidas, para os doceiros e confeitores (açúcar mascavo).

Os cristais de açúcar secos passam por uma série de peneiras, nas quais são classificados de acordo com o tamanho. O açúcar é então, colocado em sacos ou caixas mediante diversos equipamentos automáticos de embalar e pesar e distribuído ao mercado.

5. Tipos e Classificação do Açúcar Nacional

A indústria brasileira de açúcar produz vários tipos deste produto, conforme as denominações e características listadas na Tabela 4.

Tabela 4. Tipos de açúcar comercializado

| Tipos | Sacarose (%) | Umidade (%) |
|-----------------------------------|-------------------------|------------------------|
| Açúcar Demerara | 98,0 | 0,25 |
| Cristal Standard | 99,3 | 0,15 |
| Cristal Especial | 99,7 | 0,10 |
| Refinado Amorfo de 1 ^a | 99,0 | 0,30 |
| Refinado Amorfo de 2 ^a | 98,5 | 0,40 |
| Granulado | 99,8 | 0,04 |

6. Sub-Produtos

A tecnologia moderna trouxe a possibilidade de utilização industrial de vários resíduos e conseqüentemente produção de um sem número de subprodutos da cana de açúcar.

A Figura 7 fornece uma visão geral do aproveitamento integral da cana. Anteriormente, apenas o bagaço, então utilizado como combustível e o melaço eram tidos como sub-produtos. Atualmente, outros resíduos já são aproveitados, dando lugar a novas indústrias de produtos os mais variados, como papéis, placas, rações, cera, produtos químicos diversos, plásticos, etc..

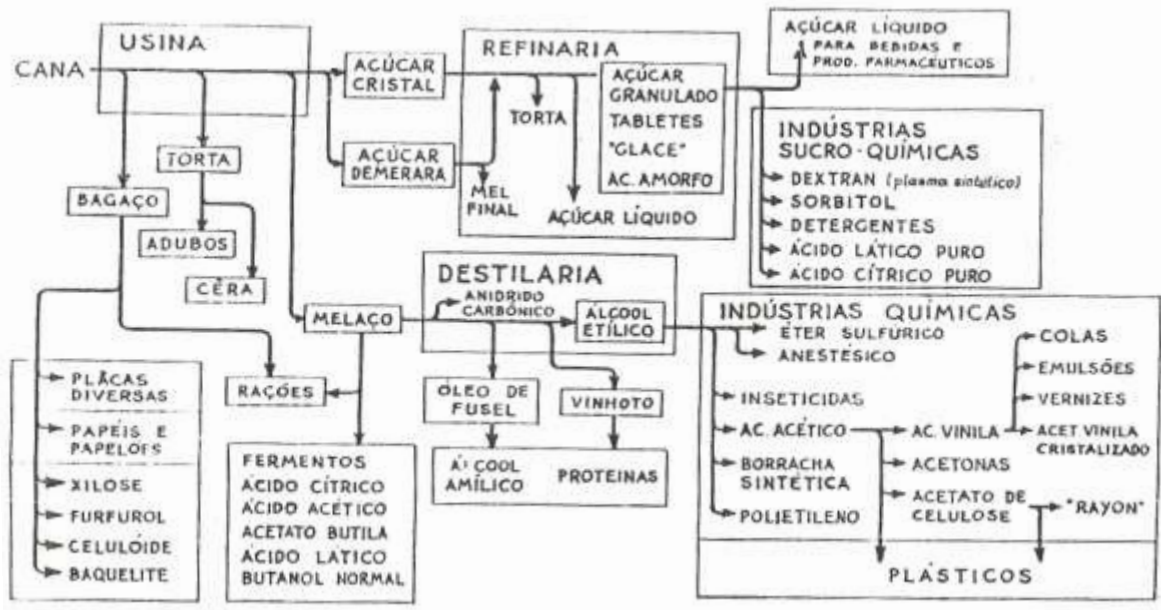


Figura 7 Visão Geral do Aproveitamento da Cana de Açúcar

7. Pesquisas Atuais na Área de Produção de Açúcar

As pesquisas atuais na área de produção de açúcar estão voltadas para a melhoria da qualidade da cana-de-açúcar por engenharia genética, tendo como objetivo o aumento da concentração de sacarose em peso na cana. Outra área de pesquisa está voltada para os conhecidos adoçantes dietéticos, que são substâncias "sintéticas" com poder adoçante dezenas de vezes maior que a sacarose. Estes enfrentam ainda alguns problemas, como gosto residual amargo e não suportam temperaturas elevadas. Alguns destes adoçantes são a sacarina, o aspartame, a stévia, o ciclamato, xilitol e o sorbitol.

8. Referências

1. Shreve, R. N. & Brink, J. A. (1980). *Indústrias de Processos Químicos*, Editora Guanabara Dois S.A., Rio de Janeiro.
2. Fernandes, H. *Açúcar e Álcool*, Coleção Canavieira N° 4
3. Bayrna, C. *Tecnologia do Açúcar (II)*. Coleção Canavieira N° 15
4. Spencer & Meade. *Manual del azucar de cana*
5. *Produção de açúcar refinado (Açúcar União)*
6. *Informações da Usina Guarani*