

Curso de Tecnologia em Biocombustíveis

PRODUÇÃO DE AÇÚCAR NA FORMA LÍQUIDA A PARTIR DO AÇÚCAR CRISTAL

Gentil Aparecido Rodrigues Freire.

Orientador: Profº. Dr. Leonardo Lucas Madaleno.

**Trabalho apresentado a Faculdade de Tecnologia
de Jaboticabal - Fatec, para obtenção do título de
Tecnólogo em Biocombustíveis.**

Freire, Gentil Aparecido Rodrigues
F866p Produção de açúcar na forma líquida a partir do açúcar cristal / Gentil
Aparecido Rodrigues Freire. — Jaboticabal: Fatec Nilo De Stéfani, 2014.
57p.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Lucas Madaleno.

Trabalho (Graduação) – Apresentado ao Curso de Tecnologia em
Biocombustíveis, Faculdade de Tecnologia Nilo De Stéfani de Jaboticabal,
2014.

1. Diversificação. 2. Inovações. 3. Cadeia produtiva. I. Madaleno, L. L.
II. Título.

CDD 664.11

Curso de Tecnologia em Biocombustíveis

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: PRODUÇÃO DE AÇÚCAR NA FORMA LÍQUIDA A PARTIR DO
AÇÚCAR CRISTAL

.

AUTOR: GENTIL APARECIDO RODRIGUES FREIRE.

ORIENTADOR: PROFº. DR. Leonardo Lucas Madaleno

Trabalho de Graduação aprovado pela Banca Examinadora como parte das exigências para conclusão do Curso Superior de Tecnologia em Biocombustíveis, apresentado à Fatec-JB para a obtenção do título de Tecnólogo.

Profº. Dr. Leonardo Lucas Madaleno

Profª. Mª. Rita de Cássia Viera Macri

Profª. Drª. Rose Maria Duda

03 de Dezembro de 2014.

Presidente da Comissão Examinadora

Dedicatória

Dedico este trabalho a todas as pessoas que de uma
forma ou de outra estiveram do meu lado e
contribuíram para a conclusão
do mesmo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus.

Agradeço a minha filha Brenda Freire pela contribuição.

Agradeço a minha esposa pela tolerância.

Não posso deixar de agradecer meu filho, Davi Freire, pelo tempo que não dediquei a ele.

Agradeço a todas as pessoas que de uma forma ou de outra contribuíram para a elaboração deste trabalho.

Agradeço todas as dificuldades que enfrentei, não fosse por elas, eu não teria saído do lugar, pois as facilidades nos impedem de caminhar.

Enfim agradeço ao mundo por mudar as coisas, pois sem as mudanças eu não teria como viver, nem se quer realizar este trabalho.

A persistência é o caminho do êxito.
Charles Chaplin

RESUMO

PRODUÇÃO DE AÇÚCAR NA FORMA LÍQUIDA A PARTIR DO AÇÚCAR CRISTAL

As empresas do setor agroindustrial brasileiro vêm se deparando com uma nova realidade do mercado, na qual as exigências por menores custos, diferenciação de produtos, confiabilidade, redução dos prazos de entrega, melhoria no controle de qualidade e da flexibilidade para a diversificação produtiva, têm propiciado a implantação de mudanças conduzidas pelas inovações tecnológicas e organizacionais. A relação entre o setor industrial sucroenergético (composto pelas usinas açucareiras de primeiro processamento) e seus clientes da indústria de alimentos processados é um exemplo concreto das atuais transformações que visam à criação de vantagens competitivas e o aumento da capacitação produtiva e logística das empresas, que atualmente buscam a flexibilidade dos processos, a viabilização dos negócios empresariais e ainda agregar valor ao produto e atender ao mercado consumidor mais exigente. Foi diante dessa necessidade que apareceram as fabricas de açúcar líquido e líquido invertido, produtos que tem como matéria-prima o próprio açúcar cristal. O açúcar em forma líquida é uma tendência do mercado, pois muitas indústrias alimentícias que utilizam este ingrediente na fabricação de seus produtos otimizam grande parte de seu processo, eliminando assim custos de produção. O Brasil ocupa posição de destaque no mercado de açúcar a granel e consumo elevado deste ingrediente na forma líquida, em especial pelas indústrias de bebidas e alimentos. O açúcar na forma líquida apresenta vantagens em relação ao açúcar a granel como facilidade do manuseio e dosagem, espaço reduzido para a armazenagem, redução das perdas, custos e melhora na sanitização além da variação possível nas proporções de diferentes misturas de açúcares. Por esses motivos, pode-se considerar o açúcar na forma líquida como um produto que agrega valor ao açúcar cristal, considerando que as especificações para o açúcar usado na diluição para produção do açúcar líquido e líquido invertido são especificações diferentes daquelas requeridas pelos consumidores diretos de açúcar cristal, tendo assim a possibilidade do uso de um produto de menor valor para produção do açúcar na forma líquida. Este trabalho mostra com e clareza e atualidade todas as características e processos de produção de um produto alternativo, que vem agregar valor a um produto tradicional.

Palavras-chave: Diversificação. Inovações. Cadeia produtiva.

ABSTRACT

SUGAR PRODUCTION IN LIQUID FORM FROM CRYSTAL SUGAR

Companies in Brazilian agroindustrial sector have been facing a new reality in the market, in which the demands for lower costs, product differentiation, trust, reduction in delivery time, improvement of quality and control and of flexibility for production diversification, have provided the implementation of changes conducted by the technological and organizational innovations. The relation between the sugar-energetic industrial sector (comprised of first processing sugar plants) and their clients in the processed foods industry is a concrete example of the current transformations that aim at creating competitive advantages and the increase in productive capacitation and logistics of the companies that currently seek flexibility of the processes, fruition of company business and also to aggregate value to the product and meet the demands of the more demanding consuming market. It is because of this needs that factories of liquid and inverted liquid sugar, products that have as raw material from crystal sugar, appeared. Sugar in liquid form is a tendency for the market, because many food industries that use this ingredient in the fabrication of their products optimize a large portion of the process, thus eliminating production costs. Brazil occupies a prominent position in the wholesale sugar market and elevates intake of this ingredient in liquid form, especially by beverage and food industries. Sugar in liquid form presents advantages in relation to wholesale sugar such as ease in handling and dosing, reduced storage space, decrease in loss, cost and improvement of sanitizing, in addition to the possible variation in the proportion of different sugar mixtures. For these reasons, we can consider sugar in liquid form as a product that aggregates value to crystal sugar, considering that the specifications for the sugar used in the dilution for the production of liquid and inverted liquid sugar are different from those required by the direct consumers of crystal sugar, creating the possibility of use of a product with lower value for the production of sugar in liquid form. This work shows and with clear and updated all the features and production processes of an alternative product, which is to add value to a traditional product.

Keywords: Diversification. Innovations. Production chain.

LISTA DE FIGURA

Figura 1 - Extração do caldo de cana na moenda.....	22
Figura 2 - Sistema de tratamento de caldo.....	23
Figura 3 - Sistema de evaporação de múltiplo efeito.....	24
Figura 4 - Sistema de cozimento a vácuo.....	26
Figura 5 - Centrifuga para produção de açúcar cristal.....	27
Figura 6 - Secador de açúcar.....	28
Figura 7 - Açúcar líquido e açúcar líquido invertido.....	28
Figura 8 - Açúcar líquido.....	30
Figura 9 - Açúcar líquido invertido.....	32
Figura 10 – Fluxograma das etapas do processo de produção do açúcar líquido com três possíveis alternativas de clarificação e filtração.....	36
Figura 11 - Etapas do processo de produção do açúcar líquido invertido.....	40
Figura 12 - Sistema de tratamento e flotação da calda.....	42
Figura 13- Sistema de filtração em filtro de areia.....	44
Figura 14 - Sistema de filtração em filtro de pré capa.....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Características físico-químicas do açúcar líquido.....	31
Tabela 2 - Características físico-químicas do açúcar líquido invertido.....	33
Tabela 3 - Doçura relativa entre diversos açúcares.....	34
Tabela 4 - Parâmetros de controle do açúcar cristal branco para produção de açúcar líquido e líquido invertido.....	51
Tabela 5 - Parâmetros físico-químicos de controle do açúcar cristal branco tipo especial para Consumo direto.....	52

LISTA DE ABREVIATURA

IAA - Instituto do Açúcar e Alcool

SO₂ - Dióxido de enxofre

AL- Açúcar líquido.

Ali - Açúcar líquido invertido

pH - Potencial de hidrogênio

Brix – Sólidos solúveis.

Bé - Graus Baumé (escala para medição da densidade de líquidos)

CaO - Óxido de cálcio.

SiO₂ - Dióxido de Silício

Imcusa - Comissão internacional para métodos uniformes de análise de açúcar

Ppm - Partes por milhão.

Mg/kg - Miligramas por kilo

NMP - Número mais Provável da contagem de coliformes totais

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
2 OBJETIVO.....	16
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	17
3.1 As Mudanças do Setor Sucroenergético.....	18
3.2 Processo de produção do açúcar cristal a partir da cana-de-açúcar.....	21
3.2.1 Extração do caldo.....	21
3.2.2 Tratamento do caldo.....	22
3.2.3 Evaporação do caldo.....	24
3.2.4 Cozimento.....	25
3.2.5 Centrifugação da massa cozida.....	27
3.2.6 Secagem do açúcar cristal.....	27
3.3 Açúcares na forma líquida.....	28
3.4 Açúcar líquido.....	29
3.4.1 Características e emprego.....	29
3.4.2 Açúcar líquido invertido.....	32
3.4.2.1 Características e emprego.....	32
3.5 Processo de produção do açúcar líquido.....	34
3.6 Processo de produção do açúcar líquido invertido.....	37
3.6.1 Inversão ácida.....	38
3.6.2 Inversão enzimática.....	38
3.6.3 Inversão com resinas catiônicas.....	39
3.7 Descrição de cada etapa do processo de produção.....	41
3.7.1 Dissolução.....	41
3.7.2 Tratamento da calda.....	41
3.7.3 Flotação da Calada.....	41
3.7.4 Filtração da calda em filtros de areia.....	43
3.7.5 Filtração da calda em filtros de carvão.....	44
3.7.6 Filtração da calda em filtros de Pré capa.....	45
3.7.7 Descoloração da calda em colunas de resina.....	45
3.7.8 Recristalização.....	46
3.7.9 Inversão.....	46

3.7.10 Evaporador.....	47
3.7.11 Resfriamento.....	47
3.7.12 Esterilização através de raios U.V.....	47
3.7.13 Armazenamento.....	47
3.7.14 Transporte.....	48
3.8 Principais insumos utilizados.....	48
3.8.1 Ácido Fósfico.....	48
3.8.2 Sacarato de cálcio.....	48
3.8.3 Polímero.....	49
3.8.4 Auxiliar filtrante.....	49
3.8.5 Carbonato de sódio (barrilha leve).....	49
3.8.6 Carvão ativado.....	50
3.9 Agregação de valor sobre o açúcar cristal.....	50
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	53
REFERÊNCIAS.....	54

1 INTRODUÇÃO

Da cana-de-açúcar originam-se não só um dos alimentos básicos para o ser humano (o açúcar), mas também uma série de derivados de usos alternativos, como o álcool, o melaço, a aguardente e o bagaço da cana (SHIKIDA e BACHA, 1998).

O açúcar começou a ser produzido no Brasil, em meados do século XVI, em unidades chamadas de engenho. Foi o principal produto de exportação do país até aproximadamente os anos de 1830, quando houve um declínio no volume de exportação, devido principalmente ao crescimento da produção do açúcar de beterraba em alguns países europeus, e ao atraso tecnológico do Brasil em relação aos outros produtores de açúcar de cana (NEVES e BATALHA, 1997).

No início dos anos de 1990, o sistema agroindustrial canavieiro viu-se diante de um desafio imenso representado pela necessidade de realizar grandes ajustes para adequar-se à nova realidade da economia brasileira e se livrar de um mercado fragmentado dos produtos derivados da cana-de-açúcar (SHIKIDA E BACHA, 1998).

O aumento na demanda por produtos industrializados, juntamente com as novas exigências dos clientes internos e externos, além da competitividade no setor sucroenergético, levaram as empresas a investirem na melhoria da qualidade de seus produtos e na diversificação de sua produção. Observa-se em algumas empresas do setor sucroenergético, o início da exploração desta estratégia de diferenciação, que pode ser considerado um movimento muito recente e como sendo uma estratégia viável para se obter retornos acima da média em uma indústria, pois a fabricação de produtos diferenciados em unidades produtoras de açúcar e álcool, surge como uma estratégia utilizada para que estas empresas possam reagir melhor a fatores externos e instabilidades do mercado externo do açúcar assim relatou (BIACHINI, 2006)

Uma inovação do setor sucroenergético foi à produção do açúcar na forma líquida que apesar de estar disponível no mercado há pelo menos 50 anos, é um produto que constitui uma novidade e que despertou o interesse dos produtores de açúcar e indústrias do setor de alimentos. Atualmente, a forma líquida representa aproximadamente 10% do mercado total de açúcar e vem sendo comercializado por algumas usinas como forma de obter vantagens frente aos concorrentes e assegurar o fornecimento de açúcar para os produtores de alimentos e

bebidas processadas e indústrias de produtos farmacêuticos que têm mostrado interesse pelo produto, o que demonstra ser um mercado promissor (PODADERA, 2007).

Os açúcares na forma líquida apresentam vantagens sobre o açúcar cristal, um de seus principais benefícios é a capacidade de redução de atividade da água, fator determinante no prazo de validade de produtos fabricados com a utilização deste produto. Outras vantagens podem ser citadas com relação ao seu emprego nas indústrias de alimentos, como um fator interessante nos dias atuais, já que evita processos dispendiosos de diluição, armazenagem e transporte de açúcar sólido, o que reduz custos de energia e minimiza a produção de dejetos nas indústrias (BIANCHINI e ASSUMPÇÃO, 2002).

A literatura é escassa no relato de estudos sobre o açúcar líquido e muitas vezes, não há a diferenciação entre o açúcar constituído apenas de sacarose e o açúcar líquido invertido Davis & Prince (1955 apud PODADERA, 2007, p.5).

2 OBJETIVO

Este trabalho visa atender a necessidade do conhecimento de novas opções para um mercado concorrido, como o alimentício, com um produto que tem grande possibilidade de se tornar um dos principais ingredientes na fabricação dos diversos produtos do setor de alimentos, descrevendo assim com objetividade e de modo atualizado, todo o processo de produção dos açúcares líquido e líquido invertido, bem como todos os insumos utilizados, mostrando a viabilidade com a agregação de valor sobre o açúcar cristal baseado em pesquisas na literatura e no conhecimento prático, além de descrever brevemente o processo de produção do açúcar cristal que constitui a matéria prima para produção do açúcar na forma líquido.

3 REVISÃO DE LITERATURA

Segundo Machado (2003) foi na Nova Guiné o primeiro contato do homem com uma planta que seria associada intimamente com a essência da doçura. A cana-de-açúcar que se expandiu e começou a ser cultivada pelos árabes, foi introduzida no Egito, em Chipre e na Sicília, chegando até o continente Europeu onde foi cultivada na Espanha no século X, em seguida foi para as Américas durante a expansão marítima. Cultivada em países como: Cuba, México, Peru, Equador, Colômbia e Venezuela, chegando ao Brasil no início do século XVI, quando foi iniciada a instalação de engenhos de açúcar, sendo a primeira indústria implantada no país e a base da economia do nordeste brasileiro na época, substituindo a indústria extrativa do pau-brasil.

A descoberta do ouro no final do século XVII nas Minas Gerais retirou do açúcar o primeiro lugar na geração de riquezas, cuja produção se retraiu até o final do século XIX. Mesmo assim, considera-se que no período do Brasil Império (1500-1822) a renda obtida pelo comércio do açúcar tenha atingido quase duas vezes a do ouro, e quase cinco vezes a de todos outros produtos agrícolas juntos, tais como café, algodão, madeiras, etc. Esses fatos fizeram com que os holandeses dessem início à produção açucareira nas Ilhas do Caribe e nas Antilhas, seguidos pelos próprios ingleses e franceses, acabando com o monopólio do açúcar do Brasil e levando a Europa a não depender mais da importação de açúcar de cana de outros continentes (SZMRECSANYI, 1976 apud WAACK e NEVES, 1998, P.19-22)

Por outro lado, em plena revolução industrial, a descoberta feita por (John Stewart, 1770), do motor a vapor acionando as moendas construídas em aço, a evaporação múltiplo efeito criada por (Norbert Rillieux, 1846), a descoberta do cozedor a vácuo feita por (Charles Howard, 1812) e as centrífugas para separação do açúcar por (Penzoldt, 1837), possibilitaram às novas indústrias da cana, um novo patamar tecnológico (MACHADO, 2003).

Assim, iniciou-se a construção de inúmeros engenhos nas regiões de Piracicaba-SP e Ribeirão Preto-SP, que hoje são grandes regiões produtoras e fornecedoras de serviços e equipamentos do setor sucroenergético. A região de Piracicaba-SP foi a primeira a se desenvolver, sendo que no início do século XX já era o maior centro produtor de açúcar de São Paulo (SHIKIDA e BACHA, 1998).

Com o tempo, a economia dos engenhos entrou em decadência, sendo praticamente substituída pelas usinas, e o cultivo da cana-de-açúcar passou a ser feito de forma extensiva ocupando vastas áreas contínuas, isso para que pudesse atender a grande demanda de cana

processada pelas usinas de açúcar e etanol e manter produtiva a cadeia industrial à sua volta. A expansão da produção de açúcar também ocorreu no Nordeste, principalmente nos Estados de Pernambuco e Alagoas. As usinas nordestinas eram responsáveis por toda a exportação brasileira e ainda complementavam a demanda dos estados do sul, cuja produção ainda não era suficiente para atender o consumo (MACHADO, 2003).

A produção do Nordeste e a rápida expansão das usinas paulistas indicaram um risco eminente de superprodução. Assim com o intuito de controlar a produção, foi criado em 1933, durante o governo Getúlio Vargas, o Instituto do Açúcar e Alcool (IAA). O mecanismo de controle adotado pelo IAA foi o regime de cotas, em que se atribuía a cada usina brasileira uma determinada quantidade de cana a ser moída e sua respectiva produção de álcool e açúcar (LANZOTTI, 2000).

Foi nesse período que surgiram em São Paulo aquelas que até hoje fazem parte das maiores unidades produtoras brasileiras e estão entre as maiores do mundo, como a Usina da Barra, São Martinho, Santa Elisa, dentre outras. Surgindo entre estas e outras usinas, disputas sobre o aumento de cotas de produção que marcaram todo o período de existência do IAA, até sua extinção em 1990 (SHIKIDA e BACHA, 1998).

As constantes alterações na cotação do açúcar no mercado internacional e a obsolescência que já se fazia sentir em usinas que haviam sido montadas e mantidas quase que nos mesmos padrões do início do século XX, forçaram a uma mudança de atitude para a manutenção da rentabilidade ou até mesmo permanência de suas atividades operacionais (FIOMARI, 2004).

3.1 As Mudanças Do Setor Sucroenergético

No início dos anos de 1990, o sistema agroindustrial canavieiro se deparou com um desafio imenso representado pela necessidade de realizar grandes ajustes para adequar-se á nova realidade da economia brasileira (SHIKIDA e BACHA, 1998).

O governo sinalizou o fim do protecionismo, com a extinção do instituto do Açúcar e do Alcool (IAA) e promulgou ao longo dos anos seguintes, uma série de medidas direcionadas para a formação de um mercado interno de cana-de-açúcar, açúcar, álcool e outros subprodutos sem a intervenção direta (WAACK e NEVES, 1998).

Desta forma, procederam-se profundas mudanças na estrutura do setor produtivo das agroindústrias nacionais que se depararam com uma nova realidade do mercado. As

exigências por menores custos, diferenciação de produtos, confiabilidade, redução dos prazos de entrega, melhoria no controle de qualidade, flexibilidade e diversificação produtiva, levou a um rearranjo na rede de suprimentos industriais, que vivia uma crise generalizada, principalmente o setor sucroalcooleiro (LANZOTTI, 2000).

Diante da crise, algumas usinas estabeleceram alianças para diferenciar seus produtos, e passaram a suprir o mercado industrial com produtos diferenciados. Outras realizaram investimentos próprios em etapas produtivas complementares às existentes para que pudessem aproveitar das novas descobertas e tecnologias, como por exemplo, o reaproveitamento de subprodutos que até então eram descartados sem nenhum proveito.

Visando ser empresa de base sólida e crescimento permanente, com todas essas mudanças, praticamente todos os resíduos gerados nas indústrias do setor da agroindústria canavieira passaram a ser reaproveitados, como exemplo pode-se citar: torta de filtro, formada pelo lodo advindo da clarificação do caldo, que é muito rica em fósforo e é utilizada como adubo para a lavoura de cana-de-açúcar (MEZARROBA et al, 2010).

A vinhaça, um subproduto da produção do etanol, contém elevados teores de potássio, água e outros nutrientes, sendo utilizada para irrigar e fertilizar o campo podendo também ser utilizada como matéria-prima para produção de biogás. Até alguns anos atrás, por exemplo, o bagaço de cana era tratado como um resíduo industrial, sendo incinerado nas próprias unidades sucroalcooleiras somente para a geração de vapor. Não havia a ideia de que o bagaço era um combustível com propriedades adequadas para geração de energia elétrica (MEZARROBA et al, 2010).

Com os conceitos de produção mais limpa, considerados pela (CETESB, 2002) o não reaproveitamento de resíduos gerados pelas empresas é considerado como desperdício de recursos, isso pelo fato de que o não reaproveitamento desses resíduos acarreta compra de insumos, desgaste de equipamentos e também custos envolvidos no transporte e armazenamento desses resíduos (ALVARENGA e QUEIROZ, 2009).

Outra inovação do setor sucroenergético foi à produção do açúcar na forma líquida que apesar de estar disponível no mercado, há pelo menos 50 anos, é um produto que constitui novidade e que despertou o interesse dos produtores de açúcar. Esse produto tem demanda dos fabricantes de refrigerantes, que veem o insumo como uma alternativa para reduzir seus custos de produção (BIANCHINI e ASSUMPÇÃO, 2002).

Atualmente, a forma líquida representa aproximadamente 10% do mercado total de açúcar, sendo as previsões de especialistas, que a participação do açúcar líquido atinja uma

porcentagem maior de consumo do mercado total em época não muito distante (PODADERA, 2007).

Cabe indicar que a grande diferença de preços existentes entre o açúcar cristal e o açúcar líquido registrada em anos anteriores, vem se reduzindo de acordo com a publicação Paraná, açúcar e álcool (1998). O preço do açúcar líquido está entre 8% e 12% mais elevado que o açúcar cristal. Porém, com a utilização do produto, o fabricante tem uma economia de custos entre 10% e 20%. Além disso, isenta o cliente de fazer análise do produto e pode solicitar o mesmo com especificações individuais.

Segundo Penrose (1959 apud BIANQUINI, 2006), uma empresa diversifica suas atividades sempre que, sem abandonar completamente suas antigas linhas de produtos, parte para a fabricação de outros suficientemente diversos, e cuja produção implique diferenças significativas nos programas de produção e distribuição.

Segundo shikida (2011) a diversificação compreende desta maneira, em incrementos na variedade de produtos finais fabricados e no número de áreas básicas de produção nas quais a firma opera, fortalecendo muitas vezes o sistema de arrecadação além do compromisso ambiental, fator de muito valor na atualidade (Mello e Brigante, 2001) apud (BIANCHINI e ASSUMPÇÃO, 2002).

Dentre as estratégias adotadas para diversificação do setor sucruenergético estão:

- Melhoria da qualidade da cana esmagada, revertendo na melhoria da qualidade do açúcar;
- Aproveitamento dos subprodutos de seu processo produtivo, como por exemplo, o bagaço que é utilizado como combustível nas caldeiras que alimentam o processo e que, na época de pico de colheita, as usinas transformam o calor gerado em energia elétrica, utilizando o necessário no processo e vendendo o excedente às concessionárias de energia através da cogeração a partir do bagaço da cana processada.
- Aproveitamento da torta de filtro, da vinhaça e do melaço, também subprodutos.
- Produção de açúcar orgânico.
- Diversificação produtiva através da diferenciação do açúcar, iniciando a produção do açúcar líquido e líquido invertido, proporcionando maior valor agregado ao açúcar cristal de baixa qualidade para o consumo direto, que consequentemente teria menor valor, buscando assim novos mercados.

- Com os investimentos nos processos de fabricação dos novos produtos, as usinas tiveram que investir também em sistemas logísticos, pois passaram a fornecer o açúcar líquido para as indústrias alimentícias do sistema *Just in Time*.

3.2 Processo de produção do açúcar cristal a partir da cana-de-açúcar

O processo de fabricação de açúcar visa, de forma resumida, à extração do caldo contido na cana, seu preparo e concentração. Dentro desse processo de fabricação podemos classificar uma usina de açúcar como uma indústria de extração, uma vez que o açúcar já é produzido pela natureza, através da cana, sendo somente concentrado no processo, nas suas várias modalidades, em um processo constituído basicamente por seis etapas (MACHADO, 2012).

3.2.1 Extração do caldo

Na usina, após a pesagem a cana descarregada nas mesas alimentadoras passa por uma lavagem para remoção de parte das impurezas físicas, logo após é conduzida através de esteira rolante para os picadores e desfibradores; esta etapa é conhecida como preparo da cana. A extração do caldo é feita usualmente pelo esmagamento da cana por rolos de moendas (Figura1). A extração por difusão vem substituindo as moendas nas usinas mais novas, porém ainda é pouco usual. O bagaço produzido na etapa de extração é utilizado como combustível nas caldeiras para geração de vapor (PAYNE, 1989).

Figura1- Extração do caldo de cana na moenda.



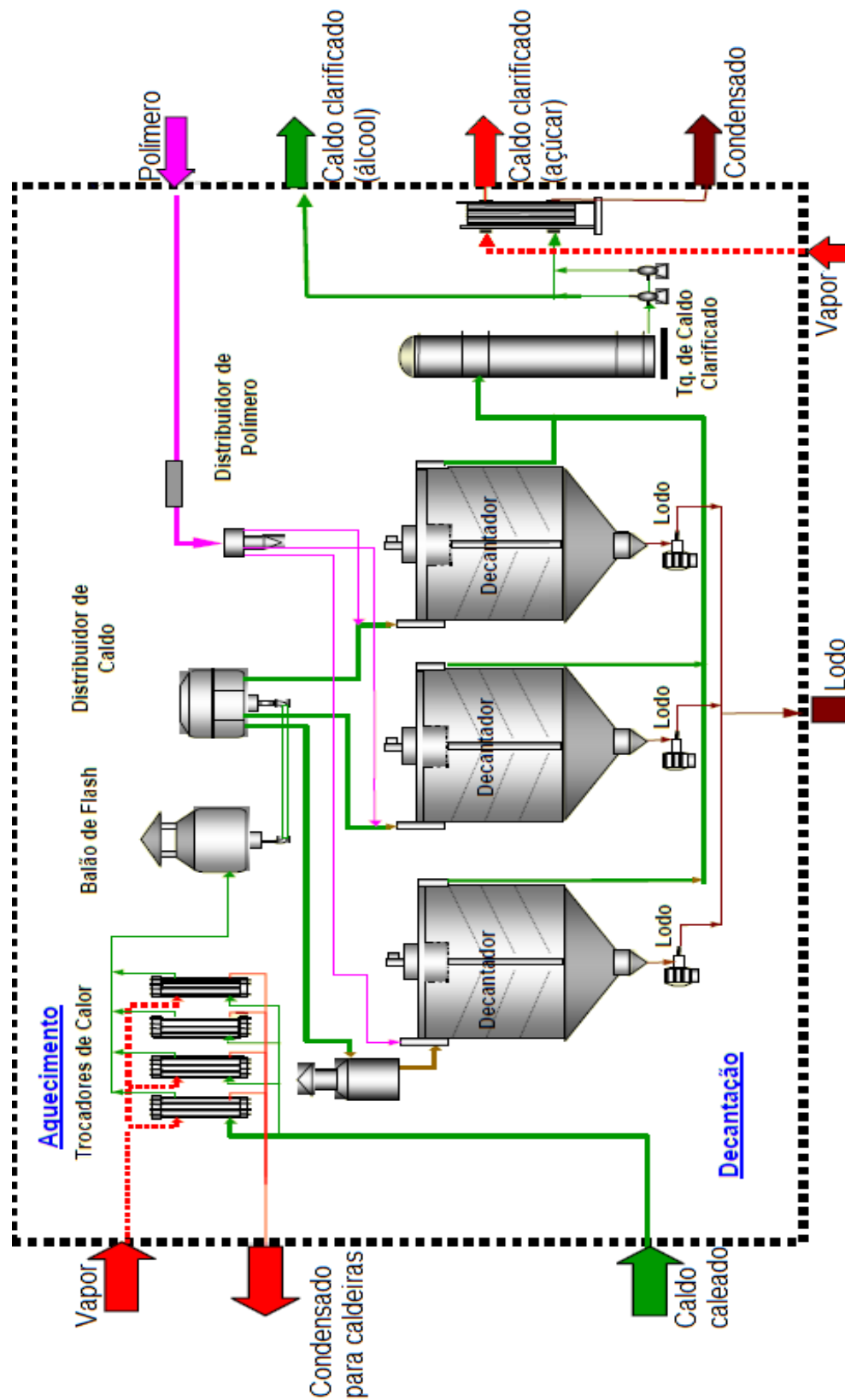
Fonte: Acervo próprio.

3.2.2 Tratamento do caldo

O caldo resultante da extração (essencialmente o da primeira prensagem) é peneirado para a retirada das impurezas grossas e enviado para o setor de fabricação, onde se inicia os tratamentos necessários a produção de açúcar. Dependendo do tipo de açúcar a ser produzido o caldo é sulfitado com SO_2 para auxiliar na coagulação das matérias coloidais, já que estes dão cor ao açúcar, não sendo possível a produção de açúcar cristal branco sem esta etapa do processo. A sulfitação também ajuda no arraste das impurezas durante a sedimentação e na desinfecção do caldo. Logo após ser sulfitado (Figura 2), o caldo é cadoado com leite de cal, para também coagular parte do material coloidal, precipitar as impurezas e elevar o pH para valores neutros garantindo uma menor taxa de inversão da sacarose em etapas posteriores da fabricação (HUGOTT, 1969).

Ainda segundo Hugott (1969) a mistura é aquecida com vapor até temperatura em torno de 105°C , com os objetivos de diminuir a viscosidade do fluido, acelerar as reações e facilitar a decantação promovendo a formação de uma quantidade maior de aglomerados coloidais, que precipitarão no decantador, formando o lodo de sedimentação que será posteriormente filtrado e o caldo clarificado será enviado a etapa de evaporação.

Figura 2- Sistema de tratamento de caldo.

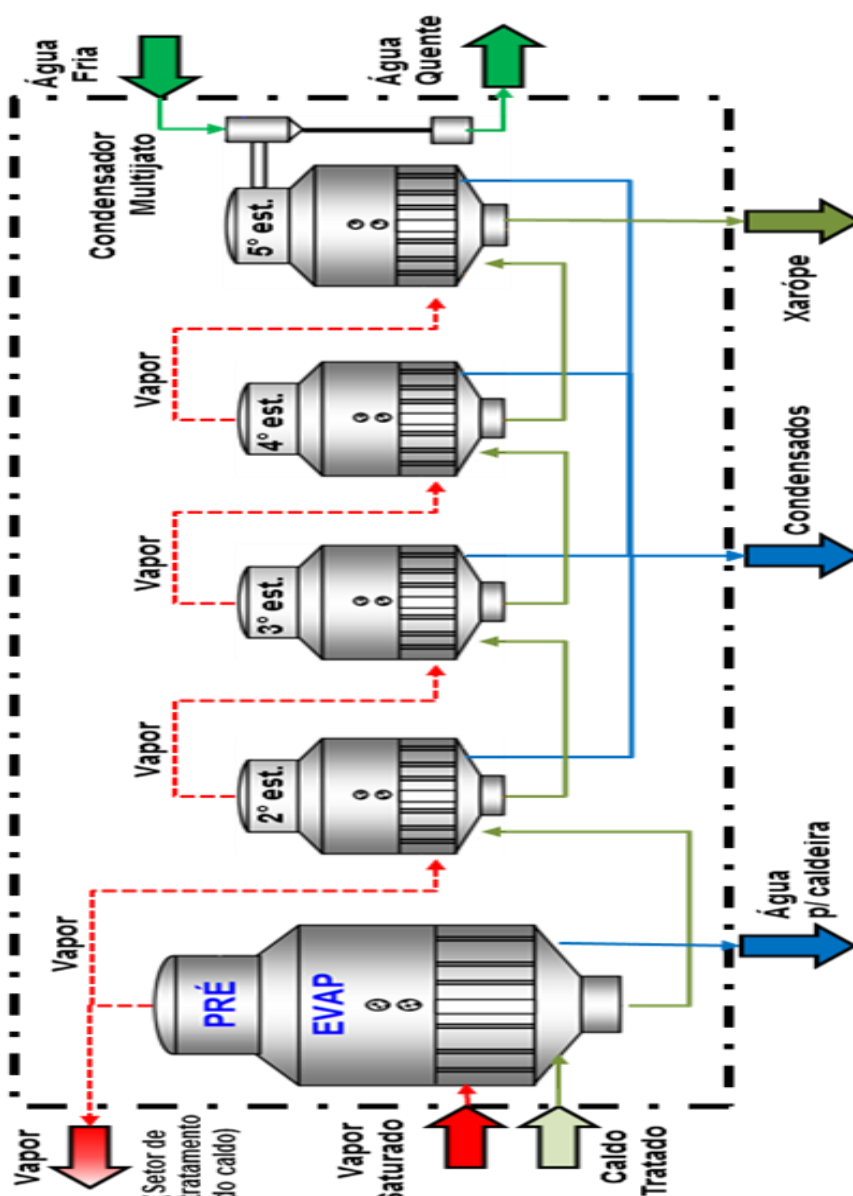


Fonte: Raia, 2011.

3.2.3 Evaporação do caldo

A seção de evaporação realiza a primeira etapa de concentração do açúcar do caldo. O ideal é concentrar até 65° brix, o que garante uma boa taxa de remoção da água do caldo, em torno de 75%. Visando a economia de vapor, este processo é realizado através do princípio de múltiplo efeito (Figura 3), além de obter uma eficiência na evaporação do caldo, garante o fornecimento de vapor vegetal para aquecimento do caldo antes da decantação e para o cozimento, etapa posterior à evaporação, além de fornecer água condensada para alimentar as caldeiras (HUGOTT, 1969).

Figura 3- Sistema de evaporação de múltiplo efeito.



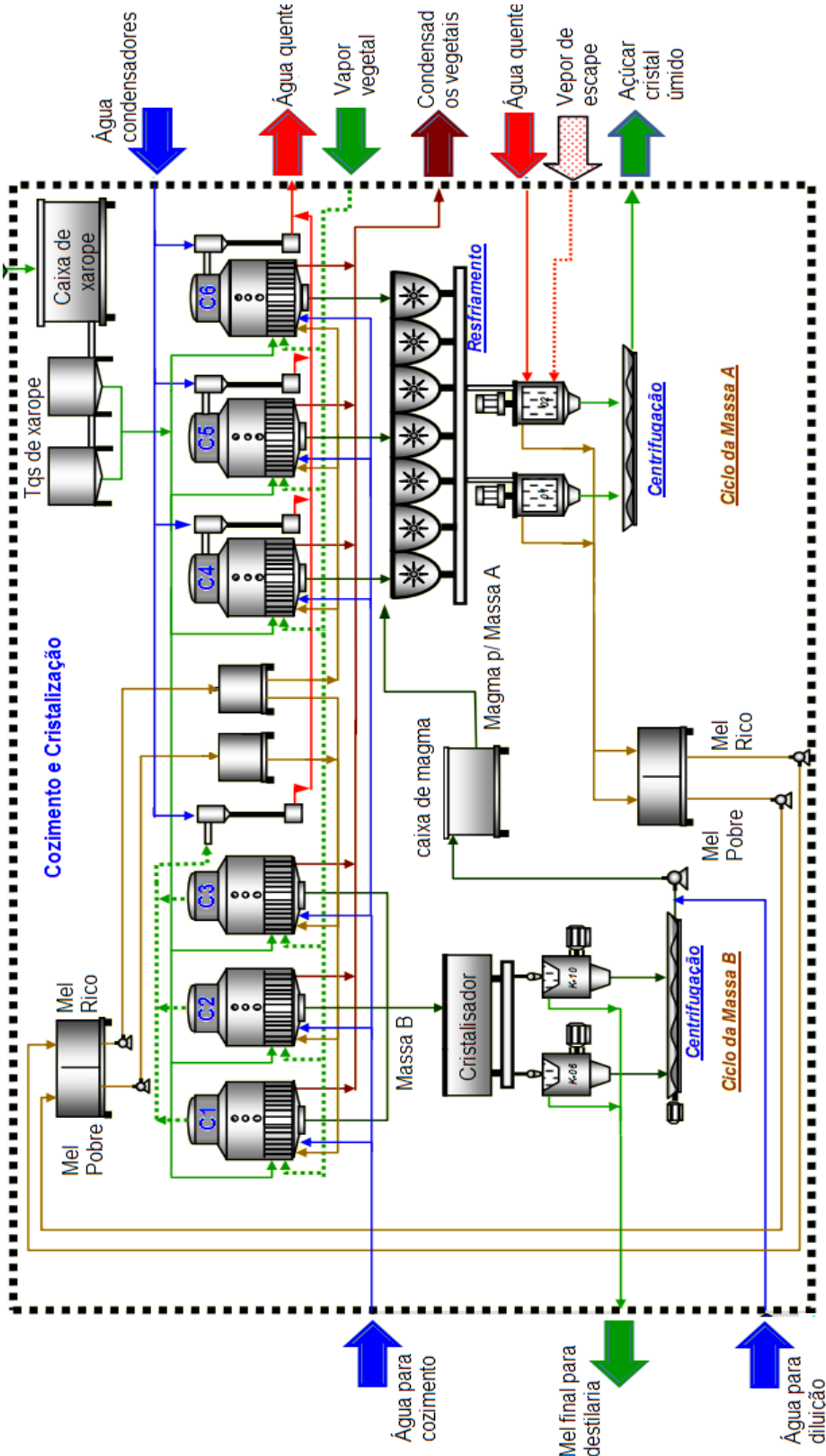
Fonte: Fonte: Raia, 2011.

3.2.4 Cozimento

O caldo da cana, após tratamento, é concentrado nos evaporadores até a fase de xarope em torno de 65° brix, e juntamente com os méis resultantes da centrifugação, são enviados ao setor de cozimento, onde ocorre o fenômeno de formação e crescimento dos cristais de sacarose (ALBUQUERQUE, 2010).

Na etapa de cozimento (Figura 4), o açúcar em solução é transformado em estado cristalino através da cristalização em cozedor a vácuo. Quando o volume do cozedor atinge a capacidade máxima, fecha-se a alimentação de xarope, continuando o processo de cozimento até se obter a maior concentração possível para mobilidade dos cristais, fazendo a descarga da massa cozida para a etapa de centrifugação (PAYNE, 1989).

Figura 4- Sistema de cozimento a Vácuo.



Fonte: Fonte: Raia, 2011.

3.2.5 Centrifugação da massa cozida

Relatou Payne (1989) que o princípio da centrifugação da massa, baseia-se em separar os cristais de açúcar do melaço que os envolve através da força centrífuga, pois sendo o melaço menos denso e mais leve e os cristais de açúcar mais pesados, a força centrífuga faz com que o melaço abra caminho através dos espaços entre os cristais, saindo por perfurações de uma tela que envolve o cesto da centrífuga (Figura5).

Figura 5- Centrífuga para produção de açúcar cristal.



Fonte: Acervo próprio

3.2.6 Secagem do açúcar cristal

Quando o açúcar sai das centrífugas, possui umidade elevada e sua deterioração pode ser acelerada, resultando em maiores perdas. Assim, independentemente do tipo de açúcar, faz-se necessária a realização da secagem do mesmo. A secagem é feita em secadores (Figura 6), constituídos de tambores rotativos que promove a movimentação do açúcar em seu interior, sendo fornecidos vapor e ar, resultando em uma mistura quente que faz a secagem do açúcar no interior do equipamento (MACHADO, 2012).

Figura 6- Secador de açúcar.



Fonte: acervo próprio.

A partir desta etapa o açúcar cristal segue para o armazenamento ou para produção do açúcar na forma líquida.

3.3 Açúcares na forma líquida

O açúcar é um composto orgânico cuja denominação química é sacarose. Produzido na forma cristal, refinado ou ainda na forma líquida, como apresentado na (Figura 7).

Figura 7- Açúcar líquido e açúcar líquido invertido



Fonte: Produtos Guarani, 2004.

O açúcar líquido é uma solução de açúcar em água, podendo ser constituído apenas por um açúcar ou uma mistura de dois ou mais açúcares formado então por sacarose, glicose ou frutose, ou ainda uma mistura destes três açúcares, variando as proporções da composição de acordo com as especificações do cliente. O açúcar líquido invertido é uma mistura que apresenta aproximadamente uma composição de 30% de sacarose, 35% de glicose e 35% de frutose (BIANCHINI e ASSUMPÇÃO, 2002).

Um de seus principais benefícios é a capacidade de redução de atividade da água, fator determinante no prazo de validade de produtos fabricados com a utilização do açúcar líquido. Outras vantagens podem ser citadas com relação ao seu emprego nas indústrias de alimentos, como um fator interessante nos dias atuais, já que evita processos dispendiosos de diluição, armazenagem e transporte de açúcares sólidos, o que reduz custos de energia e minimiza a produção de dejetos nas indústrias (PODADERA, 2007).

Os açúcares na forma líquida apresentam vantagens em relação ao açúcar a granel como facilidade do manuseio e dosagem, espaço reduzido para a armazenagem, redução das perdas, redução de custos, melhoramento na sanitização, além das propriedades microbiológicas conhecidas e da grande variação possível nas proporções de diferentes açúcares. As desvantagens deste produto são a baixa solubilidade da sacarose, a susceptibilidade ao ataque microbiano e a necessidade de equipamentos especiais para armazenagem e manuseio (BIANCHINI, 2006).

3.4 Açúcar Líquido

3.4.1 Características e Emprego

De acordo com Podadera (2007) o açúcar líquido é um adoçante natural de sacarose apresentado na forma líquida em uma solução inodora, límpida e cristalina, obtido pela dissolução de açúcar sólido em água com posterior purificação e descoloração, o que garante a esse produto alta transparência e limpidez como apresenta Figura 8.

Figura 8- Açúcar líquido



Fonte: Acervo próprio.

Em geral, possui concentração de 66,7 a 67,3% de sólidos solúveis (Brix) (Bianchini e Assumpção 2002), tratando-se de um produto com o mesmo perfil de sabor e poder adoçante do açúcar sólido. Por esse motivo, esse produto é requisitado pelas indústrias de alimentos como de panificação, laticínios, bebidas, para serem adicionado em sucos, recheios, licores, biscoitos, balas, caramelos e chocolates (BIANCHINI, 2006).

Suas características físico-químicas estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1- características físico-químicas do açúcar líquido.

Parâmetro controlado	Especificações
Aparência	Límpido, livre de turbidez e partículas visíveis, tais como, carvão e materiais estranhos.
Sabor e Odor	Sem sabor e odor estranho
Brix(%)	66,7 a 67,3
Cinzas (%) Máx.	0,05
Cor ICUMSA (UI) Máx.	45
pH	6,50 a 7
Turbidez (NTU) Máx.	2,0
Odor após acidificação	Sem odor normal
Flocos (Teste Alcoólico)	Ausente
Temp. Carregamento (°C) Máx.	35
Pureza por cálculo(%) Min.	99,9
Sedimentos gravimétricos (ppm) Máx.	7,0
Açúcar invertido (AR) % (p/p) Máx.	0,5
Sulfito (ppm) Máx.	6,0
Cloretos (ppm) Máx.	50
Ferro (ppm) Máx.	3,0
Cobre (ppm) Máx.	1,5
Chumbo (ppm) Máx.	0,5
Arsênio (ppm) Máx.	1,0
Floco Ácido (teste dos dez dias)	Negativo
Compostos Quat. Amônio (ppm) Máx.	2,0
Leveduras e Bolores (UFC/10 ml) Máx.	10
Coliformes Totais (UFC/10 ml) Máx.	Ausente
Coliformes Fecais (UFC/10 ml) Máx.	Ausente

Fonte. Adalberto Voltarelli, produtos Guarani, 2006.

3.4.2 Açúcar Líquido Invertido.

3.4.2.1 Características E Emprego.

O açúcar líquido (Figura 9) mistura em diferentes proporções de frutose, glicose e sacarose.

Figura 9- Açúcar líquido invertido



Fonte: Acervo próprio.

Conhecido como açúcar líquido invertido, variando estas proporções de acordo com o grau de inversão requerido pelo cliente, fica geralmente em torno de 30% de sacarose, 35% de glicose e 35% de frutose. Em geral, possui concentração de 75 a 78 % de (Brix). Esse produto permite a armazenagem por um período mais prolongado (100 dias ou mais), se mantidas as condições necessárias de armazenamento com concentração (75°Brix) segundo (PODADERA, 2007).

Apresenta-se na forma líquida em uma solução límpida, com odor e sabor característicos e com alto poder adoçante, com a cor ligeiramente amarelada adquirida devido à maior concentração de frutose que compõe a solução ter cor ligeiramente amarela (BIANCHINI, 2006).

O açúcar invertido é ingrediente de infinidade de produtos, largamente empregado na produção de alimentos nos quais a coloração desta solução não interfere no padrão visual, principalmente da indústria de balas, biscoitos, doces, conservas enlatadas, bebidas isotônicas e leites saborizados. Tem poder adoçante de 75 a 80% maior que a sacarose presentes nos açúcares líquido ou sólido. É um modificador de textura devido a sua alta solubilidade e sua

capacidade de baixar o ponto de congelamento e também dispensa aquecimento e dissolução, bem como filtragem e descarte de resíduos segundo (PODADERA, 2007).

Possui denominação “invertido” porque inverte a rotação da luz polarizada em um equipamento denominado polarímetro (Mezaroba et AL, 2010). Medindo-se o ângulo de desvio da luz durante o processo de obtenção do açúcar invertido, observa-se que ocorre a variação de um valor positivo no início da hidrólise (reação com água catalisada por aquecimento e por um ácido, enzima ou resina) para um valor negativo após a reação, justificando a denominação do processo de inversão. O raio de luz polarizada que incide sobre a sacarose pura gira para a direita, ou seja, a sacarose é originalmente uma molécula dextrógira (D,+), após o procedimento de inversão, a luz incidente passa a ser desviada para a esquerda. (Shallenberger e Birch, (1975); Paschoalim, (1990); Chemello, (2006 apud PODADERA 2007). Suas características físico-químicas estão descritas na tabela abaixo.

Tabela 2- Características físico-químicas do açúcar líquido invertido

Parâmetro controlado	Especificações
Aparência	Límpido, livre de turbidez e partículas visíveis, tais como, carvão e materiais estranhos.
Sabor e odor	Sem sabor e odor estranho
Inversão (%)	90
Brix (%)	75,0 a 77,0
Cinzas (%) max	0,30
Cor ICUSA (UI) max	150
pH	4,50 a 5,50
Coliformes totais (UFC/10 ml) máx	Ausente
Coliformes fecais (UFC/10 ml) máx	Ausente
Sulfito (mg/Kg) máx	6,0
Cobre (PPM) MÁX	1,50
Chumbo (ppm) máx	0,50
Arsênio (ppm) máx	1,0
Mercúrio (ppm) máx	1,0

Fonte. Adalberto Voltarelli, produtos Guarani, 2006.

A vantagem que têm sobre o açúcar líquido é a maior concentração possível de ser efetuada sem que haja o aparecimento de cristais, que leva a menor quantidade de água e

menor volume físico para transporte, diminuindo os custos logísticos. Propicia, também tempo maior de vida útil, em torno de 4 meses em que pode permanecer estocado, contra os quinze dias do açúcar líquido. O açúcar líquido invertido é muito utilizado na indústria alimentícia, pois reúne a elevada solubilidade da frutose à difícil cristalização da glicose, aumentando seu poder adoçante diminuindo os riscos de cristalização dos alimentos (BIANCHINI e ASSUMPÇÃO 2002).

A Doçura é uma sensação que depende da concentração e mistura de carboidratos, temperatura e outros componentes que podem afetar a fisiologia do paladar e na maioria das vezes esta determinação é subjetiva (DAVIS & PRINCE, 1955; PASCHOALIM, 1990 apud PODADERA, 2007 P.26).

Ainda segundo Davis & Prince (1955 apud PODADERA, 2007) como descrito na Tabela 3, a doçura relativa de vários açúcares, há um consenso parecendo indicar que não há diferenças significativas entre a sacarose e o xarope invertido quanto ao poder adoçante, embora o açúcar contendo monossacarídeos tenha um sabor parecido ao mel.

Tabela 3 – Doçura relativa entre diversos açúcares.

Açúcares	Doçura relativa
Frutose	1,1 a 1,8
Glicose	0,7
Sacarose	1,0
Açúcar invertido	0,9

Fonte: Adaptado de Podadera, 2007.

3.5 PROCESSO DE PRODUÇÃO DO AÇÚCAR LÍQUIDO

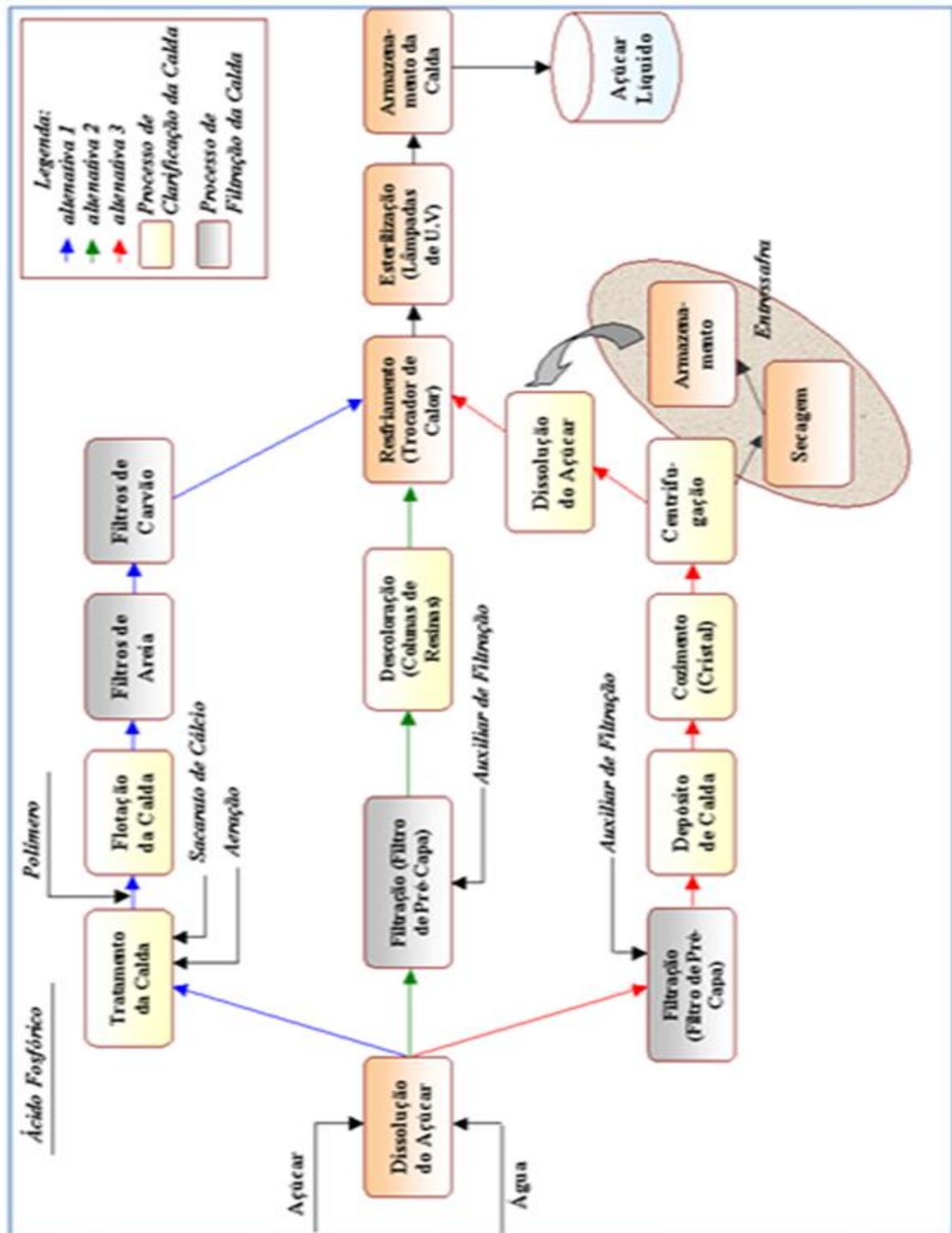
Como já mencionado anteriormente, a matéria-prima para produção dos açúcares na forma líquida é o açúcar cristal obtido da cana-de-açúcar, armazenado em “*big bags*” de 1.000 a 1200 kg e dispostos diretamente no tanque de diluição, passando na sequência, por

uma série de tratamentos específicos (clarificação, filtração, recristalização, esterilização) que visa à produção de uma solução aquosa de açúcar líquido, de alta transparência e limpidez (MEZARROBA et al. 2010).

O processo de produção do açúcar líquido constitui-se basicamente por seis etapas, (Figura 10). Na primeira delas, ocorre a dissolução do açúcar cristal sólido em água aquecida a aproximadamente 70 C°, a solução formada passa por um processo de clarificação e em seguida a calda resultante é filtrada. Após a filtração, ocorre o resfriamento e a esterilização (PODADERA, 2007).

Por último, a calda, já sob a forma de produto final (açúcar líquido) é armazenada em tanques de aço construídos especificamente para armazenamento do produto por um período de até quarenta e oito horas. Dentre as etapas mencionadas, a clarificação e a filtração da calda podem ser realizadas por três processos distintos (PODADERA, 20).

Figura 10 - Fluxograma das etapas do processo de produção do açúcar líquido com três Possíveis alternativas de clarificação e filtração.



Fonte: CCT- Copersucar (1999).

Na primeira alternativa, a clarificação da calda é realizada por fosfatação, ou seja, adiciona-se ácido fosfórico (H_3PO_4) para atuar como agente clarificante. A calda clarificada ainda passa por um processo de flotação (BIAQUINI, 2006).

A filtração é realizada por filtros de areia e de carvão. Esse procedimento, embora mais tradicional, tem sido abandonado pelas usinas devido ao alto custo dos insumos utilizados na etapa de clarificação da calda (BIAQUINI, 2006).

Na alternativa 2, a clarificação é feita pela passagem da calda em colunas de resinas de troca iônica e a filtração feita em filtros de pré-capa. Esta alternativa tem sido preferida em relação à alternativa 1 (BIAQUINI, 2006)

Na alternativa 3, a purificação e a eliminação das impurezas é obtida através de procedimentos de recristalização da sacarose (cozimento e centrifugação) e a filtração é feita por filtros de pré-capa antes da recristalização. Esse processo produtivo apresenta também a possibilidade de um fluxo alternativo para os períodos de entre safra, pois faz-se o armazenamento deste produto e utiliza nos períodos de entre safra para produção do açúcar na forma líquida, viabilizando a produção, eliminando etapas do processo (BIANCHINI E ASSUMPÇÃO, 2002).

3.6 Processo de produção do açúcar líquido invertido

A produção do açúcar líquido invertido se iniciou na Irlanda, em 1951. Foi produzido a partir da diluição de açúcar bruto passando por um processo de filtração em carvão vegetal, e apesar de estar disponível no mercado há pelo menos 50 anos é um produto que constitui novidade no mercado atual de alimentos (DAVIS & PRINCE, 1955; MARIGNETTI E MANTOVANI, (1978/80 apud PODADERA, 2007).

Antigamente o processo de inversão ocorria com a adição de ácido clorídrico e a reação tinha fim com a adição de hidróxido de sódio para neutralizar o pH. O licor invertido era, então, misturado com uma porção de açúcar não invertido e passado em carvão ativado para eliminação de cor (MARIGNETTI & MANTOVANI, 1979/80 apud PODADERA, 2007).

Em dias atuais, por ser o processo que apresenta menor custo, o açúcar líquido invertido é produzido pela hidrólise da molécula de sacarose em solução, levando a catálise ácida, a qual consiste na adição de soluções ácidas em caldas refinadas de açúcar líquido com

elevadas temperaturas em um reator descontínuo. Quando o licor atinge uma porcentagem de inversão desejada acrescenta-se uma base para neutralização da reação de inversão (BIANCHINI, 2006).

O açúcar líquido invertido pode ser obtido pela inversão ácida, inversão enzimática e por inversão catiônica (resinas), sendo o processo por inversão ácida o mais utilizado mesmo que os outros processos de inversão apresentem baixo teor de cinzas, pois não ocorre a utilização de ácido para a inversão, sequer de base para a neutralização. Os tipos possíveis de inversões serão descritos a seguir (GRATÃO, 2004).

3.6.1 Inversão ácida

A hidrólise ácida é o método mais antigo e mais econômico para produzir o açúcar invertido a partir da sacarose, o ácido age como um catalisador da reação. No Brasil, a quase totalidade do açúcar invertido é produzida por este processo. Pode ser executada antes ou depois da descoloração da calda. O tempo de inversão depende de fatores como: o ácido utilizado, a temperatura de processo, a concentração desejada, etc. Esse tipo de inversão é a mais utilizada devido aos seguintes fatores, segundo (BIAQUINI, 2006).

- Baixo custo dos ácidos necessários à inversão, geralmente utiliza-se ácido fosfórico ou clorídrico;
- Baixo tempo de processo para inversão;
- Não apresenta dificuldades operacionais;
- Baixo investimento para adaptação de uma das alternativas de produção de açúcar líquido;
- Fácil controle da porcentagem de inversão desejada;

3.6.2 Inversão enzimática

Este processo promove a hidrólise da sacarose com o auxílio da enzima invertase, encontrada nas leveduras. O produto final dessa reação não possui alta qualidade, pois apresenta sólidos em suspensão, exigindo etapas posteriores de filtração.

As vantagens da escolha desse processo em escala industrial são a não corrosão dos equipamentos e tubulações, além de não ocorrer a utilização de base para a neutralização. Moroz

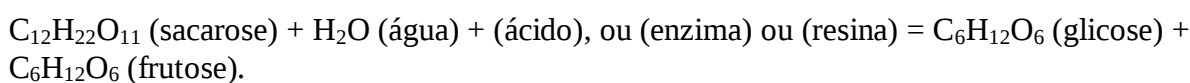
et al. (1973 apud Bianchini e Assumpção (2002). Cabe realizar um estudo de custo/benefício, mas na prática esse procedimento quase nunca é adotado.

3.6.3 Inversões com resinas catiônicas

Trata-se de um procedimento no qual os sais presentes na calda do açúcar reagem com as resinas, em um processo de troca de íons, gerando uma acidez que provoca a inversão parcial do açúcar. A inversão é complementada pela passagem da calda em outra coluna de resina catiônica que contribui para a descoloração do produto. (VICENTE, 2000 apud MARQUES, 2007, P. 24).

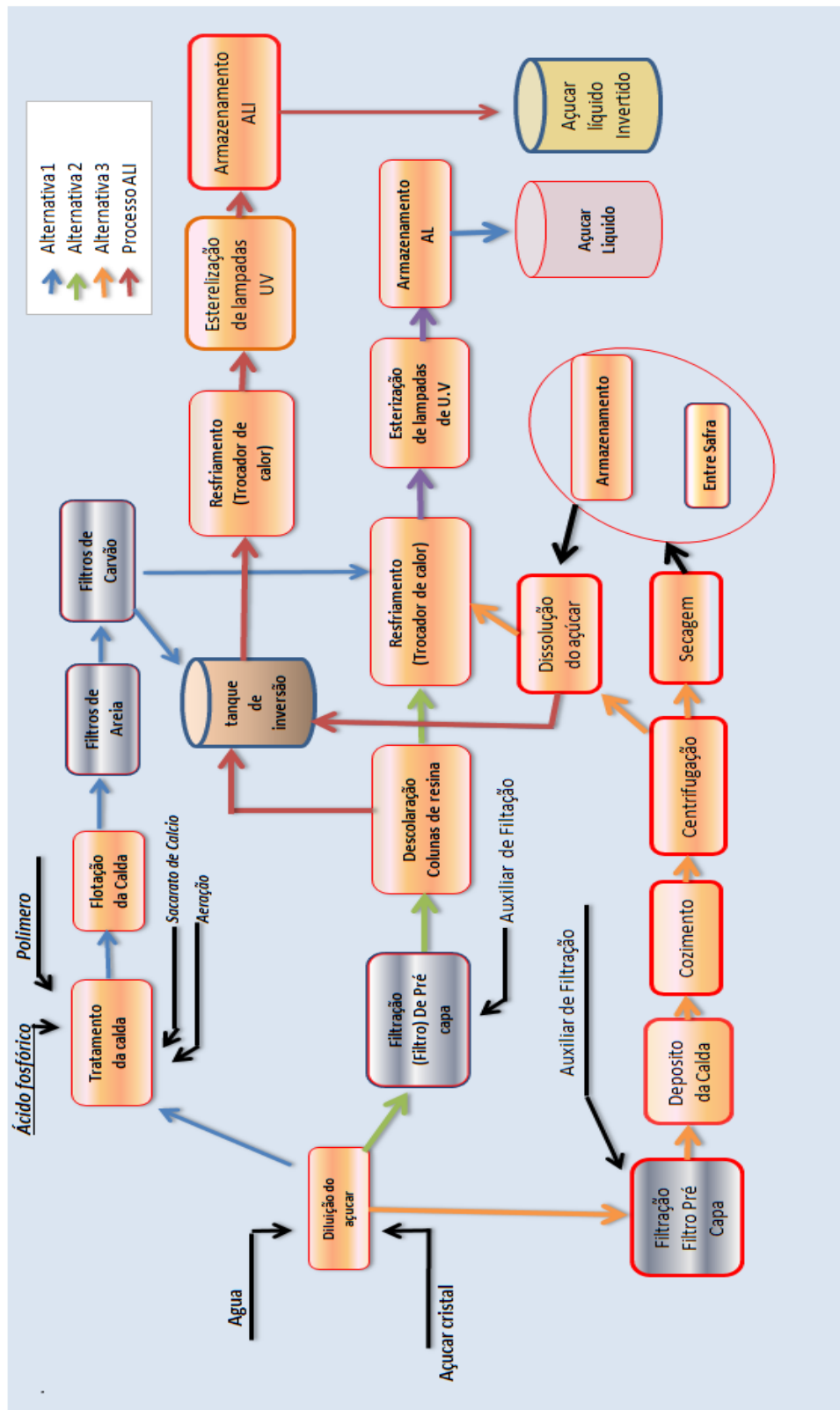
Qualquer que seja o processo adotado para produção de açúcar líquido invertido, o grau de inversão é acompanhado através do pH (BIANCHINI E ASSUMPÇÃO 2002).

Tecnicamente, hidrólise ácida ou catalítica da sacarose se dá por meio da quebra da molécula da sacarose que é hidrolisada, produzindo-se uma mistura em quantidades iguais de glicose e frutose, conforme mostra a reação a seguir por (ALBUQUERQUE, 2010).



Qualquer uma das alternativas apresentadas para a produção de açúcar líquido pode ser adaptada para a produção em paralelo do açúcar líquido invertido figura 11, (BIANCHINI 2006).

Figura 11 - Etapas do processo de produção do açúcar líquido invertido



Fonte: Adaptado de CTC, Coopersucar (1999).

A produção de açúcar líquido invertido em larga escala, muitas vezes não permite a parada do processo para que possa chegar à taxa de inversão determinada de um tanque em

inversão. Quando ocorre uma taxa de inversão maior do que a desejada, mistura-se de 90 a 95 % do açúcar invertido com um xarope não invertido, para obtenção do grau de inversão desejado (JUNK et al, 1947 apud BIANCHINI e ASSUMPÇÃO, 2002).

3.7 DESCRIÇÃO DE CADA ETAPA DO PROCESSO DE PRODUÇÃO

3.7.1 Dissolução (comum em todas as alternativas)

Na etapa de dissolução, o açúcar é dissolvido dentro de um tanque construindo em aço inox com sistema de agitação, onde é colocado o açúcar cristal e água potável com temperatura em torno de 70°C. Este tanque possui instrumentos controladores de brix (sólidos solúveis) para garantir a qualidade do produto que será enviado para etapa seguinte. Após a dissolução completa, o açúcar dissolvido é enviado a um trocador de calor do tipo placas, para elevação da temperatura para em torno de 75°C (Branco 2012). A partir de então o licor dissolvido é enviado ao tratamento com insumos (BIANQUINI, 2006).

3.7.2 Tratamento Da Calda (alternativa 1)

Nesta etapa ocorre a microfloculação das impurezas, com a adição de ácido fosfórico e sacarato de cálcio. Os produtos adicionados junto ao licor reagem para formar o sal insolúvel de fosfato de cálcio, que promove a precipitação das impurezas no licor, incorporando-as aos seus flocos (Bianchini, 2006). Após a microfloculação, o xarope é aquecido a 82°C para reduzir a viscosidade do meio, acelerar as reações de precipitação e floculação (CREMA 2012).

3.7.3 Flotação da calda (alternativa 1)

Pela característica do sistema (Figura 12) a aeração permite a introdução de bolhas de ar na quantidade e qualidade necessárias para a perfeita flotação de todas as impurezas

presentes no meio. A vazão total de ar admitida ao processo depende do teor de impurezas (Bianchini 2006). Devido à sua natureza hidrofóbica, os flocos constituídos pelos precipitados que foram formados pelos insumos se aderem firmemente às bolhas de ar, formando flocos bastante estáveis. Depois da aeração, ocorre a etapa de macrofloculação das impurezas através da adição do polímero flocculante aniônico. Os macrofloculos assim formados apresentam densidade inferior à densidade do licor (CREMA 2012).

Figura 12 - Sistema de tratamento e flotação da calda.

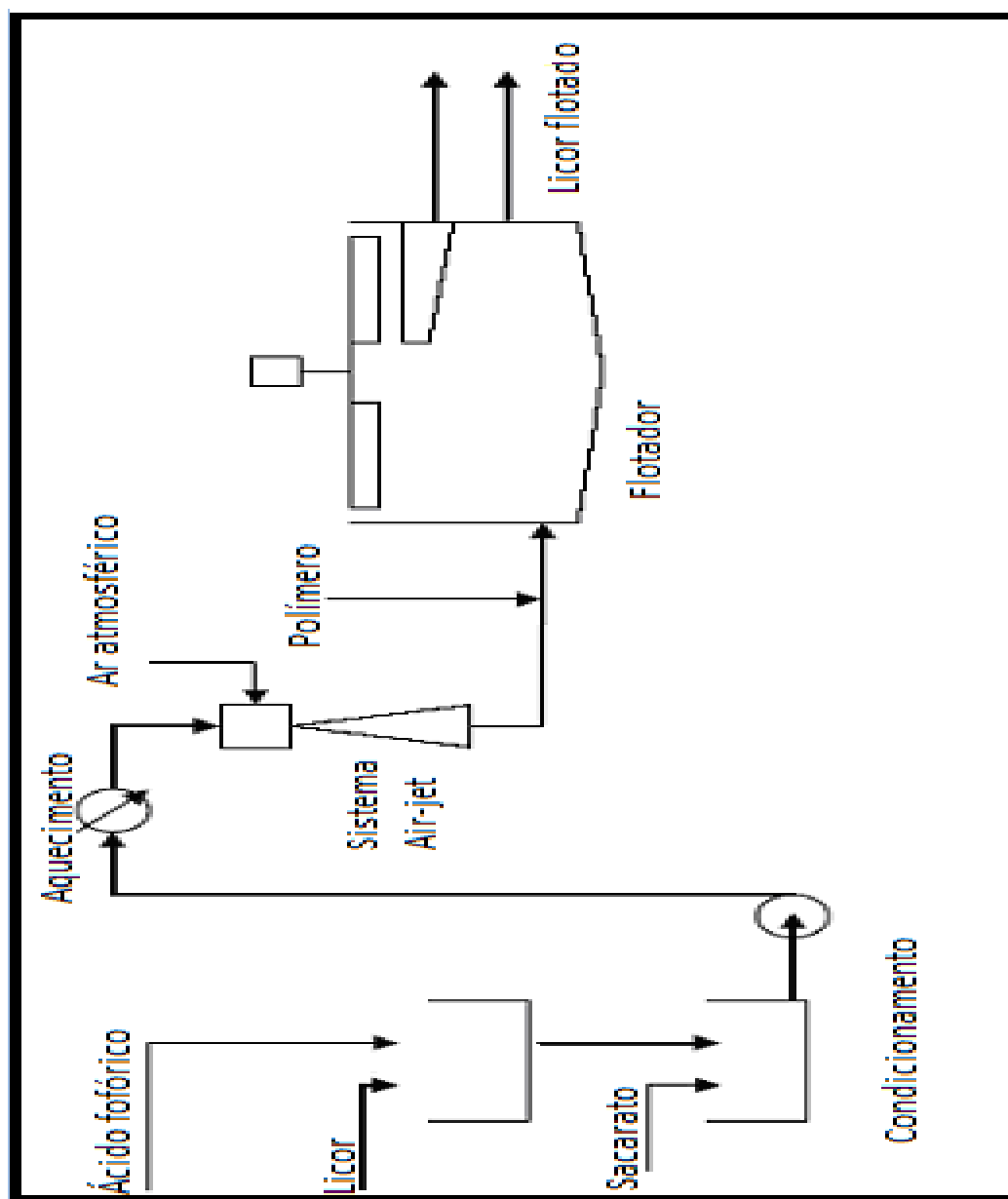


Figura 7- Acervo próprio

O processo de floculação consiste em uma neutralização das cargas elétricas positivas das partículas coloidais em suspensão com as cargas elétricas negativas do produto floculante. O ideal é operar com meio ligeiramente ácido, isto é, pH na faixa de 6,5 a 6,8 (SCALIZE; LUIZ DI, 2000).

No flotador os flocos formados como consequência da aeração e uso de floculante, se desloca em regime laminar em direção à superfície do equipamento, onde se acumulam formando uma espessa e escura chamada de lodo ou borra. Esta borra sobrenadante é removida do sistema por meio de raspadores de superfície, tem em sua composição cerca de 3,5% de sacarose sendo enviada para o processo de produção de açúcar cristal, misturada ao caldo primário ou pode ir para a fermentação para produção de etanol, ou ainda descartada na lavoura como nutriente, após passar por lavagem, como relata (Bianchini, 2006) . O licor flotado, por sua vez, é removido pelo fundo do flotador e enviado para a etapa seguinte do processo de açúcar na forma líquida (ALBUQUERQUE, 2010).

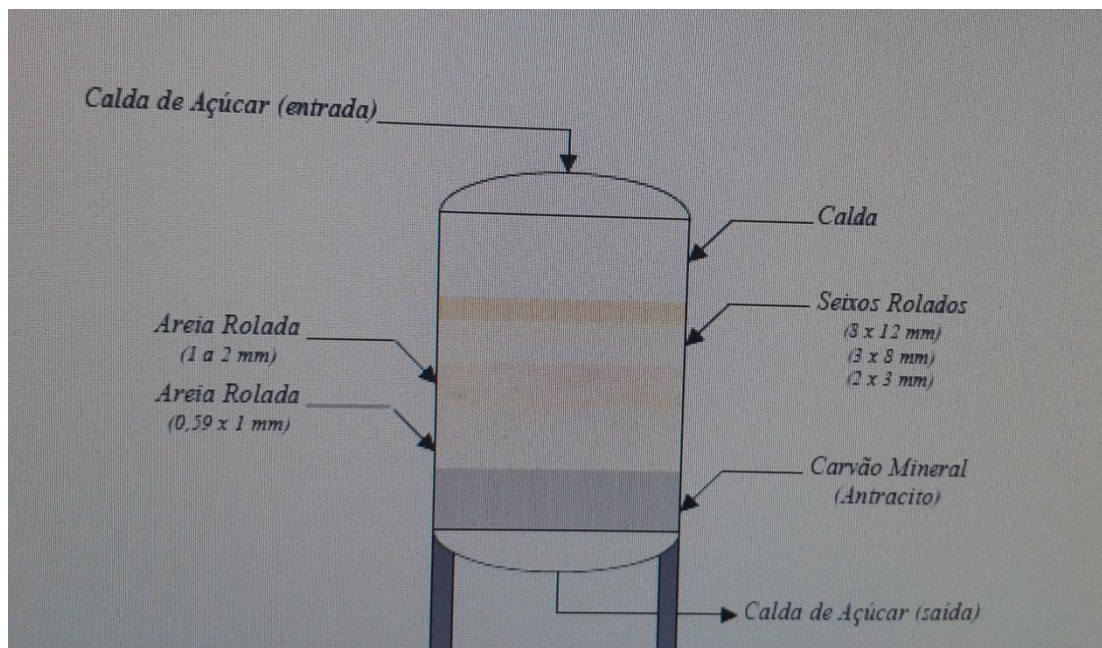
3.7.4 Filtração da calda em filtros de areia (alternativa 1)

A etapa de filtração em filtros de areia é usada para remoção de flocos e sólidos em suspensão, eventualmente arrastados juntamente com a calda que sai da flotação. Os filtros de areia são equipamentos semelhantes ao usados para filtração de água. Possuem em seu interior areia (sílica), seixos rolados e carvão mineral em diferentes granulometrias. O sentido de fluxo da calda é indicado na Figura 13 (BIANCHINI, 2006).

As principais vantagens deste sistema são:

- Resistência ao ataque químico.
- Resistência ao desgaste mecânico.
- Baixo custo de instalação, porém é um equipamento com menor eficiência se comparado com os sistemas atuais de filtração, além de possuir uma estrutura grande, ocupando maior área para instalação.

Figura 13 – Sistema de filtração em filtros de areia.



Fonte:CTC, Copersucar (1999).

3.7.5 Filtração da calda em filtros de carvão (alternativa 1)

São equipamentos cilíndricos constituídos em seu interior com carvão de origem vegetal ou animal, com granulometria em torno de 0,7 a 1 mm. A etapa de filtração da calda em filtros de carvão ocorre quando se deseja a maior redução da cor. Consegue-se aproximadamente 50% na redução da cor da calda com um tempo de permanência no interior do filtro em torno de quatro horas (Bianchini, 2006). A solução circula continuamente pelo esterilizador através de duas unidades de ultravioleta em série, resultando em queda da contagem microbiana ao nível aceitável, sendo em seguida enviado ao tanque de armazenamento como produto denominado Açúcar Líquido (PODADERA, 2007).

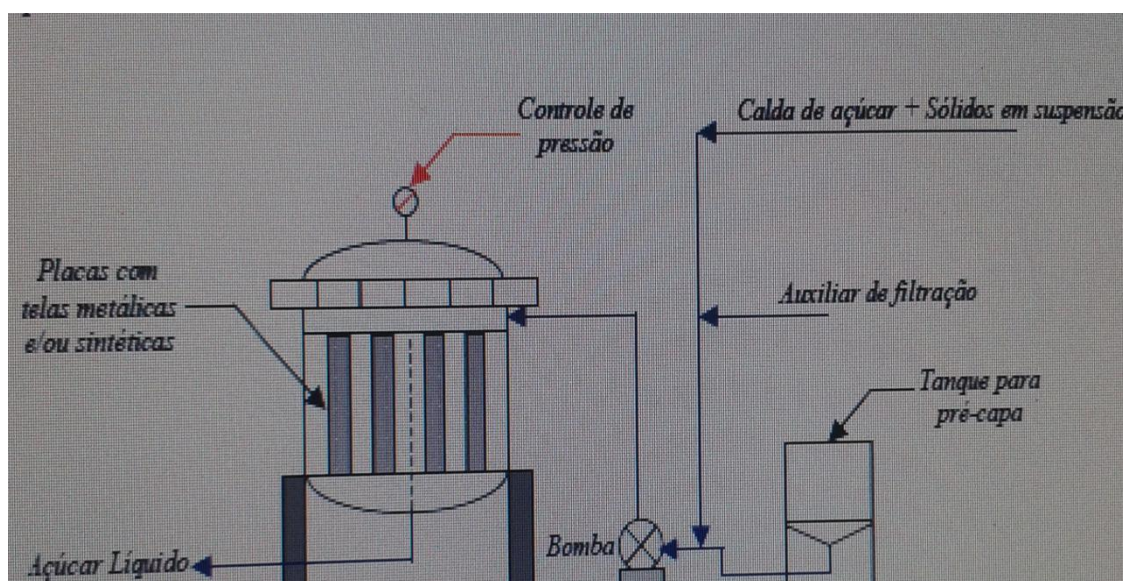
Caso a produção seja destinada ao açúcar líquido invertido, após a filtração, o licor filtrado é enviado para a dorna de inversão.

3.7.6 Filtração da calda em filtro de pré-capa (alternativa 2)

São filtros compostos em seu interior por placas verticais, com telas metálicas e/ou sintéticas (Figura 14), que permite a passagem da calda, retendo os sólidos em suspensão e eliminando a turbidez através do meio filtrante. No tanque de contato são adicionados, junto com o licor, carvão ativado em pó e auxiliar filtrante (Bianchini 2006). O carvão ativado atua na descoloração e desodorização do licor, e o auxiliar filtrante também chamado de celite (terra Diatomácea ou simplesmente Diatomita de origem mineral, lacustre sedimentar), atua facilitando a filtragem do licor no filtro de pré-capa (PIMENTEL, 2006).

Seu funcionamento é como um vaso de pressão, sua utilização está associada ao tratamento da calda com resina, opera em ciclos, sendo necessária mais de uma unidade de filtro para garantir uma operação contínua (BIAQUINI, 2006).

Figura 14 – Sistema de filtração e filtro de pré capa.



Fonte: CTC, Copersucar (1999).

3.7.7 Descoloração da calda em colunas de Resina (alternativa 2)

São resinas (sintéticas e insolúveis) compostas por reticulado de cadeias poliméricas com grupos polares ativos. A calda passa pela coluna de resina, onde substâncias corantes

(Iônicas) são retiradas por grupos polares da resina resultando na redução da cor da calda (BIANCHINI, 2006).

Caso a produção seja destinada ao açúcar líquido invertido, após passar pela coluna de resina, o licor filtrado é enviado para a dorna de inversão.

Porém ao passar pela resina a calda pode adquirir odor fora das características desejadas, sendo necessária a remoção desse odor através do processo de filtração em filtro de pré-capa, o que ocorre em plantas que tenham em seu processo a mescla de alternativas das etapas de produção (comunicação informal).

3.7.8 Recristalização (alternativa 3)

A cristalização consiste em eficiente processo de purificação, podendo ser aplicado ao processo de produção do açúcar na forma líquido desde a calda esteja isenta de sólidos em suspensão. Permite uma redução da cor em torno de 90%, sendo diluído, fornecendo uma calda de alta transparência e qualidade (BIANCHINI, 2006).

Caso a produção seja destinada ao açúcar líquido invertido, após passar pela coluna de resina, o licor filtrado é enviado para a dorna de inversão.

3.7.9 Inversão

Nesta etapa do processo, o licor filtrado é enviado à dorna de inversão. O processo de inversão, ou quebra da molécula da sacarose acontece desde o enchimento da dorna, quando se adiciona ácido na linha de alimentação antes do misturador estático, neste ponto inicia-se o tempo de inversão que dura cerca de três horas, aproximadamente. A reação ocorre com a quebra da molécula, convertendo 70% da sacarose em uma mistura equimolar de duas outras moléculas, 50% de frutose e 50% de glicose (PODADERA, 2007).

Essa taxa de inversão é expressa em porcentagem, e após atingir um grau próximo aos 60%, é adicionado na dorna barrilha leve, composto de carbonato de sódio (Na_2CO_3), para neutralização do pH e da inversão. Após a neutralização o licor fica com a taxa de inversão

em torno de 70%, sendo enviado para a evaporação para que adquira concentração em torno de 76° brix (BIANCHINI e ASSUMPÇÃO, 2002).

3.7.10 Evaporador

O evaporador é um sistema com placas térmicas de simples efeito, por onde passa o licor, com entrada de vapor para aquecimento, e consequentemente sua evaporação. Neste processo, a água é evaporada e se obtém em torno de 77% de sólidos no licor evaporado, faixa ideal para o produto final (MARIGNETTI e MANTOVANI, 1979/80 apud PODADERA, 2007).

3.7.11 Resfriamento (comum em todas as alternativas)

A calda com temperatura em torno de 80 a 90°C, passa pelo resfriador (trocador de calor), onde acontece a redução da temperatura a 30°C.

3.7.12 Esterilização através de lâmpadas U.V (comum em todas as alternativas)

A solução circula continuamente pelo esterilizador através de duas unidades de ultravioleta em série, resultando em queda da contagem microbiana ao nível aceitável, sendo em seguida enviado ao tanque de armazenamento (PODADERA, 2007).

3.7.13 Armazenamento (comum em todas as etapas)

A calda com baixa temperatura é armazenada em tanques construídos em aço inox, podendo ser em aço comum revestidos com pintura especial, permanecendo por tempo determinado até o momento do carregamento para o cliente (BIANCHINI, 2006).

3.7.14 Transporte

O Transporte do açúcar na forma líquida pode ser feito em tambores de 200 litros com liner interno de polietileno, em contêineres próprios para contato com alimentos, ou em maior quantidade em carretas com tanques de aço inox, com verificação das condições de assepsia necessária para o carregamento (comunicação informal).

3.8 principais insumos utilizados

3.8.1 Ácido Fosfórico

É um ácido de grau alimentício com 85 % de concentração de ácido fosfórico (H_3PO_4) aplicado na fase de tratamento do açúcar dissolvido e na fase de inversão do licor tratado atuando como agente catalítico na quebra da molécula de sacarose em glicose e frutose. No tratamento, o ácido tem a função de formar flocos de partículas sólidas de impurezas inorgânicas presentes no açúcar, auxiliando na descoloração do licor e na formação de flóculos para flotação (BIANCHINI, 2006).

3.8.2 Sacarato de Cálcio

Consiste em mistura de sacarose (açúcar líquido) com leite de cal. A sacarose utilizada no preparo deste sacarato é o retorno de uma parte do licor de sacarose que foi flotado e livre de boa parte das impurezas. O leite de cal é o resultado da diluição em uma determinada concentração, em torno de 6 a 8 °Bé de CaO em água. O sacarato tem uma função muito importante no tratamento da calda, pois corrige o pH que foi abaixado pelo ácido, deixando-o em torno de 6,0 facilitando a floculação (MANTELATTO, 2005; BIANCHINI, 2006).

3.8.3 Polímero

São polímeros orgânicos de alto peso molecular provenientes da polimerização de Acrilamida (poliacrilamidas) com Acrilato de Sódio. Assim sendo, são produtos com caráter aniônico que expõe suas cargas negativas quando em solução aquosa (COLMÁN, 2013).

Os polímeros incorporam grupos reativos em solução aquosa, os quais têm forte afinidade com a interface de suspensões coloidais e partículas sólidas presentes em meios aquosos. As interações entre o produto e as partículas sólidas são baseadas em forças eletrostáticas e trocas de cargas que desestabilizam a interface das partículas, formando flóculos volumosos, que são facilmente separados da suspensão (MANTELATTO, 2005).

Os polímeros são usados em soluções altamente diluídas, isto é, 0,1% em peso. Para produzir essa solução de uso, pode-se inicialmente preparar solução estoque de 0,5% em peso, a qual será diluída mais tarde para a diluição requerida (SCALIZE e LUIZ DI, 2000).

3.8.4 Auxiliar Filtrante

Também chamada de celite (Terra Diatomácea ou simplesmente Diatomita), são minerais de origem lacustre sedimentar constituído de esqueletos de microorganismos diatomáceos com diâmetros microns, coberto de carapaça de sílica pura de forma e estruturas variadas. Sua fórmula química é SiO_2 (Dióxido de silício) e seu aspecto físico é de pó fino de cor clara, inodoro e livre de matérias estranhas (CELITE CORPORATION, 1999 apud SILVA, 2008)

3.8.5 Carbonato de Sódio (Barrilha Leve)

Seu nome comercial é Barrilha, a nomenclatura química é Carbonato de Sódio (Na_2CO_3). Substância alcalina, de cor branca, em forma de pó (barrilha leve) ou grão (barrilha densa), facilmente solúvel em água com liberação de calor em uma reação exergônica, podendo gerar hidratos de acordo com a concentração e a temperatura da solução. Este

insumo atua como neutralizador na etapa de inversão, ou seja, neutraliza a inversão do Açúcar Líquido atuando no pH, trazendo-o para a neutralidade (POSSA e SANTOS, 2003).

3.8.6 Carvão Ativado

O carvão ativado possui taxa de filtração média, com alto poder descorante e alta eficiência na retenção de impurezas. Produto ativado através de um processo de alta tecnologia, somente encontradas nos carvões importados. O carvão ativado é um produto com excepcional poder clarificante e desodorizante no tratamento de líquidos em geral, principalmente produtos derivados de açúcares de grau alimentício. Possui densidade aparente de 320 a 370 kg/m³. A dosagem usual é de 0,1 a 0,5% sobre o peso do líquido a ser filtrado. (RODRIGUEZ-REINOSO e MOLINA-SABIO, 1998; CLAUDINO, 2003; MORENO *et al.*, 2005; BASAL e GOYAL, 2005; BOURKE *et al.*, 2007 apud NUNES, 2009).

3.9 Agregação de valor sobre o açúcar cristal

Na Tabela 4 está descrito as especificações do açúcar cristal destinado á produção do açúcar na forma líquida que tem propriedades físico-químicas diferentes do açúcar cristal para consumo direto (Neves e Batalha 1997). Isso permite relativa flexibilidade na escolha da matéria-prima para a sua fabricação (MOROZ *et al.*, 1973; MARIGNETTI E MANTOVANI, 1979/80 apud PODADERA, 2007).

Sendo assim, para o processo de produção do açúcar na forma líquida, a matéria prima que é o açúcar cristal obtido da cana-de-açúcar, não precisa ser de melhor qualidade, devendo atender apenas algumas especificações. Por isso, a matéria-prima utilizada para a fabricação do açúcar líquido é um açúcar fácil de adquirir, pois indústrias alimentícias que utilizam açúcar cristal optam sempre por um açúcar de maior qualidade, como o especial extra. Isso faz com que ocorra maior oferta do tipo superior no mercado, ocasionando assim menor preço e por isso, reflete bastante no custo final do açúcar na forma líquida como relata (BIANQUINI, 2006).

Tabela 4 - Parâmetros de controle do açúcar cristal branco para produção de açúcar líquido e líquido invertido.

Parâmetro controlado	Especificações
Aparência	Sólido branco cristalino
Partículas Magnéticas (mg/kg) máx.	1,0
Cinzas condutimétricas (% m/m) máx.	0,05
Coliformes totais (NMP) máx.	Ausente
Cor ICUMSA - máx.	300
Sabor e Odor	Característico e livre de sabor e odor indesejável
Sacarose % (polarização °Z) mín.	Não controlada
Salmonellas/25g	Ausente
Sulfito (SO ₂) (mg/kg) máx.	20
Umidade (% m/m) máx.	Não controlada
Resíduos insolúveis em membrana filtrante	Não controlado
Contaminação por dextrana (PPM)	< 300

Fonte: Adalberto Voltarelli, produtos Guarani, 2006

O açúcar cristal tipo especial extra, tem preço médio no mercado de R\$52,00 por saca de 50 kg (Folha de Londrina, Única, 2014). Enquanto que o açúcar tipo superior, que é utilizado na produção do açúcar na forma líquida tem um preço menor, todos esses fatores fazem com que haja oferta maior do tipo superior no mercado, ocasionando assim menor preço para uso no processo de açúcar na forma líquida.

Por esses motivos, pode-se considerar o açúcar na forma líquida como um produto que vem agregar valor ao açúcar cristal, pois as especificações para o açúcar usado na diluição para produção do açúcar líquido e líquido invertido (Tabela 5) podem ir além das especificações exigidas pelos consumidores diretos de açúcar cristal, as especificações possuem limites bem acima (PODADERA, 2007).

Tabela 5- Parâmetros físico-químicos de controle do açúcar cristal branco tipo especial para consumo direto.

Parâmetro controlado	Especificações
Aparência	Sólido branco cristalino livre de impurezas
Partículas Magnéticas (mg/kg) máx.	1,0
Cinzas condutimétricas (% m/m) máx.	0,05
Coliformes totais (NMP) máx.	Ausente
Cor ICUMSA - máx.	150
Sabor e Odor	Característico e livre de sabor e odor indesejável
Sacarose % (polarização °Z) mín.	99,7
Salmonellas/25g	Ausente
Sulfito (SO ₂) (mg/kg) máx.	15
Umidade (% m/m) máx.	0,06
Resíduos insolúveis em membrana filtrante	< 5
Contaminação por dextrana (PPM)	< 100

Fonte: Conselho Nacional de Saúde, 1988.

Assim sendo a usina do setor sucroenergético que fizer o investimento na montagem de uma planta de açúcar líquido e líquido invertido terá possibilidade de maior arrecadação diante das possibilidades existentes no mercado como os itens descritos abaixo (BIANCHINI, 2006).

- Possibilidade de compra a preço menor, de açúcar cristal considerado de baixa qualidade para o consumo direto, com vistas ao processamento para produção de açúcar líquido e líquido invertido.
- Redução dos custos, pois se associada com uma indústria de açúcar elimina os custos com fornecimento de energia, água potável, vapor e o próprio açúcar.
- Abertura de um mercado em expansão devido haver ainda poucos processos desse tipo em relação ao açúcar cristal.
- Projeto com retorno favorável, se prevalecerem às premissas de mercado.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As transformações do setor sucroalcooleiro aconteceram não só no que diz respeito à diversificação de produtos, mas também quanto à segurança do alimento e controle de qualidade. Todas essas mudanças são procedentes de outros setores industriais que contribuíram fornecendo tecnologias e equipamentos.

Em resumo, o desenvolvimento tecnológico do setor sucroenergético aconteceu principalmente através das inovações que fizeram deste setor um setor competitivo e igualitário em meio ao mercado de produtos alimentícios, pois indústrias deste setor passaram a valorizar pontos antes não muito considerados, como um processo de inovação incremental, que poderia ser qualificado ainda como inovação fragmentada, já que não atinge o sistema agroindustrial da cana-de-açúcar, de forma integral.

As mudanças observadas na relação da indústria do açúcar e seus clientes com base no fornecimento de açúcares com maior valor agregado diminuiu os custos, otimizou o atendimento às especificações de clientes e ofereceu produtos diferenciados, açúcar líquido e líquido invertido, o que levou ao relacionamento com novos clientes, aumentando a lucratividade das usinas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABARCA, C. D. G. Inovações Tecnológicas na Agroindústria da Cana-de-Açúcar no Brasil. **Anais da Associação Brasileira de Engenharia de Produção (Engep)**, [s.n.], 1999. Disponível em: <[http://www. Agência. cnptia.embrapa.br/.../ENESEP1999](http://www.Agência.cnptia.embrapa.br/.../ENESEP1999)>. Acesso em: 20 mar. 2014.
- ALBUQUERQUE, F. M. **Processo de Fabricação do Açúcar**. 2. ed. Recife: Ed. Universitária-UFPE, 2009.
- ALVARENGA, R. P.; QUEIROZ, T. R. Produção mais limpa e aspectos ambientais na indústria sucroalcooleira. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION, 2009, São Paulo – Basil, 2009. Disponível em: <[http://www. advancesincleanerproduction. net/second/files/sessoes/4a/3/T.% 20R.% 20Queiroz. 2009](http://www.advancesincleanerproduction.net/second/files/sessoes/4a/3/T.%20R.%20Queiroz.2009)>. Acesso em: 10 abr. 2014.
- BIANCHINI, V. K. **Estruturas de Governança no Suprimento de Açúcar ao Mercado Industrial de Alimentos Processados**. 2006. 106 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos-SP, 2007. Disponível em:<[http:// www.bdtf.ufscar.br/htdocs/tedeSimplificado//tde_busca/arquivo.php?>](http://www.bdtf.ufscar.br/htdocs/tedeSimplificado//tde_busca/arquivo.php?>). Acesso em: 14 ago. 2014.
- BIANCHINI, V. K.; ASSUMPÇÃO, M. R. A Diferenciação de Produtos na Cadeia Produtiva do Açúcar: o processo de produção dos açúcares líquido e líquido invertido. IN: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2002, Curitiba. **Anais...**, Curitiba-PR. v. 22, out. 2002. Disponível em:<<http://www.wabepro.org.br>>. Acesso em: 12 jul. 2014.
- CACHIONI, M. **O papel pioneiro de piracicaba na construção fabril na província de São Paulo**. 2013. Tese (Doutorado), Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo-SP, 2013. Disponível em:<[http:// www.aprovincia.com.br/...piracicaba/...piracicabanos/o-papel-pioneiro-d](http://www.aprovincia.com.br/...piracicaba/...piracicabanos/o-papel-pioneiro-d)>. Acesso em: 02 abr. 2014.
- COLMÁN, M. M. E. **Monitoramento da polimerização de acrilamida em muniemulsão inversa por espectroscopia Raman e NIR**. 2013. 156 f. Tese (Doutorado) – Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/.../321640.pdf?...1.>>. Acesso em: 03 out. 2014.
- CREMA, L. C. **Clarificação por flotação com ar dissolvido (FAD) da calda de açúcar cristal para produção de açúcar refinado**. 2012. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2012. Disponível em: <<http://acervodigital.unesp.br/handle8/unesp/169659>>. Acesso em: 20 mar. 2014.
- FIOMARI, C.F. **análise energética e exergética de uma usina sucroalcooleira do oeste paulista com sistema de cogeração de energia em expansão**. 2004. 130f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, 2004.

Disponível em: <<http://www.feis.unesp.br/.../analise-energetica-e-exergetica-de-uma-usina-sucro>>. Acesso em: 25 mai. 2014.

FRANÇA, S. C. A.; LUZ, A. B. **Beneficiamento de Diatomita da Bahia**. Rio de Janeiro: CTEM/MCT, v 7. 50f, 2002. (Série Rochas e Minerais Industriais). Disponível em: <<http://www.mineralis.cetem.gov.br>. Acesso em: 06 set. 2014.

GRATÃO, A. C. A.; BERTO, M. J. ; JÚNIOR, V. S. Reologia do Açúcar líquido invertido: Influência da temperatura na viscosidade. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas-São Paulo, v. 24, n. 4, p. 652-656, out. dez- 2004. Disponível em:< <http://www.scielo.br/pdf/cta/v24n4/a29v24n4>>. Acesso em: 16 jul. 2014.

GUARANI - PRODUTOS GUARANI. **Açúcar Cristal Especial**. 2008. Disponível em: <http://acucarguarani.com.br/hp/produtos/crist_super.php>. Acesso em: 08 mar. 2014.
HUGOTT, E. **Manual da indústria Açucareira**. São Paulo: Ed. Mestre Jou, 1969.

LANZOTTI, C. R. **Uma análise Emergética de Tendências do Setor Sucroalcooleiro**, 2000. 95 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas-SP, 2000. Disponível em:< <http://www.bibliotecadigital.unicamp.br>>. Acesso em: 25 mar. 2014.

MACHADO. F.B. P. Açúcar: o doce sabor do prazer – Brasil, a doce terra – História do Setor. 2000. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/.../historia_da_cana_fhc62u4b02wy>. Acesso em: 04 mai. 2014.

MACHADO, S. S. **Tecnologia da Fabricação do Açúcar**. 2012. 56f. Dissertação (Mestrado) – Instituto Federal de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria- Goiás, 2012. Disponível em: < http://www.redeetec.mec.gov.br/images/...acucar.../161012_tec_fabric_acucar>. Acesso em: 05 jun. 2014.

MANTELATO, P. E. **Estudo do processo de cristalização de soluções impuras de sacarose por resfriamento**. 2005. 235 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos-SP, 2005. Disponível em: <http://www.bdtf.ufscar.br/htdocs/tedeSimplificado//tde_busca/arquivo.php>. Acesso em: 22 jul. 2014.

MARQUEZ, L. D. S. **Produção de açúcar invertido pelo uso de invertase imobilizada em resinas**. 2007. 137 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG, 2007. Disponível em:<http://www.bdtf.ufu.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=1066>. Acesso em: 20 ago. 2014.

MEZAROBA, S.; MENEGUETTI. C.C.; GROFF. A. M. **Processos de produção do açúcar de cana e os possíveis reaproveitamentos dos subprodutos e resíduos resultantes do sistema**. 2010. 10 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção Agroindustrial) - Universidade Estadual do Paraná, Campus Campo Mourão, 2010. Disponível em: <http://www.fecilcam.br/anais_iveepa/arquivos/9/9-04>. Acesso em: 05 mar. 2014.

NEVES, M. R.; BATALHA, M. O. Desenvolvimento e novas tendências do setor sucroalcooleiro. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DA PRODUÇÃO, 17., **Anais...**, Gramado-RS, ENEGEP, 1997. Disponível em: < http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep1997_t3510>. Acesso em: 20 abr. 2014.

NUNES, D. L. **Preparação de carvão ativado a partir de torta prensada de *raphanus sativus* l. e utilização para clarificação de soluções.** 2009. 117 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Farmácia – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte- MG, 2009. Disponível em: < <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/URMR-87QNMV>>. Acesso em: 20 set. 2014.

PAYNE, J. H. **Operações unitárias na Produção de Açúcar.** 2. ed. São Paulo: Ed. Nobel/STAB, 1989.

PIMENTEL, P. A. **Análise físico-química e energética do resíduo da terra diatomácea utilizada como auxiliar de filtração na indústria de cerveja.** 2006. 105 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Estadual Paulista, Botucatu-SP, 2006. Disponível em: < <http://www.base.repositorio.unesp.br/handle/11449/90566>>. Acesso em: 26 ago. 2014.

PODADERA, P. **Estudo das propriedades do açúcar líquido invertido processado com radiação gama e feixe de elétrons.** 2007. Tese (Doutorado) – Ciências de Tecnologia Nuclear, Universidade de São Paulo- SP, 2007. Disponível em: < <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/85/.../tde.../2007PodaderaEstudo>>. Acesso em: 06 jul. 2014.

POSSA, M. V.; SANTOS, M. D. C. Tratamento de drenagem ácida de mina por processo de neutralização controlada. In: SEMINÁRIO BRASIL - CANADÁ DE RECUPERAÇÃO AMBIENTAL DE ÁREAS MINERADAS, v.1, p 234-252, Florianópolis-SC, dezembro, 2003. Disponível em: <<http://www.cetem.gov.br/publicacao/CTs/CT2003-074-00>>. Acesso em: 28 set. 2014.

RAIA R. Z. **Produção de álcool e açúcar.** Centro de Engenharias e Ciências Exatas - Universidade Estadual do Oeste do Paraná- PR, 2011. (Relatório de estágio supervisionado). Disponível em: <<http://www.dc437.4shared.com/doc/xCuhgz2d/preview.html>>. Acesso em: 05 nov. 2014.

RAMOS, P. Os mercados mundiais de açúcar e a evolução da agroindústria canavieira do Brasil entre 1930 e 1980: do açúcar ao álcool para o mercado interno. **Economia Aplicada**, v. 11, n. 4, p. 559-585, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-80502007000400006&script>>. Acesso em: 20 jun. 2014.

RIBEIRO, F. M. A Produção mais Limpa (p+l) no setor Sucroalcooleiro. **Câmara Ambiental do Setor Sucroalcooleiro: Mudanças Tecnológicas – Procedimentos.** São Paulo: CETESB, 2002. 14 p. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/>>. Acesso em: 26 abr. 2014.

RODRIGUES, M. V.; RODRIGUES, R. A.; SERRA, G. E.; ANDRIETTA, S. R.; FRANCO, T. T. Produção de xarope de açúcar invertido obtido por hidrólise heterogênea, através de planejamento experimental. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas-SP, v.202, n.1, p. 103-109,

2000. Disponível em: <[http:// www.scielo.br/scielo.php?pid=S0101-20612000000100020...sci.](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0101-20612000000100020...sci.)>. Acesso em: 15 mar. 2014.

SCALIZE, P. S.; BERNADRO, L. D. Caracterização da água de lavagem de filtros rápidos de estações de tratamento de água e dos sobrenadantes e sedimentos obtidos após ensaios de clarificação utilizando polímero aniônico. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27., Lima – Peru, 1998. Disponível em: <[http:// www.bvsde.paho.org/bvsaidis/tratagua/ii-023](http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/tratagua/ii-023)>. Acesso em: 03 out. 2014.

SHIKIDA, P. F. A; BACHA, C. J. C. Evolução da agroindústria canavieira brasileira de 1975 a 1995. **Revista brasileira de economia**, v. 53, n. 1, p. 69-90, 1999. Disponível em: <[http://www. bibliotecadigital.fgv.br](http://www.bibliotecadigital.fgv.br)>. Acesso em: 15 de mar. 2014.

SHIKIDA, P. F. A., ALVES, L. R. A., PIFFER, M. Estratégias tecnológicas na agroindústria canavieira do Paraná. **Organizações Rurais & Agroindustriais**, Paraná, v. 2, n. 1, 2011. Disponível em: <[http:// www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103...](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103...)>. Acesso em: 06 abr. 2014.

SILVA, T. A. **Avaliação do resíduo argiloso proveniente da indústria do alumínio como adsorvente de corantes têxteis**. 2008. 102 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008. Disponível em: <[http://www repositório.ufpe.br/bitstream/handle/123456789/.../arquivo2535_1.pdf?](http://www.repositorio.ufpe.br/bitstream/handle/123456789/.../arquivo2535_1.pdf?)>. Acesso em: 16 set. 2014.

UNICA – UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. **Preço do Açúcar se Recupera e Deve Fechar Ano Aquecido. Folha de Londrina**. Londrina: UNICA, 14 de outubro 2014. Disponível em:<<http://www.folhaweib.com.br/>>. Acesso em: 22 out. 2014.

WAACK, R.S.; NEVES, M. **Sistema Agroindustrial da Cana-de-açúcar e Sistema Agroindustrial da Soja: Competitividade no Agribusiness Brasileiro**. São Paulo: IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada), v.5, 69 p. Disponível em: <[http:// www.agencia.cnptia.embrapa.br/.../Vol_V_CANAparte1_000fxg2yfra02...](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/.../Vol_V_CANAparte1_000fxg2yfra02...)>. Acesso em: 05 nov. 2014.

ZURITA, E. J. C. **Avaliação da inversão da sacarose em um sistema de evaporação (evaporador de filme descendente com promotor de película)**. 2008. 98 f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Química, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo-SP, 2008. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/41/41134/tde...>. Acesso em: 12 ago. 2014.