



UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS I - CAMPINA GRANDE
DEPARTAMENTO QUÍMICA
CENTRO CIÊNCIAS E TECNOLOGIA /CURSO DE QUÍMICA INDUSTRIAL

JOANA GABRIEL CORDEIRO

**AVALIAÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO E DAS CARACTERÍSTICAS
FÍSICO-QUÍMICAS DO AÇÚCAR TIPO VERY HIGH POLARIZATION (VHP)**

CAMPINA GRANDE – PB

2020

JOANA GABRIEL CORDEIRO

**AVALIAÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO E DAS CARACTERÍSTICAS
FÍSICO-QUÍMICAS DO AÇÚCAR TIPO VERY HIGH POLARIZATION (VHP)**

Trabalho de Conclusão de Curso em Química Industrial da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do Título de Bacharel em Química Industrial.

Orientadora: Dra. Marcia Ramos Luiz

Coorientadora: Dra. Morgana de Vasconcellos Araújo

CAMPINA GRANDE – PB

2020

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

C794a Cordeiro, Joana Gabriel.

Avaliação do processo produtivo e das características físico-químicas do açúcar tipo Very High Polarization (VHP) [manuscrito] / Joana Gabriel Cordeiro. - 2020.

54 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2021.

"Orientação : Profa. Dra. Marcia Ramos Luiz, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - CCT."

1. Cana-de-açúcar. 2. Açúcar. 3. Produção de açúcar. I.

Título

21. ed. CDD 664.12

JOANA GABRIEL CORDEIRO

**AVALIAÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO E DAS CARACTERÍSTICAS
FÍSICO-QUÍMICAS DO AÇÚCAR TIPO VERY HIGH POLARIZATION (VHP)**

Trabalho de Conclusão de Curso em
Química Industrial da Universidade
Estadual da Paraíba, como requisito
parcial à obtenção do Título de Bacharel
em Química Industrial.

Aprovada em: 22 / 12 / 2020.

BANCA EXAMINADORA



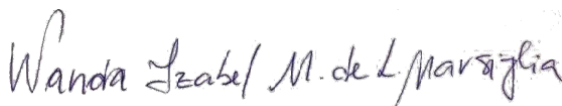
Dra. Marcia Ramos Luiz (Orientadora)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Dra. Morgana de Vasconcellos Araújo (Coorientadora)
Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)



Dra. Pablicia Oliveira Galdino
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Dra. Wanda Izabel Monteiro de Lima Marsiglia
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

CAMPINA GRANDE – PB

2020

A minha avó Maria Alba Verissimo e seu filho
Zezé Veríssimo Diniz, pela dedicação,
confiança, DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus que permitiu que tudo isso acontecesse, ao longo de minha vida e não somente neste ano como universitário, mas que em todos os momentos foi e é o maior mestre que alguém pode conhecer.

À minha avó Maria Alba Verissimo, que tem estado em todos os momentos de minha vida, difíceis e felizes, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

Ao meu namorado Eryson Luís, pelo amor, companheirismo, amizade e principalmente pela paciência.

Aos meus tios Zezé, Zélia e Josélia e seus familiares que sempre me apoiaram nessa jornada acadêmica.

À minha orientadora Márcia Ramos Luiz e a coorientadora Morgana de Vasconcellos Araújo, pela disponibilidade, paciência, empenho e dedicação à elaboração deste trabalho.

A coordenação de química industrial da Universidade Estadual da Paraíba.

As amigas de universidade Alanna Sousa e Niedja Amaro.

Aos professores Ligia Ribeiro, Maristela Alves, Wanda Marsiglia, Germano Veras, Adriana Arruda, Morgana de Vasconcellos, Pablícia Galdino, Helvia e Ângela Santiago.

Ao Dr. Ulysmar Curvelo Cavalcanti e Dra. Kiara de Fatima Ribeiro que me proporcionaram a oportunidade de fazer as análises e me ajudar dentro da usina.

Aos meus amigos e familiares Aline Sousa, Alanna Sousa, Katiani Freire, Sidcley Sousa, Jalmir Sousa, Almir Sousa, Ana Maria Sousa, Marcos Falcao, Geane Meira, Leonardo Verissimo, Ana Maria Marinho Diniz, Jamilly Verissimo.

A todos, que direta ou indiretamente fizeram parte dessa etapa decisiva em minha vida.

Muito obrigada!

“Acredite na força de seus sonhos. DEUS é justo e não colocaria em seu coração um desejo impossível de ser realizado”.

Fabio de Melo

RESUMO

O açúcar é um alimento consumido por muitos brasileiros. Esse consumo veio se expandindo cada vez mais. Atualmente, existem diversos tipos de açúcares, dentre eles o Açúcar Very High Polarization (VHP), sendo esse o mais exportado do Brasil. Este trabalho teve como objetivo acompanhar o processo industrial de produção do açúcar VHP e avaliar suas propriedades físico-químicas. Foram analisadas as amostras de Xarope, Massa A, Massa B, Mel A, Mel Final e Magma, quanto aos seguintes parâmetros físico-químicos, teor de umidade, pH, Brix, Cor e Polarização durante o processo de fabricação do açúcar, em seguida, submetido a avaliação do padrão de qualidade seguindo a legislação vigente. Os resultados obtidos para cor de 786, polaridade 99,27 e umidade 12 apresentaram valores em conformidade com a Legislação. Desta forma, o produto final obtido pelo processo industrial apresentou qualidade dentro do padrão estabelecido.

Palavras-Chave: Cana-de-açúcar. Açúcar VHP. Exportação.

ABSTRACT

Sugar is a food consumed by many Brazilians. This consumption has been expanding more and more. Currently, there are several types of sugars, including Very High Polarization Sugar (VHP), the most exported in Brazil. This work aimed to monitor the industrial process of production of VHP sugar and evaluate its physical and chemical properties. Samples of Syrup, Mass A, Mass B, Honey A, Final Honey and Magma were analyzed for the following physical-chemical parameters, moisture content, pH, Brix, Color and Polarization during the sugar manufacturing process, then, submitted to evaluation of the quality standard following the current legislation. The results obtained for color of 786, polarity 99.27 and humidity 12 showed values in accordance with the legislation. Thus, the final product obtained by the industrial process showed quality within the established standard.

Key words: Sugarcane. VHP sugar. Export.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Principais países importadores de Açúcar em 2019	14
Figura 2: Processo de Fabricação do Açúcar	15
Figura 3: <i>Sistema de recepção, controle, descarga e limpeza da cana</i>	18
Figura 4: <i>Sistema de Moagem</i>	19
Figura 5: Peneira rotativa da DGVITEC.....	20
Figura 6: Tanque de tratamento do caldo.....	20
Figura 7: Esquema de um sistema de caleação.....	25
Figura 8: Aquecedores horizontais e verticais.....	26
Figura 9: Esquema de decantação	27
Figura 10: Decantador	28
Figura 11: Filtro rotativo a vácuo	29
Figura 12: Evaporadores de múltiplos efeitos.....	30
Figura 13: Sistema de Evaporação	32
Figura 14: Cozedores	33
Figura 15: Cristais uniformes e de excelente qualidade	35
Figura 16 - Massas A e B	37
Figura 17: Sistema de automação de uma centrífuga	38
Figura 18: Centrífuga batelada	38
Figura 19 - Açúcar já centrifugo e sendo transportado para os secadores.....	39
Figura 20: Secador	39
Figura 21: Fluxograma de produção de açúcar	41
Figura 22: Tipos de açúcar	41
Figura 23: Açúcar VHP	43
Figura 24: Phmetro	45
Figura 25: Refratômetro.....	46
Figura 26: Sacarímetro	47
Figura 27: Analisador de Umidade	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação das partículas dispersas no caldo de cana-de-açúcar	21
Tabela 2: Parâmetros do Açúcar VHP	44
Tabela 3 - Resultados das análises físico-químicas do processo de fabricação de açúcar VHP	50
Tabela 4 – Parâmetros de qualidade do Açúcar VHP	51
Tabela 5 – A Resultados obtidos na análise do Açúcar VHP	51

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVOS	11
1.1.1 Objetivo Geral	11
1.1.2 Objetivos Específicos	11
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	12
2.1 AÇÚCAR	12
2.1.1 Mercado de açúcar no Brasil	13
2.1.2 O açúcar como matéria prima	14
2.2 PROCESSO PRODUTIVO DO AÇÚCAR	15
2.2.1 Processos mecânicos para obtenção do caldo	17
2.2.1.1 Colheita da cana-de-açúcar	17
2.2.1.2 Recepção, Controle, Descarga e Limpeza da Cana-de-açúcar.....	17
2.2.1.3 Moagem da cana-de-açúcar.....	18
2.2.1.4 Peneiramento do Caldo.....	20
2.2.2 Tratamento Químico do Caldo	20
2.2.2.1 Clarificação do Caldo	22
2.2.2.2 Coagulação, floculação e precipitação do caldo	23
2.2.2.3 Caleação	24
2.2.2.4 Aquecimento do caldo.....	25
2.2.2.5 Flasheamento.....	26
2.2.2.6 Decantação	27
2.2.2.7 Filtração.....	29
2.2.2.8 Evaporação.....	30
2.2.2.9 Cozimento e cristalização.....	33
2.2.2.10 Centrifugação.....	37
2.2.2.11 Secagem e armazenamento do açúcar.....	39
2.2.3 Tipos de açúcares	41
2.2.3.1 Açúcar Mascavo	41
2.2.3.2 Açúcar Demerara.....	42
2.2.3.3 Açúcar Cristal.....	42
2.2.3.4 Açúcar Orgânico	42
2.2.3.5 Açúcar Confeiteiro.....	42
2.2.3.6 Açúcar Açúcar Very High Polarization (VHP).....	42
2.4 CARACTERÍSTICAS DO AÇÚCAR VHP	43
2.4.1 Os parâmetros de qualidade do açúcar VHP	43
2.4.2 Produção do açúcar VHP	44
3 METODOLOGIA.....	45
3.1 DETERMINAÇÃO DE pH NO XAROPE.....	45
3.2 DETERMINAÇÃO DE BRIX DO XAROPE	46
3.3 DETERMINAÇÃO DE POL DO XAROPE	46
3.4 DETERMINAÇÃO DE BRIX EM MASSAS COZIDAS, MÉIS E MAGMA.....	47
3.5 DETERMINAÇÃO DE POL EM MASSAS COZIDAS, MÉIS E MAGMA.....	47
3.6 DETERMINAÇÃO DA UMIDADE EM AÇÚCAR VHP	48
3.7 DETERMINAÇÃO DA COR ICUMSA EM AÇÚCAR VHP MÉTODO MOPS.....	48
3.8 DETERMINAÇÃO DA POLARIZAÇÃO ICUMSA EM AÇÚCAR VHP	49
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	50
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	52
REFERÊNCIAS.....	53

1 INTRODUÇÃO

O açúcar sempre foi considerado um alimento de suma importância para a humanidade. No Brasil, há em vários estados plantações de cana-de-açúcar, seja produzindo apenas açúcar ou açúcar e álcool. Com o passar dos anos, o açúcar vem se expandindo em todo território Brasileiro (SIAMIG, 2020). O Estado de São Paulo é hoje o principal produtor de açúcar do Brasil, onde concentra-se 42,29% do total de unidades de produção de açúcar (NACHILUK,2020).

No Brasil são produzidos diversos tipos de açúcares, com diferentes tonalidades, desde o açúcar mascavo, mais escuro, até o açúcar refinado amorfo mais claro. O tipo de açúcar analisado nesse trabalho foi o açúcar tipo VHP (*Very High Polarization*), que é o açúcar usado para exportação, sendo esse utilizado como matéria prima, onde passará pelo processo de clarificação e refino.

O órgão que rege qualificar os parâmetros de qualidade de exportação de açúcar VHP é o do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2018). Foram realizadas análises de polarização, cor, e umidade e em seguida comprando com os parâmetros, também foram feitas análises durante todo processo de fabricação de açúcar como análises do xarope, determinação de brix de massa cozida, méis e magma.

Além das análises foram estudadas detalhadamente todo o processo industrial da produção do açúcar VHP. Na qual vimos que diferente dos outros tipos de açúcar o VHP não passa pelo processo de clarificação. E possui uma baixa umidade e uma alta polarização por ser um produto destinado ao refino.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar a qualidade do açúcar VHP em uma usina paraibana através de características físico-químicas.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Acompanhar o processo industrial de produção do açúcar VHP.
- Realizar as análises físico-químicas durante a produção do açúcar tipo Very High Polarization (VHP).

- Comprovar pela legislação pertinente a qualidade do açúcar VHP para comercialização.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 AÇÚCAR

É muito difícil determinar quando o açúcar se tornou conhecido da humanidade, mas, possivelmente, passou da Nova Guiné para Índia, muitos séculos antes de Cristo. Os métodos de extração e de purificação do açúcar da cana foram muito lentamente desenvolvidos; existem registros de métodos grosseiros que foram trazidos do Oriente para a Europa, por volta de 1400. O comércio de açúcar entre Ásia e Europa era um dos mais importantes nos séculos passados (NORRIS; BRINK, 1980).

Segundo Machado (2013), o açúcar chegou no Brasil por Martim Afonso de Souza que em 1532 trouxe a primeira muda de cana ao Brasil e iniciou seu cultivo na capitania de São Vicente. Lá, ele construiu o primeiro engenho de açúcar. Mas foi no Nordeste, principalmente nas Capitanias de Pernambuco e Bahia, que os engenhos de açúcar se multiplicaram.

O Brasil produzia açúcar que era explorado pela coroa portuguesa. O açúcar era conhecido como um alimento luxuoso, em que rainhas faziam colares e colocavam dentro do seu pingente cristais de açúcar.

O setor sucroalcooleiro tem crescido nos últimos anos, e atualmente o Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar. O segundo maior produtor de de etanol, situando-se entre os maiores exportadores de açúcar. (NACHILUK,2020).

No final dos anos 50 e início da década de 60, em razão da topografia acidentada nas principais regiões produtoras do Estado; da pequena escala de produção; da obsolescência das instalações industriais e de um gerenciamento inadequado, a produção de açúcar em Minas Gerais começa a cair na Zona da Mata. Inicia-se um processo de expansão da cultura em áreas mais planas para introdução das novas tecnologias como no Triângulo Mineiro, que se tornou a principal região produtora do estado (SIAMIG, 2020).

Já de acordo com atualidade , o estado de São Paulo, de acordo com os dados divulgados pela Companhia Nacional de abastecimento-CONAB (permanece como o principal produtor em âmbito nacional, respondendo por 53,7% da produção brasileira de cana-de-açúcar na safra 2019/20, em curso, e deverá ser responsável pela produção de 46,2% de etanol (16,4 bilhões de litros) e 62,6% do açúcar (18,8 milhões de toneladas). No estado, concentra-se 42,29% do total de unidades de produção de açúcar e álcool distribuídos no país, segundo o cadastro do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. (NACHILUK,2020).

Açúcar é um termo genérico para carboidratos cristalizados comestíveis, principalmente sacarose, lactose e frutose. Especificamente, monossacarídeos e oligossacarídeos pequenos. A sua principal característica é o sabor adocicado. No popular “açúcar” costuma se referir à sacarose, identificando outros açúcares por seus nomes específicos (glicose, frutose, entre outros). A palavra “açúcar” tem sua origem no termo sânscrito *çarkara* (em *prácrito*, *sakkar*), que significa “grãos de areia” (REIS, 2020).

2.1.1 Mercado de açúcar no Brasil

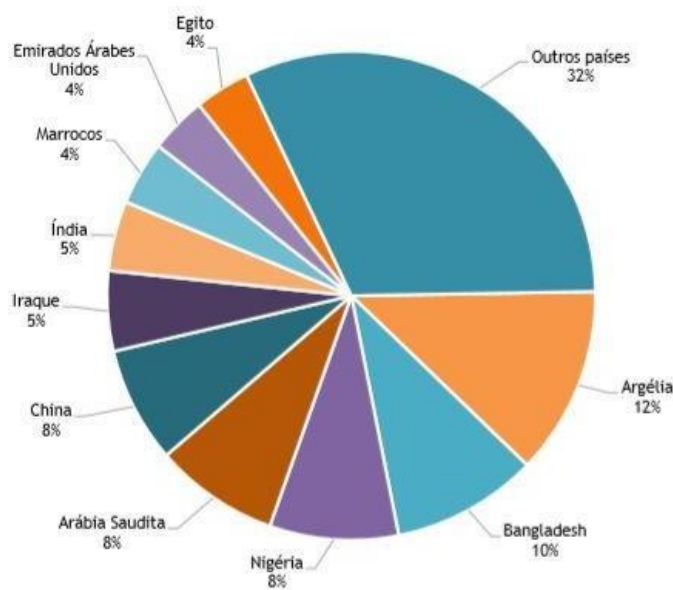
O Brasil, que possui uma longa relação com a cana desde a época colonial, transformou-se atualmente . A estimativa de produção mundial de açúcar para a safra 2019/20, de acordo com a USDA8, será em torno de 174 milhões de toneladas. O país deverá ser responsável pela produção estimada de 17,3% do açúcar mundial. Os principais países produtores de açúcar a partir de cana são Brasil, Tailândia e Índia.

Em 2019, o país exportou 18,04 milhões de toneladas de açúcar, valor 17,4% inferior ao total exportado em 2018, de acordo com a Base de Dados AliceWeb do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior⁹. Do total exportado, 14,06 milhões de toneladas (US\$5,25 bilhões/FOB) foram embarcados no porto de Santos. Os principais destinos foram Argélia, Bangladesh, Arábia Saudita, China, Iraque, Índia, Marrocos, Emirados Árabese Egito (Figura 1) (IEA, 2020).

A cana ocupa mais da metade das lavouras do estado de São Paulo (excluídas as pastagens), onde se fabricam quase dois terços de todo o

açúcar brasileiro, sendo esse Estado responsável por 70% das exportações brasileiras. Consomem-se, a cada ano, no Brasil, 52 quilos de açúcar per capita (a média mundial é de 22 quilos), utilizando a cana plantada em cerca de 9 milhões de hectares de terra (REIS, 2020).

Figura 1: Principais países importadores de Açúcar em 2019.



Fonte: MAPA (2020)

2.1.2 O açúcar como matéria prima

A qualidade tecnológica do caldo de cana é avaliada por sua composição, que depende de fatores genéricos e ambientais, estados de maturação, sistema de colheita, processo de extração do caldo e de muitos outros. A maturação da cana, além da importância com relação ao teor de açúcar total para fins de rendimento industrial, é também relevante para alguns elementos envolvidos no desempenho do processo. A alta pureza da cana é a garantia de facilidade na fabricação, de melhor qualidade do açúcar e altos rendimentos (ALBUQUERQUE, 2011).

A polarização do açúcar oficialmente expressa em graus Zucker (°Z) define o teor aparente de sacarose determinada por técnicas polarimétrica, cujo valor para açúcar de consumo direto é sempre superior a 99,7%. Açúcares com

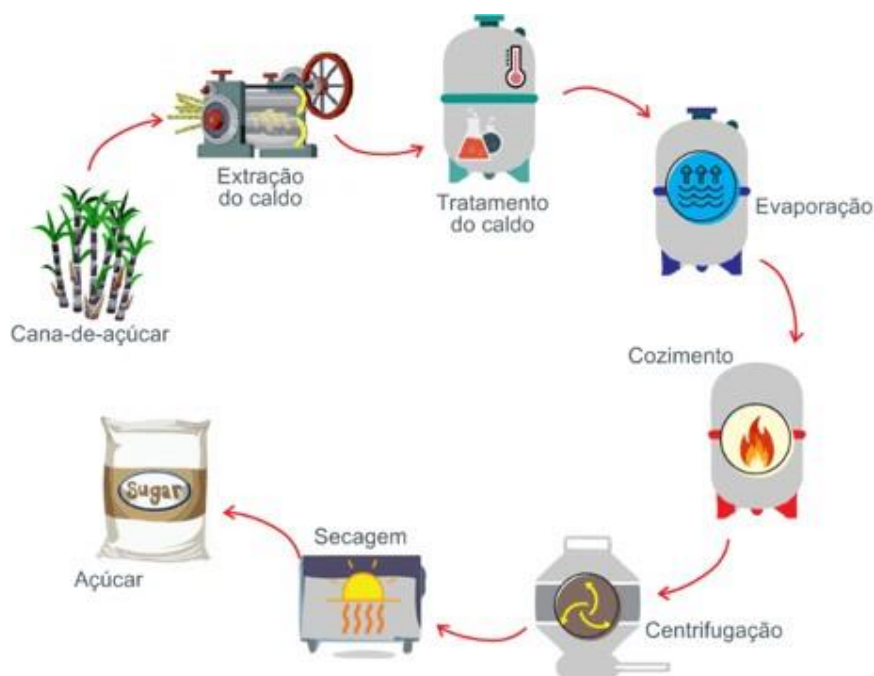
teores de sacarose inferior a 99,5% são basicamente utilizados como matéria-prima para posterior refino e nunca são consumidos diretamente, exceto nos casos de açúcar mascavo e rapadura (OLIVEIRA *et al.*, 2007).

2.2 PROCESSO PRODUTIVO DO AÇÚCAR

O processo de fabricação de açúcar visa, de forma resumida, à extração do caldo contido na cana, seu preparo e “concentração”, culminando com os vários tipos de açúcares conhecidos, como: demerara, mascavo, cristal, refinado, líquido, VHP, entre outros (MACHADO, 2020).

O açúcar pode ser produzido a partir de diferentes matérias-primas, tais como: cana-de-açúcar, beterraba, sorgo-sacarino, milho, coco, dentre outros. No Brasil e na Índia, a cana-de-açúcar é a matéria-prima predominantemente utilizada para a produção industrial do açúcar, enquanto que, em grande parte da Europa, a beterraba açucareira é a fonte que se destaca na produção (BETAEQ, 2019). A Figura 2 apresenta as etapas de fabricação do açúcar.

Figura 2: Processo de Fabricação do Açúcar.



Fonte: BETAEQ (2019).

De acordo com BETAEQ (2019), as etapas estão discriminadas da seguinte forma:

- Extração do caldo: consiste no processo físico de separação do caldo da fibra (bagaço). Esta operação é realizada em equipamentos denominadas moendas e/ou difusores.
- Tratamento do caldo: são retiradas todas as impurezas solúveis e insolúveis contidas no caldo extraído. Esta etapa envolve o aquecimento, tratamento químico, decantação e peneiramento.
- Evaporação: o caldo, composto basicamente por água, sais minerais e açúcares, precisa ser concentrado para a produção do açúcar. O xarope é então obtido pela evaporação da água até a concentração de aproximadamente 65° brix (% de sólidos solúveis).
- Cozimento: novo aquecimento leva a cristalização e recuperação de 80% a 85% da sacarose que estão no xarope, e dá origem a uma massa com os grãos de açúcar.
- Centrífuga: o açúcar é separado fisicamente (centrifugado) e lavado com água quente e vapor, tendo como subproduto o mel que poderá ser utilizado na produção de etanol.
- Secagem: grande parte da umidade contida no açúcar é retirado em secadores. Após a secagem o produto pode ser peneirado, envasado e estocado.

Neste elo de fabricação, destacam-se o açúcar destinado diretamente ao consumo humano, como também direcionado ao setor da indústria alimentícia. A menor parcela do açúcar brasileiro é destinada ao mercado interno (37%), distribuído para as indústrias de atacado e varejo. No caso do mercado externo, o açúcar é exportado tipo Very High Polarization (VHP), que é utilizado como insumo no processo de refinação. O mercado de açúcar atende ao comércio atacadista que, por conseguinte, distribuirá o produto para o comércio varejista e indústria de alimentos que, por fim, destinará o produto ao consumidor final (MACHADO, 2020).

2.2.1 Processos mecânicos para obtenção do caldo

2.2.1.1 Colheita da cana-de-açúcar

No Brasil, inicia-se a colheita em maio e em algumas unidades sucroalcooleiras em abril, prolongando-se até novembro, período em que a planta atinge o ponto de maturação, devendo, sempre que possível, antecipar o fim da safra em alguns estados por terem um período bastante chuvoso, que dificulta o transporte de matéria prima e faz cair o rendimento industrial mecanicamente. (MACHADO,2008)

No Brasil, a maioria da colheita ocorre mecanicamente. Os sistemas de colheita mecanizados podem ser colhedores de cana inteira ou colhedores de cana picada. Os sistemas de cana inteira, geralmente, deixam a cana no solo para coleta pelo equipamento de carregamento, depois que os colmos são cortados na base e no topo, próximo ao último entrenó maduro (REIN, 2013).

2.2.1.2 Recepção, Controle, Descarga e Limpeza da Cana-de-açúcar

Logo após o corte, a cana é movida mecanicamente através de carregadeiras, que chegam a carregar muitas impurezas. As impurezas encontram-se em função do arrancamento de touceiras, um problema que está associado à variedade de cana, às técnicas de plantio ou até mesmo ao equipamento de colheita, principalmente dependendo do estado em que se encontram as navalhas de corte.

Em algumas usinas, os veículos de transporte de cana passam por uma balança para serem pesados, de onde é retirada uma amostra da matéria prima para ser analisada a quantidade de açúcares, fibras e impurezas. Estando de acordo com os parâmetros, a cana é encaminhada para as usinas .

Como a cana vem com muitas impurezas é necessário passar pelo processo de lavagem, que pode ser realizado com a água, sendo aplicada diretamente na mesa alimentadora. Muitas usinas fazem esse tipo de tratamento para fazer o aproveitamento da água.

A lavagem é iniciada na esteira de taliscas de arrasto saindo do banho hidráulico. Utiliza-se o princípio da cascata, com um grande volume de água

adicionando próximo ao topo da esteira, rampa de cascateamento, num fluxo turbulento, eliminando a terra através das ranhuras, acima do nível da água do banho (PAYNE, 2010).

O sistema de recepção, controle, descarga e limpeza da cana da usina em estudo é ilustrado na Figura 3. Todas as imagens utilizadas no processo produtivo foi autorizada pela empresa para divulgação nesse trabalho.

Figura 3: Sistema de recepção, controle, descarga e limpeza da cana



Fonte: Própria (2020).

2.2.1.3 Moagem da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar, após ser descarregada e limpa, é encaminhada para a mesa alimentadora para começar o processo de moagem, onde no primeiro terno se extrai uma quantidade pura e significativa do caldo, nos outros ternos é adicionado água para se obter maior extração do caldo. O objetivo da moagem é extrair a maior parte do caldo, pois é nele em que se encontra a sacarose.

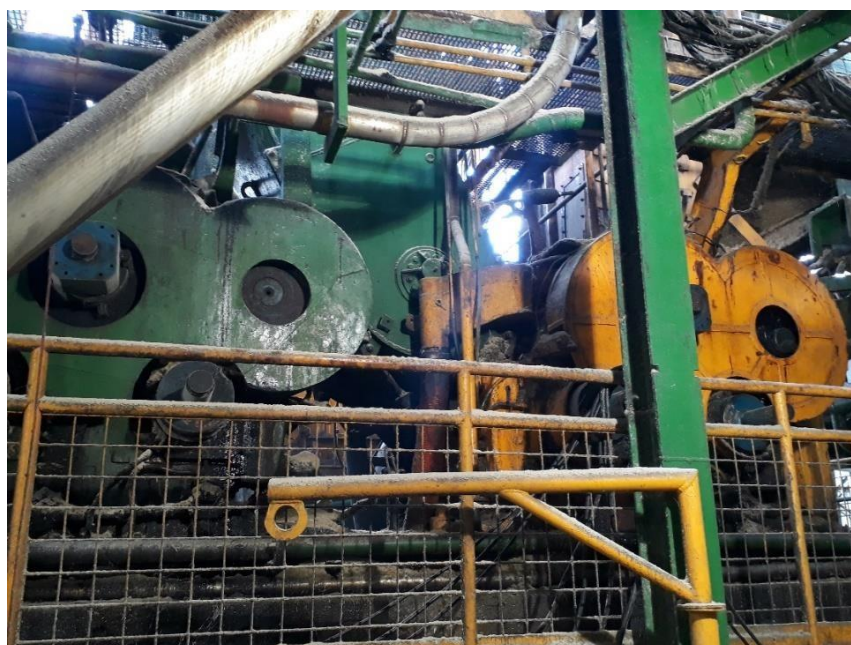
A moagem é um processo físico (pressão mecânica dos rolos da moenda sobre o colchão de cana-de-açúcar) que consiste na separação da fibra do bagaço. O bagaço é utilizado nas caldeiras para geração de energia elétrica.

Uma seção de moagem convencional compreende equipamentos para preparar a cana-de-açúcar para a moagem, que podem ser facas rotativas, desfibradores ou combinações de facas e desfibradores; e uma série de quatro seis moinhos de três rolos (ternos). Em algumas instalações, um moinho de dois

rolos, ou esmagador, pode preceder os ternos. Um esmagador é considerado tanto uma máquina de preparo quanto um moinho (PAYNE, 2010).

A maioria das usinas no Brasil utilizam moendas para fazer a extração do caldo. As moendas são equipamentos de três cilindros (terno) sustentados por uma estrutura metálica (castelo). Na maioria das usinas são utilizados sistemas de moagem que contem 4 ternos. A Figura 4 ilustra o sistema de moagem da usina que fabrica o açúcar do presente estudo.

Figura 4: *Sistema de Moagem*



Fonte: Própria (2020).

O primeiro terno extrai cerca de 70-79% do açúcar, onde o caldo passa por peneiras e é descarregado em um tanque. Nos ternos subsequentes é feito um sistema de embebição, onde água com o caldo da cana-de-açúcar é derramado sobre os ternos, com a finalidade de lavar o bagaço assim retirando maior quantidade de açúcar, até que no 4º terno, a eficiência de retirada do açúcar da cana-de-açúcar chega até aproximadamente 97%.

Neste processo, a água com o caldo é circulada do 4º terno até o 2º, passando por todos os ternos neste sentido. O caldo extraído do 4º terno é então filtrado e descarregado no mesmo tanque onde o caldo do 1º terno foi levado. Os dois caldos juntos são chamados de caldo misto e está pronto para ser levado ao tratamento de caldo. Os rolos dos ternos possuem ranhuras que facilitam a

extração dos ternos seguintes dividindo o bagaço de maneira mais completa aumentando a eficiência (RAMPAZZO, 2014).

2.2.1.4 Peneiramento do Caldo

O próximo passo é o peneiramento do caldo para reter nas peneiras areias e pedras. As peneiras rotativas são formadas por cestos, podendo ter formas cilíndricas ou piramidal. São utilizadas para filtrar o caldo extraído das moendas. Nas Figuras 5 e 6 tem-se exemplos de peneiras rotativas.

Figura 5: Peneira rotativa da DGVITEC



Fonte: DGVITEC (2020).

2.2.2 Tratamento Químico do Caldo

Payne (2010), define o caldo sob o aspecto físico-químico: um dispersóide que contém matéria em todos os gases de dispersão, desde partículas grosseiras até íons.

Figura 6: Tanque de tratamento do caldo



Fonte: Própria (2020).

De acordo com a Figura 6, os tanques de tratamento são onde são adicionado o leite de cal e o anidro sulfuroso. O leite de cal é usado em todos os processos de açúcar, pois tem a função de elevar o pH do caldo. Já o anidro sulfuro é usado para açúcar de cores claras, pois é o que causa a clarificação do açúcar. Logo após o tratamento do caldo é irá seguir para o aquecimento do caldo para ajudar na decantação dando continuidade ao processo de fabricação do açúcar.

Segundo Albuquerque (2011), o caldo de cana-de-açúcar é uma suspensão coloidal onde as partículas suspensas apresentam diferentes tamanhos e composição heterogênea, tendo desde íons a partícula grosseira. A composição química do caldo de cana-de-açúcar pode variar segundo vários fatores e condições locais, na Tabela 1 é apresentada a classificação das partículas dispersas no caldo de cana-de-açúcar.

Tabela 1: Classificação das partículas dispersas no caldo de cana-de-açúcar

Dispersões	Diâmetro (μ)	Peso (%)	Espécies
Grosseiras	> 1	2 - 5	Bagacilho, areia, pedregulho, gravetos, entre outros.
Coloidais	0,001 a 1	0,05 - 0,3	Ceras, gorduras, proteínas, colóides, corantes, amido, tanino, gomas e dextranas, resultantes do crescimento e da ação de microrganismos, etc.
Moléculas e iônicas	< 0,001	8 - 21	Açúcares: sacarose, glicose e frutose; Sais inorgânicos: fosfato, sulfato de Ca, Mg, K e Na. Ácidos orgânicos: ácido aconítico, oxálico, málico, etc. Substâncias coloidais.

Fonte: Delgado; César (1977).

2.2.2.1 Clarificação do Caldo

Inicia-se o tratamento do caldo com o tratamento físico-químico. Nesta etapa são usadas peneiras para que os sólidos insolúveis sejam retirados a partir de uma certa granulometria.

No Brasil são utilizados dois processos de clarificação do caldo simples a sulfo-defecação, segundo o tipo de açúcar que deseja produzir. Utilizam-se apenas defecção simples quando se visa a produção de açúcar demerara (bruto) ou VHP (açúcar de polarização muito alta; já a sulfo-defecção é utilizada na fabricação do açúcar cristal branco (RIBEIRO; BLUMER; HORII,1999).

Segundo Albuquerque (2011), a clarificação é uma das etapas mais importantes, posto que uma boa clarificação do caldo depende de uma eficiente operação e rendimento do sistema nas fases subseqüentes como evaporação, cozimento, cristalização, esgotamento, entre outros. Em suma, uma boa clarificação deverá surtir efeitos altamente benéficos na qualidade e rendimento do produto final.

A clarificação do caldo pelo processo de sulfitação, baseia-se na formação do sulfito de cálcio que é um sal pouco solúvel e precipita arrastando consigo o material coloidal, que posteriormente será removido do fluxo de fabricação (RIBEIRO; BLUMER; HORII,1999).

De acordo com Albuquerque (2011), a clarificação do caldo filtrado é feita separadamente, seja por meio de decantação ou flotação, sendo o caldo claro retornando à dosagem e o lodo aos filtros. Esta técnica dá muito bom resultado, evitando a reciclagem de partículas pequenas que são difíceis de decantar e arrastam cor ao caldo clarificado.

Segundo Rein (2013), uma clarificação ruim pode ser causada por uma série de fatores como:

- Processamento de caldo que são deficientes em fosfato. É uma prática bastante comum adicionar ácido fosfórico ao caldo bruto para manter os níveis de fosfato, expresso com P_2O_5 com no mínimo 200 mg/L de caldo.
- Presença de níveis altos de dextrana no caldo bruto.
- Flasheamento/degasagem incompleta para remoção de ar dissolvido.
- Distribuição ruim do fluxo de caldo clarificador, levando a turbulência

localizada e arraste.

- Gradientes de temperaturas no clarificador devido a isolamento térmico inadequado ou controle incostante da temperatura do caldo.
- Mistura e controle inadequados da adição de cal e/ou floculante.
- Seleção e/ou preparo inadequado de floculante.

De acordo com Albuquerque (2011), com o objetivo de descrever os aspectos fundamentais da clarificação dos caldos da cana-de-açúcar, é necessário dividir nas seguintes etapas:

- Separação das impurezas que estão em suspensão nos caldos das moendas, por meio de peineiramento, coado, flotação, assentamento, sedimentação ou centrifugação.
- Assepsia da fábrica.
- Aquecimento do caldo.
- Processo de sulfo – caleação.
- Equipamento de decantação.
- O uso de leite de cal e sua preparação com densidade estável, permitindo sua adição em quantidade dosada e conhecidas, para determinadas quantidade de caldo.

2.2.2.2 Coagulação, floculação e precipitação do caldo

Logo após o tratamento primário, o caldo de cana-de-açúcar contém ainda impurezas menores, que podem ser solúveis, coloidais ou insolúveis. O tratamento químico visa, principalmente, à coagulação, à floculação e à precipitação destas impurezas, que são eliminadas através de sedimentação.

Em análises do caldo, segundo Rein (2013), todos os laboratórios das usinas usam a polarização, comumente chamada pol, para estimar o teor de sacarose no caldo. Embora esta seja uma excelente medição para soluções puras de sacarose, ela se torna progressivamente menos confiável a medida que a pureza reduz.

2.2.2.3 Caleação

A caleação consiste na adição de leite de cal, Ca(OH)_2 , suficiente para neutralizar os ácidos orgânicos presentes no caldo de cana-de-açúcar, afim de purificá-lo. Em resumo, suas principais funções são:

- Neutralizar a acidez do caldo.
- Corrigir o pH até o valor desejado 7,5-8,0 no açúcar VHP.
- Floculação e arraste de partículas em suspensão.

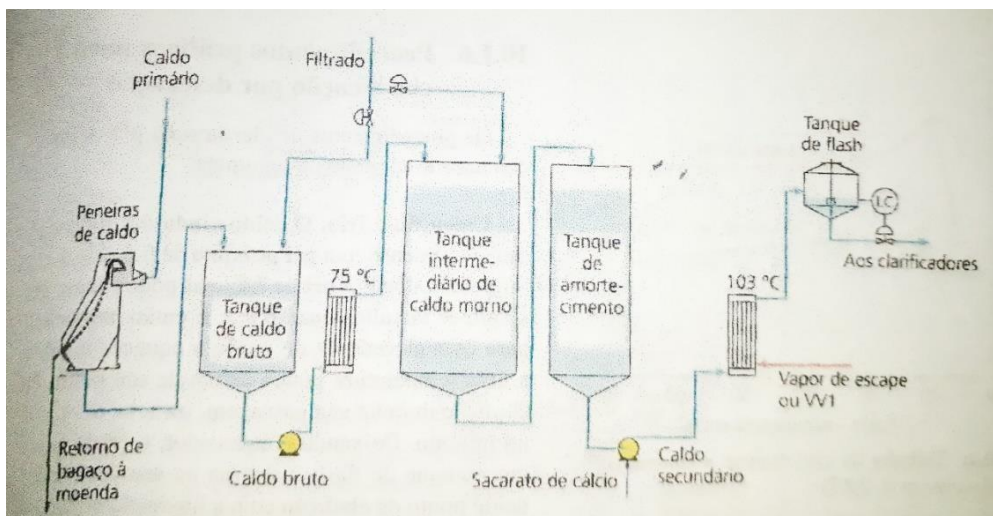
Para a fabricação do açúcar VHP, o caldo passa por uma clarificação simples, que consiste apenas em um tratamento de caleação do leite de cal para coagular parte do material coloidal, precipitar as impurezas e elevar o seu pH.

A operação de calear o caldo é uma das mais importantes no processo de fabricação de açúcar e os resultados que podem ser obtidos com uma operação correta são mais importantes que o normalmente se considera (ALBUQUERQUE, 2011).

O pH exato de uma calagem de um caldo varia com a composição, de modo que seus ajustes sejam frequentes aos pontos de controles essenciais. Quando se tem uma cana-de-açúcar de boa qualidade, ocorre uma boa clarificação, ou seja, há uma boa floculação da matéria em suspensão, decantação rápida e fluxo de caldo limpo. Com uma cana-de-açúcar de má qualidade é impossível obter uma boa clarificação e uma decantação rápida. Isso é causado pela dextrana, que através de uma ação protetora dos coloides, impede uma boa floculação.

Nesses casos uma caleação mais alta pode mostrar-se útil, mesmo que os efeitos na cristalização do açúcar sejam menos favoráveis (PAYNE; HUGOT, 2010). Segundo Rein (2013) é instalado um tanque intermediário de caldo aquecido e às vezes, é instalado um pequeno tanque pulmão. A primeira dosagem de cal é feita após o tanque intermediário a cerca de 75°C no centro da admissão da bomba de caldo que o bombeia para o segundo aquecimento. Um esquema de um sistema de caleação é ilustrado na Figura 7.

Figura 7: Esquema de um sistema de caleação.



Fonte: REIN (2013).

A caleação consiste no aumento da temperatura para a formação de um precipitado flocoso de composição complexa, na qual se encontram partículas de fosfato de cálcio, sais de ácidos orgânicos, gorduras, ceras e gomas. Esse precipitado adsorve e arrasta grande parte do material suspenso no caldo, sendo posteriormente separado por decantação.

2.2.2.4 Aquecimento do caldo

Logo após o tratamento químico, o caldo é aquecido, geralmente, a uma temperatura entre 103 a 105°C, com o objetivo de diminuir a viscosidade do fluido, facilitando a decantação e promovendo a formação de uma quantidade maior de aglomerados coloidais que precipitarão no decantador, formando o lodo de sedimentação que será filtrado. Desse processo obtém-se um caldo limpo e clarificado e um subproduto chamado torta de filtro, rico em sais minerais e que será utilizado como adubo orgânico (PROENG, 2012).

De acordo com Albuquerque (2011), o objetivo do aquecimento do caldo é eliminar microrganismos por esterilização, completar reações químicas com agente alcalinizantes, coagular e flocular as impurezas insolúveis e remover os gases. Outro efeito importante do aquecimento é relacionado das reações que são substancialmente aumentadas com efeito da temperatura.

Em resumo, o aquecimento do caldo tem como principais funções:

- Acelerar as reações químicas.
- Facilitar as reações do caldo.
- Promover a coagulação das proteínas.
- Diminuir a densidade e viscosidade.
- Provocar a floculação.
- Eliminar e impedir o desenvolvimento de bactérias.

De acordo com Albuquerque (2011), aquecedores devem ser adquiridos e avaliados segundo sua superfície interna. Afirma-se que uma alta velocidade dificulta a deposição de partículas e conseqüentemente, diminui as incrustações.

A Figura 8 ilustra aquecedores horizontais e verticais.

Figura 8: Aquecedores horizontais e verticais.



Fonte: Albuquerque (2011).

2.2.2.5 *Flasheamento*

O flasheamento consiste na expansão brusca do caldo, em que a pressão na tubulação é diminuída para a pressão atmosférica. Esta ebulição explosiva e violenta elimina o ar e os gases dissolvidos contidos no caldo, inclusive aquele adsorvido na superfície das partículas de bagacilho.

Após o aquecimento, o caldo vai para o balão *flash*, que tem a função de liberar todas as partículas em suspensão das bolhas de ar que ali estão agregadas e que comprometeriam a decantação e clarificação, se não fossem

retiradas. A finalidade principal do balão de *flash* é eliminar o ar dissolvido no caldo.

2.2.2.6 Decantação

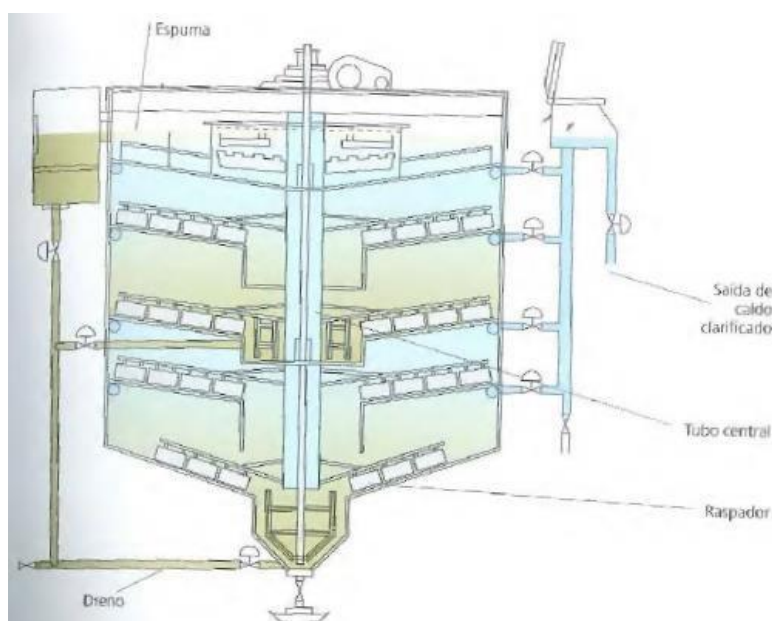
Após a passagem pelo balão de *flash*, o caldo é posto em repouso, para retirar as impurezas por meio de floculação e sedimentação na qual chama-se de decantação.

A decantação é um processo que leva em média 3 horas no decantador convencional e 1 hora no decantador mais rápido e moderno. É constante a aplicação de flocculantes na entrada do decantador, pois os flocculantes são colocados para que ocorra uma remoção de impurezas.

Segundo Albuquerque (2011), os decantadores são equipamentos com um tanque *flash*, onde o caldo após sua alimentação sofre ebulição a pressão atmosférica eliminando os gases. A sua temperatura estável na faixa de 105 a 110°C é indispensável para uma correta remoção do ar no tanque *flash*.

O tipo de decantador mais utilizado nas usinas de açúcar é o do tipo Dorr, pois ele apresenta várias bandejas para elevar a área de decantação. Seu esquema é exposto na Figura 9.

Figura 9: Esquema de decantação



Fonte: REIN (2013).

De acordo com Rein (2013), no decantador do tipo dorr o caldo a ser clarificado entra tangencialmente na região superior do decantador. Parte do lodo sobe para superfície na forma de espuma; um raspador especial empurra a espuma para um pequeno duto de descarga lateral, que a elimina.

Um tubo central conecta a parte superior aos vários compartimentos por dutos que o direcionam através do espaço anular, no qual o lodo desde do fundo do clarificador.

O lodo que se depositar em cada bandeja é movimentado lentamente em direção ao centro, onde cai pela passagem anular ao fundo do vaso, descendo ao longo do comprimento e na parte externa do tubo central. O caldo clarificado é retirado de cada compartimento por tubos na parte superior, próximos a parede do clarificador e encaminhado para uma “caixa de caldo”, em que a saída de cada compartimento pode ser regulada por um tubo deslizante no final do tubo no interior do decantador.

Na Figura 10 é apresentado um decantador da empresa estudada.

Figura 10: Decantador



Fonte: Própria (2020).

As condições importantes para se obter um bom desempenho dos decantadores:

- Estabilidade no processo que se implanta principalmente a velocidade do caldo através do decantador indicada pelo tempo de retenção no interior do mesmo.
- Alimentação bem distribuída do caldo no decantador.
- O tempo ideal de retenção do caldo no decantador é o mínimo que se necessita para coseguir um caldo limpo e claro.

- Velocidade estável da decantação do caldo no interior do decantador.
- A operação do decantador deve ser conduzida com nível mínimo de lodo.
- Evitar a formação de gases no seio do decantador, mediante uma apropriada distribuição de fluxo do caldo e uma correta extração dos gases.

2.2.2.7 Filtração

O caldo após ser decantado é peneirado e filtrado para que ocorra a remoção do bagaço muito fino que não pode ser separado juntamente com o lodo para o sistema de filtração .

A filtração tem como principal objetivo filtrar o lodo do decantador e recuperar o açúcar contido fazendo que este retorne para o processo na forma de caldo filtrado. Nas usinas, geralmente, é utilizado o filtro rotativo a vácuo (Figura 10), pois substitui o filtro de prensa. O filtro rotativo a vácuo é composto de tambor perfurado que gira em volta do eixo horizontal e parcialmente submerso ao líquido a ser filtrado.

Segundo Albuquerque (2011) a grande vantagem do filtro rotativo a vácuo é a redução da mão de obra necessária nos filtros de prensa. Sua grande desvantagem é que raramente se produz caldo filtrado suficiente para passar aos evaporadores.

Figura 11: Filtro rotativo a vácuo



Fonte: REIN (2013).

A filtração do lodo segue, normalmente, os seguintes passos:

- Inicia-se o ciclo de lavagem no baixo vácuo para formação e espessamento da camada filtrante (lodo + bagacinho).
- No alto vácuo, recupera-se o caldo claro, com lavagem da torta formada.
- Após a lavagem, o alto vácuo propicia a secagem da torta.
- Ao final, sem ação de vácuo, um raspador realiza o desprendimento da torta de filtro.

O lodo filtrado é enviado ao evaporador e o material retido no filtro, que recebe o nome de torta, é enviado à lavoura para ser utilizado como adubo.

2.2.2.8 Evaporação

O caldo clarificado tem sua concentração aumentada pela evaporação, pois o excesso de água do caldo é liberado nessa etapa do processo de fabricação do açúcar. Deseja-se produzir um xarope com um 60 – 70° Brix.

A concentração do caldo, por motivos técnicos e econômicos é realizada em duas etapas.

a) Primeira etapa:

Essa etapa ocorre em evaporadores de múltiplos efeitos (Figura 12) aquecidos a vapor, produzindo “xarope”. O vapor que iria ser necessário para operar os evaporadores em simples efeito iria exceder o vapor gerado pela queima do bagaço. Assim, usa-se evaporação em múltiplo efeito.

Figura 12: Evaporadores de múltiplos efeitos



Fonte: Própria (2020).

O funcionamento de evaporadores de múltiplos efeitos ocorre da seguinte forma:

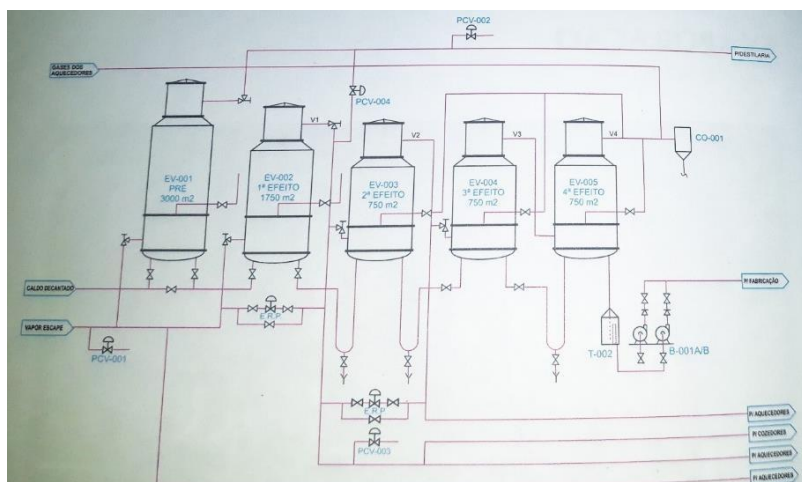
- Em um múltiplo efeito, 1 kg de vapor de escape alimentado no primeiro efeito irá evaporar a mesma quantidade de água, ou seja, 1 kg de vapor de escape produz 1 kg de vapor vegetal por efeito.
- Na evaporação de múltiplo efeito, o vapor da ebulição do caldo de um corpo é usado como fonte de calor para o corpo seguinte.
- A extração de vapor de qualquer unidade de um evaporador de múltiplo efeito para ser em outro setor da fábrica conduz uma economia pelo nº vasos do conjunto e multiplicado pelo nº de ordem que o corpo ocupa.
- Em todo aparelho no qual se condensa vapor, é necessária extrair continuamente o acúmulo de gases inconversáveis.
- A necessidade de economia de vapor obriga o uso do princípio de múltiplo efeito.
- Na evaporação em múltiplo efeito, o vapor da ebulição do caldo de um corpo é usado como fonte de calor para o corpo seguinte.

b) Segunda etapa

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

O evaporador da usina (Figura 12) é constituído principalmente por uma calandra tubular, a qual serve de aparelho de troca de temperatura: o vapor de aquecimento envolve os tubos externamente e o caldo a ser evaporado está no interior dos tubos. O sistema de evaporação para evaporadores de múltiplos efeitos é descrito esquema apresentado na Figura 13.

Figura 13: Sistema de Evaporação



Fonte: ALBUQUERQUE (2011).

Existem fatores limitantes da concentração pela evaporação, que dependem do estado do xarope, se está diluído ou muito concentrado. São eles:

- Xarope Diluído
 - maior tempo de cozimento.
 - maior consumo de vapor no cozimento.
 - necessidade de maior número de equipamentos.
 - cor do açúcar escura.
- Xarope muito concentrado
 - dificulta a condução do cozimento.
 - maior dificuldade na produção do pé de cozimento.
 - dificulta o controle de crescimento dos cristais.
 - facilita a formação de falso cristais.

O evaporador mais usado é o de tubos verticais de fluxo ascendente, construído em aço carbono. A capacidade de uma seção em retirar a água é estabelecida pela taxa de evaporação por unidade de área da superfície de aquecimento, pelo número de efeitos e pela quantidade de vapor sangrado. Sem o uso de sangria, a capacidade é determinada pela performance do efeito menos produtivo (PROENG, 2012).

De acordo com o mesmo artigo, o sistema é auto equilibrável, ou seja, se um efeito seguinte não consegue usar todo o vapor produzido pelo efeito precedente, a pressão no efeito precedente aumenta e a vaporização reduzirá até que o equilíbrio seja estabelecido. A eficiência da evaporação é aumentada

pelo uso da instrumentação de controle automático do nível de líquido, do °Brix do xarope, da alimentação e da pressão absoluta do vácuo.

De acordo com Rein (2013), os problemas de processo mais comuns que podem surgir no estágio de evaporação são:

- Perdas de sacarose como resultado de inversão: estas perdas são favorecidas por temperaturas e tempos de residência mais altos.
- Formação de cor em função da temperatura mais altas.

As transformações físico-química que ocorrem no caldo durante a evaporação, muitas vezes afetam a composição e propriedade dos sólidos solúveis. A cor se forma no processo de evaporação, pois é onde a temperatura é mais alta. Quando o vácuo é baixo a temperatura do sistema sofre uma elevação, assim irá aumentar a formação de cor.

2.2.2.9 Cozimento e cristalização

O objetivo do cozimento é obter uma massa com o máximo teor de cristais e um mel o mais pobre possível. Concentra-se a massa até atingir o Brix desejado para o final do cozimento. É no cozimento que a água está evaporando e, portanto, supersaturando a solução, fazendo com que o açúcar se deposite nos cristais já existentes, fazendo crescer.

O cozedor usado nas usinas de produção de açúcar (Figura 14) são cozedores contínuos a vácuo de duas massas, sendo um processo de evaporação a baixa pressão e temperatura, e operando por meios de calandras.

Figura 14: Cozedores



Fonte: SOS, 2020.

Em xarope ou mel muito diluídos, variações na pressão do vapor ou do vácuo podem favorecer a diluição de cristais existentes, aumentando o tempo de cozimento, aumentando o consumo de vapor e sujeitando a uma maior degradação de açúcares e formação de cor.

O xarope proveniente da seção de evaporação tem em torno de 60% de sacarose, 7% de impurezas e 33% de água, possui viscosidade tão elevada que não pode ser concentrado mais em evaporadores comuns. A solução é a utilização em tachos, denominados cozedores, que operam por batelada e permitem alcançar maiores concentrações do xarope, que juntamente com os cristais formados passa a se denominar massa cozida com 92-95° Brix (PROENG, 2012).

- A massa obtida do cozimento do xarope proveniente da evaporação é denominada massa de primeira ou massa A; o licor mãe, obtido da centrifugação da massa A, é denominado mel A e a parte sólida, açúcar.
- O mel A ainda contém alta concentração de açúcar possível de ser cristalizado, por esta razão, é utilizado no cozimento de uma segunda massa, denominada massa de segunda ou massa B.
- No cozimento da massa B são formados os cristais para o cozimento da massa A. Os cozedores de massa B recebem o mel A, proveniente da centrifugação da massa A e será concentrado até atingir a zona meta estável de concentração, neste ponto de concentração do mel são injetados no cozedor, que são utilizadas para a granagem.
- A sacarose presente no mel concentrado vai se depositando sobre as sementes até que essas atinjam o tamanho desejado de cristais para formação do que se denominam volume de granagem.
- A segunda etapa do cozimento consiste em levantar o nível do cozedor com adição de mel até o máximo de sua capacidade, ao mesmo tempo em que ocorre a concentração e a deposição da sacarose desse mel nos cristais formado nos volumes de granagem. Dessa forma, o fim do cozimento de segunda deverá ocorrer quando os cristais da massa de segunda estiverem no seu tamanho ideal e o cozedor tiver atingido o seu nível máximo.

- A massa de segunda é, então, descarregada em um cristizador, onde a deposição de sacarose contida no licor mãe é completada pelo resfriamento e agitação dessa massa, em seguida, faz-se a centrifugação de onde é extraído o açúcar de segunda com aproximadamente 0,2 mm de diâmetro e o mel é denominado mel final e é enviado para a destilaria para fabricação de etanol.
- O açúcar de segunda é conduzido a um misturador ou magmeira, formando uma massa denominada magma. O magma deve conter os cristais necessários a serem utilizados como sementes da deposição da sacarose dissolvida no xarope que alimenta o cozedor de primeira.

A cristalização é o processo de deposição de sacarose sobre os cristais formados. A Figura 15 ilustra cristais uniformes e de excelente qualidade.

Figura 15: Cristais uniformes e de excelente qualidade



Fonte: ALBUQUERQUE (2011).

Após o cozimento da massa de primeira, esta é descarregada em cristizador idêntico ao da massa de segunda e, então, é centrifugada, obtendo-se como produtos, o mel A e o açúcar de primeira que contém cristais de aproximadamente 0,5 mm de diâmetro (PROENG, 2012).

No cozedor é colocado um cristal feito no laboratório para começar o processo de cristalização do açúcar. Durante todo o processo é adicionado água para a lavagem do açúcar e essa água é evaporada. O açúcar VHP possui uma lavagem menor do que o açúcar cristal para obter uma umidade maior para facilitar seu transporte.

No cozimento VHP são cozidos dois tipos de massa, a massa A e massa B (Figura 16). A massa b é iniciada através de uma cristalização, feita do xarope da cana-de-açúcar e de uma semente de cristal feita no laboratório que é constituída de açúcar cristal refinado e álcool, sendo 2 kg de açúcar e 2 litros de álcool anidro em um recipiente de porcelana com pedras de porcelana em agitação por 10 horas. Após esse processo inicia-se as massas.

A massa b ela é feita a partir da massa A. A massa A é resultante do produto final, o açúcar cristal ou VHP, que ao passar na centrífuga a massa A, separa-se açúcar mel rico e mel pobre. O mel pobre serve pra alimentar a cristalização e gera a massa B. A massa vai passar também por uma centrífuga, em que nela vai separa o magma que é o açúcar de 2 e o mel final, o mel final vai para destilaria pra produzir álcool e o magma vai para fabricação, pois o açúcar cristal ou VHP ele é iniciado a partir do magma que veio da massa B esse magma ele é alimentado com xarope e no final como mel rico q foi separado na centrifugação do açúcar cristal ou VHP.

A massa A é o açúcar final que é comercializado e a massa B é o “açúcar” que será preparado o magma para dá início ao cozimento da massa A. Segundo Albuquerque (2013), é mais difícil manter a condições de cristalização uniforme na superfície de cristais grandes do que na de cristais pequenos, as inclusões aumentam com o tamanho do cristal.

Logo após a formação dos cristais, a massa cozida resfriada segue para o setor de centrifugação.

O açúcar VHP é uma matéria-prima que é exportada para outros países para ser refinado e comercializado.

Figura 16 - Massas A e B

Massa A



Massa B

2.2.2.10 Centrifugação

As centrífugas são constituídas por um cesto perfurado, fixado a um eixo e acionado por um motor que o gira a alta velocidade. A ação da força centrífuga (1200 - 1500 rpm) faz com que o mel atravesse as perfurações da tela do cesto, ficando retidos, em seu interior, somente os cristais de sacarose. O mel removido é coletado em um tanque e retorna aos cozedores para recuperação do açúcar dissolvido ainda presente, até que se atinja um maior esgotamento do mesmo. O sistema de automação de uma centrífuga é ilustrado na Figura 17.

Os cristais de açúcar são separados do licor mãe (mel) universalmente, por centrifugação; a lavagem com água nas centrífugas é necessária para reduzir o filme do mel de modo dar pol desejada do açúcar (ALBUQUERQUE, 2011).

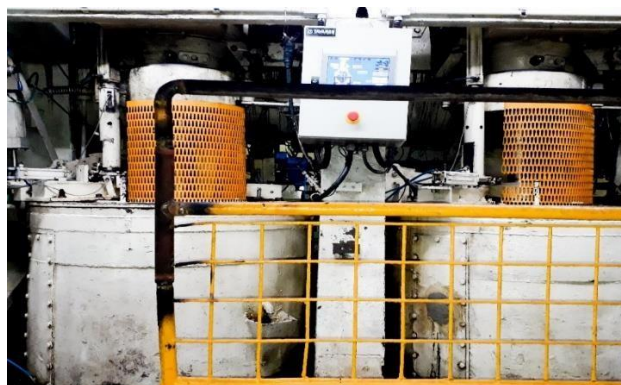
Figura 17: Sistema de automação de uma centrífuga



Fonte: MAUSA (2020).

A centrífuga batelada, apresentada na Figura 18, promove a separação da massa A. Na primeira lavagem, com água, sai o mel pobre e na segunda, com vapor, sai o mel rico.

Figura 18: Centrífuga batelada



Fonte: Própria (2020).

As centrífugas contínuas são utilizadas para “lavagem” da massa B provinda. A separação centrífuga ocorre no cesto cônico, sobre as telas para filtração. Com a subida da massa sobre a tela, o mel é separado dos cristais de açúcar.

Segundo Albuquerque (2011), a rotura indesejável dos cristais, formação de torrões e outras considerações relacionadas com a qualidade do açúcar dificultam a utilização de centrifugas contínuas na produção de açúcar de alta qualidade refinado, para consumo direto, ou açucares crus de alta polaridade.

No processo final de centrifugação os méis pobre e rico, são retirados da centrífuga descontinua e são retornados aos tanques pulmão. Já o açúcar transportado para o setor de secagem de açúcar (Figura 19).

Figura 19 - Açúcar já centrifugo e sendo transportado para os secadores



Fonte: Própria (2011).

2.2.2.11 Secagem e armazenamento do açúcar

Logo após a separação, os cristais de açúcar ainda apresentam um nível alto de umidade, que só será eliminado com a ação de secadores de ar quente. O açúcar é enviado para o secador (Figura 20) e é seco até atingir umidade final de 0,04% e temperatura ambiente.

Figura 20: Secador



Fonte: ALBUQUERQUE (2011).

A secagem é a operação unitária final na produção do do açúcar bruto. Ela envolve o processo aparentemente simples no qual o excesso de umidade é removido dos cristais de açúcar após a centrifugação. Rein (2013)

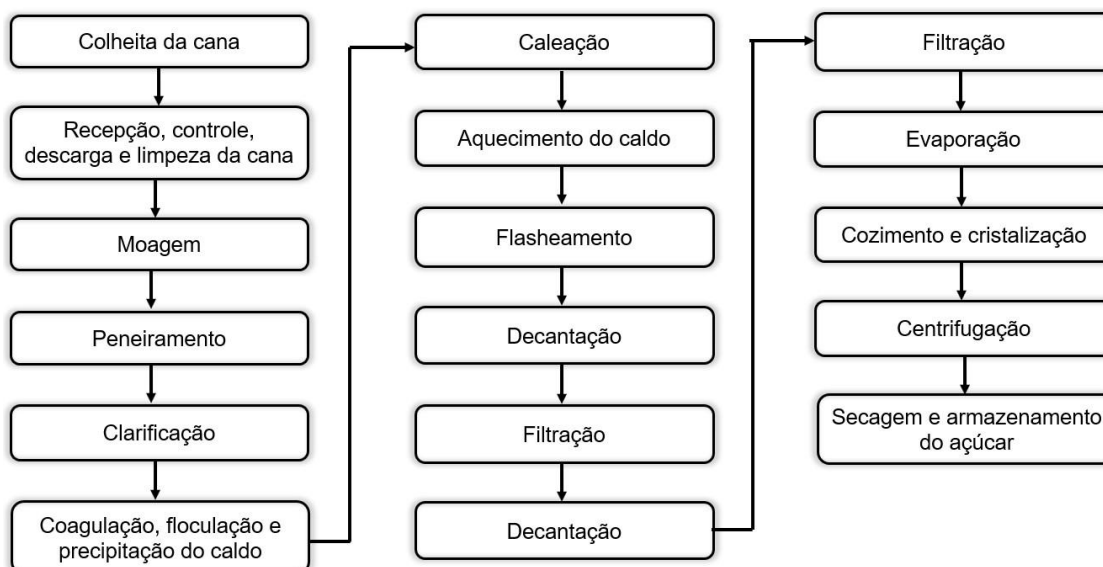
A qualidade do açúcar não é estabelecida na etapa final do processo, que é a secagem. As etapas anteriores são as que definem o nível da qualidade do produto final. O processo de secagem simplesmente leva o açúcar a uma condição na qual a umidade e a temperatura têm um papel preponderante de preservação das características e da boa estabilidade durante o armazenamento. Os secadores, quando mal operados ou subdimensionados, somente tendem a piorar a qualidade do açúcar, além de propiciar sua degradação durante o período de armazenagem, destacando-se o empedramento e o aumento de cor (Albuquerque, 2011).

O empedramento é um fenômeno no qual os cristais liberam a umidade retida, resultando em supersaturação na superfície do cristal e consequente cristalização. Rein (2013)

Os fenômenos que ocorrem dentro do tambor rotativo são relativamente complexos, pois envolvem transferência de massa, além da transferência de calor entre o açúcar e o ar. O ar para secagem deve normalmente ser aquecido para apresentar uma baixa umidade relativa quando entrar em contato com o açúcar (Albuquerque, 2011).

O açúcar de primeira é secado geralmente em secador rotativo de uma umidade aproximada de 2 para 0,06% base seca, ensacado e comercializado (PROENG, 2012).

Todo o processo de produção de açúcar pode ser resumido no fluxograma da Figura 21.

Figura 21: Fluxograma de produção de açúcar

2.2.3 Tipos de açúcares

O açúcar comercializado no Brasil é produzido em diversos tipos. Na Figura 1 mostra nove tipos de açúcar, com diferentes tonalidades, desde o açúcar mascavo, mais escuro, até o açúcar refinado amorfo mais claro.

Figura 22: Tipos de açúcar

Fonte: Jornal Ouvidor, 2015

2.2.3.1 Açúcar Mascavo

É a forma mais natural do açúcar, retirado logo após o cozimento da cana-de-açúcar. Têm um gosto mais forte do que o açúcar branco, porém conserva vitaminas e minerais, principalmente cálcio, magnésio, ferro e potássio.

2.2.3.2 *Açúcar Demerara*

Esse açúcar tem coloração amarelado; passa por poucos processamentos; não contém aditivos químicos e retém boa parte das vitaminas e minerais da cana-de-açúcar. É uma boa alternativa para ser usada em receitas, pois não é tão escuro quanto o mascavo e a diferença nutricional é pouca.

2.2.3.3 *Açúcar Cristal*

É um açúcar mais grosso que o refinado, em forma de cristais, mas a diferença nutricional é baixa: ele retém pouquíssimas vitaminas e minerais.

2.2.3.4 *Açúcar Orgânico*

A composição nutricional é parecida com a do açúcar mascavo. A diferença está no processo de produção da cana-de-açúcar, que recebe o selo de alimento orgânico por ser cultivada sem agrotóxicos e de forma sustentável, que não agride o meio ambiente.

2.2.3.5 *Açúcar Confeiteiro*

É obtido da moagem maior do açúcar refinado, com acréscimo de 3% de amido, para evitar a agregação dos cristais. É branco usado em confeitaria, tanto no preparo de receitas como nas finalizações.

2.2.3.6 *Açúcar Açúcar Very High Polarization (VHP)*

Esse açúcar é o tipo mais exportado pelo Brasil. É mais claro que o demerara e apresenta cristais amarelados. No seu branqueamento não há a utilização de anidrido sulfuroso.

2.4 CARACTERÍSTICAS DO AÇÚCAR VHP

O açúcar bruto VHP (Figura 23) é o açúcar obtido pela clarificação do caldo de cana-de-açúcar, sem uso de enxofre. Apresenta-se na forma de grãos regulares com cor mais intensa (cor definida pela International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis - ICUMSA – sendo acima de 400 e no máximo de 1200 ICUMSA). É muito utilizado na indústria como matéria prima para confeitos, panificadores e produção de cereais matinais (CRQ4, 2011).

Figura 23: Açúcar VHP



Fonte: USANGELO, 2020

Pelo fato de ser menos úmido (máximo 0,10%), é ideal para exportação, pois facilita o transporte. Toda a sua produção é destinada ao mercado externo para refino em outros países devido a sua alta polarização (99,0 a 99,5° Z). Os principais destinos de exportação são os Estados Unidos da América, a Rússia, a Tunísia, os Emirados Árabes, os países do Leste Europeu e os países do continente africano (GRUPO FARIAS, 2013). Na Paraíba há fabricação do açúcar VHP em grandes toneladas.

2.4.1 Os parâmetros de qualidade do açúcar VHP

Os parâmetros estabelecidos para verificar a qualidade do açúcar VHP:

- Polarização: é a capacidade de adoçar, definindo a porcentagem de sacarose no açúcar.
- Cor: uma coloração mais escura, não apresenta risco a saúde.

- Umidade: é importante na conservação da qualidade do açúcar, em relação ao crescimento de microrganismos.
- Resíduo insolúvel: pode prejudicar a qualidade do produto e contribuir para a redução do ciclo de operação dos filtros;
- Cinzas condutimétricas: são impurezas como terra, areia. Teores de cinzas acima dos limites permitidos podem causar alterações sensoriais do produto, além de uma coloração escura e aspecto arenoso.

Tabela 2: Parâmetros do Açúcar VHP

Açúcar Granel	
VHP- Very High Polarization	
Cor	Máxima de 2500 UI
Polarização	99,0°Z
Umidade	Máxima 0,25%

Fonte: MINISTERIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, 2018

2.4.2 Produção do açúcar VHP

A produção do açúcar VHP inicia-se na pesagem do caminhão, logo após a análise de ATR na cana-de-açúcar, em seguida, vai para mesas alimentadoras e passam pelo processo de lavagem, corte da cana-de-açúcar e desfibrarão da cana-de-açúcar. Logo após a cana-de-açúcar é extraído o caldo por moenda ou difusores o caldo é peneirado. Em seguida ocorre tratamento do caldo o onde é adicionado leite cal. O caldo é aquecido pra ajudar na decantação e enviado para os decantadores. Após o caldo ser decantado e filtrado é enviado pros evaporadores para que ocorra a concentração e eliminação da água é transformado em xarope e enviado para os cozedores para formação dos cristais. Após formação dos cristais é enviado para as centrifugas e em seguida secadores. O açúcar é ensacado em sacos de 50Kg e enviado para o porto.

Ao chegar no porto é tirada uma amostra do caminhão e feita as análises de cor, polarização, umidade e teor de cinzas. Em seguida, se aprovadas, segue para o local de destino.

3 METODOLOGIA

A pesquisa foi desenvolvida no Município de Santa Rita/PB. Foram realizadas análises físico-químicas no xarope, da massa A, da massa B, do mel A, do mel Final e do magma durante o processo e após o produto acabado foram feitas as análises de cor, polarização e umidade seguindo a normativa.

3.1 DETERMINAÇÃO DE pH NO XAROPE

A determinação do pH seguiu os passos:

- Pesagem de 10 g de açúcar VHP.
- Transferência do açúcar para um béquer.
- Diluição em 100 mL de água destilada.
- Homogeneização da mistura para que as partículas fiquem uniformemente suspensas.
- Uso do potenciômetro modelo 0400 (Quimis, São Paulo, Brasil), vide Figura 24, previamente calibrado e operado de acordo com as instruções do fabricante (IAL, 2008) para determinar o pH da mistura.

Figura 24: Phmetro



Fonte: Própria (2020).

3.2 DETERMINAÇÃO DE BRUX DO XAROPE

A determinação de Brix do Xarope seguiu os passos:

- Resfriamento da amostra de xarope até a temperatura ambiente.
- Pesagem de 100g de amostra.
- Transferência da amostra para um Becker de 600 mL.
- Adição de água destilada até atingir o peso de 400g de solução.
- Homogeneização.
- Uso do refratômetro (Figura 25) para determinar o Brix.

Figura 25: Refratômetro



Fonte: Própria (2020).

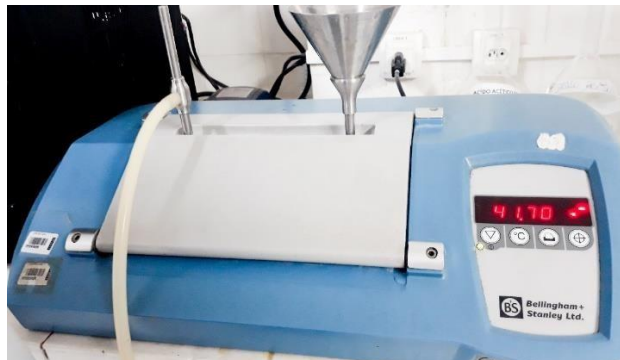
3.3 DETERMINAÇÃO DE POL DO XAROPE

A determinação de Pol do xarope seguiu os passos:

- Separar 100mL da amostra diluída.
- Adição de água em uma quantidade adequada do clarificante 10g (Octapol).
- Filtrar a amostra clarificada em papel de filtro.
- Desprezar os primeiros 25 mL do filtrado.
- Lavar o tubo de polarização 3 vezes e o encher o mesmo evitando a formação de bolhas de ar.

- Uso do Sacarímetro (Figura 26) para determinar % Pol do Xarope.

Figura 26: Sacarímetro



Fonte: Própria (2020).

3.4 DETERMINAÇÃO DE BRUX EM MASSAS COZIDAS, MÉIS E MAGMA

A determinação de grau brix seguiu os passos:

- Resfriamento da amostra de xarope até a temperatura ambiente;
- Pesagem de 50g de amostra;
- Transferência da amostra para um Becker de 600 mL;
- Adição de água destilada até atingir o peso de 200g de solução;
- Homogeneização;
- Uso do refratômetro (Figura 25) para determinar o Brix.

3.5 DETERMINAÇÃO DE POL EM MASSAS COZIDAS, MÉIS E MAGMA

A determinação de Pol em Massas Cozidas, Méis e Magma, os passos:

- Separar 200mL da amostra diluída.
- Adição de água em uma quantidade adequada do clarificante 16g (Octapol).
- Filtrar a amostra clarificada em papel de filtro.
- Desprezar os primeiros 25 mL do filtrado.
- Lavar o tubo de polarização 3 vezes e o encher o mesmo evitando a formação de bolhas de ar.
- Uso do Sacarímetro (Figura 26) para determinar % Pol.

3.6 DETERMINAÇÃO DA UMIDADE EM AÇÚCAR VHP

A determinação da Determinação da Umidade em açúcar VHP, os passos:

- Separar 5g da amostra de açúcar VHP.
- Uso do analisador de Umidade (Figura 25) para determinar o Umidade.

Figura 27: Analisador de Umidade



Fonte: Própria (2020).

3.7 DETERMINAÇÃO DA COR ICUMSA EM AÇÚCAR VHP MÉTODO MOPS

A determinação da Determinação da cor ICUMSA em açúcar VHP método MOPS açúcar VHP os passos:

- Separar 30g da amostra de açúcar VHP.
- Transferencia 80 mL de agua deionizada.
- Diluir com o agitador.
- Adicionar 10 mL da solução do MOPS e completar com agua deionizada.
- Filtrar a solução pré-filtro e depois em membrana 0,45µm.
- Filtrar com um sistema a vacuo.
- Transferir o filtrado para um becker.
- Uso do refratômetro para determinar o Brix.
- Uso do Espectrofotometro para determinar a absorbância.

3.8 DETERMINAÇÃO DA POLARIZAÇÃO ICUMSA EM AÇÚCAR VHP

A determinação da Determinação da polarização ICUMSA em açúcar VHP:

- Pesagem da amostra Pesar $13,000 \pm 0,001$ g açúcar VHP.
- Transferencia 60 mL de agua deionizada.
- Diluir com o agitador.
- Acretar agua destilada até o menisculo.
- Filtrar.
- Lavar o tubo de polarização 3x com o filtrado.
- Encher o tubo de polarização evitando bolhas.
- Uso do Sacarímetro (Figura 24) para determinar % Pol.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste sentido, deve-se observar alguns índices como °Brix, Pol e Pureza, pois eles relevam o grau de eficiência da produção. As amostras coletadas foram do Xarope, da Massa A, da Massa B, do Mel A, do Mel Final, e do Magma. Os resultados para essas amostras estão resumidos na Tabela 3.

Tabela 3 - Resultados das análises físico-químicas do processo de fabricação de açúcar VHP

Amostras	Brix. Dil.	Brix	L.Sac.	Pol	pH
Xarope	15,92	63,68	56,14	55,29	6,20
Massa A	15,46	92,76	54,61	80,82	-
Massa B	15,54	93,24	44,99	67,17	-
Mel A	13,29	79,74	38,48	57,46	-
Mel Final	12,89	77,34	31,84	47,66	-
Magma	15,13	90,78	58,13	86,12	-

Fonte: Própria (2020).

Na análise do xarope para se obter o °Brix real da solução multiplica-se a leitura do °Brix diluído no refratômetro por 4, nas demais amostras o °Brix diluído foi multiplicado por 6, obtendo-se, assim, o °Brix real de cada amostra analisada.

Para calcular o Pol de cada amostra foi necessária uma fórmula, onde o valor do pol foi dado por uma relação aperfeiçoada no laboratório da usina, baseada na metodologia proposta pelo Manual de Controle Químico da Fábrica de Açúcar (COPERSUCAR, 2001).

Para os parâmetros de controle de qualidade tem que seguir de acordo com a normativa do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, a última normativa foi a normativa de N° 47 do dia 30 de agosto de 2018, os parâmetros de qualidade seguinte:

A Tabela 4 descreve os parâmetros de qualidade do açúcar VHP.

Tabela 4 – Parâmetros de qualidade do Açúcar VHP

Cor ICUMSA	Pol	Umidade
2500	99,0	25

A Tabela 5 descreve os resultados dos parâmetros físico-químicos do açúcar VHP.

Tabela 5 – Parâmetros físico-químicos do Açúcar VHP

Cor ICUMSA	L.Sac.	Pol	Umidade
786	99,30	99,27	12

Nas análises de Açúcar VHP determinou-se a cor ICUMSA, pol e umidade. No açúcar analisado obtive resultados satisfatórios e dentro dos padrões de qualidade estabelecidos.

Na análise de cor, o valor encontrado foi cor ICUMSA 786 e foi verificado dentro dos parâmetros, máximo de 2500 para açúcar VHP.

De acordo com a legislação o pol do VHP tem que ser maior que 99,0°Z. As análises de pol também se mostraram dentro das normas de qualidade, já que o resultado da leitura sacarimétrica foi 99,30 e, como sua margem de erro é 00,03 o valor é subtraído e obtém-se a Pol do açúcar de 99,27.

A análise da umidade do açúcar verificou que está dentro dos padrões. As análises tiveram como referencial o novo manual de laboratório sucroalcooleiros de Celso Caldas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foram realizadas análises para verificar a qualidade do Açúcar VHP e comparou-se com a legislação.

Com os resultados obtidos nesse trabalho é possível identificarmos que se obteve de acordo com as análises realizadas que teve um açúcar bruto VHP de alta qualidade. Com isso não irá ocorrer problemas em seu refinamento.

O controle com a matéria prima e sua higienização (lavagem) no início do processo garante um açúcar bruto com boa qualidade.

As análises físico-químicas utilizadas, bem como a metodologia seguida, sendo necessária então, as análises ao longo de todo processo de fabricação do açúcar como (análises no xarope, da massa A, da massa B, do mel A, do mel Final e do magma).

As análises feitas do produto acabado de acordo com a instrução normativa N° 47 de 30 de agosto de 2018 do do Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento de padrões de qualidade que foram a análise de polarização, cor e umidade.

De acordo com a normativa, a análise de polarização de 99,27°Z, a cor ICUMSA de 786 UI e a umidade de 12 está dentro do parâmetro de controle de qualidade.

Com os resultados obtidos nesse trabalho é possível identificarmos que se obteve de acordo com as análises realizadas que teve um açúcar bruto VHP de alta qualidade. Com isso não irá ocorrer problemas em seu refinamento.

Como sugestão para trabalhos futuros o monitoramento de todo processo produtivo do açúcar VHP.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, Fernando Medeiros. **Processo de Fabricação de Açúcar**. 3ª Ed. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2013.
- BAPTISTA, Antonio Sampaio. **Purificação do Caldo para Produção de Álcool**. Notas de aula. Universidade de São Paulo: Piracicaba, 2020.
- BETAEQ. A produção de açúcar, 2019. Disponível < <https://betaeq.com.br/index.php/2019/10/14/a-producao-de-acucar/> > Acesso em: 09/12/2020.
- COPERSUCAR (Cooperativa de Produtores de Cana, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo). **Manuel de Controle Químico da Fábrica de Açúcar**. COPERSUCAR, Piracicaba, 2001.
- DELGADO, A. A.; CESAR, M. A. A. **Elementos de tecnologia e engenharia do açúcar de cana**. Piracicaba. Vol.1 ,1977
- MACHADO, Fúlvio de Barros Pinheiro Machado. União Nacional da Bioenergia Disponível < <https://www.udop.com.br/noticia/2003/01/01/a-historia-da-cana-de-acucar-da-antiguidade-aos-dias-atuais.html> > Acesso em: 08/12/2020.
- MACHADO, Raphael. **Sistema de produção orgânico para a soca da cultura da cana-de-açúcar (Saccharum SSP), consociado com milho (Zea Mays), Feijão (Phasiolus Vulgaris) e Mandioca (Manihot Esculenta) .** (Trabalho de Conclusão de Curso).Araras 2008.
- MAUSA. centrífuga-automática, 2020. Disponível <<https://mausa.com.br/centrifuga-automatica.php>> Acesso em: 05/12/2020.
- NACHILUK, Katia. Instituto de Economia Agrícola. Disponível < <http://www.iea.sp.gov.br/out/TerTexto.php?codTexto=14767> > Acesso em: 08/12/2020.
- NORRIS, R. S.; BRINK, Jr., J. A. **Indústrias de processos químicos**. 4ª ed. Rio de Janeiro. Ed. Guanabara Dois S.A. 1980.
- OLIVEIRA, Danilo Tostes; ESQUIAVETO, Maria Madalena Manguê; SILVA JÚNIOR, José Felix. **Impacto dos itens da especificação do açúcar na indústria alimentícia**. Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas, 27(supl.): 99-102, ago. 2007
- PAYNE, J.H. **Operações unitárias na produção de açúcar de cana**; tradução Florenal Zarpelon. São Paulo: Nobel S.A., 2010.

PROENG – Projetos e Desenvolvidos de Equipamentos S/C Ltda.
Tratamento de Caldo Proeng. Jaboticabal/SP, 2012.

RAMPAZZO, Valéria . Usina de álcool Santa Terezinha (relatório de estagio Supervisionado). Tapejara, PR.2014.

REIN, Peter. **Engenharia do açúcar de cana.** Berlin 2013.

REIS, Alessandro. Jornal cana. Eficiência das usinas. Disponível <<https://jornalcana.com.br/edicao/jornalcana-maio-2020>> Acesso em: 08/12/2020.

RIBEIRO, Carlos A. F.; Blumerv, Solange A. G.; Horii, Jorge. **Tecnologia do açúcar.** Piracicaba, SP.1999.

SOS cozedor de açúcar. Disponível <<http://www.soscozedor.com.br/>> Acesso em: 05/12/2020.