



**ESCOLA SUPERIOR DE DESENVOLVIMENTO RURAL
DEPARTAMENTO DE PRODUÇÃO AGRÁRIA**

**AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA DO TRATAMENTO DO SUMO
MISTO DA CANA-DE -AÇÚCAR COM ÓXIDO DE CÁLCIO (CAL)
NA CLARIFICAÇÃO**

Curso de Licenciatura em Agro-Processamento

Joaquim Manuel Bambi

Vilankulo, Setembro de 2024

Joaquim Manuel Bambi

**AVALIAÇÃO DA EFICÊNCIA DO TRATAMENTO DO SUMO
MISTO DA CANA-DE -AÇÚCAR COM ÓXIDO DE CÁLCIO (CAL)
NA CLARIFICAÇÃO**

Trabalho de culminação do curso
submetido no Departamento de
Produção Agrária da Escola Superior
de Desenvolvimento Rural -
Universidade Eduardo Mondlane, para
obtenção do grau de Licenciatura em
Agro- Processamento

Sob Supervisão de:
Engº Boanerges Lazaro Paulino

Co-supervisor:
Engº Joaquim Simango

UEM-ESUDER

Vilankulo

2024

Oponente

Presidente

Supervisor_

DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu **Joaquim Manuel Bambi**, e de Manuel Bambi e de Chica Joaquim Mambosa , natural de Sofala, residente na província de Sofala, distrito da Beira, bairro 16º Vilamassane-Manga, estado civil solteiro, portador do B.I nº 070101460660P, inscrito com o código 20190495, declaro por minha honra, que o trabalho é da minha autoria, o qual foi elaborado com base na bibliografia a que faço referência ao longo do mesmo e nunca foi apresentado para obtenção de qualquer grau académico na Universidade Eduardo Mondlane ou em outra Instituição de Ensino

Vilankulo, Setembro de 2024

(Joaquim Manuel Bambi)

DEDICATÓRIAS

Dedico o presente trabalho aos meus pais Manuel Bambi e Chica Joaquim Mambosa; Aos meus queridos irmãos e principalmente a Amelia Manuel Bambi; A todos que directamente ou indirectamente contribuíram para que este trabalho tornasse uma realidade, obrigado

AGRADECIMENTOS

Chegar até aqui não foi tarefa fácil, e desta forma humilde gostaria de agradecer às várias pessoas que contribuíram para que isso fosse possível.

Em primeiro lugar agradeço a Deus pelo Dom da vida. Aos meus amados e adoráveis pais Manuel Bambi e Chica Joaquim Mambosa, por sempre me incentivarem a buscar os meus sonhos e ideais.

Aos meus queridos irmãos, Amelia Manuel Bambi, João Manuel Bambi, e António Manuel Bambi, Madina Manuel Bambi que apesar da distância estiveram sempre do meu lado.

À minha Namorada Joaquim Manuel Ribeiro, por ser, super amiga na verdade não sei como descrever quão foi e para sempre será uma bênção em minha vida meu AMOR.

A Tongaat Hulett - Açucareira de Moçambique, SA-Mafambisse em particular ao Supervisor de Processo Técnico Marguel e Eng^o Wiston e do Laboratório Técnico Domingos, por todo auxílio no manuseamento de equipamentos durante a minha estadia para execução do experimento.

Aos meus Supervisor da Universidade Eng^o. Boanerges Lazaro Paulino e meu Supervisor da Indústria Eng^o. Joaquim Simango pela ajuda e orientação contribuindo com todo seu conhecimento para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus amigos Zacarias Paulino Magaia, Diocleciano, Miguel Luís Zia, Pedro João André, Adil Manhamba e Nelson Como por estarem sempre comigo no sucesso da academia.

Ao corpo docente da ESUDER, em particular ao Prof. Doutor Armando Abel Massingue por sempre mostrar disponibilidade em ajudar-nos, Eng^o Sérgio Sangarote, Msc Paula Mangoba, Eng^o. Joelma Zita e dr. Pérsio De Jesus por contribuírem de forma positiva para minha formação.

Aos colegas do grupo de estudos Zacarias Magaia, Belarmino Dos Santos, Amelia Ubissee, Hermenegildo Gabriel, Abdul Fatuir e Sarifa Lincheco por todo Suporte durante o percurso.

Aos colegas do curso de Agro Processamento geração 2019, em especial Paulo Jossias Manhengue, Zacarias Bongesse (Chefe), Matias Quiraque, Arlindo Cuna, Edilton Gomes, Amélia Ubisse, Sarifa Lincheco, Sulai Tivane, Zacarias Magaia, Belarmino Dos Santos, Hermenegildo Gabriel, Abdul Fatuir e por todos momentos bons e maus partilhados ao longo da formação.

A todos Colegas da ESUDER muito obrigado!

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

CAL – Óxido de cálcio (CaO);

UEM – Universidade Eduardo Mondlane;

ESUDER – Escola Superior de Desenvolvimento Rural;

SA – Sociedade Anónima;

TCH – Toneladas de Cana por Hora;

PPM – Partes por Milhão;

MJ Flow (ton/h) – Taxa de fluxo do sumo misto em toneladas por hora;

MJ Temp – Temperatura do sumo misto;

CLJ SP – Set-point do sumo com cal;

CLJ PV – Variável de processo do sumo com cal;

CLJ PH – pH do sumo com cal;

CJ PH – pH do sumo claro;

r – Coeficiência de correlação;

n – Tamanho da amostra;

s – Desvio padrão;

x – Média aritmética.

LISTA DE TABELAS & FIGURAS

Lista de tabelas	Pág.
Tabela 1: Produção da Cana-de-açúcar no Mundo em 2020.....	6
Tabela 2: Composição centesimal dos constituintes minerais da cana	7
Tabela 3: Composição centesimal dos constituintes orgânicos da cana.....	8
Tabela 4: Parâmetros de maturação de uma cana.....	10
Tabela 5: Índice de maturação da cana.....	11
Tabela 6: Relação graus Baumé e as quantidades de cal no leite.....	21
Tabela 7: Análise exploratória dos dados.....	33
Tabela 8: Diagrama de correlação explícito em números.	35

Lista de Figuras

Figura 1. Cana-de-açúcar.....	5
Figura 2: Pol (%) em função do amadurecimento da cana-de-açúcar.....	9
Figura 3: Fluxograma da produção do açúcar.	14
Figura 4: Modelo eléctrico da camada dupla de uma superfície de partícula	18
Figura 5: Clarificador Rapidorr.	25
Figura 6: Óxido de cálcio.....	30
Figura 7: Representação física da área de estudo.....	28
Figura 8: Fluxograma do processo de clarificação.....	35
Figura 9: Interface do software TitãsIA.	32
Figura 10: Diagrama de correlação entre as variáveis de processo.....	34
Figura 11: Correlação entre o baumé e ppm.....	37
Figura 12: Correlação MJ Flow e MJ Temp.....	37
Figura 13: Medições correlação entre CLJ SP e CLJ PV.....	38
Figura 14: Correlação entre o CLJ pH e o CJ pH.....	39

LISTA DE APÊNDICES E ANEXOS

Lista de apêndices

Apêndice-I: (Clarificação do caldo da cana).

Apêndice-II: (Preparação do óxido de cálcio).

Apêndice-III: (comparação do sumo misto e sumo claro).

Apêndice-IV: (Análise do pH).

Apêndice-V: (Material/Equipamento).

Lista de Anexos

Anexo I: Credencial de pedido de estágio.

Anexo II: Resposta do pedido de estágio.

Anexo III: Declaração 1.

Anexo IV: Declaração 2.

Anexo V: Mapa da clarificação.

Glossário

1. **Óxido de cálcio (CaO):** Também conhecido como cal, é um composto químico utilizado no processo de clarificação do sumo misto da cana-de-açúcar. Sua função é precipitar impurezas, permitindo a remoção de sólidos suspensos e melhorando a qualidade do açúcar.
2. **Set-point (SP):** É o valor alvo ou desejado de uma variável de controle, como o pH, no sistema de clarificação. Por exemplo, o set-point pode ser o nível ideal de pH que o sumo com cal deve atingir para que a clarificação seja eficaz.
3. **Variável de processo (PV):** É o valor real medido de uma variável em um processo industrial, como o pH ou a viscosidade do sumo. A PV é monitorada continuamente para garantir que o processo esteja próximo do set-point.
4. **pH:** Uma medida que indica a acidez ou alcalinidade de uma solução. No processo de clarificação, o controle do pH é fundamental para garantir que o sumo esteja na condição ideal para a remoção de impurezas.
5. **PPM (Partes por Milhão):** Unidade de medida que indica a concentração de impurezas no sumo misto. Um valor menor de ppm significa que o sumo contém menos impurezas após a clarificação.
6. **Baumé (°Bé):** Unidade de medida usada para determinar a densidade de líquidos. No processo de clarificação, o grau Baumé é utilizado para medir a concentração de sólidos dissolvidos no sumo.

Resumo

Este estudo avaliou a eficiência do tratamento do sumo misto da cana-de-açúcar com óxido de cálcio (CaO) no processo de clarificação, realizado na Tongaat Hulett Açucareira de Moçambique SA. O objetivo foi melhorar a qualidade do sumo clarificado, removendo sólidos em suspensão e impurezas. Durante o experimento, foram coletados dados de variáveis de processo, como Baume, fluxo e pH, ao longo de 80 horas. A análise demonstrou correlações significativas entre essas variáveis, com destaque para a relação entre o set-point e a variável de processo da viscosidade, assim como a correlação entre os pH do sumo misto e claro. Os resultados indicam que o tratamento com óxido de cálcio é eficiente, mas pode ser aprimorado com ajustes nos parâmetros de operação.

Palavras-Chave: Eficiência, Óxido de cálcio, Clarificação.

Índice

I: INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Contextualização	1
1.2. Problema.....	2
1.3. Justificativa.....	3
1.4.Objectivos	4
II: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	5
2.1. Cana-de-açúcar	5
2.2. Composição da Cana-de-açúcar	7
2.3. Produção de Açúcar em Moçambique.....	11
2.4. Importância Socioeconómica na Produção de Açúcar	12
2.5. Produção de Açúcar a partir da Cana-de-Açúcar	13
2.5.1. Etapas do Processo de Produção do açúcar	14
2.5.3. Clarificação do caldo	15
2.5.4. Evaporação	15
2.5.5.Cozimento e Cristalização	16
2.5.6. Centrifugação.....	16
2.5.7. Secagem.....	16
2.5.8. Armazenamento	16
2.6. Clarificação do Sumo Misto	17
2.6.1. Condições de processos, Temperatura e pH	22
2.6.2. Métodos utilizado no processo de clarificação do caldo de cana.....	23
2.7. Clarificadores.....	24
2.7.1. Descrição do Clarificador	25
2.7.2. Funcionamento do Clarificador	25
2.7.3. Velocidade de circulação	26
2.7.4. Tanque Flash	26
2.7.5. Capacidade dos clarificadores.....	26
2.8. O Óxido de Cálcio	27

III: MATERIAIS E MÉTODOS.....	28
3.1. Classificação da Pesquisa	28
3.2. Apresentação da Empresa.....	28
3.3. Clarificação do sumo misto	29
3.3.1. Descrição do Processo	30
3.4. Colecta e Tratamento de Dados	30
3.5. Análise Manual de Sólidos em Suspensão	32
IV: DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS RESULTADO	33
4.1. Análise Exploratória dos Dados	33
4.2. Análise das Correlações Entre as Variáveis	34
V. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	41
5.1. Conclusão	41
5.2. Recomendações	41
VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42
Anexo VII.....	50

I: INTRODUÇÃO

Neste capítulo é construído o alicerce teórico que sustenta o presente estudo, aspectos sobre o que será abordado nesta pesquisa através de uma breve contextualização sobre o tema, a justificativa, a problematização e objectivos do estudo.

1.1. Contextualização

Nos últimos anos, o crescente aumento da oferta dos produtos alimentícios tem levado a um nível de exigência cada vez maior por parte dos consumidores (ISO, 9001). Em virtude da imensa variedade de marcas, tipos e preços a qualidade deixou de ser um diferencial competitivo, transformando-se em uma necessidade para quem quer se manter no mercado (BERTOLINO, 2010).

Nas operações industriais para a fabricação do açúcar, a etapa de clarificação do caldo é decisória para a qualidade do produto final. Se bem conduzida, aumenta significativamente as oportunidades de atender com larga margem as especificações exigidas. O processo de decantação do caldo é uma das etapas de maior importância na fabricação de açúcar. No Brasil o principal método utilizado para a clarificação do caldo é a correção do pH por meio da adição de leite de cal, processo chamado Caleação (ALBUQUERQUE, 2011)

Nesse sentido a qualidade deixou de ser responsabilidade de um departamento específico. A busca por ela deve ser um compromisso de todos dentro da empresa.

Quando se fala em alimentos de qualidade, no mínimo dois aspectos devem ser considerados (BERTOLINO, 2010). Os atributos do produto que atraem o consumidor a comprarem, como, por exemplo, as características sensoriais (qualidade percebida) e os atributos que o consumidor considera como pré-requisitos, como, por exemplo, a ausência de perigos à sua saúde (qualidade intrínseca).

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) é uma das maiores e mais antigas culturas agrícolas exploradas no Mundo, assumindo grande importância sócio-económica, segundo levantamento da CONAB (2010). A partir dos anos 70, passou por importante transformação, deixando de ser exclusivamente voltado para o sector de alimentos, para destinar-se ao sector energético (WAACK e NEVES, 1998).

1.2. Problema

Ao decorrer o estágio profissional na Empresa Tongaat Hulett -Açúcareira de Moçambique, SA, na secção fabril, observou-se um problema crítico na etapa de clarificação do sumo misto da cana-de-açúcar. Em dias chuvosos, houve um uso excessivo de óxido de cálcio (CaO) devido ao elevado teor de lama nas canas, resultado da ausência de um processo de lavagem das canas antes da entrada no desfibrador. Esse excesso de lama impactou negativamente a eficiência do processo de clarificação, levando a um aumento significativo do nível de lama nos clarificadores e nos filtros, além de causar problemas nas etapas subsequentes após a clarificação.

Outro problema associado ao uso inadequado de cal na clarificação é a ineficiência na remoção completa das impurezas, o que pode comprometer a qualidade final do açúcar produzido. Esses desafios refletem uma preocupação crescente no setor técnico-açucareiro em Moçambique, onde há um foco crescente em otimizar a etapa de clarificação, não apenas de maneira geral, mas também abordando problemas específicos de unidades produtoras individuais.

Com os problemas acima supracitados surge a seguinte pergunta:

Até que ponto o tratamento do sumo misto com óxido de cálcio é eficiente na remoção de impurezas, considerando que as canas não passam por um processo de lavagem antes da clarificação?

1.3. Justificativa

Nas operações industriais para a fabricação do açúcar, a etapa de clarificação do caldo é decisória para a qualidade do produto final. Se bem conduzida, aumenta significativamente as oportunidades de atender com larga margem as especificações exigidas. Em caso contrário, compromete de maneira negativa não apenas o açúcar pronto para o consumo, mas também as etapas de fabricação em diversos segmentos, tais como a deformação de estrutura e o escurecimento do cristal, efeito catalisador de atividade microbiana, incrustações. Em evaporadores e cozedores que acarretariam maior consumo de combustível, sobrecarregar ainda mais o processo fabril.

Dentre as caracterizações da qualidade do açúcar a é utilizada para classificar o produto e indica a cor dos cristais. A alteração deste parâmetro pode ser originada pelo amarelamento da sacarose devido ao aquecimento excessivo durante os processos industriais ou pela presença de açúcares redutores (glicose e frutose) na forma de filme na superfície do cristal resultante de uma centrifugação ineficiente (OLIVEIRA et. al. 2007).

Este trabalho justifica-se pela necessidade de otimizar o processo da clarificação do sumo misto da cana-de-açúcar visando melhorar a qualidade do produto final, reduzir perdas e aumentar a eficiência do processo industrial.

1.4. Objectivos

1.4.1. Objectivo Geral

- Avaliar a eficiência do tratamento do sumo misto da cana de açúcar com óxido de cálcio na clarificação.

1.4.2. Objectivos Específicos

- Identificar a redução de sólidos suspensos no sumo misto após o tratamento;
- Analisar o impacto do tratamento na clarificação e concentração do sumo de cana de açúcar;
- Determinar a correlação entre as variáveis de processos (Baumé, Concentração de impurezas (ppm), Fluxo, Temperatura, Set-point, Variável de processo e pH na clarificação)

II: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são apresentados os pressupostos da fundamentação teórica que se referem a consulta, análise crítica e discussão de concepções de autores sobre alguns conceitos ligados ao tema.

2.1. Cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é uma das gramíneas mais cultivadas nas regiões tropicais e subtropicais devido à grande contribuição socioeconómica que sua exploração representa, em razão de seu grande teor de sacarose (STUPIELLO, 1987). É capaz de produzir uma infinidade de produtos como: açúcar, álcool potável e/ou combustível, cachaça, servir para alimentação animal (variedades forrageiras), produção de garapa ou caldo de cana-de-açúcar após a moagem em moedores eléctricos ou manuais (BRAZ, 2003).

Utiliza-se a cana-de-açúcar desde 8000a.C na Melanésia e no sul da Ásia. A princípio a planta era consumida apenas através da mastigação do caule, posteriormente a população começaram a espremer e a beber o caldo, posteriormente passou a ser utilizada como melaço na Índia, iniciando-se gradualmente o processo de descobrimento de produção de sacarose cristalizada (POEL, 1998).

A cana-de-açúcar teve como centro de origem a região leste da Indonésia e Nova Guiné e ao longo de muitos séculos, se disseminou para várias ilhas do sul do Oceano Pacífico, aparecendo como planta produtora de açúcar na Índia tropical. Os Persas foram os primeiros a desenvolver técnicas de produção do açúcar estabelecendo as rotas do açúcar entre os países asiáticos e africanos (DELGADO e CESAR, 1977).



Figura 1. Cana-de-açúcar.

Fonte: Google Photos

Segundo a USDA (Departamento de agricultura dos EUA) os principais países produtores de açúcar são Brasil, Estados Unidos, Índia, Tailândia e China. A produção do Brasil equivale a 19% de toda produção mundial, ou seja, 30,8 milhões de toneladas; a produção da Índia, segunda maior do mundo (16%), é de 25,1 milhões de toneladas. Em terceiro lugar, a produção de açúcar dos Estados Unidos, representando 10% de toda produção mundial, é de 16,1 milhões de toneladas.

Tabela 1: Produção da Cana-de-açúcar no Mundo em 2020.

País	Cultivo (milhões de área)	Produção (milhões de ton)	Produção mundial (%)
Global	26,5	1.870	-
Brasil	10,0	757,1	40,5
Índia	4,8	370,5	19,8
China	1,4	108,7	5,8
Paquistão	1,2	81,0	4,3
Tailândia	1,8	75,0	4,0
EUA	0,4	32,7	1,8
África	1,6	95,7	5,1
África do Sul	0,3	18,2	1,0
Essuatíni	0,1	5,7	0,3
Moçambique	0,05	2,7	0,2
Maurícias	0,04	2,8	0,1

Fonte: FAO, 2022.

A produção mundial do açúcar também está concentrada em cinco países, sendo o tamanho do mercado e o consumo doméstico determinante para a hegemonia dos mesmos. Cerca de 70% do açúcar produzido mundialmente é consumido no respectivo país de produção e o remanescente no mercado internacional (SIMELANE, 2021). Estes países têm a vantagem de um mercado interno vasto, diversificado e em crescimento, a reflectir o aumento do rendimento e da população, sobretudo na Índia e China, o que estimula a expansão da sua produção e de outros subprodutos da cana-de-açúcar.

2.2. Composição da Cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar pertence à família das gramíneas. Tem um caule semelhante ao do bambu e atinge uma altura de 2,5 a 4,5m. Contêm cerca de 11 a 15% de sacarose, em peso. O período de crescimento é de aproximadamente 1 ano (SANTOS, 2008; SANTOS, 2009).

A composição da cana-de-açúcar é muito variável, podendo ser diferente dentro de uma mesma região. Factores climáticos são decisivos na composição da cana-de-açúcar. Assim, têm influência condições climáticas, propriedades físicas, químicas e microbiológicas do solo, o tipo de cultivo empregado, variedade da cana-de-açúcar, maturação e a idade da cana, irrigação adequada e muitos outros factores (SANTOS, 2008; SANTOS, 2009).

A **tabela 2:** lista a percentagem média dos componentes minerais presentes na cana-de-açúcar.

Tabela 2: Composição centesimal média dos constituintes minerais da cana-de-açúcar sadia e madura.

Substâncias	%
Água	75,5
SiO ₂	0,25
K ₂ O ₂	0,12
Na ₂ O	0,01
CaO	0,02
MgO	0,01
Cinzas	0,50
Fe ₂ O ₃	Traços
P ₂ O ₅	0,07
SO ₃	0,20

Fonte: CASTRO, 2007; LEME JÚNIOR, 1965.

A **tabela 3:** lista a percentagem média dos componentes orgânicos presentes na cana-de-açúcar.

Tabela 1: Composição centesimal média dos constituintes orgânicos de uma cana-de-açúcar madura.

Substâncias		Percentagem (%)
Fibra	Celulose	5,50
	Pentosana (Xilena)	2,00
	Goma da cana (Arabana)	0,50
	Lignina	2,00
Açúcares	Sacarose	12,50
	Glicose ou Dextrose	0,90
	Frutose ou Levulose	0,60
	Albimínoides	0,12
	Amidas (Asparagina)	0,07
Corpos nitrogenados	Aminoácido (Ácido aspártico)	0,20
	Ácido nítrico	0,01
	Amoníaco	Traços
	Substâncias Xânticas	Traços
	Graxas e ceras	0,20
	Pectinas	0,20
	Ácido málico (livre)	0,08
	Ácido sucínico (combinado)	0,12

Fonte: ARQUED, 1955; CALDAS, 2012; SPENCER, 1932 e CASTRO, 2012.

Várias são as substâncias inorgânicas constituintes do *caldo in natura* da cana-de-açúcar que favorecem e aumentam a eficiência da decantação dos quais tem como principal constituinte o P_2O_5 (CASTRO, 2007).

A época mais exacta indicada para o corte da cana-de-açúcar, no período de amadurecimento máximo, também pode ser identificado pela determinação da Pol (%). Este período é designado de PUI (Período Útil de Industrialização). Apresentam-se, na figura 2.2, curvas de maturação típicas para algumas variedades de cana (CASTRO, 2013). A aplicação dessa metodologia evita-se o erro de cortar um lote de cana com baixo teor de sacarose, o que prejudica a qualidade da cana-de-açúcar e o rendimento industrial.

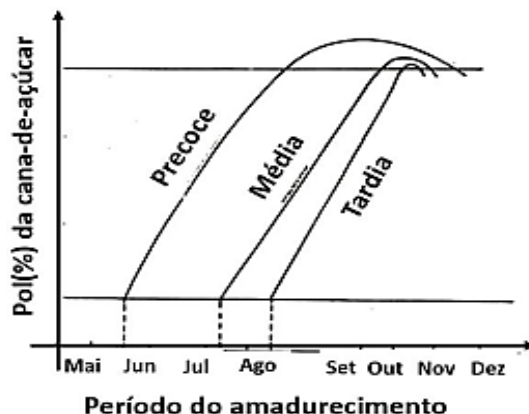


Figura 2: Período do amadurecimento da cana-de-açúcar.

Fonte: CASTRO, 2013.

O ácido trans-aconítico (principal ácido metabólico da cana-de-açúcar), málico, malónico, succínico constituem e comprovam que o ácido aconítico compõe a maior parte dos ácidos encontrados no caldo da cana-de-açúcar madura e sadia. O ácido trans-aconítico constituiu cerca de 84% do total dos ácidos orgânicos seguidos pelo ácido málico com 14%. Os outros ácidos constituintes do caldo da cana-de-açúcar encontrados em teores inferiores a 1%. Os teores dos ácidos succínicos, málico e trans-aconítico diminuíram com a maturidade da planta enquanto os de malónico aumentaram. Não foram encontradas diferenças significativas entre as variedades estudadas em relação aos teores de ácido trans-aconítico. Diversos factores podem influenciar na quantidade dos ácidos orgânicos nos vegetais, como a variedade do vegetal e a deficiência de elementos minerais (GUTIERREZ et al., 1989; REECE, 2003; ZAPATA, 2007; RAMPAZO, 2011).

Estudos realizados mostram que existe uma relação directa entre a fibra, a glicose, a frutose e a sacarose durante o estado de amadurecimento da cana-de-açúcar. A sacarose é o açúcar de maior interesse para a indústria açucareira, tendo sua importância primordial à produção do açúcar cristal, destinado ao consumo dos mercados interno e externo. As usinas de açúcar bem orientadas nos campos e nas fábricas têm sempre seus canaviais divididos em lotes com canas de maturação precoce e as de maturação tardia, a fim de que possam elas ser moída no seu período óptimo de maturação (CASTRO, 2012).

O produtor deve escolher para o plantio as variedades de cana-de-açúcar que melhor se adapte ao solo, maturação média, alto teor em sacarose, média exigência em fertilidade do solo, período de safra e condições climáticas da região, como também outras características que influenciam directamente no tratamento do caldo da cana-de-açúcar.

A colheita deve ser feita quando o caldo da cana-de-açúcar apresentar valores dos sólidos totais igual ou maior 18° Brix e após cortada deve ser moída o mais rápido possível (SANTOS, 2009). A determinação do estágio de maturidade da cana-de-açúcar indicada pelo teor de sacarose directamente no campo é feita de forma prática com refractómetro (grau Brix) e polarímetro (Pol%) portátil de bolso, o que garante identificar se a cana-de-açúcar pertencente a um determinado lote está madura e pronta para ser processada na indústria do açúcar. A vantagem do uso da refractometria e polarimetria é a necessidade de pouco volume da amostra, bastando algumas gotas do caldo da cana-de-açúcar para a determinação do Brix e da Pol.

A tabela 4. Mostra os parâmetros de uma cana-de-açúcar madura sadia que deve apresentar para ser processada.

Tabela 2: Parâmetros de maturação de uma cana-de-açúcar madura na usina.

Parâmetros	Valor
Brix mínimo	18,0%
Pol mínima	14,4%
Pureza mínima	80,0%
Redutores máximo	1,00%

Fonte: RIBEIRO, 2008.

A maturação da cana-de-açúcar ocorre no sentido dos colmos inferiores para os superiores. A cana-de-açúcar quando está em amadurecimento apresenta valores distintos de Brix, os quais são crescentes com a altura dos correspondentes colmos do vegetal.

Os valores dos Brix de cada colmo vão se aproximando com a evolução da maturação (CASTRO, 2012; RIBEIRO, 2008). Desta forma, o critério mais racional de estimar a maturação da cana-de-açúcar é pela determinação do Índice de Maturação (IM) com o refractómetro de campo, fornecido pela relação entre o Brix dos colmos da parte inferior (da metade para baixo) da cana-de-açúcar e o Brix dos colmos da parte superior (da metade para cima) da cana-de-açúcar, entre 18% ± 22% (CARVALHO, 2007; RIBEIRO, 2008). O Índice de Maturação da cana-de-açúcar (IM) é determinado conforme a relação:

$$IM = \frac{\text{Brix do colmo da base da cana-de-açúcar}}{\text{Brix do colmo superior da cana-de-açúcar}} \quad (1)$$

A tabela 5: mostra o grau de maturação da cana em função do nível de amadurecimento.

Tabela 3: Índice de maturação da cana-de-açúcar função do estágio de amadurecimento.

Índice de Maturação	Estágio de amadurecimento
IM < 0,60	Verde
0,60 < IM < 0,85	Amadurecendo
0,85 < IM < 1,00	Madura
IM > 1,00	Declínio da sacarose

Fonte: CARVALHO, 2007; NOBREGA 2009; CALDAS, 2012.

A actual legislação do governo sul-africano aposta na diversificação de açúcar castanho, branca e demarara. Uma das mais recentes realizações foi a implementação do South African Sugar Master Plan que foi concebido para explorar na íntegra a cadeia de valor da cana-de-açúcar. Segundo a mesma publicação, a indústria deveria aumentar a sua produção, de modo a fornecer 95% (o equivalente a 300 mil toneladas) das necessidades do mercado sul-africano nos anos seguintes (TONGAAT HULLET, 2021).

2.3. Produção de Açúcar em Moçambique

Em Moçambique o cultivo da cana-de-açúcar foi introduzido no final do século XV com a chegada dos portugueses liderados por Vasco da Gama, que trouxeram a cana-de-açúcar do sudeste asiático. Porém, a produção para fins comerciais teve seu início em 1908 com o estabelecimento das propriedades de cana no Rio Zambeze e no vale do Búzi, na região central do país. Em 1914 foram estabelecidos campos de plantação em Xinavane, nas margens do Rio Incomáti. Seis anos depois, surgiam os plantios de Marromeu e de Luabo (região centro), e mais recentemente os plantios de Marragra (sul) e Mafambisse (centro) que tiveram sua implantação no final da década de 1960 (JELSMA; et. al, 2010).

Actualmente quatro empresas açucareiras nacionais operam no país, Mafambisse, Marromeu, Marragra e Xinavane. Todas são agro-indústrias por combinarem actividades agrícola (produção de cana-de-açúcar) e industrial (processamento da cana e produção do açúcar). A Açucareira de Xinavane é a maior do país. Com a preocupação do desenvolvimento da indústria açucareira, o país consentiu a entrada da Tongaat Hulett, uma empresa sul-africana que produz diversos produtos derivados da cana-de-açúcar. Depois de várias negociações iniciadas em 1995, a Tongaat Hulett adquiriu uma participação de 49% na Açucareira de Xinavane.

A partir de 2000, ela iniciou programas de reabilitação e modernização da empresa, razões da sua ascensão à administração, depois de passar para 88% de participação em 2008, deixando o governo moçambicano como accionista minoritário com os remanescentes 12% (O'LAUGHLIN et. al, 2010).

2.4. Importância Socioeconómica na Produção de Açúcar

A produção de açúcar possui uma importância significativa para muitas economias ao redor do mundo, particularmente em países em desenvolvimento. Este sector não apenas contribui substancialmente para o produto interno bruto (PIB) de vários países, mas também desempenha um papel crucial na geração de emprego, no desenvolvimento rural e na estabilidade socioeconómica (GANGWAR ET AL. 2014).

a) Geração de Emprego e Desenvolvimento Rural

A produção de açúcar é uma importante fonte de emprego, especialmente em áreas rurais onde as opções de trabalho podem ser limitadas. Segundo GANGWAR et al. (2014), a indústria açucareira é responsável pela criação de milhares de postos de trabalho directos e indirectos, desde a plantação da cana-de-açúcar até as operações de processamento nas usinas.

Além disso, a indústria açucareira promove o desenvolvimento rural, incentivando a melhoria de infra-estruturas como estradas, energia eléctrica e sistemas de irrigação, que beneficiam não apenas os produtores de cana, mas toda a comunidade rural. MOURA (2007) ressalta que a expansão das plantações de cana-de-açúcar também impulsiona o desenvolvimento económico local, aumentando a demanda por serviços e produtos locais.

b) Contribuição para a Economia Nacional

A produção de açúcar é uma atividade económica vital para muitos países produtores. RODRIGUES e ROSS (2020) destacam que, em nações como o Brasil, a indústria açucareira contribui significativamente para o PIB, além de gerar receitas importantes através da exportação de açúcar e seus subprodutos. O Brasil, que é o maior produtor mundial de açúcar, produziu cerca de 757 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, representando aproximadamente 19% da produção global.

AValiação da Eficiência do Tratamento do Sumo Misto da Cana-de-Açúcar com Óxido de Cálcio (CaO) na Clarificação

Em Moçambique, o sector açucareiro também tem um papel importante. Segundo JELSMA et al. (2010) apontam que a produção de açúcar não apenas contribui para a economia nacional, mas também oferece uma oportunidade para o desenvolvimento sustentável através da utilização de subprodutos da cana, como bagaço para a geração de energia e adubo.

c) Impacto na Segurança Alimentar e Energética

A produção de açúcar está intimamente ligada à segurança alimentar e energética em vários países. Segundo SIMELANE (2021), a diversificação do uso da cana-de-açúcar, que inclui a produção de etanol, ajuda a reduzir a dependência de combustíveis fósseis e promove a segurança energética. A utilização do bagaço da cana para a produção de energia também é uma prática comum, contribuindo para a sustentabilidade ambiental e para a redução de custos operacionais nas usinas.

d) Benefícios Sociais e Ambientais

A indústria açucareira tem um impacto positivo na sociedade através da promoção de práticas agrícolas sustentáveis e da melhoria das condições de vida nas comunidades rurais. Camelini e Castillo (2012) destacam que programas de responsabilidade social corporativa, implementados por grandes empresas açucareiras, têm ajudado a melhorar a qualidade de vida dos trabalhadores e suas famílias, proporcionando acesso a educação, saúde e melhores condições de habitação.

2.5. Produção de Açúcar a partir da Cana-de-Açúcar

A produção de cana-de-açúcar está inserida em área agrícola e industrial, estando sujeita às condições ambientais, que influenciam de forma dramática a qualidade da matéria-prima, provocando ampla variação de seus parâmetros técnicos e de fornecimento. Já a produção do açúcar ou álcool apresenta elevado grau de complexidade, pois envolve equipamentos dos mais variados tipos e tamanhos, geração de energia e processos químicos e físicos (MACHADO, 2012).

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 (MACHADO, 2012).

Durante o processamento industrial da cana-de-açúcar obtém-se vários produtos. No caldo obtém-se o açúcar, a aguardente, o álcool e outros; do bagaço produz-se papel, ração, adubo, combustível; das folhas fazem-se coberturas e produz-se ração animal. O fluxograma da **Figura 3** apresenta a produção do açúcar.

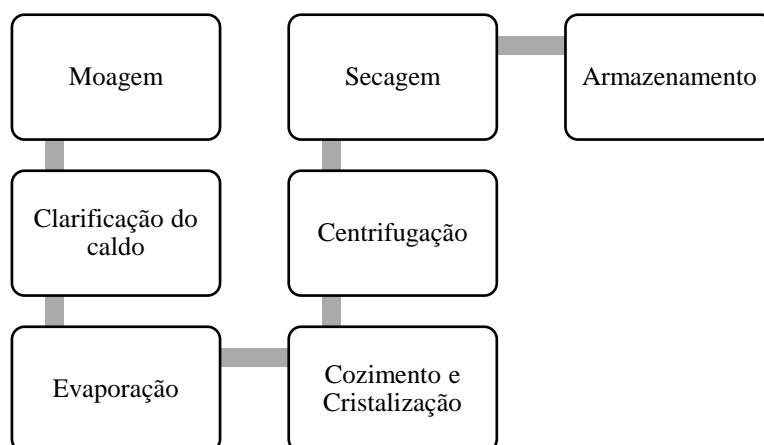


Figura 1: Fluxograma da produção do açúcar.

Fonte: Machado, 2012.

2.5.1. Etapas do Processo de Produção do açúcar

O processo de produção de açúcar inicia-se com a extracção do caldo contido na cana, sua preparação, evaporação, cozimento, cristalização, centrifugação, secagem, empacotamento e armazém, resultando em diversos tipos de açúcar tais como demerara, mascavo, cristal, refinado, líquido, *very high polarization* (VHP), entre outros tipos.

Este processo envolve etapas físicas e químicas, donde as etapas físicas envolvem a moagem, a filtração, a evaporação, cozimento e cristalização, a centrifugação e a secagem. As etapas químicas envolvem o tratamento do caldo (purificação e concentração do caldo).

As etapas de produção do açúcar desde a Moagem, a clarificação do caldo, evaporação, o cozimento, a cristalização, a centrifugação, secagem empacotamento e armazém são descritas a seguir.

2.5.2. Moagem

A cana descarregada na mesa alimentadora e conduzida por uma esteira rolante passa por picadores e desfibradores até as moendas. Geralmente são usadas moendas com um conjunto de 3, 6, 9 ou 12 rolos ou cilindros agrupados na unidade da moagem de funcionamento simultâneo, precedidos de 2 ou mais cilindros simultâneos denominados esmagadores, destinados a reduzir a cana em pedaços e exprimi-la. Os cilindros apresentam ranhuras ou frisos, que têm a função de aumentar a superfície útil de contacto com o bagaço. Estima-se que neste processo são extraídos cerca de 96% do caldo da cana para a produção do açúcar, e bagaço usado como combustível nas caldeiras (MACHADO, 2012).

2.5.3. Clarificação do caldo

O tratamento do caldo envolve os processos de clarificação do caldo e a sua concentração. Na clarificação, o caldo da cana bruto é um líquido viscoso que contém impurezas grossas tais como substâncias dissolvidas, material em suspensão e pH próximo dos 5.3. Para a remoção destas impurezas, o caldo inicialmente peneirado e em seguida tratado com agentes químicos para coagulação de parte de material coloidal como ceras, ácidos gordos, proteínas, gomas, corantes, entre outros. Esta etapa tem, também, o objectivo de precipitar impurezas como silicatos, sulfatos, ácidos orgânicos, cálcio, magnésio, potássio e sódio, e modificar o pH. Os agentes químicos mais comuns nesta etapa são: a cal, o dióxido de enxofre, o dióxido de carbono, o monóxido de magnésio que pode ser usado para substituir a cal e os auxiliares como os fosfatos na concentração mínima de 150 partes por milhão, a bentonita e os polieletrólitos. O efeito da temperatura nestes agentes promove a formação de precipitados que provoca a remoção de impurezas sem afectar o teor da sacarose (MACHADO, 2012).

2.5.4. Evaporação

Este processo constitui a primeira fase da concentração do caldo tratado, e é feita em evaporadores com múltiplos efeitos correntes. O caldo tratado contém cerca de 80% de água, que é evaporada até que se atinja 40% em água, tornando-se um xarope grosso e amarelo (MEZAROBÁ et al. 2010). É de extrema importância a boa concentração nesta fase, pois reduz o tempo de cozimento na fase seguinte e perdas de capacidade dos equipamentos (MACHADO, 2012).

Os cristais formados são de açúcar demerara, e o xarope obtido é reciclado para os cristalizadores. O mel final ou melaço obtido é aquele que foi reciclado pelo menos duas vezes (MACHADO, 2012).

2.5.5. Cozimento e Cristalização

O xarope vaporizado passa pelo processo de cozimento à temperatura na faixa de 65-70 °C, feito em cristalizadores no vácuo até atingir o grau de supersaturação com o coeficiente de aproximadamente 1.2 e em seguida a massa é descarregada nos tanques de cristalização.

O objectivo principal desta fase é a separação da sacarose das impurezas associadas nas soluções sacarinas, e o mesmo é alcançado na cristalização da sacarose. Nos cristalizadores ocorre a refrigeração, baixando a temperatura até 55°C normalmente ou na faixa dos 45-50°C dependendo das características da massa cozida. Esta fase visa aumentar o tamanho dos cristais e de favorecer a exaustão máxima e possível da sacarose presente no melaço (MACHADO, 2012)

2.5.6. Centrifugação

Nesta fase do processo, o licor-mãe é esgotado e separado dos cristais obtendo-se o açúcar. Geralmente é realizado pelo sistema de centrifugação, através de turbinas centrífugas divididas em dois grupos principais como as intermitentes e contínuas (MACHADO, 2012).

2.5.7. Secagem

Este processo ocorre independentemente do tipo de açúcar de modo a reduzir a humidade do açúcar aos níveis de 0.1- 0.2% no interior de um secador. No secador ocorre a circulação de ar quente em contracorrente à movimentação do açúcar dentro do mesmo (MACHADO, 2012).

2.5.8. Armazenamento

De uma forma geral, o armazenamento do açúcar é realizado em sacas de 50 kg, *big-bag* de 1.500 kg ou a granel. 2.3.4.1 Armazenamento em sacas Embalagens de 50 a 1.500 kg podem ser encontradas nas usinas. As sacas de 50 kg, bastante comuns, podem ser de algodão, polietileno e mistura de algodão e polietileno. As embalagens maiores, também conhecidas como *big-bag*, são construídas em polietileno e destinam-se ao fornecimento de grandes quantidades a indústrias de alimentos (doces e refrigerantes).

Os produtos para exportação podem ser acondicionados nesses ou em outros tipos de embalagens, dependendo do produto, do mercado de destino e das finalidades. Assim, no caso do açúcar demerara, utilizam-se sacos plásticos impermeáveis visando a impedir a deterioração do produto, uma vez que o filme de licor-mãe (que envolve os cristais) é higroscópico e possibilita o desenvolvimento de bactérias que podem trazer prejuízos a qualidade do açúcar (MACHADO, 2012).

2.6. Clarificação do Sumo Misto

O sumo misto ou caldo de cana, conforme a descrição de DELGADO (1969), seria um líquido opaco, de cor parda ao verde escuro, espumoso, viscoso e de reacção acida, cuja composição varia dentro de largos limites, com a variedade, idade e sanidade da cana, clima, solos, tractos culturais e com as condições que presidem a sua extracção pelas moendas. De uma maneira geral, encerra em solução todos os constituintes solúveis existentes na cana, como sacarose, açúcares redutores, sais orgânicos e inorgânicos, ácidos orgânicos, matérias nitrogenadas como proteínas, aminoácidos, pentosanas e pectinas. E em suspensão, os insolúveis leves e pesados, como bagacilho, fibra, matérias corantes, cera e areia, a clarificação do caldo de cana é um dos processos unitários mais crítico das usinas açucareiras.

Visto que a qualidade da clarificação influencia na filtração do caldo, no cálculo do coeficiente de transferência de calor no evaporador, na cristalização da sacarose e a na qualidade e quantidade do açúcar produzido. Também afecta a cor, a morfologia dos cristais, as cinzas e o conteúdo de polissacarídeos no produto final (DOHERTY; RACKEMANN, 2008).

O objectivo principal da clarificação é a remoção dos não-açúcares, impurezas presentes no caldo misto, as quais se encontram na forma solúvel, coloidal e insolúvel em suspensão. Deve ser conduzida de maneira que as perdas de sacarose por inversão e destruição dos açúcares redutores permaneçam em um nível mínimo durante o processo subsequente de recuperação do açúcar, maximize a taxa de sedimentação e obtenha um volume de lodo mínimo (AOKI, 1987; COPERSUCAR, 1987; SOUZA, 1988).

O processo consiste em promover a coagulação máxima de seus colóides e formar um precipitado insolúvel que adsorva e arraste as impurezas responsáveis por sua aparência turva, separando a matéria suspensa por sedimentação (CHEN; CHOU, 1993).

O caldo de cana, de acordo com o descrito anteriormente, é constituído por diferentes elementos os quais, formam uma suspensão coloidal estável. Sendo que a fonte mais importante desta estabilidade cinética é a carga eléctrica na superfície das pequenas partículas que constituem os colóides. Devido a esta carga, as partículas com cargas de sinais opostos tendem a se agrupar em torno delas constituindo uma atmosfera iónica (ATKINS; DE PAULA, 2002).

Consequentemente, esta característica estabelece uma diferença de potencial entre as partículas. Conforme as partículas aproximam-se umas das outras, as forças superficiais tornam-se mais significativas, destacando-se as forças de origem electrostática (forças de ligação de longa distância), (ligações formadas do resultado das forças de curta distância de actuação), adsorção mútua e reações de hidratação (FERREIRA FILHO, 1996).

As camadas carregadas electricamente somadas aos efeitos do movimento térmico levam à formação de uma dupla camada eléctrica, está representado o modelo da dupla camada, considerando uma partícula carregada negativamente. Esse modelo prevê a existência de uma camada compacta (dupla camada rígida) com o ordenamento rígido de cargas positivas e negativas nos dois lados (sólido/solução) da interface. Completa o modelo, uma segunda camada móvel e difusa com a carga eléctrica necessária para completar a carga da primeira camada rígida, obtendo-se o equilíbrio de cargas entre as fases em contacto (AOKI, 1987).

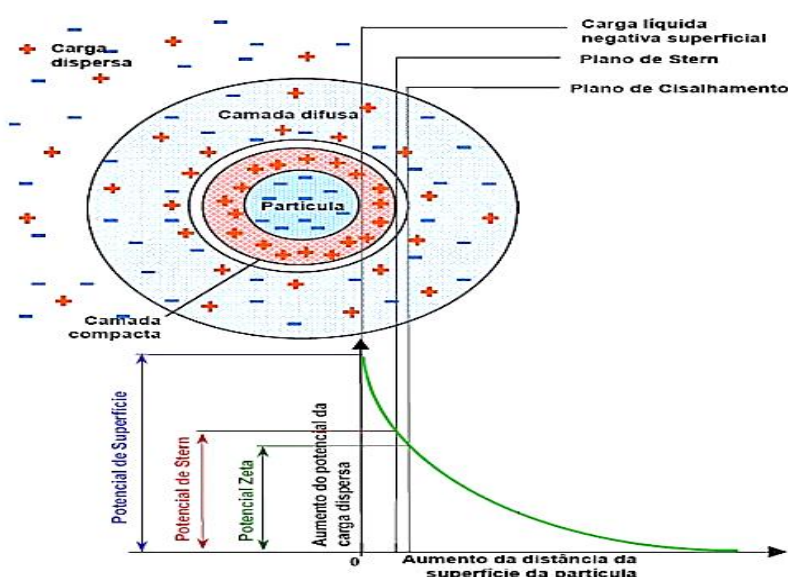


Figura 2: Modelo eléctrico da camada dupla de uma superfície de partícula com carga negativa

Fonte: Qmcueb, 2006, apud Chao, 2006.

O efeito causado pela formação de cargas eléctricas nas interfaces, entre o plano de cisalhamento da unidade e o meio circundante é denominado "Potencial Zeta" (PZ) o qual, é responsável pelo comportamento electrostático da partícula coloidal (AOKI, 1987).

O potencial Zeta é um indicador útil da carga superficial e pode ser usado para prever e controlar a estabilidade de suspensões coloidais. Quanto maior o potencial Zeta, maior a probabilidade de a suspensão ser estável, pois as partículas carregadas se repelem umas às outras e essa força supera a tendência natural à agregação (CHAO, 2006). Ou seja, o PZ das partículas dispersas pode ser considerado uma medida indirecta da força repulsiva entre as partículas dispersas.

A neutralização do PZ é considerada a remoção da resistência à aglomeração das partículas. A partir disso, de acordo com Chen e Chou (1993), o processo de clarificação apresenta três estágios básicos:

- 1 - Reduzir o PZ das partículas dispersas o mais próximo de zero possível;
- 2 - Permitir que as partículas coloidais neutras formem aglomerados;
- 3 - Agrupar os aglomerados de maneira a formar grandes flocos com sedimentação rápida.

Portanto, o equilíbrio da dispersão coloidal estável (caldo de cana) pode ser rompido, permitindo a formação de aglomerados. A alteração em determinados parâmetros, tais como, o pH e a temperatura, permitem a desestabilização dos colóides.

Visto que a magnitude da carga eléctrica das partículas dispersas é dependente do pH e o caldo ao ser aquecido, tem suas proteínas coaguladas ou precipitadas que se depositam sobre as partículas coloidais, iniciando a desestabilização da suspensão (BENNETT, 1973). Para tanto, diferentes processos foram desenvolvidos e dependem do tipo de açúcar a ser produzido.

O Brasil produz, em escala industrial e maior proporção, dois tipos de açúcar: o cristal branco e o açúcar bruto (VHP e VVHP - matéria-prima das refinarias). Fundamentalmente, os processos de clarificação adoptados nas usinas brasileiras compreendem a sulfitação e a defecação (calagem), para a obtenção do açúcar cristal branco e açúcar bruto, respectivamente.

Segundo Andrade e Castro (2006) para remover as impurezas grossas, o caldo é inicialmente peneirado, e em seguida tratado com agentes químicos, para coagular parte da matéria coloidal (ceras, graxas, proteínas, gomas, pectinas, corantes), precipitar certas impurezas (silicatos, sulfatos, ácidos orgânicos, Ca, Mg, K, Na) e modificar o pH.

A qualidade da cal utilizada é muito importante. Em muitos países obtém-se apenas uma cal muito impura, com cerca de 60% de CaO, contendo muita areia e matérias não alcalinas. Aconselha-se evitar cal contendo mais de 2% de MgO ou óxido de ferro e de alumínio. Estas impurezas ocasionariam depósitos no múltiplo-efeito e a magnésia impediria a detecção. Entretanto, observar-se-á que as vezes a magnésia é sistematicamente misturada à cal, juntamente para evitar as incrustações na evaporação (HUGOT, 1977).

Uma boa cal deve possuir uma dosagem de 90 a 95% de CaO. Emprega-se também a cal hidratada cuja atividade é proporcional ao seu teor de CaO. A cal hidratada pura contém $56/74=76\%$ de CaO (HUGOT, 1977).

Leite de cal – Ainda recentemente, certas usinas utilizavam a cal directamente, misturando-a em estado sólido ao caldo.

A solubilidade da cal nos caldos aumenta com teor de açúcar e diminui com a temperatura. Com uma temperatura de 80°C e um caldo com 10 a 12% de açúcar, dissolve-se 0,25 a 0,30% de CaO.

Como esta dissolução é relativamente lenta e difícil, não é aconselhável empregar a cal pulverizada: certas partes do caldo receberão um excesso de cal e outras uma quantidade insuficiente.

É conveniente preparar um leite de cal, dissolvendo a cal pulverizada ou cal virgem em pedras na água. Este leite de cal será, em seguida, misturado ao caldo, sua difusão será muito mais rápida e sua acção mais regular).

O leite de cal é preparado em dois tanques, dos quais um se esvazia, enquanto o outro se enche. São munidos dum agitador, girando entre 8 a 10rpm, conforme o diâmetro. A capacidade de cada um dos dois tanques devesse corresponder a 90 ou 120 minutos de funcionamento da usina (HUGOT, 1977).

Abaixo segue a relação entre graus Baumé e as quantidades de cal contido no leite.

Tabela 4: Relação graus Baumé e as quantidades de cal contido no leite.

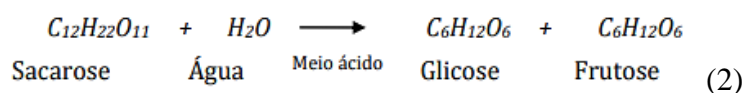
° Baumé	Densidade	g de CaO/L	% CaO (m/m)	Kg de água/kg de CaO
1°	1,007	7,5	0,745	133
2°	1,014	16,5	1,64	60
3°	1,021	26	2,54	38,4
5°	1,036	46	4,43	21,6
10°	1,076	94	8,74	10,4
15°	1,117	148	13,26	6,5
20°	1,161	206	17,72	4,6

Fonte: HUGOT, 1977.

Geralmente, prepara-se o leite de cal a 15° Baumé. Não se deve ultrapassar 20° baumé, o que corresponde ao máximo, acima do qual as bombas e as tubulações se obstruiriam com demasiada frequência.

Quando se emprega um regulador automático de pH, do tipo "*Meci*" pode-se utilizar o leite de cal a 10° baumé para dose fixa a ser colocada, porém não se deve ultrapassar 5° baumé para o complemento variável regulado pelo aparelho automático, senão a regulagem seria errada. Geralmente, o complemento variável é feito a 2 ou 3° baumé (HUGOT, 1977).

A principal consequência da baixa dosagem de cal é a perda de sacarose por inversão e aumento da cor do açúcar devido à decomposição dos açúcares redutores. Inversão é definida como a hidrólise da sacarose em frutose e glicose, açúcares denominados redutores. A sacarose quando em meio ácido e calor é facilmente hidrolisada de acordo com a reacção (ALBUQUERQUE, 2011).



Já a dosagem excessiva cal causa além da destruição dos açúcares redutores a formação de compostos coloridos e ácidos orgânicos, que irão competir com o fosfato pelo Ca++, prejudicando a clarificação, além de manter no caldo sais de ácidos orgânicos que precipitarão nas caixas de evaporadores (ALBUQUERQUE, 2011).

2.6.1. Condições de processos, Temperatura e pH

Os principais parâmetros induzidos na clarificação seriam principalmente pH e temperatura. A introdução do controle do pH, segundo SPENCER e MEADE (1967), tem aproximadamente 30 anos e grande parte da literatura existente a respeito do pH ótimo, principalmente aquela que trata da clarificação a níveis de pH relativamente altos, não é de maior interesse além do ponto de vista histórico.

HONIG (1969) publicou que não seria possível uma regra sobre o que padronizaria o pH ótimo, já que as quantidades dos diferentes tipos de não-açúcares que constituem o caldo variam de forma considerável. PAYNE (1969), em extenso estudo sobre as reações do processo de clarificação, afirmou que os esforços para se chegar a um procedimento que seja aplicável a todos os caldos extraídos, têm trazido literatura especializada, informações de modificações de todas as espécies. Afortunadamente, a simples aplicação de cal até se alcançar um pH entre 7,5 e 8,5 produzirá normalmente e com caldo fresco, uma clarificação satisfatória.

Para SPENCER e MEADE (1967), o pH ótimo a que se deve levar o caldo mediante alcalinização, depende de muitas condições e varia segundo a situação da fábrica, a variedade e o grau de maturidade da cana, a capacidade do equipamento de decantação e outras condições locais.

HONIG (1969) descreve que, com base no conhecimento das reações fundamentais que têm lugar na clarificação, é compreensível que se estabeleça uma limitação prática dos valores de pH que venham a ser aplicados. Se é demasiadamente baixo o pH de cal do clarificado, então não se conseguirá de modo completo a precipitação de fosfatos, sesquióxidos e ácido silícico. Uma alta alcalinidade tem como vantagem uma completa precipitação dos não-açúcares inorgânicos removíveis, e como desvantagem a decomposição de açúcares redutores.

Quanto ao efeito do aquecimento, demonstrou-se que é um importante contribuinte, principalmente na formação de precipitados compostos de não-açúcares nitrogenados, lipídeos, sesquióxidos e ácidos silícicos.

BAIKOW (1967) faz considerações alusivas ao efeito da temperatura. Este autor relata que o caldo bruto caleado que entra no clarificador deve ser aquecido à temperatura em torno de 104°C, ligeiramente acima do ponto de ebulição do caldo da cana com 13-16° brix. A esta temperatura a viscosidade do caldo é diminuída.

Em temperaturas abaixo desta faixa, a clarificação passa a apresentar maiores dificuldades devido a lentidão do assentamento do material em suspensão no caldo. A temperatura elevada é importante devido a necessidade de coagulação de albuminas, substâncias nitrogenadas e floculação de fosfatos no caldo.

2.6.2. Métodos utilizado no processo de clarificação do caldo de cana.

a) Calagem

Durante a calagem é adicionado uma solução de hidróxido de cálcio (leite de cal) com o intuito de promover a neutralização dos ácidos orgânicos presentes no caldo e formar sais os fosfatos presentes no caldo. Os sais formados nesta etapa precipitam em pH neutro e arrastam outras impurezas que aumentam a cor do açúcar gerando então o caldo clarificado. O pH do caldo é monitorado após a calagem e deve ser mantido em torno de 7,0 para garantir a eficiência da clarificação (ALBUQUERQUE, 2009).

b) Carbonatação

A carbonatação é um processo alternativo de clarificação do caldo de cana e consiste na adição de leite de cal e dióxido de carbônico. Este processo é aplicado na purificação do caldo de beterraba aproveitada na produção de açúcar em países como Inglaterra, Austrália e África do Sul. Em condições controladas, ocorre a formação e precipitação do carbonato de cálcio (HAMERSKI ET AL. 2011)

c) Sulfitação

No processo de fabricação de açúcar branco é utilizada a operação de sulfitação, que se constitui na adição de sulfito (bióxido de enxofre) e produz um precipitado de pequenos cristais de sulfito de cálcio que possuem grande atividade superficial sendo, portanto, fortemente absorvente e um poderoso auxiliar de decantação (CLÁUDIO HARTKOPF LOPES, 2011).

d) Bicarbonatação

O processo de bicarbonatação é outro método alternativo para a clarificação do caldo de cana de açúcar para a produção de açúcar branco.

Esse método dispensa o uso de enxofre e uma redução significativa de cal, proporcionando um açúcar de melhor qualidade, condições operacionais, controle químico do processo e poluição ambiental (SILVA et. al., 2008).

Diluição

O factor de decantação é a diferença entre a matéria a ser decantada e o líquido no qual esta contido. Evidentemente, a superfície e a forma das partículas, assim como a viscosidade do líquido, também exercem sua influência. Portanto, o tempo necessário à decantação depende, principalmente, da diferença de densidade entre o caldo e os corpúsculos do precipitado contido.

Em Clewiston na florida, efectuaram-se experiências sobre o tempo necessário à decantação em função da diluição do caldo:

- | | |
|-----------------------------|------------|
| a) Caldo misto | 78 minutos |
| b) Caldo misto +10% de água | 38 minutos |
| c) Caldo misto +20% de água | 28 minutos |

Ao efeito provado pela queda de densidade do líquido, devido à diluição, acrescenta-se sua queda de viscosidade, devido à diminuição do Brix (HUGOT, 1977).

Salinas em cuba tomava como base um caldo com Brix 16° e acreditava que era necessário calcular uma superfície de decantação 2% maior para cada grau Brix acima de 16 ou com outras palavras, um tempo de decantação 2% maior, para cada mesma superfície. Se bem os resultados de Clewiston seja bem mais marcantes que os observados normalmente, é preciso não esquecer que a decantação melhora com o aumento da embebição: a diminuição do tempo de depósito compensa largamente o aumento do volume do caldo.

2.7. Clarificadores

Clarificador é o nome dado ao decantador contínuo. Um decantador contínuo é um tanque ao qual se faz, chegar de modo regular e contínuo, o caldo a ser decantado e que é suficientemente grande para que a velocidade de escoamento e de circulação do sumo misto seja lenta o bastante para permitir a decantação. O sumo clarificado é trasfegado à parte superior de maneira regular e contínua, assim como o lado à parte inferior (HUGOT, 1977).

2.7.1. Descrição do Clarificador

O decantador rápido foi idealizado por Hale-Whyman, do Sugar Research Institute (SRI), Mackey, Austrália. A opinião desses técnicos é a de que o uso de bandejas múltiplas é supérfluo, bastando uma única bandeja. O aumento de eficiência desse tipo de decantador ocorre principalmente pela eliminação do fluxo horizontal do caldo, de modo que a velocidade vertical se torna a única componente importante na decantação (CLÁUDIO HARTKOPF 2011).

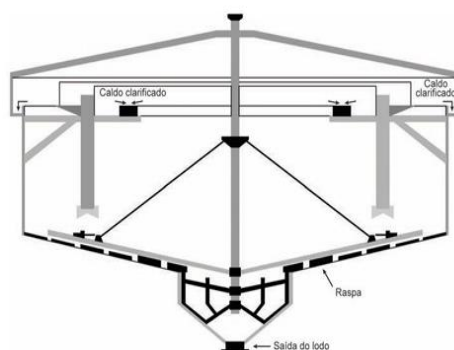


Figura 3: Decantador rápido tipo SRI.

Fonte: CLÁUDIO HARTKOPF 2011

Apresenta um eixo central cilíndrico vazio, girando muito lentamente (12 rotações/hora) e sustentando lâminas raspadoras que varrem vagarosamente o fundo dos compartimentos.

O caldo a ser decantado chega tangencialmente à parte superior, num compartimento cujo diâmetro é a metade do tanque, chamado compartimento de alimentação ou floculação. Neste compartimento sobrenada um pouco de espuma: é eliminada com um raspador especial que a empurra na direção do pequeno canal de expulsão lateral, o qual se comunica com a caixa de escoamento do lodo (HUGOT, 1977).

2.7.2. Funcionamento do Clarificador

Quando se inicia a fabricação o clarificador enche-se até o nível de transbordamento dos tubos de escoamento do caldo clarificado.

Entretanto no Rapidorr é preciso abrir, até este momento o tubo de comunicação entre os compartimentos 2 e 3, para que o compartimento 2 não se deforme com o peso do caldo.

O nível de transbordamento regula-se por meio do volante geral cada volta do qual faz subir simultaneamente as canecas moveis de cerca de 1mm.

2.7.3. Velocidade de circulação

A entrada do clarificador o caldo deve ter uma velocidade máxima de 15m por horas. Caso contrário, haverá redemoinhos prejudiciais à decantação, no interior do compartimento as condições da decantação dependem da velocidade v do líquido.

- $v = 3$ a 6m/h: escoamento laminar perfeito;
- $v = 6$ a 12m/h: escoamento regular = decantação excelente;
- $v = 12$ a 15m/h: surgem irregularidade = A decantação ainda é possível;
- $v = 15$ m/h e mais: surgem irregularidade torna-se turbulento = A decantação não é mais possível.

2.7.4. Tanque Flash

Os clarificadores são normalmente precedidos por um tanque flash: É um simples recipiente cilíndrico colocado imediatamente antes e acima do clarificador com uma chaminé aberta para a atmosfera e ao qual o caldo, vindo dos aquecedores, chega tangencialmente. Como o caldo esta esta a 102 ou 105°C há uma evaporação espontânea, assim que chega a esta recipiente, à pressão atmosférica. Este fenómeno libera todas as partículas em suspensão das bolhas de ar que ali estão agregadas e que impediriam a deposição das partículas de bagaço durante a clarificação, se não fossem retiradas (HUGOT, 1977).

2.7.5. Capacidade dos clarificadores

Seguem algumas medias citadas em vários países:

Em Cuba, para caldos moderadamente refractários calcula-se:

Em volume: 2400 l/TCH

Em superfície: 2,5 m²/TCH

Na África do Sul:

3500 a 5700 l/TCH em média: 4400L.

Em Porto Rico conforme a proporção de pol das canas moídas:

2100 a 3800 l/TCH

2.8. O Óxido de Cálcio

O óxido de cálcio (monóxido de cálcio, cal, cal virgem, cal viva), também conhecido como cal virgem ou cal viva, é um composto químico de fórmula CaO , amplamente utilizado em diversas indústrias devido às suas propriedades alcalinas e reactivas.



Figura 6: Óxido de cálcio

Fonte: Google Photos

Suas características principais consistem em:

- Aspecto: Sólido branco ou cinza;
- Solubilidade: Reage com água formando hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2);
- Propriedades Químicas: Alcalino, altamente reactivo com ácidos e alguns metais.
- Estado Físico: Sólido à temperatura ambiente e estrutura cristalina;
- Aparência: Prateado-branco, com oxidação ao ar que o torna acinzentado;
- Densidade: Aproximadamente $1,54 \text{ g/cm}^3$;
- Ponto de Fusão e Ebulição: Ponto de fusão: 842°C . Ponto de ebulição: 1484°C .

O óxido de cálcio é utilizado na clarificação do caldo de cana-de-açúcar, onde reage com as impurezas para formar precipitados que são posteriormente removidos. Este processo é fundamental para a produção de açúcar de alta qualidade (HUGOT, 1977)

III: MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo é apresentado os procedimentos metodológicos utilizados para alcançar os objectivos apresentados no início deste trabalho, descrevendo as fases da pesquisa, os instrumentos de colecta e métodos de tratamento de dados de planta.

3.1. Classificação da Pesquisa

Esta pesquisa é classificada como uma abordagem quantitativa. No aspecto quantitativo é evidenciado pela obtenção de dados estatísticos. Foi escolhido como método para estudar a eficiência do processo de clarificação do sumo misto no processo de produção do açúcar.

3.2. Apresentação da Empresa

O presente estudo foi conduzido na Açucareira de Moçambique, SA. A fábrica é uma unidade de negócio de açúcar da Tongaat Hulett em Mafambisse, província de Sofala, em Dondo, no centro de Moçambique, localizada nas margens do rio Pungué. A fábrica tem capacidade para moer 700 000 toneladas de cana-de-açúcar, produzindo cerca de 78 000 toneladas de açúcar castanho, 24700 toneladas de melaço, 7.390 m³ de efluentes e cerca de 105 000 tonelada de bagaço por época de moagem.

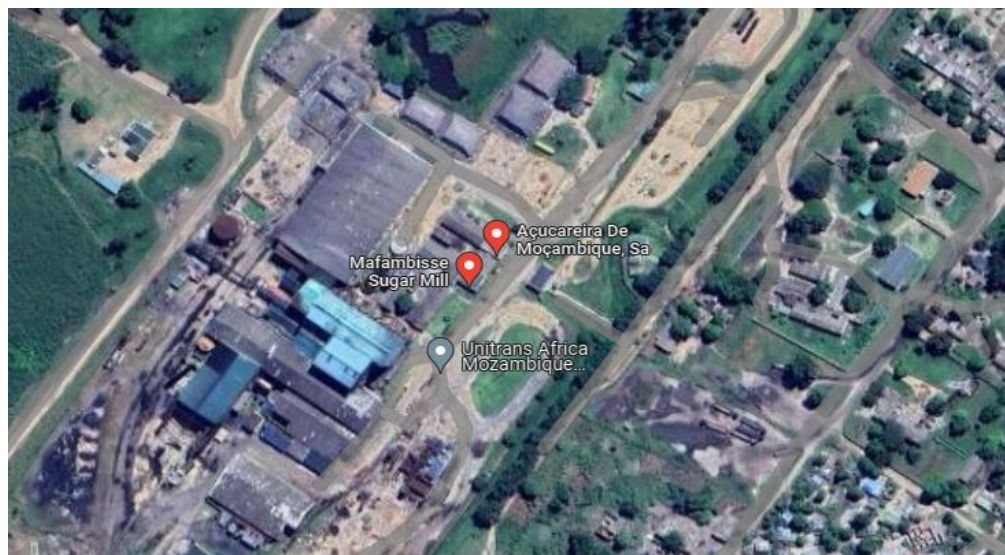


Figura 7: Representação física da área de estudo

Fonte: Google Maps, 2024.

AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA DO TRATAMENTO DO SUMO MISTO DA CANA-DE -AÇÚCAR COM ÓXIDO DE CÁLCIO (CAL) NA CLARIFICAÇÃO

As análises dos parâmetros e variáveis de estudo, foram realizadas no laboratório da fábrica na secção fabril na etapa da clarificação, entre o mês de Maio e Dezembro de 2023, onde foram determinados variáveis como pH, Temperatura, Graus de baumé, Fluxo do sumo misto, Concentração de impurezas em por partes por milhão, Setpoint e Variável de processo.

3.3. Clarificação do sumo misto

Abaixo é apresentado o fluxograma do processo de clarificação do sumo misto.

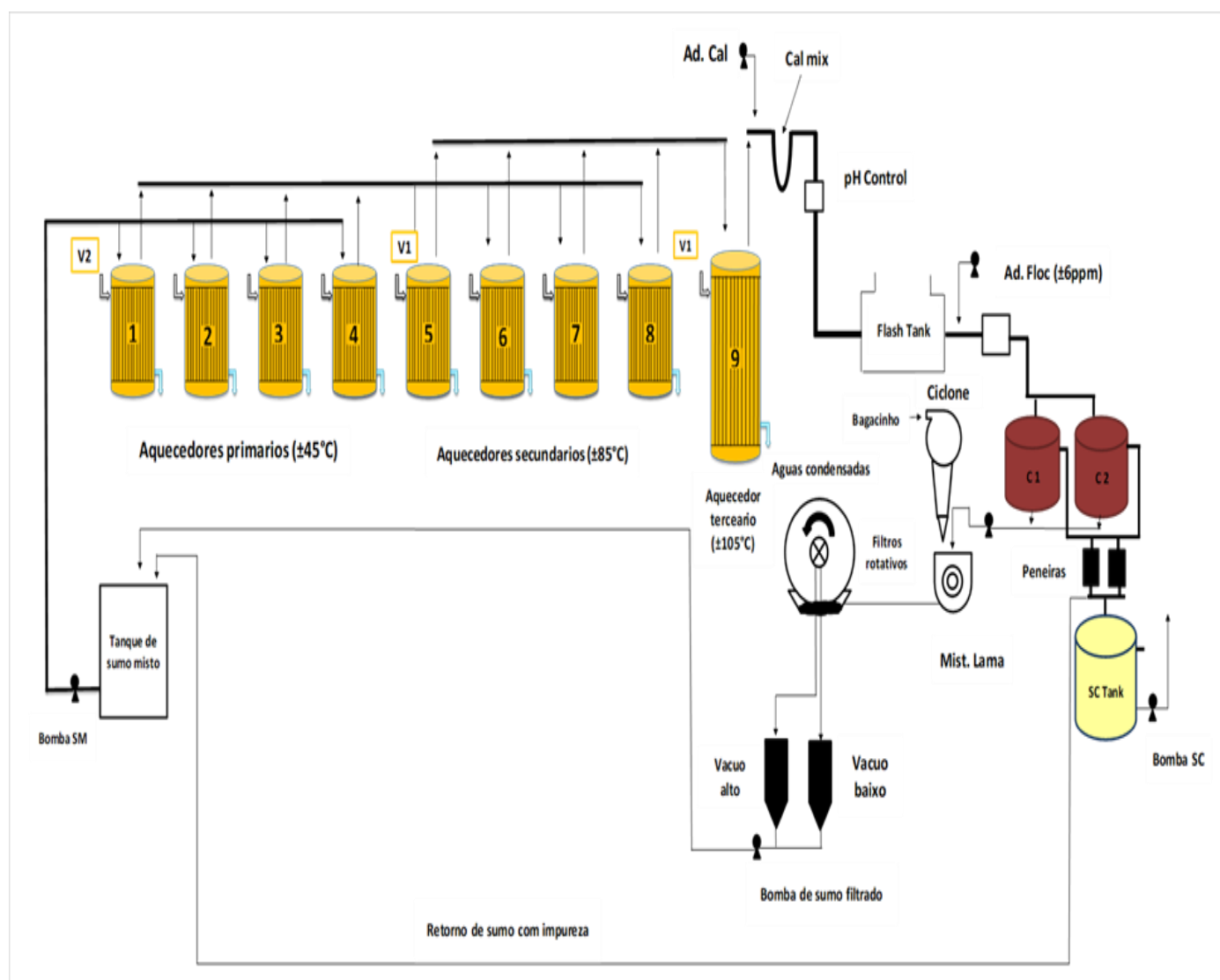


Figura 8: Fluxograma do processo de clarificação.

Fonte: TONGAAT HULETT

3.3.1. Descrição do Processo

O caldo de cana é inicialmente tratado com uma pequena quantidade de cal (0,1 a 0,3% em relação ao peso do caldo), o que reage com as impurezas formando precipitados que são posteriormente removidos por filtração. O sumo misto passa por uma série de aquecedores: Aquecedores primários com temperatura que varia de $30^{\circ}\text{C} \pm 45^{\circ}\text{C}$ e secundários com a temperatura que varia de $70^{\circ}\text{C} \pm 85^{\circ}\text{C}$: estes aquecem o sumo misto a temperaturas intermediárias e aquecedor terciário: ele aquece o sumo misto a uma temperatura final de 103°C a 105°C .

O sumo aquecido entra em um tubo em forma de "U" (ou reactor de mistura) onde é misturado com a cal (CaO). Este tubo promove uma mistura homogênea e contacto íntimo entre a cal e o sumo misto, garantindo uma distribuição uniforme da cal.

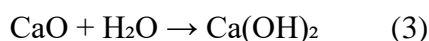
Após a mistura, o sumo passa para um tanque de resfriamento (tanque flash), onde a temperatura é reduzida para aproximadamente 100°C . O tanque possui uma abertura na parte superior para a liberação de gases e uma eficiente remoção de bolhas de ar, preparando o sumo para a entrada no clarificador. A principal função do tanque de resfriamento é realizar uma pré-clarificação, removendo gases e impurezas e reduzindo a temperatura do sumo.

Antes da entrada no clarificador, um flocculante é adicionado para promover a sedimentação das impurezas. A indústria opera dois clarificadores, portanto actualmente apenas o Clarificador N° 2 está em operação. O clarificador remove impurezas como ceras, gomas, amido, proteínas e cinzas do sumo, utilizando processos físicos e químicos, como aquecimento, adição de cal e coagulação/floculação. Após a clarificação, o sumo apresenta uma aparência mais límpida e translúcida, o que melhora a qualidade visual e aumenta o rendimento de açúcar durante a cristalização.

3.4. Colecta e Tratamento de Dados

a) Preparação do Leite de Cal

- Utilizou-se 18 baldes de cal (20 kg cada) para preparar o leite de cal com 10 graus Baumé, preenchendo o tanque 4400L de preparação até 80% de sua capacidade.
- Dissolveu-se a cal em água para formar uma solução de hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2):



- Manteve-se a solução em um tanque de dosagem com agitação constante para evitar sedimentação.
- Controlou-se a dosagem automaticamente com base na medição do pH do sumo. O controlador de pH ajusta a taxa de dosagem da solução de hidróxido de cálcio para manter o pH dentro da faixa desejada.
- Mistura e Agitação: usou-se misturadores para garantir uma distribuição uniforme da cal no sumo e manter a agitação contínua para promover uma reação completa e eficiente.

b) Coleta de Dados em Tempo Real

Utilizou-se sensores automatizados para monitorar continuamente as variáveis do processo (pH, Temperatura, graus de baumé, fluxo do sumo misto, concentração de impurezas no sumo por partes por milhão) . Esses sensores foram instalados em pontos estratégicos do sistema de clarificação para fornecer dados em tempo real.

c) Procedimentos de Amostragem

Realizou-se a coleta de amostras de sumo misto a cada 1 hora. Escolheu-se essa frequência para captar as variações temporais e as tendências do processo. As amostras foram retiradas usando equipamentos de amostragem padronizados para evitar contaminação e garantir representatividade.

d) Recolha e Controle de Amostras

A coleta das amostras foram realizada a cada 1 hora, seguindo um plano rigoroso para assegurar que as amostras fossem representativas das condições do processo. Após a coleta, as amostras foram armazenadas e manipuladas com cuidado para preservar sua integridade até a análise laboratorial.

e) Análise Laboratorial

Para a análise do pH, as amostras colectadas foram enviadas ao laboratório. Utilizou-se eletrodos de pH calibrados e equipamentos de medição precisos para determinar a acidez e alcalinidade do sumo.

AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA DO TRATAMENTO DO SUMO MISTO DA CANA-DE -AÇÚCAR COM ÓXIDO DE CÁLCIO (CAL) NA CLARIFICAÇÃO

Os dados colectados foram tratados em um software estatístico de redes neurais e inteligência artificial em linguagem de programação Python. A análise buscou por correlações entre as diferentes variáveis avaliadas no processo, os resultados são apresentados no capítulo seguinte.

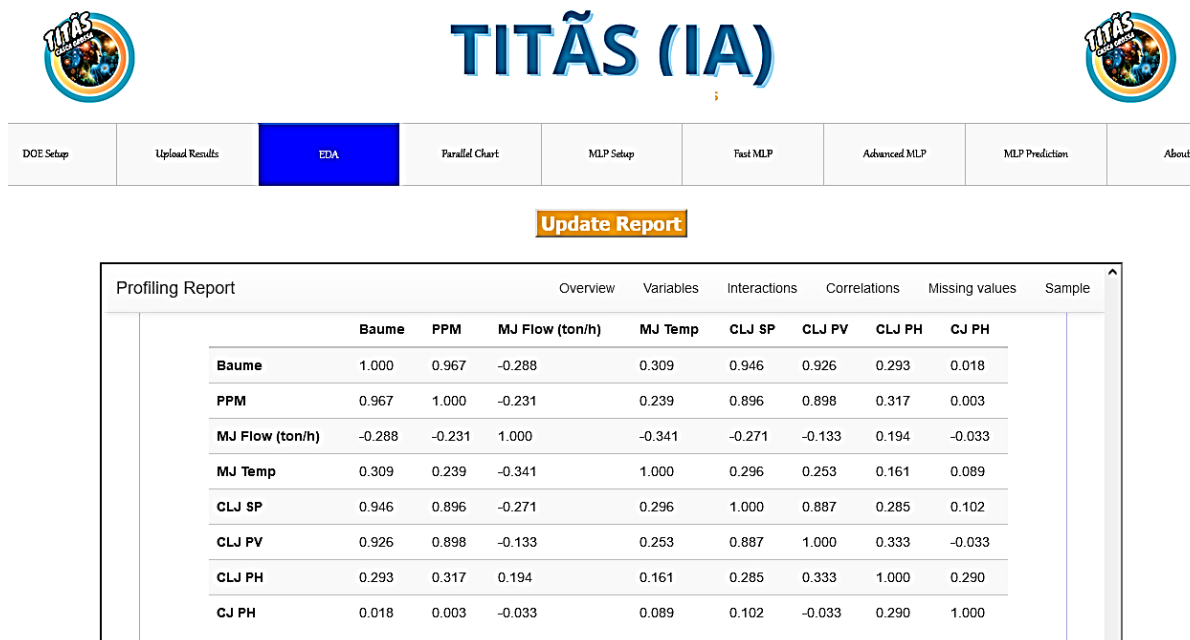


Figura 9: Interface do software TitãsIA.

Fonte: O autor.

3.5. Análise Manual de Sólidos em Suspensão

Para avaliar a eficácia da clarificação do sumo na indústria, utilizou-se um método manual baseado na observação visual dos sólidos em suspensão antes e após o tratamento com cal. Coleta de amostras primeiramente, coletou-se duas amostras representativas sumo com cal e amostra do sumo que foi tratado com cal. A cada amostra é colocada em uma ponte de vidro de 100 ml, um recipiente transparente utilizado para a análise visual. Coloca-se a ponte de vidro contendo a amostra sob uma fonte de luz intensa e uniforme. A iluminação deve ser adequada para permitir uma visualização clara dos sólidos em suspensão. Observou-se cada amostra sob a luz durante 3 a 5 minutos. Esse tempo é suficiente para que possamos distinguir a quantidade de sólidos em suspensão com precisão. Avaliou-se a quantidade de sólidos em suspensão observando a turbidez do sumo. O sumo com maior quantidade de sólidos aparecerá turvo, enquanto o sumo claro será mais transparente.

IV: DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS RESULTADO

4.1. Análise Exploratória dos Dados

Análise exploratória dos dados obtidos da planta e após a realização dos ensaios laboratoriais é apresentada na tabela 7.

Tabela 7: Análise exploratória dos dados.

i	Baume	ppm	MJ Flow (tons/h)	MJ Temp°C	CLJ SP	CLJ PV	CLJ pH	CJ pH
n	80	80	80	80	80	80	80	80
x	8,1	6,035	144,8125	103,475	5,63375	5,649125	7,79	6,9825
s	0,30189 3	0,36943 3	7,796614	0,841563	0,129911	0,149363	0,316388	0,261788
min	8	5,8	123	102	5,5	5,5	6,84	6,21
max	9	7,1	160	105	6	6,1	8,93	7,89

Fonte: O autor.

A Baume no sumo teve uma média de 8,1, com variação entre 8 e 9. O desvio padrão de 0,3 indica que há uma certa estabilidade na concentração, mas ainda existem flutuações. Esse parâmetro é fundamental para avaliar a consistência do produto final.

A medição da concentração de impurezas, expressa em partes por milhão (ppm), mostrou uma média de 6,04, variando de 5,8 a 7,1. O desvio padrão de 0,37 sugere que a quantidade de impurezas varia um pouco, mas de forma controlada. Controlar as impurezas é crucial para garantir a qualidade do sumo claro.

O fluxo do sumo misto (MJ Flow), medido em toneladas por hora, teve uma média de 144,8, com variação entre 123 e 160. O desvio padrão de 7,8 indica algumas flutuações no fluxo, o que pode impactar a eficiência do processo e exige monitoramento constante.

A temperatura do sumo misto (MJ Temp) teve uma média de 103,5, com uma variação entre 102 e 105. O desvio padrão de 0,84 demonstra que a temperatura é relativamente estável, o que é importante para a consistência do processo de tratamento do sumo.

O set-point do pH para o sumo com cal (CLJ SP) teve uma média de 5,64, variando de 5,5 a 6. O desvio padrão de 0,13 indica que o set-point é ajustado com precisão para manter o sumo claro dentro dos padrões desejados.

Para a varível de processo da viscosidade (CLJ PV), foi obtida uma média de 5,65 com uma variação entre 5,5 e 6,1. O desvio padrão é de 0,15, o que indica que há algumas flutuações ao redor dessa média.

O pH do sumo com cal teve uma média de 7,79, com uma variação significativa de 6,84 a 8,93. O desvio padrão de 0,316 indica que há variações notáveis na acidez do sumo claro. Ajustar o pH corretamente é crucial para a estabilidade e a qualidade do produto.

O pH do sumo clarificado teve uma média de 6,99, variando de 6,21 a 7,89. O desvio padrão de 0,26 mostra que há ajustes regulares para alcançar o pH desejado. Esse controle é essencial para garantir que o sumo mantenha as propriedades desejadas após o processamento.

4.2. Análise das Correlações Entre as Variáveis

A análise da matriz de correlação revelou compreensões importantes sobre as inter-relações entre as variáveis medidas na produção de sumo claro.

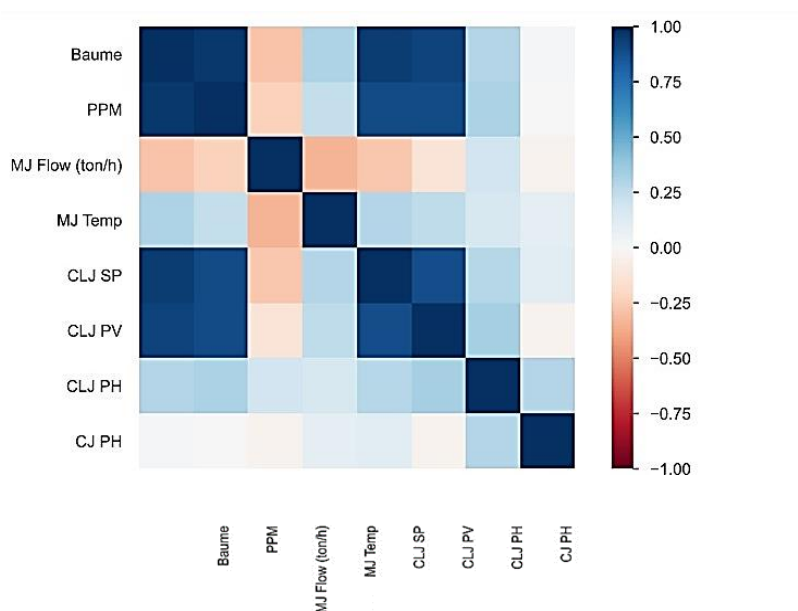


Figura 10: Diagrama de correlação entre as variáveis de processo.

Fonte: O Autor.

AValiação da Eficiência do Tratamento do Sumo Misto da Cana-de-Açúcar com Óxido de Cálcio (CAL) na Clarificação

Primeiramente, observou-se que a variável Baumé, que mede a concentração de sólidos solúveis no sumo misto, apresenta uma correlação alta e positiva com concentração de impurezas em partes por milhão (0.967), CLJ SP (0.946) e CLJ PV (0.926).

Isso indica que quando o valor de Baumé aumenta, essas variáveis também tendem a aumentar.

Por outro lado, notou-se uma correlação negativa fraca entre Baumé e o MJ Flow (ton/h) (-0.288), sugerindo que um aumento no fluxo do sumo está associado a uma pequena redução na concentração de sólidos solúveis.

Outro diagrama com os graus de correlação explícitos em números é apresentado a seguir:

Tabela 8: Diagrama de correlação explícito em números.

	Baume	ppm	MJ Flow(ton/h)	MJ Temp°C	CLJ SP	CLJ PV	CLJ pH	CJ pH
Baume	1.000	0.967	-0.288	0.309	0.946	0.926	0.293	0.018
PPM	0.967	1.000	-0.231	0.239	0.896	0.898	0.317	0.003
MJ Flow(ton/h)	-0.288	-0.231	1.000	-0.341	-0.271	-0.133	0.194	-0.033
MJ Temp	0.309	0.239	-0.341	1.000	0.296	0.253	0.161	0.089
CLJ SP	0.946	0.896	-0.271	0.296	1.000	0.887	0.285	0.102
CLJ PV	0.926	0.898	-0.133	0.253	0.887	1.000	0.333	-0.033
CLJ pH	0.293	0.317	0.194	0.161	0.285	0.333	1.000	0.290
CJ pH	0.018	0.003	-0.033	0.089	0.102	-0.033	0.290	1.000

Fonte: O Autor.

A seguir, percebeu-se que concentração de impurezas (ppm) está fortemente correlacionada positivamente com Baumé (0.967), CLJ SP (0.896) e CLJ PV (0.898). Isso significa que impurezas tendem a aumentar junto com a concentração de sólidos solúveis e outros parâmetros do sumo claro. Também existe uma correlação fraca negativa entre concentração de impurezas em partes por milhão e o fluxo do sumo misto MJ Flow (ton/h) (-0.231).

Quanto ao MJ Flow (ton/h) (fluxo do sumo em ton/h), descobriu-se que ele tem correlações fracas negativas com várias outras variáveis, como baumé (-0.288), concentração de impurezas em partes por milhão (-0.231) e MJ Temp (-0.341). Isso sugere que aumentos no fluxo de sumo estão associados a pequenas reduções nessas variáveis. Além disso, a correlação com CJ pH (-0.033) é praticamente inexistente.

Observando a MJ Temp, encontrou-se correlações fracas positivas com a maioria das variáveis, incluindo baumé (0.309), concentração de impurezas em partes por milhão (0.239) e CLJ PV (0.253). Entretanto, há uma correlação fraca negativa com o fluxo do sumo (-0.341).

Em relação ao CLJ SP (set point), percebeu-se que há uma alta correlação positiva com baumé (0.946), concentração de impurezas em partes por milhão (0.896) e CLJ PV (0.887). No entanto, a correlação com o fluxo do sumo é fraca e negativa (-0.271).

Para a CLJ PV, as correlações são semelhantes, com alta correlação positiva com Baumé (0.926), PPM (0.898) e CLJ SP (0.887), e uma correlação fraca negativa com o fluxo do sumo (-0.133).

Finalmente, notou-se que o CLJ pH (pH do sumo com cal) tem correlações fracas positivas com a maioria das variáveis, incluindo baumé (0.293), concentração de impurezas em partes por milhão (0.317) e CLJ PV (0.333). Já o CJ pH (pH claro) mostra correlações muito fracas ou inexistentes com a maioria das outras variáveis, sugerindo pouca interdependência com os outros parâmetros medidos.

Esses resultados indicam que as variáveis Baumé, concentração de impurezas (ppm), CLJ SP e CLJ PV estão fortemente inter-relacionadas, enquanto MJ Flow (ton/h) tem uma relação inversa, embora fraca, com várias dessas variáveis. Além disso, CJ pH parece ser a variável menos influente no contexto analisado.

De acordo com BATEY (1998), o baumé é uma medida de densidade relacionada à concentração de sólidos dissolvidos. Nos dados coletados, observou-se que um aumento no baumé de 8,00 para 9,00 resulta em um aumento na concentração de impurezas (ppm) de 6,00 para 7,10. Esses resultados corroboram a afirmação de BATEY de que um aumento no baumé está associado a um aumento na concentração de impurezas, confirmando a teoria de que "uma solução com maior baumé normalmente contém uma maior concentração de sólidos dissolvidos". DAVIS e ROBERTS (2001) relatam que variações na concentração de impurezas (ppm) podem ocorrer devido a mudanças na matéria-prima ou na eficiência do processo de filtragem. Nos meus dados, mesmo com o baumé constante em 8,00, a concentração de impurezas (ppm) variou entre 5,80 e 6,00, consistente com a variabilidade descrita por DAVIS e ROBERTS.

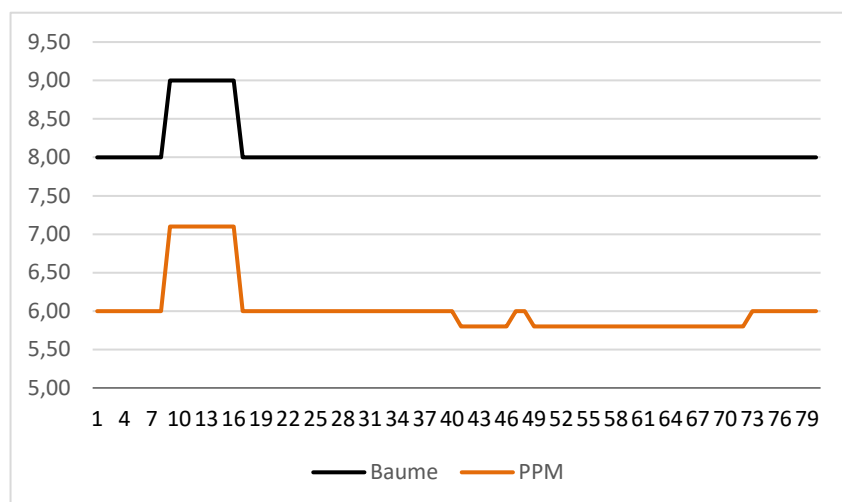


Figura 11: Correlação entre o baumé e ppm.

Fonte: O autor.

A correlação observada entre o baumé e concentração de impurezas (ppm) nos dados coletados confirma que um aumento no baumé está associado a um aumento na concentração de impurezas (ppm), conforme descrito por Batey (1998). A variabilidade na concentração de impurezas (ppm), mesmo com o baumé constante, é consistente com as influências externas mencionadas por DAVIS e ROBERTS (2001).

Dois factores cruciais no processo são o fluxo do sumo misto (`MJ Flow`) e a temperatura (`MJ Temp`). analisou-se a relação entre essas variáveis para entender como afectam a eficiência da clarificação.

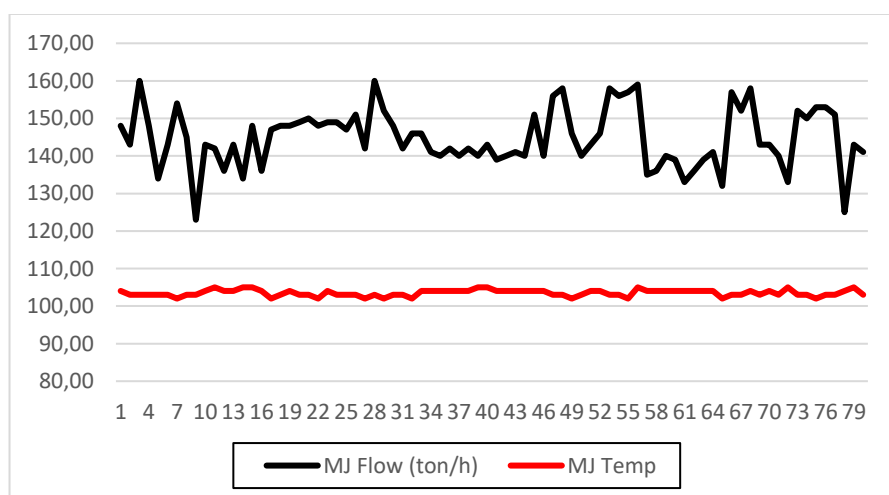


Figura 12: Correlação MJ Flow e MJ Temp

Fonte: O autor.

Neste estudo, a correlação entre o fluxo (MJ Flow) e a temperatura (MJ Temp) foi $r = -0,341$, indicando uma correlação negativa fraca. Isso sugere que as variações no fluxo têm um impacto leve e negativo na temperatura no processo de clarificação do sumo misto comparação com SMITH, J. (2020) encontrou uma correlação positiva moderada ($r = 0,45$), onde um aumento no fluxo estava associado a um aumento na temperatura e JOHNSON, R. (2019) relatou uma correlação negativa fraca ($r = -0,22$), sugerindo que um aumento no fluxo poderia levar a uma leve diminuição na temperatura enquanto que LEE et al. (2021) encontraram uma correlação muito baixa ($r = 0,05$), indicando que a temperatura é controlada independentemente do fluxo.

A correlação negativa fraca observada ($r = -0,341$) indica que o sistema de controle de temperatura no nosso processo de clarificação do sumo misto é eficaz, mantendo a estabilidade térmica apesar das variações no fluxo. Este resultado é consistente com os achados de Johnson e Lee et al., mas diferente das observações de Smith. Continuar a monitorar e ajustar o processo é essencial para garantir a eficiência da clarificação e a qualidade do produto final.

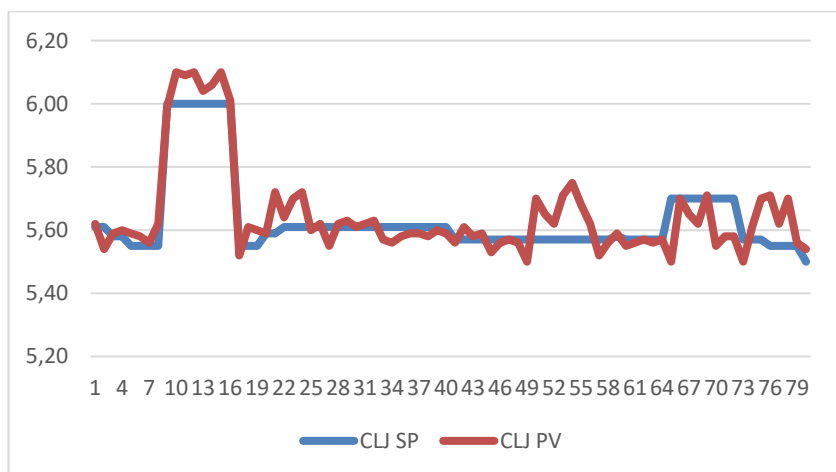


Figura 12: Medições de correlação entre CLJ SP e CLJ PV.

Fonte: O autor.

A coeficiência de correlação encontrado entre CLJ SP e CLJ PV foi de $r = 0,887$. Esse valor indica uma correlação positiva forte entre o set-point e a variável de processo e JONES, A. (2022) encontrou uma correlação positiva moderada ($r = 0,35$) entre set-point e variável de processo em sistemas de controle. correlação positiva forte ($r = 0,887$) encontrada em nosso estudo é significativamente mais alta do que a encontrada por JONES. Isso sugere que, em nosso caso, o sistema de controle está ajustando muito bem a variável de processo em resposta às mudanças no set-point.

Esse resultado indica um controle muito eficaz, onde as variações no set-point estão fortemente reflectidas na variável de processo em quanto que SMITH & LEE (2021) encontraram uma correlação muito baixa ($r = -0,05$) entre set-point e variável de processo, indicando controle independente. A alta correlação positiva encontrada em nosso estudo contrasta fortemente com a correlação muito baixa relatada por SMITH & LEE. A diferença sugere que o nosso sistema de controle é muito mais responsivo e ajusta a variável de processo de forma mais eficaz em resposta ao set-point, em comparação com os sistemas estudados por SMITH & LEE (2021).

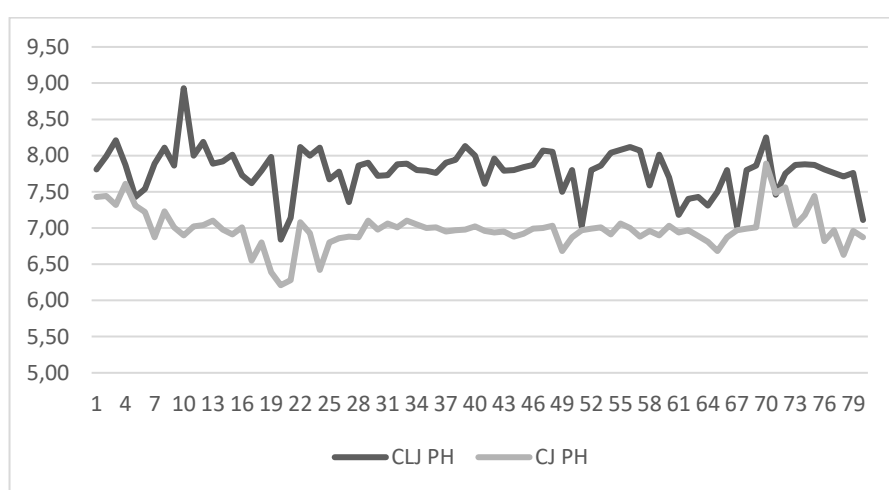


Figura 13: Correlação entre o CLJ pH e o CJ pH.

Fonte: O autor.

Durante a análise, encontrou-se uma correlação positiva fraca ($r = 0,290$) entre o pH do sumo ajustado com cal (CLJ pH) e o pH do sumo claro (CJ pH). Este resultado sugere uma relação fraca entre os dois parâmetros, indicando que o controle de pH no nosso processo de clarificação pode não estar sendo mantido de maneira eficaz comparando com o resultado de GARCIA et al. (2020) encontraram uma correlação positiva alta ($r = 0,85$) entre o pH do sumo claro e o pH ajustado com cal em processos de clarificação. A diferença significativa entre o valor encontrado por GARCIA et al e o nosso valor de 0,290 sugere que nosso processo de ajuste de pH pode ser menos eficiente e SILVA & SANTOS (2019) relataram uma correlação positiva moderada ($r = 0,65$) em um estudo semelhante. Comparado com os resultados de SILVA & SANTOS, nosso valor de 0,290 ainda é significativamente menor, indicando que há potencial para melhorias.

A correlação fraca ($r = 0,290$) observada em nosso estudo sugere que nosso processo de ajuste de pH precisa de melhorias significativas para alcançar uma eficiência comparável aos estudos de GARCIA et al. (2020) e SILVA & SANTOS (2019). A diferença nos coeficientes de correlação pode ser atribuída a factores como inconsistências na adição de cal, variações na qualidade do sumo claro, ou diferenças nos equipamentos utilizados.

V. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

5.1. Conclusão

Após a elaboração do trabalho concluiu-se que a diferença observada entre as amostras de sumo com cal e sumo claro fornece uma indicação da eficiência do processo de clarificação. Os resultados demonstraram que o Baumé, a concentração de impurezas em partes por milhão, o CLJ SP e o CLJ PV possuem fortes correlações positivas entre si, indicando que essas variáveis são críticas para o controle da qualidade do sumo clarificado. Por outro lado, o fluxo do sumo com cal (MJ Flow) mostrou correlações fracas com outras variáveis, sugerindo que seu impacto na clarificação pode ser menos significativo ou mais complexo de se entender isoladamente. A análise visual complementou a análise quantitativa, permitindo a identificação de padrões e tendências que podem não ser imediatamente aparentes apenas com a matriz de correlação. A concentração de valores em certas faixas para variáveis como temperatura do sumo misto (MJ Temp), set-point do sumo com cal (CLJ SP) e variável de processo do sumo com cal (CLJ PV) reforça a importância de manter esses parâmetros dentro de intervalos específicos para otimização da clarificação do sumo.

Os resultados deste estudo, quando aplicados na prática podem melhorar os processos industriais de produção de açúcar, ajustando as variáveis críticas identificadas para aumentar a eficiência e a qualidade do produto final. Em suma, o tratamento do sumo misto com óxido de cálcio mostrou-se eficaz dentro das condições estudadas, e a abordagem metodológica utilizada provou ser eficaz para identificar e entender as principais interações no processo de clarificação.

5.2. Recomendações

- Para as futuras pesquisas, recomenda-se que sejam realizados estudos sobre análise da eficiência na clarificação no uso do Floculante.
- Revisão do Sistema de Controle: Verificar e, se necessário, ajustar o sistema de controle de fluxo e temperatura para melhorar a eficiência da clarificação e manter a qualidade do produto.
- Para os futuros estudos continuem a explorar essas relações, possivelmente incorporando outras variáveis e métodos de análise para um entendimento ainda mais profundo.

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AOKI, I. V. Clarificação de caldos de cana: comparação entre os processos de sulfitação e carbonatação. 177 p. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1987.
2. ALBUQUERQUE, F. M., Processo de fabricação do açúcar. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2011.
3. BATEY, T. (1998). The Measurement of Density and the Role of Baume in Solution Quality. *Journal of Food Engineering*.
4. CENTURION, South Africa: African Development Bank. Camellini, J., & Castillo, R. (2012). Etanol e Uso Corporativo do Território (ethanol and corporative use of territory). Fortaleza: Universidade Federal do Ceará.
5. CHEN, J.C.P.; CHOU, C. Cane Sugar Handbook. A manual for cane sugar manufacturers and their chemists. 12nd.ed. New York John Wiley & Sons, 1993.
6. CHOU, C.C.; IQBAL, K.; MIN, Y. G.; GAO, D.W.; DUFFAUT, E. SAT process as a replacement for sulfitation in mill white sugar production. *International Sugar Journal*, v. 108, n. 1289, p. 247-253, 2006.
7. DAVIS, J., & Roberts, K. (2001). Impurity Concentration in Process Liquids: Influences and Controls. *Industrial Processing Journal*.
8. DELGADO, A. A.; AZEREDO CÉSAR, M. A. Elementos de tecnologia e engenharia do açúcar de cana. Vol. II. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1977.
9. GARCIA, J., et al. (2020). Processos de Clarificação de Sucos. *Journal of Food Process Engineering*.
10. HUGOT, E. Manual da Engenharia Açucareira. São Paulo: Mestre Jou, v.1, 1977.
11. HONIG, P. Principles of sugar technology. New York: Elsevier Publishing Company, v.1.1953.
12. Tecnologia de produção de açúcar de cana / organizador: Cláudio Hartkopf Lopes. — São Carlos : EdUFSCar, 2011.
13. JONES, A. (2022). Advanced Control Systems. Academic Press.
14. JOHNSON, R. (2019). Thermal Management in Food Processing. Springer.
15. LEE, A., Brown, K., & Wang, L. (2021). Flow and Temperature Control in Industrial Systems. Elsevier..
16. MARQUES, M.O.; MARQUES, T.A.; TASSO JÚNIOR, L. C. Tecnologia do açúcar Produção e industrialização da cana-de-açúcar. Jaboticabal-SP: Funep, 2001.

17. MACHADO, S. S. Tecnologia da Fabricação do Açúcar Inhumas IFG; Santa Maria: Ed. Universidade Federal de Santa Maria, 2012. p. 15-16; p.49-52.
18. NOVACANA. (2022). A produção de cana-de-açúcar no Brasil (e no mundo). Obtido em 1 de julho de 2022, de <https://www.novacana.com/cana/producao-cana-deacucar-brasil-e-mundo>.
19. O'LAUGHLIN, B., & Ibraimo, Y. (Aug de 2022). A Expansão da Produção de Açúcar e o Bem-Estar dos Trabalhadores Agrícolas e Comunidades Rurais em Xinavane e Magude. Maputo. Oec world. (2022). Oec world. Obtido de Oec world: <https://oec.world/> P., C. (2013). Government Support and the Brazilian Sugar Industry.
20. OLIVEIRA, D.T.; ESQUIAVETO, M.M.M.; SILVA JÚNIOR, J.F. Impacto dos itens da especificação açúcar na indústria alimentícia. Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, v. 27 p. 99-102, 2007.
21. PAYNE, J. H. Operações unitárias na produção de açúcar de cana. São Paulo: Nobel: STAB, 1989, 245 p.
22. SIMELANE, X. (2021). Analysing the competitive performance of the Eswatini sugar industry. South Africa.
23. SOUZA, J. Estudo da eficiência de alguns polielitrólitos utilizados na clarificação do caldo de cana. 101 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1988.
24. SILVA, M., & Santos, R. (2019). Controle de pH em Processos de Produção de Sucos. Food Control.
25. SMITH, J., & Lee, T. (2021). Process Control Fundamentals. Wiley.
26. SMITH, J. (2020). Industrial Process Control. Wiley.
27. SMITH, A., & Jones, R. (2005). Quality Control in Liquid Processing: Managing Baume and PPM. Food Processing Review.
28. SANTOS, Fernando; BORÉM, Aluízio; CALDAS, Celso. Cana-de-açúcar: bioenergia, açúcar e álcool – tecnologias e perspectivas. Viçosa: Editora UFV, 2010..
29. SPENCER, C.L.; MEADE, G.P. Manual del azúcar de caña. 9 ed. Montaner y Simon, Barcelona, 1967, 940 p.
30. UNICA (União da Indústria de Cana-de-açúcar). Cana-de-açúcar processada pelas usinas brasileiras. 2010. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/dadosCotacao/estatistica/>>. Acesso em: 12 ago. 2010.

APÊNDICES & ANEXOS

Apêndice I: (Clarificação do caldo da cana)



Apêndice-II: (Preparação do Oxido de calcio)



Apêndice-III: (comparação do sumo misto e sumo claro)



Apêndice-IV: (Análise do pH)



Apêndice-V: (Material/Equipamento)

Número	Material/Equipamento	Descrição
1	Cal (CaO)	Óxido de cálcio para preparação de leite de cal. Quantidade: 18 baldes de 20 kg cada.
2	Água	Para dissolver a cal e preparar a solução de hidróxido de cálcio.
3	Floculante	Reagente químico adicionado ao sumo para promover a

		sedimentação das impurezas.
4	Soluções Tampão	pH 4 e pH 7 para calibrar o pH metro.
5	Aquecedores	Primários, Secundários e Terciários para aquecer o sumo misto a diferentes etapas do processo.
6	Tubo em Forma de "U"	Facilita a mistura eficiente entre o sumo misto e a cal.
7	Tanque de Resfriamento (Tanque Flash)	Reduz a temperatura do sumo e remove gases e impurezas.
8	Medidor de Fluxo Magnético	Faixa de Medição: 9 ton/h a 180 ton/h. Mede o fluxo do suco de cana em tempo real.
9	Sensor de Temperatura (RTD Pt100)	Faixa de Medição: Aproximadamente 104°C. Monitora a temperatura do sumo.
10	Controlador PID	Ajusta parâmetros do processo para manter o set point desejado.
11	Analizador de PPM	Mede a concentração de impurezas em tempo real.
12	pH Metro Digital	Mede o pH do sumo. Deve ser calibrado com soluções tampão.
13	Misturadores	Garantem a distribuição uniforme da cal no sumo.
14	Hidrômetro de Baumé	Mede a densidade do sumo.

ANEXOS



UNIVERSIDADE
EDUARDO
MONDLANE

Escola Superior de Desenvolvimento Rural (ESUDER)

Credencial

Ref: ESUDER/2023

Para: Acucareira de Mafambisse - Sofala.

Ass: Colecta de dados

Exmo. Senhor

Para efeitos de colecta de dados, o estudante Joaquim Manuel Bambi, do 4º ano curso de licenciatura em Agroprocessamento, na Escola Superior de Desenvolvimento Rural, vem por meio desta pedir a V. excia se digne autorizar a realizar a colecta de dados na vossa Instituição, para trabalho de culminação do curso com o tema: Avaliação do sistema de controlo de qualidade da matéria-prima do processo de produção e armazenamento.

Saudações académicas

Vilankulo, 21 de Fevereiro de 2023



(Prof. Doutor Bartolomeu Félix Tangune)

Anexo I: Credencial de pedido de estágio.

ESCOLA SUPERIOR DE DESENVOLVIMENTO RURAL (ESUDER)
-MAPUTO-

Ref:01/CH/TH/2023

Assunto: Resposta do pedido de estágio

Acusamos a recepção da nota Ref: ESUDER/2023 da V.Excelsa, datada de 21 de Fevereiro de 2023, que solicita o pedido de estágio profissional a favor do estudante **Joaquim Manuel Bambi**, informamos que foi deferido, no entanto iniciou no dia 16 de Maio de 2023 na Direção Fabril - Processos.

Atenciosamente

Mafambesse, aos 08 de Junho de 2023

O Gestor de Capital Humano

Bernardo Cumbana



Sede: Fábrica e Plantação de MAFAMBESSE, Distrito de Dongo, Província de Beira - Caixa Postal 1121, Beira, Moçambique
Telef. (+258) 25 960411/14, 960161/25, 960405 - Telef. (+258) 25 96015/16 - Cel. Para SA 9011 1776
Escritório: Av. Uniao Africana, nr 112, Quarteiro 45, Cidade da Missoa, Maputo, Moçambique - Caixa Postal 583, Maputo, Moçambique
Telef. (+258) 21 7351466 - Telef. (+258) 21 427316 - Cel. (+258) 62 300 1757/(+258) 82 525 5218
NÚM. 40004709 - Número de Registo Comercial 1230 - Capital Subscrito: 1.506.471.400,00 MT

E-mail: Tongaathulett@th.com - Website: www.th.com - Págs. 360/365 - Fax: Cel. 42 5 450 - Email: cel. 260 310 312

Tongaathulett Limited (Pty) Ltd. (Incorporated in South Africa) 2002/026013/00

Anexo II: Resposta do pedido de estágio



Tongaathulett

Açucareira de Moçambique, SA

Centro de Formação Profissional de Mafambisse

Declaração

Tongaathulett - Açucareira de Moçambique S.A. com Plantação de Cana Sacarina e Fábrica de Açúcar em Mafambisse, Distrito de Dondo, Província de Sofala, declara que o estudante **Joaquim Manuel Bambi** estagiou nesta Empresa no Departamento Fabril na Secção de Caldeiras, Processo e Laboratório, onde exerceu actividades tais como:

- 1- Monitoramento dos moinhos, controle dos processos de extracção do sumo e bagaço e monitoramento da qualidade do sumo.
- 2- Manutenção dos moinhos e monitoramento.
- 3- Monitoramento da clarificação do sumo misto, preparação do Cal e floculantes.
- 4- Monitoramento do PH, Temperatura e dosagem do Cal e Floculantes.
- 5- Monitoramento da evaporação do sumo clarificado para a produção do xarope.
- 6- Controle de abertura das válvulas de vácuo, controle das bombas e parâmetros do Brix.
- 7- Operação das panelas 1 a 8. Produção das sementes e açúcar castanho.
- 8- Clarificação do sumo misto, dosagem do agente clarificador.
- 9- Preparação de amostras para análise laboratoriais dos níveis de impurezas, do PH, Brix do xarope e fibra.

É salientar que o estágio foi no período entre 25 de Maio de 2023 até 11 de Agosto de 2023, tendo tido bom aproveitamento nas actividades desenvolvidas.

A pedido do estagiário, passamos a presente declaração para os devidos efeitos.

Mafambisse, aos 15 de Agosto de 2023

O Gestor de Capital Humano

Bernardo Cumbana
DIRECÇÃO DE CAPITAL HUMANO
MAFAMBISSE - DONDO

Sede: Fabrica e Plantações de Mafambisse - Estrada Nacional nr. 6 - Distrito de Dondo - Província de Sofala - Moçambique
Telefones: Fixo +258 23 960 300 Celular +258 84 38 70 470 - MAFAMBISSE
NÚIT 400058709 - Número de Registo Comercial 100264501 - Capital Subscrito 1 506 471 409,00 MT

Email: tongaathulett@whistleblowing.co.za Website: www.whistleblowing.co.za Whatsapp: +27 31 308 4664 -
Mozambique Toll free 800 213 213

Tongaathulett Limited (Registration Number 1892/000610/06)

Anexo III: Declaração 1



Tongaathulett®

Açucareira de Moçambique, SA

Centro de Formação Profissional de Mafambisse

Declaração

Tongaathulett - Açucareira de Moçambique S.A. com Plantação de Cana Sacarina e Fábrica de Açúcar em Mafambisse, Distrito de Dondo, Província de Sofala, declara que o estudante **Joaquim Manuel Bambi** estagiou nesta Empresa no Departamento Fabril no Sector de Processo, onde exerceu actividades tais como:

- 1- Análise da fibra da cana e bagaço no laboratório e testes de qualidade.
- 2- Operar e calibrar o equipamento de laboratório espectrotómetro, PH metros e Balança.
- 3- Realizar testes de qualidade para garantir o cumprimento das especificações e padrões.
- 4- Implementar e manter sistemas de gestão de qualidade, como ISO 9001.
- 5- Desenvolver procedimentos operacionais (POPS) para garantir a consistência na produção.
- 6- Análise do PH, Pol, Brix, Humidade do açúcar, Sumo misto, Sumo claro, Xarope e Melaço.
- 7- Controle dos parâmetros PH, Cor, Temperatura, Pol, Brix e preparação de todas as amostras.
- 8- Dosagem de produtos químicos nas amostras testados no laboratório e calibração do equipamento.
- 9- Realizar inspecções e testes de qualidade da matéria prima e produtos em processo e finais.
- 10- Identificar problemas de qualidade e implementação das medidas correctiva para melhorar o processo.

É salientar que o estágio foi no período entre 04 de Setembro de 2023 até 05 de Dezembro de 2023, tendo tido bom aproveitamento nas actividades desenvolvidas.

A pedido do estagiário, passamos a presente declaração para os devidos efeitos.

Mafambisse, aos 19 de Abril de 2024

O Gestor de Capital Humano

Bernardo Cumbana

Sede: Fabrica e Plantações de Mafambisse • Estrada Nacional nr. 6 • Distrito de Dondo • Província de Sofala - Moçambique
Telefones: Fixo +258 23 960 300 Celular +258 84 38 70 470 • MAFAMBISSE
NUIIT 400058709 • Número de Registo Comercial 100264501 • Capital Subscrito 1 506 471 409,00 MT

Email: tongaathulett@whistleblowing.co.za Website: www.whistleblowing.co.za Whatsapp: +27 31 308 4664 –
Mozambique Toll free 800 213 213

Tongaathulett Limited (Registration Number 1892/000610/06)

Anexo IV: Declaração 2

		Cal		Eletrolitos		Sumo Misto		pH de sumo com cal			Sumo clar
	Sacos	baume	Quant/kg	Bomba	Fluxo/H	Temp/°C	S.V	P.V	pH	pH	Temp/°C
Min		8				103			7.9	6.9	105
Max	22	11	1.8	ppm	180	104			8.1	7.1	115
06:00		8	1	5.8	135	104	5.57	5.52	8.07	6.88	1
07:00		8	1	5.8	136	104	5.57	5.56	7.59	6.96	1
08:00		8	1	5.8	140	104	5.58	5.59	8.01	6.90	1
09:00		8	1	5.8	139	104	5.57	5.55	7.70	7.03	1
10:00		8	1	5.8	133	104	5.57	5.56	7.18	6.94	1
11:00		8	1	5.8	136	104	5.57	5.57	7.40	6.97	1
12:00		8	1	5.8	139	104	5.57	5.56	7.43	6.89	1
13:00		8	1	5.8	141	104	5.57	5.57	7.31	6.81	1
Total	30										
		Cal		Eletrolitos		Sumo Misto		pH de sumo com cal			Sumo clar
	Sacos	baume	Quant/kg	Bomba	Fluxo/H	Temp/°C	S.V	P.V	pH	pH	Temp/°C
Min		8				103			7.9	6.9	105
Max	22	11	1.8	ppm	180	104			8.1	7.1	115
06:00		8	1	5.8	132	102	5.7	5.50	7.50	6.68	111
07:00		8	1	5.8	157	103	5.7	5.70	7.80	6.87	111
08:00		8	1	5.8	152	103	5.7	5.65	7.02	6.97	111
09:00		8	1	5.8	158	104	5.7	5.62	7.80	6.99	111
10:00		8	1	5.8	143	103	5.7	5.71	7.86	7.01	111
11:00		8	1	5.8	143	104	5.7	5.55	8.25	7.89	111
12:00		8	1	5.8	140	103	5.7	5.58	7.46	7.48	111
13:00		8	1	5.8	133	105	5.7	5.58	7.75	7.56	111
Total											
		Cal		Eletrolitos		Sumo Misto		pH de sumo com cal			Sumo clar
	Sacos	baume	Quant/kg	Bomba	Fluxo/H	Temp/°C	S.P	P.V	pH	pH	Temp/°C
Min		8				103			7.9	6.9	105
Max	22	11	1.8	ppm	180	104			8.1	7.1	115
06:00		8	1	6	152	103	5.57	5.50	7.87	7.04	111
07:00		8	1	6	150	103	5.57	5.61	7.88	7.18	111
08:00		8	1	6	153	102	5.57	5.70	7.87	7.44	111
09:00		8	1	6	153	103	5.55	5.71	7.81	6.82	110
10:00		8	1	6	151	103	5.55	5.62	7.76	6.97	111
11:00		8	1	6	125	104	5.55	5.70	7.71	6.63	111
12:00		8	1	6	143	105	5.55	5.56	7.76	6.96	111
13:00		8	1	6	141	103	5.5	5.54	7.11	6.87	111

Anexo V: Mapa da clarificação