

FUNDAÇÃO DE ENSINO “EURÍPIDES SOARES DA ROCHA”  
CENTRO UNIVERSITÁRIO EURÍPIDES DE MARÍLIA – UNIVEM  
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**CLAYWOR JONES BACK ALLES**

**TECNOLOGIA NO TRATAMENTO E CLARIFICAÇÃO DE CALDO  
NA PRODUÇÃO SUCROALCOOLEIRA**

MARÍLIA  
2013

FUNDAÇÃO DE ENSINO “EURÍPIDES SOARES DA ROCHA”  
CENTRO UNIVERSITÁRIO EURÍPIDES DE MARÍLIA – UNIVEM  
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**CLAYWOR JONES BACK ALLES**

**TECNOLOGIA NO TRATAMENTO E CLARIFICAÇÃO DE CALDO  
NA PRODUÇÃO SUCROALCOOLEIRA**

Trabalho de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção da Fundação de Ensino “Eurípides Soares da Rocha”, mantenedora do Centro Universitário Eurípides de Marília – UNIVEM, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador:  
Prof. Me. Leandro Baraldi

MARÍLIA  
2013




FUNDAÇÃO DE ENSINO "EURÍPIDES SOARES DA ROCHA"  
Mantenedora do Centro Universitário Eurípides de Marília - UNIVEM  
Curso de Engenharia de Produção.

Claywor Jones Back Alles - 44605-1


TÍTULO "Tecnologia no tratamento e clarificação de caldo na produção  
sucroalcooleira "

Banca examinadora do Trabalho de Curso apresentada ao Programa de Graduação em Engenharia de Produção da UNIVEM, F.E.E.S.R, para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Nota: 8,5

ORIENTADOR:   
Leandro Menegatti Baraldi

1º EXAMINADOR:   
Dani Marcelo Nonato Marques

2º EXAMINADOR:   
Danilo Correa Silva

Marília, 06 de dezembro de 2013.

Alles, Claywor Jones Back

Tecnologia no tratamento e clarificação do caldo na produção sucroalcooleira / Claywor Jones Back Alles; orientador: Leandro Baraldi. Marília, SP: [s.n.], 2013.

71 f.

Trabalho de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) - Curso de Engenharia de Produção, Fundação de Ensino “Eurípides Soares da Rocha”, mantenedora do Centro Universitário Eurípides de Marília –UNIVEM, Marília, 2013.

1. Cana de Açúcar 2. Clarificação de Caldo 3. Produtividade

CDD: 664.12

*Dedico esta monografia a minha família, que me incentivou e ajudou nos momentos difíceis durante esta caminhada em busca da conclusão deste curso. Dedico também ao meu filho (a) que ainda está por vir, mas que com certeza já me dá mais força e vontade para ir em busca dos meus sonhos.*

## AGRADECIMENTOS

*Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado saúde, força e motivação para a concretização desta conquista, pois sem a sua ajuda não a teria conseguido.*

*Agradeço a minha família por toda a compreensão no decorrer destes cinco longos anos de estudo.*

*Agradeço ao Professor Leandro Baraldi, não apenas como mestre, mas também como amigo. Que sempre se mostrou compreensivo e entendeu todas as dificuldades e dúvidas durante este trabalho. Sua ajuda foi fundamental para a conclusão deste trabalho.*

*Agradeço aos meus avós, que estiveram juntos na minha criação e infância. Que com certeza são uma fonte inspiradora para mim, não me deixando desistir dos meus sonhos.*

*Agradeço aos amigos de turma, que nos momentos difíceis, dúvidas e desesperos sempre estiveram juntos para ajudar no que fosse possível.*

*“Talvez não tenha  
conseguido fazer o melhor,  
mas lutei para que  
o melhor fosse feito.  
Não sou o que deveria ser,  
mas Graças a Deus,  
não sou o que era antes”*

*Marthin Luther King*

ALLES, Claywor Jones Back. **Tecnologia no tratamento e clarificação de caldo na produção Sucroalcooleira**. 2013. 71 f. Trabalho de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) – Centro Universitário Eurípides de Marília, Fundação de Ensino “Eurípides Soares da Rocha”, Marília, 2013.

## RESUMO

Este trabalho tem como principal objetivo demonstrar a importância da aplicação de novas tecnologias no setor sucroalcooleiro, contudo existe num processo convencional as etapas mais importantes que podem ser resumidas em moagem, tratamento de caldo, evaporação, cozimento/cristalização e centrifugação. Observando-se o processo industrial destes setores, serão apontados os principais problemas ocorridos no processo, prováveis causadores destes defeitos e possíveis soluções. Apesar de estas etapas serem amplamente estudadas, atualmente vive-se o grande dilema, “produzir mais, com maior qualidade e com menor custo agregado”. Então ao se apegar nos preceitos básicos, chega-se a conclusão que estas etapas são extremamente importantes, porém na atualidade, necessitam do auxílio de novas tecnologias para suprir as necessidades dos homens. Um dos grandes causadores das dificuldades da indústria é a nova variedade de cana de açúcar denominada RB 92579, que possui um elevado teor de compostos fenólicos que agregam cor ao caldo, prejudicando na clarificação do caldo. Acompanhando a realidade, o estudo realizado para este trabalho é por coleta de dados, obtidos em levantamentos de campo nas unidades produtoras de açúcar. Para isso foi observada a influência da instalação de um novo insumo químico a base de Sulfito de Sódio e Ácido Fosfórico para clarificação de caldo e xarope com o intuito de obter os resultados necessários. Para fins de estudo, foram acompanhados todas as etapas da instalação do sistema, mudanças no processo convencional e avaliado os principais parâmetros do processo, entre eles o pH, condutividade, cor e cinzas. Por fim foram abordados os dados analíticos e de processo, obtendo uma conclusão concreta sobre a aplicação deste novo insumo químico tanto industrial quanto financeiro, analisando a viabilidade da instalação desta tecnologia.

**Palavras-chave:** 1.Cana de Açúcar 2.Clarificação de Caldo 3.Produtividade



ALLES, Claywor Jones Back. **Technology for the treatment and clarification broth Sugarcane production.** 2013. 71 f. Work degree (Bachelor of Production Engineering) - University Center Marília Euripides, Teaching Foundation "Euripides Soares da Rocha," Marilia, 2013.

## ABSTRACT

This work aims to demonstrate the importance of the application of new technologies in the biofuels industry, however there is a conventional process the most important steps that can be summarized in milling, juice treatment, evaporation, cooking/crystallization and centrifugation. Observing the process of these industrial sectors, will be appointed the main problems occurring in the process, likely causing these defects and possible solutions. Although these steps are widely studied now lives up the great dilemma, "produce more, higher quality and lower aggregate cost." So to cling basic precepts, one reaches the conclusion that these steps are extremely important, but in actuality, they need the support of new technologies to meet the needs of men. A major cause of the difficulties the industry is a new variety of sugar cane called RB 92579, which has a high content of phenolic compounds that add color to the broth, damaging the juice clarification. Tracking the reality, the study conducted for this work is a collection of data obtained in field surveys in sugar mills. For this, the influence of the installation of a new chemical product base sodium sulfite and phosphoric acid to clarify the broth and syrup in order to obtain the required results were observed. For purposes of the study, were followed all the steps of installing the system, changes in the conventional process and evaluated the main process parameters, including pH, conductivity, color, and gray. Finally analytical and process data have been addressed by obtaining a concrete conclusion on the application of new chemical industry as much financial input, analyzing the feasibility of installing this technology.

**Keywords:** 1. Sugar Cane 2. Clarification Broth 3. Productivity

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Fluxograma básico de processo .....	17
Figura 2 – Corte manual de Cana Queimada(Esq.) e Corte manual de Cana Crua(Dir.).....	20
Figura 3 – Corte Mecanizado .....	21
Figura 4 – Recepção de Cana .....	22
Figura 5 – Setor de moagem.....	23
Figura 6 – Esquema do Sistema de Sulfitação/ Torre de Sulfitação .....	25
Figura 7 – Decantador .....	26
Figura 8 – Setor de Evaporação.....	28
Figura 9 – Modelo de Evaporação.....	29
Figura 10 – Modelo de Evaporador tipo Robert.....	29
Figura 11 – Modelo de Evaporador tipo Falling Film.....	30
Figura 12 – Modelo de Evaporador tipo Névoa Turbulenta.....	31
Figura 13 – Modelo de Cozedor tipo Calandra/ Feixe tubular .....	34
Figura 14 – Exemplo de Massa após Cozimento .....	35
Figura 15 – Exemplo de Massa após Cozimento vista por Microscópio .....	35
Figura 16 – Centrifuga de Açúcar (Por Batelada) .....	37
Figura 17 – Secador de açúcar de tambor rotativo .....	38
Figura 18 – Modelo Padrão de Skid de Dosagem .....	46
Figura 19 – Esquema de dosagem no Caldo Clarificado .....	47
Figura 20 – Esquema de dosagem no Pré Xarope .....	48
Figura 21 – Esquema de montagem do Misturador Estático.....	48
Figura 22 – Detalhe da dosagem no Pré Xarope .....	49
Figura 23 – Detalhe da mudança de Cor com a aplicação do Insumo.....	50
Figura 24 – Local de aplicação na 1ª análise de campo .....	53
Figura 25 – Mudança de cor do Xarope Flotado em Planta .....	54
Figura 26 – Cor da Massa A após a utilização da Tecnologia .....	56
Figura 27 – Mudança de cor do Caldo da 2ª aplicação de campo.....	64
Figura 28 – Aspecto da Água condensada x Água destilada da 2ª aplicação de campo .....	67

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Detalhes do Insumo a Base de Sulfito de Sódio.....	43
Tabela 2 – Detalhes de Dosagem do Insumo a Base de Sulfito de Sódio.....	44
Tabela 3 – Detalhes do Insumo a Base de Ácido Fosfórico.....	44
Tabela 4 – Detalhes de Dosagem do Insumo a Base de Ácido Fosfórico.....	45
Tabela 5 – Números com a Redução da cor após a aplicação em bancada.....	51
Tabela 6 – Números do pH após a aplicação em bancada.....	51
Tabela 7 – Números da condutividade do caldo após a aplicação em bancada.....	52
Tabela 8 – Análises de Cor da Planta.....	54
Tabela 9 – Análises de Cor da Planta em Laboratório.....	54
Tabela 10 – Comparativo de produção antes e após a dosagem.....	55
Tabela 11 – Dados de moagem da 1ª aplicação de campo.....	56
Tabela 12 – Dados de consumo de Insumos Químicos da 1ª aplicação de campo.....	57
Tabela 13 – Valor dos Insumos Químicos da 1ª aplicação de campo.....	57
Tabela 14 – Dados de utilização de mel no Cozimento da 1ª aplicação de campo.....	59
Tabela 15 – Dados do tempo de lavagem na centrifugação da 1ª aplicação de campo.....	60
Tabela 16 – Balanço financeiro da 1ª aplicação de campo.....	61
Tabela 17 – Valor adotado do açúcar na 1ª aplicação de campo.....	61
Tabela 18 – Condutividade da água de preparo do Insumo da 2ª aplicação de campo.....	62
Tabela 19 – Cor do Xarope Bruto antes da 2ª aplicação de campo.....	63
Tabela 20 – Cor do Xarope Flotado antes da 2ª aplicação de campo.....	63
Tabela 21– Cor do açúcar antes da 2ª aplicação de campo.....	63
Tabela 22– Mudança de cor do Caldo da 2ª aplicação de campo.....	64
Tabela 23– Condutividade do caldo da 2ª aplicação de campo.....	65
Tabela 24– Análise de cor - Água Destilada x Água Condensada da 2ª aplicação de campo.....	67
Tabela 25– Comparativo de mudanças do xarope bruto da 2ª aplicação de campo.....	68
Tabela 25– Comparativo de mudanças do xarope flotado da 2ª aplicação de campo.....	68
Tabela 25– Comparativo de mudanças do açúcar da 2ª aplicação de campo.....	69

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Redução das Cinzas com a alteração da cal da 2ª aplicação de campo.....66

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Brix: Porcentagem em massa de sólidos solúveis contidas em uma solução de sacarose.

Pol: Porcentagem de sacarose em uma solução açucarada.

U.I.: Unidade Icumsa – Unidade de medição de cor de açúcar.

TCD: Tonelada Cana Dia (Tonelada de cana moída por dia pela Usina).

TCH: Tonelada Cana Hora (Tonelada de cana moída por hora pela Usina).

## SUMÁRIO

CAPITULO 1 – INTRODUÇÃO .....	14
1.1 Considerações Iniciais .....	14
1.2 Objetivos.....	15
1.3 Justificativa.....	15
1.4 Estrutura do Trabalho .....	15
CAPITULO 2 - PROCESSO DE PRODUÇÃO DE AÇÚCAR .....	18
2.1 Matéria Prima .....	18
2.2 Fatores de qualidade da matéria-prima.....	18
2.3 Queima-corte e Processamento .....	19
2.4 Recepção da cana de açúcar .....	21
2.5 Estocagem.....	22
2.6 Moagem.....	23
2.7 Sistema de Sulfo-caleação .....	24
2.8 Aplicação do Enxofre .....	24
2.9 Clarificação e tratamento de caldo .....	25
2.10 Evaporação .....	27
2.11 Flotação de Xarope.....	31
2.12 Cristalização e cozimento.....	33
2.13 Centrifugação .....	36
2.14 Secagem de açúcar.....	38
CAPITULO 3 - APRESENTAÇÃO DA NOVA TECNOLOGIA DE CLARIFICAÇÃO DE CALDO .....	40
3.1 Motivos para criação de novas Tecnologias.....	40
3.1.1 Substituição do Enxofre.....	40
3.1.2 Novas variedades de Cana de Açúcar.....	41
3.1.3 Substituição do Enxofre pela nova Tecnologia .....	42
3.2 Produtos utilizados na aplicação da Tecnologia.....	42
3.2.1 Insumo a Base de Sulfito de Sódio .....	43
3.2.2 Forma de preparo e utilização Insumo a Base de Sulfito de Sódio .....	43
3.2.3 Armazenamento do Insumo a Base de Sulfito de Sódio.....	44
3.3.1 Insumo a Base de Ácido Fosfórico .....	44

3.3.2	Forma de preparo e utilização Insumo a Base de Ácido Fosfórico .....	44
3.3.3	Armazenamento do Insumo a Base de Sulfito de Sódio.....	45
3.4	Forma de Aplicação dos Insumos.....	45
3.5	Pontos de aplicação .....	46
3.5.1	Aplicação no Caldo Clarificado.....	46
3.5.2	Aplicação no Pré Xarope .....	47
CAPITULO 4 - RESULTADOS OBTIDOS NA APLICAÇÃO .....		50
4.1	Aplicação e Teste em Bancada.....	50
4.1.1	Análise de cor em teste de bancada.....	50
4.1.2	Análise de pH em teste de bancada .....	51
4.1.3	Análise de condutividade em teste de bancada .....	51
4.2	APLICAÇÃO EM CAMPO 01 – Diminuição da cor e Aumento de Produção.....	52
4.2.1	Dados preliminares da Usina.....	52
4.2.2	Dados de Análises durante a aplicação.....	53
4.2.3	Dados Financeiros após a aplicação .....	56
4.2.4	Calculo de gastos com Insumos Químicos .....	57
4.2.5	Produção com maior utilização de Mel .....	59
4.2.6	Produção com tempo de lavagem da centrifuga.....	59
4.2.7	Balanco Financeiro final da 1ª aplicação em campo .....	60
4.3	APLICAÇÃO EM CAMPO 02 – Diminuição de Cinzas .....	62
4.3.1	Dados preliminares da Usina.....	62
4.3.2	Dados de análises antes da aplicação do Insumo .....	63
4.3.3	Dados de análises após da aplicação do Insumo .....	64
4.3.4	Dados comparativos finais de análises após a aplicação do Insumo .....	68
CAPITULO 5 - CONCLUSÃO.....		70
REFERÊNCIAS .....		71

# **CAPITULO 1 – INTRODUÇÃO**

## **1.1 Considerações Iniciais**

O processo de produção do açúcar é uma arte, que vem se modificando e melhorando há centenas de anos. Temos no nosso primórdio os velhos moinhos movidos por tração animal ou força fluvial. Neste processo, as exigências eram poucas, a produção pequena e a gestão de qualidade inexistente.

Com o passar dos anos e as grandes mudanças no mundo fabril, como as grandes revoluções industriais e invenção das máquinas a vapor, passou a ser exigido melhorias para o trabalho humano, melhoria em gestão de qualidade e produção em grande escala.

Na gestão do setor sucroalcooleiro as exigências se tornaram cada vez maiores, pois o produto ali extraído é utilizado em inúmeros setores como fabricas de doces, refrigerantes e cervejas. Sendo assim, estes setores de certa forma passaram a ditar o ritmo de exigências para o setor, sendo necessário observar, atualizar e renovar o processo a cada nova exigência. Temos entre as maiores exigências a cor do açúcar, concentração de amido, presença de dióxido de enxofre, alta quantidade do polissacarídeo dextrana, presença e ausência de floco ácido e floco alcoólico.

Dessa forma, assim como em qualquer outro setor industrial, toda e qualquer melhoria que possa advir de novas tecnologias acabam sendo o diferencial no potencial produtivo de uma unidade produtiva.

Será abordada a instalação de uma nova tecnologia de tratamento de caldo, em forma de insumo químico do setor, demonstrando seu impacto no produto final (açúcar), sendo possível observar as diferenças na produtividade após o uso do mesmo. Ficará explícito como este produto age sob as exigências de qualidade dos clientes, mudanças necessárias no processo produtivo, mudança no consumo de outros insumos químicos utilizados na fabricação do açúcar.



## **1.2Objetivos**

Levando em consideração todas as exigências feitas pelos clientes, as Usinas sucroalcooleiras vêm se atentando a necessidade de investir em novas tecnologias para atender ao mercado. Com isso, o objetivo deste trabalho é a demonstração dos resultados obtidos na aplicação da nova tecnologia de clarificação de caldo no processo sucroalcooleiro. Ao final, fazer uma análise com os resultados obtidos a partir de sua aplicação.

## **1.3Justificativa**

Quando se procura adaptar as exigências do mercado, sente-se a necessidade de investir em algo novo, com este intuito, surgem novas tecnologias com a proposta de melhoria do processo produtivo.

Dentre os grandes avanços no setor sucroalcooleiro, existem as inovações tecnológicas de equipamentos em geral como Evaporadores, Decantadores, Clarificadores, Flotador entre tantos outros. Porém, o que se observa é que estas tecnologias já não bastam para suprir as necessidades das empresas, que se apoiam em novidades químicas para obter seus resultados. Um dos principais motivos para estas tecnologias não serem suficientes para a obtenção do açúcar de qualidade é o surgimento de uma nova variedade de cana de açúcar, denominada RB 92579 que possui alto teor de compostos fenólicos que causam oxidação no caldo e conseqüentemente o seu escurecimento. Neste intuito, surgem novidades químicas para somar ao processo, evitando gastos contínuos com adaptações em equipamentos.

Surgiu, portanto no mercado sucroalcooleiro um insumo químico que propõe melhorias no processo, sem alterar os equipamentos existentes, que podem em certos momentos, operar com maior eficiência pelo fato do uso deste produto. Observou-se assim, que este novo insumo proporciona muitos estudos com os quais será possível compreender e melhorar o processo de produção de açúcar sem grandes investimentos.

## **1.4Estrutura do Trabalho**

Este trabalho é constituído em 05 (cinco) capítulos, sendo o primeiro a demonstração dos objetivos, justificativa. A parte subsequente refere-se ao detalhamento do processo de produção de açúcar, demonstrando o principio de funcionamento de cada equipamento com os devidos insumos químicos e suas dosagens típicas. Serão abordados alguns problemas que o mau manuseio dos equipamentos pode causar. No terceiro capítulo, será abordada a

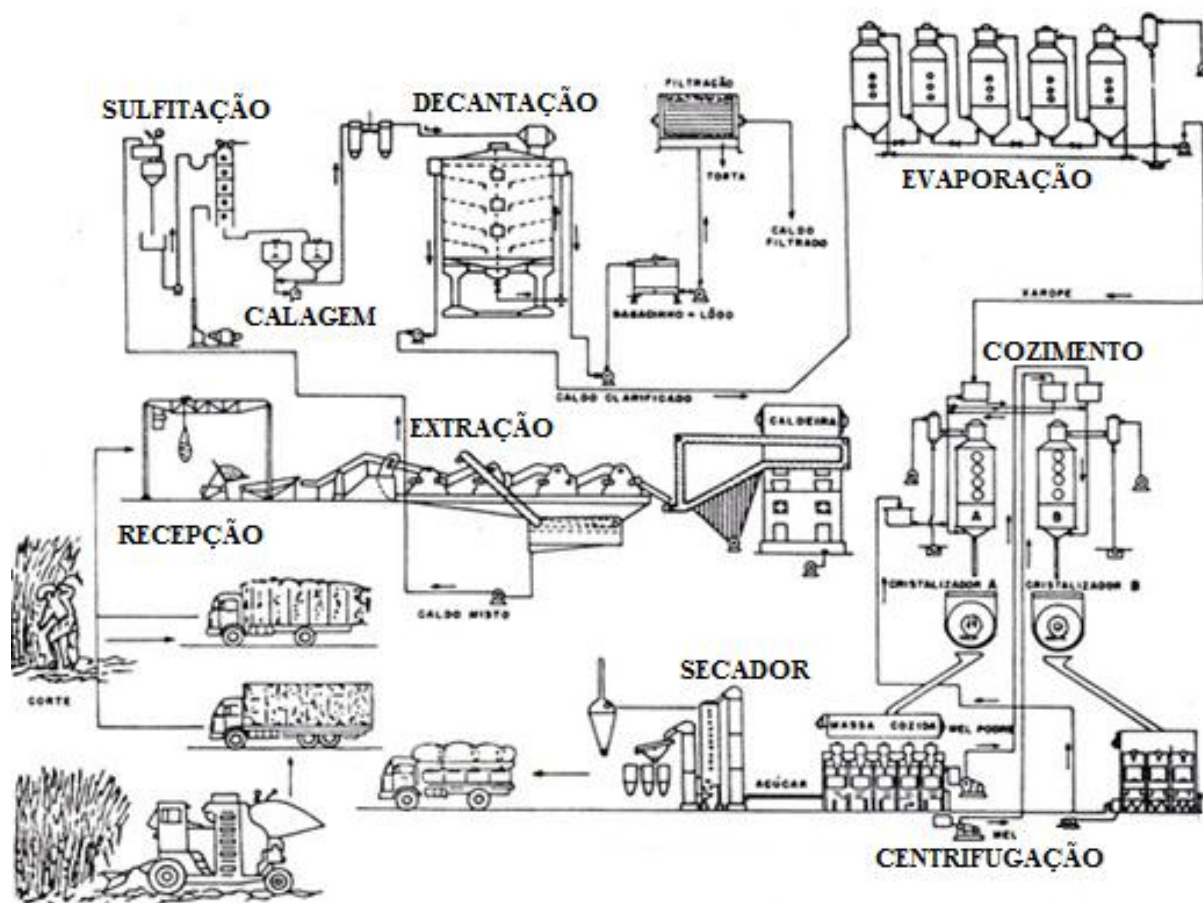
instalação do Insumo estudado e suas devidas composições, quais as necessidades para a instalação, as exigências do produto, os procedimentos de instalação. Para finalizar o trabalho, serão demonstrados os resultados obtidos em laboratório e planta industrial, efetuando cálculos de *payback* para analisar a viabilidade da instalação do produto.

Para base de cálculo, não serão utilizados valores atuais reais do valor do produto devido à flutuação de câmbio, pois o produto e o açúcar são comercializados na cotação do dólar. Desta forma, será efetuado cálculo a partir dos valores obtidos nas plantas industriais com ganho ou perda de produção revertendo o valor obtido por um múltiplo constante.

## CAPITULO 2 - PROCESSO DE PRODUÇÃO DE AÇÚCAR

A qualidade do açúcar obtido depende muito pela qualidade da matéria prima (cana de açúcar) utilizada pela usina sucroalcooleira, porem para obter açúcar de qualidade também é necessário manter o processo produtivo totalmente controlado. As etapas básicas do processo de produção de açúcar são basicamente: Matéria prima, recepção, moagem (extração), sulfocaleação (aplicação de enxofre), Decantação (clarificação), Evaporação, flotação, cristalização e cozimento, centrifugação e secagem do açúcar. Estas etapas estão representadas no fluxograma básico de processo (figura 1) e descritas ao logo do Capítulo 2 e seus subtítulos.

Figura 1 – Fluxograma básico de processo



Fonte: [http:// www.ufscar.br](http://www.ufscar.br)

## 2.1 Matéria Prima

A boa qualidade de matéria prima, sem dúvida é um grande divisor de águas na obtenção de um produto final bom. Desta forma, é de extrema importância às Usinas, conhecer o tipo e qualidade de cana de açúcar que está entrando em seu parque industrial.

Conforme (ALBUQUERQUE, 2011), a qualidade da Cana-de-Açúcar é o mais importante fator de maximização de rentabilidade da empresa, especialmente considerando sua participação no custo final do produto, que é da ordem de 65% a 70%, levando-se em consideração que uma boa matéria prima é processada mais rapidamente, aumentando o rendimento industrial.

Atualmente, vive-se um grande dilema entre setor agrícola e industrial, pois na sua totalidade, o cultivo de cana de açúcar com alto teor de cor é mais rentável ao setor agrícola, tendo em vista que sua produção por hectare é maior que as de melhor qualidade, contudo, estes tipos de canas possuem valor comercial inferior. Ao ser processada, este tipo de cana agrega muita cor ao produto final (Açúcar), sendo necessário um tempo maior de processamento e utilização de maior quantidade de insumos químicos.

A qualidade da cana de açúcar depende diretamente de fatores genéticos e ambientais.

Segundo (ALBUQUERQUE, 2011) a Composição básica da cana de açúcar é:

- 10% a 16% de fibra;
- 84% a 90% é caldo, destes, 75% a 82% é água, sendo o restante sólidos dissolvidos;

Os sólidos dissolvidos se dividem em

- Sacarose – 14% a 24%;
- Glicose – 0,2% a 1,0%;
- Frutose – 0,0% a 0,5%;
- Não açúcares – 1,0% a 2,5%.

## 2.2 Fatores de qualidade da matéria-prima

Conforme (ALBUQUERQUE, 2011) a variedade de cana é o principal fator de qualidade da matéria prima em função dos constituintes sólidos solúveis e insolúveis que apresentam em sua composição tecnológica. Entre os solúveis estão os açúcares e outros compostos que se constituem em elementos de características variáveis e importantes parâmetros de qualidade para o processamento como: compostos fenólicos, amido, teor de

fosfato inorgânico, aminoácidos. Dentre os insolúveis, o teor e a fibra, como componentes energéticos do processo.

Conforme (CHENG, 2000) o ciclo de maturação da cana de açúcar é diretamente proporcional ao desempenho do processo produtivo, além disso, com o nível de maturação alto, ela acaba reduzindo os teores de amido, nitrogênio e açúcares redutores, porém aumenta os compostos fenólicos.

A concentração normal de íons de hidrogênio (pH) no caldo de cana de açúcar varia entre 4,73 e 5,63, mas o valor atual varia entre 5,2 e 5,4. Usando medições precisas e muitas amostras, pequenas diferenças podem ser estabelecidas entre as diferentes variedades de canas e áreas de plantio (CHENG, 2000).

### **2.3 Queima-corte e Processamento**

O que pode deteriorar significativamente a matéria prima influenciando diretamente no ciclo de produção é o tempo de queima-corte e processamento. Em caso de demasiada demora nesta etapa ocorre uma elevada deterioração após colheita, acarretando na diminuição dos açúcares recuperáveis e aumentando os níveis de dextrana, amido e açúcares redutores.

Segundo (ALBUQUERQUE, 2011) a queima quente promove a exsudação dos colmos pelo rompimento térmico dos tecidos, ocasionando perdas de açúcares e causando significativas modificações fisiológicas, tecnológicas e microbiológicas na matéria prima. A modalidade de corte e o tipo de carregamento podem introduzir impurezas, tanto vegetais como minerais na matéria prima, que acabam chegando ao processo.

A qualidade de cana no campo tende a melhorar com a idade, chega a um máximo, e logo declina. Qualquer que seja a qualidade no momento do corte se inicia rápida deterioração desde o momento em que se corta a cana. A cana de açúcar passada constitui um fato reprovável para toda a indústria açucareira: os agricultores e processadores perdem receita (ALBUQUERQUE, 2011).

Ainda conforme (ALBUQUERQUE, 2011) a deterioração antes da colheita se deve aos danos causados pelas enfermidades, as pragas e o clima. Depois de cortada, a cana de açúcar perde água (1 a 2% diariamente na primeira semana)

O fato que ocorre neste momento é o rompimento térmico dos tecidos, ocasionando perda de açúcares e ocorrendo grandes perdas fisiológicas, microbiológicas e tecnológicas na matéria prima. Desta forma, com o rompimento e quebra dos colmos abre-se a possibilidade de fungos, bactérias, impurezas adentrarem no mesmo, influenciando diretamente na

produção do açúcar, principalmente em dextrana e amido. Segundo (ALBUQUERQUE, 2011) geralmente, a deterioração da cana ocorre mediante processos enzimáticos, químicos e microbianos. A enzima invertase, que se encontra naturalmente na cana de açúcar, converte a sacarose em açúcares invertidos (glicose e levulose) diminuindo assim a pureza da cana de açúcar. A deterioração microbiana é causada principalmente por uma bactéria do gênero *Leuconostoc*, porém existem muitos outros tipos de bactérias que podem invadir a cana cortada. Continuando, Albuquerque (2011) alega que pesquisas comprovam que os microrganismos são responsáveis pela fermentação da cana de açúcar, a perda de sacarose e formação de dextrana. *Leuconostoc mesenteroides* são os organismos do gênero *Leuconostoc* que consomem a sacarose, produzindo longas cadeias de glicose e fermentando frutose a ácidos orgânicos como produtos secundários. Quantidades relativamente pequenas de dextranas presentes no caldo de cana (da ordem de  $10^3$  ppm) aumentam a viscosidade, retardam a cristalização, a filtração, e diminuem o rendimento de sacarose.

Figura 2 – Corte manual de Cana Queimada(Esq.) e Corte manual de Cana Crua(Dir.)



Fonte: [http:// www.embrapa.com.br](http://www.embrapa.com.br)

Atualmente o corte mecanizado vem crescendo cada vez mais devido ao grande crescimento da demanda pelo açúcar e maior produtividade. Porém, o problema alertado anteriormente referente à dextrana aumenta de forma exponencial. Com a cana de açúcar cortada, os colmos abertos ficam mais vulneráveis a contaminação pelos fungos. Este se torna, portanto um problema ao setor industrial da Usina, que necessita criar novas técnicas para a diminuição destes itens no processo, já que o corte mecanizado é um dos maiores avanços do setor na atualidade.

Figura 3 – Corte Mecanizado



Fonte: [http:// www.uol.com.br](http://www.uol.com.br)

## 2.4 Recepção da cana de açúcar

A recepção é feita através de balanças. Juntamente a balança existe uma sonda de coleta, para que toda cana de açúcar possa ser analisado e dado o seu devido valor. O objetivo de avaliar a qualidade da cana-de-açúcar é porque existe uma grande variedade de espécies, onde algumas possuem maior quantidade de sacarose, água, coloração, ficando desta forma inviável avaliar todas as canas por um único valor.

O transporte da cana de açúcar passou por uma grande mudança desde os seus primórdios, quando era feita por transporte férreo ou tração animal, sendo atualmente feita através de caminhões ou por tratores e reboques.

Para a recepção da cana de açúcar na unidade produtiva (usina sucroalcooleira) são utilizados geralmente os hilos, enormes guindaste usados para tombar a carga do caminhão para que a cana de açúcar possa adentrar ao processo produtivo. Esta recepção pode tanto encaminhar a cana de açúcar para uma esteira de lavagem de cana quanto para o prédio de estoque, e a mesma será utilizada nos momentos em que a frota de transporte não suportar abastecer o processo com a matéria prima.

Figura 4 – Recepção de Cana



Fonte: O Próprio autor

## 2.5 Estocagem

Uma prática muito comum nas unidades, a estocagem de cana de açúcar tem como principal objetivo suprir a falta de matéria prima no setor de moagem devido à chuva, insuficiência de frota de transporte, dentre outros motivos.

Esta prática possui seus dilemas. Ao mesmo tempo em que pode ajudar numa eventual falta de cana, evitando paradas inesperadas, esta estocagem prejudica a qualidade da matéria prima. Ao estocar a cana, a mesma perde líquido, permanecendo em determinado tempo apenas a fibra, dessa forma, a tarefa de retirar líquido e açúcares acaba ficando cada vez mais difícil.

Outro grande problema é o aumento da dextrana, que dentre outras, pode ser causada também pela “trinca” da cana de açúcar e ficar sob grandes pilhas de estoque, também se deve ao fato deste ser um microrganismo anaeróbico facultativo, pode se reproduzir rapidamente em condições anaerobiose desta forma fica mais fácil aos fungos entrar nos colmos (ALBUQUERQUE, 2011).

Vale a pena lembrar que não é apenas a dextrana um sintoma da deterioração da cana de açúcar, mas também, segundo ALBUQUERQUE (2011) o aumento do teor de invertidos,



contaminação por leveduras e pH reduzido (por causa do aumento do teor de ácidos orgânicos) são outras consequências da deterioração.

## 2.6 Moagem

Como se sabe, a cana-de-açúcar é constituída por duas partes, sólida (chamada de fibra) e líquida (que se refere ao caldo) estas devem ser separadas para fabricação do açúcar e do álcool. A etapa de separação chama-se moagem, que pode ser feito por dois processos distintos (moendas ou difusores).

Para executar a moagem propriamente dita, é necessário ter primeiramente uma etapa pré-moagem, que se chama preparação. Na preparação ocorre a desintegração dos colmos rompendo as células e gerando a fibra, o que facilitará na extração do caldo dos colmos durante a moagem.

Figura 5 – Setor de moagem



Fonte: [http:// www.embrapa.com.br](http://www.embrapa.com.br)

Através de um Tandem (rolos que exercem a pressão sobre a cana de açúcar para extração do caldo) é feito a moagem, na qual a cana passa por sucessivas sessões de pressão exercida pelos ternos da moenda, separando o caldo da fibra.

Conforme (ALBUQUERQUE, 2011) a eficiência da extração é determinada pelos seguintes fatores:

- Numero de compressões (quantidade de ternos pelo qual a cana irá passar);
- Pressão efetiva;
- Grau de abertura das células (bom efeito do desfibrador);
- Propriedades físicas da fibra (a fibra precisa ser bem preparada no desfibrador).

Com objetivo de extrair o máximo de caldo da cana, durante o esmagamento pelos ternos é feita adição de água, pois em certo ponto (geralmente após o terceiro terno) da extração as partes sólidas da fibra se unem a líquida. Neste momento é adicionada água

condensada (advinda geralmente do setor de evaporação), esta etapa é conhecida como embebição da moenda. Desta forma é possível a extração acima de 90% do caldo da cana, pois esta água se mistura ao caldo, reduzindo a pureza do caldo, porem aumentando a quantidade extraída (ALBUQUERQUE, 2011).

Neste caso, vive-se outro dilema, pois o principal objetivo do processo de produção do açúcar é a retirada da água, restando apenas às partes sólidas que resultam nos cristais do açúcar. Observando este fato, questiona-se se a adição de água na embebição não resulta num aumento de tempo do processo de produção e se neste caso o valor gasto na produção é viável, comparado com o aumento de produto final produzido.

## **2.7 Sistema de Sulfo-caleação**

Neste processo, se utiliza o Dióxido de Enxofre e a Cal. O dióxido de enxofre é tido como um dos agentes clarificadores do açúcar mais baratos encontrados no mercado. Com a combustão do enxofre é obtido o Ácido Sulfuroso, para tal é utilizado o forno de enxofre, que pode chegar a uma temperatura de 350°C. a principal precaução no forno de enxofre é que não entre água no mesmo, para que não seja produzido o anidrido sulfúrico  $SO_3$  no lugar do anidrido sulfuroso  $SO_2$ .

Conforme (HUGOT, 1969) a ação do ácido sulfuroso,  $SO_2$  sobre o caldo apresenta os seguintes efeitos:

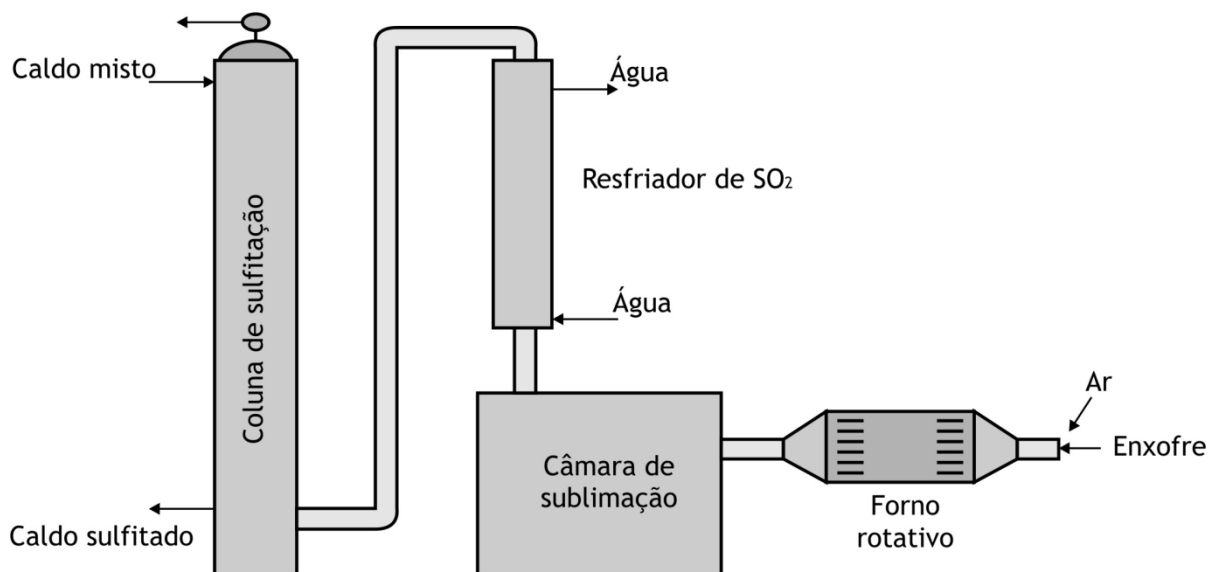
- Eliminar as matérias corantes (propriedades comuns a todos os ácidos);
- Transformar compostos ferrosos incolores, os sais férricos que o contato com as moendas, gamelões e tubos possam ter formado.

## **2.8 Aplicação do Enxofre**

A aplicação de Enxofre, também conhecida como Sulfitação, consiste na absorção do  $SO_2$  (anidrido sulfuroso) ao caldo, baixando o seu pH de 5,5 em média para até 4,0 a 4,4. Geralmente a sulfitação é feita em uma coluna que possui, em seu interior os chamados pratos perfurados. Devido à solubilidade de  $SO_2$  na água, pode-se obter até uma absorção de 99,5% com este equipamento (HUGOT, 1969).

O caldo é bombeado para a parte superior da torre de sulfitação e desce por gravidade através dos pratos com o  $SO_2$  gasoso. O anidrido sulfuroso é aspirado por um exaustor ou ejetor instalado na parte superior da coluna.

Figura 6 – Esquema do Sistema de Sulfitação/ Torre de Sulfitação



Fonte: [http:// www.ufscar.br](http://www.ufscar.br)

O objetivo da Sulfitação é inibir as reações que causam formação de cor, a coagulação de coloides solúveis, a formação do precipitado  $\text{CaSO}_3$  (sulfito de cálcio) e diminuir a viscosidade do caldo. Como consequência, teremos maior viscosidade na continuação do processo subsequente como do xarope, massas e méis (HUGOT, 1969).

O consumo médio de utilização levantado em campo de enxofre pode variar muito de acordo com o processo de cada unidade produtiva, porém de modo geral pode-se considerar um consumo de 600g/ton de cana moída.

## 2.9 Clarificação e tratamento de caldo

Desde os primórdios a clarificação de caldo é feita apenas com a adição de cal e utilização de calor. Observando-se na lei do processo, a clarificação de caldo é considerada uma das etapas mais importantes no processo produtivo, sendo que uma boa clarificação resulta numa operação e rendimentos mais eficientes no processo subsequente.

De forma geral, a clarificação ocorre em um equipamento denominado decantador. Neste equipamento ocorre a separação do caldo com as partículas sólidas insolúveis presentes no mesmo. Para o bom funcionamento, é necessário haver uma operação compatível com a capacidade do equipamento.

Figura 7 – Decantador



Fonte: O Próprio autor

Para haver um bom rendimento deste equipamento, é necessário se atentar a lei de Stokes, pois não há uma grande diferença entre a densidade do caldo e das partículas solidas, desta forma, o fato importante ocorre fora do decantador, que se refere à floculação, para que seja facilitada a separação.

Em matéria prima de boa qualidade, a floculação ocorre de maneira fácil, pois a calagem se torna mais simples e conseqüentemente a floculação melhor. Com cana de má qualidade ou deteriorada, muitas vezes torna-se impossível obter caldo claro e uma decantação rápida. Isto é causado por polissacarídeos que, por ação protetora dos coloides, que impedem uma boa floculação. Em tais casos, uma calagem mais elevada pode ser útil, mesmo que os efeitos na cristalização do açúcar sejam menos favoráveis (ALBUQUERQUE, 2011).

Citando o fato do pH, a partir observações em campo, pode-se observar que os melhores resultados são obtidos com pH 7,0. Pode se relacionar uma boa ação dos insumos químicos, pois, para obter este pH é necessário que todos os insumos anteriormente utilizados tenham feito reações boas e completas.

## 2.10 Evaporação

O principal objetivo da evaporação é a retirada da água do caldo extraído e tratado. Conforme (HUGOT, 1969) a purificação dos caldos fornece um caldo clarificado. Este caldo é açúcar dissolvido na água, com certas impurezas. Como já se eliminou a maior parte das impurezas, é preciso evaporar a água. Esta é a principal finalidade da Evaporação. Porém, à medida que a água é extraída do caldo, o açúcar fica concentrado. Portanto, aproximar-se-á de seu ponto de saturação, isto é, do ponto em que os cristais começam a aparecer.

Também segundo (HUGOT, 1969) devido a isto a concentração é feita em duas fases:

- a) A evaporação propriamente dita, que vai do caldo clarificado ao xarope e durante a qual se trabalha apenas com um produto líquido;
- b) O cozimento, que começa justamente antes do momento em que os cristais começam a aparecer no xarope e que vai até a concentração máxima.

O ponto de cristalização dos caldos de cana fica nas proximidades de 78 a 80° Brix (unidade utilizada para representar a concentração e a retirada de água do caldo, quanto maior o valor maior a concentração) e 41 a 42° Baumé. Teoricamente, é possível obter a evaporação até 75° Brix. Na realidade, porém, os cozinhadores precisam dum xarope ainda capaz de dissolver cristais, para poder dissolver cristais falsos, que se formam no início do cozimento: esta condição é indispensável, para conseguir um bom cozimento (HUGOT, 1969).

Também conforme (ALBUQUERQUE, 2011) na operação da evaporação, o suprimento de vapor de escape para o primeiro efeito deve ser controlado de modo a produzir a evaporação total requerida para manter o xarope numa faixa de 65 a 70° Brix. Uma alimentação estável de caldo é essencial para um bom desempenho da evaporação, especialmente com sangria de vapor.

Os problemas que prejudicam o bom funcionamento de um sistema de evaporação são oriundos de distintas causas. As principais são as seguintes:

- Suprimento de água no condensador;
- Incrustações.
- Má extração de gases incondensáveis;
- Bomba de vácuo;
- Baixa pressão de vapor;
- Extração dos condensados;

- Vazamento de ar no sistema;
- Sangrias de vapor;

O processo de evaporação ocorre da seguinte maneira:

O primeiro evaporador é alimentado com Vapor de Escape, proveniente de alguma estação que reduza a pressão gerada na caldeira (pode ser em um sistema de geração de energia – casa de força – movido a turbinas, ou também na utilização do vapor de alta pressão para movimentar os ternos da moenda). Este vapor sai em forma de condensado após completar a evaporação do primeiro efeito. Também neste primeiro efeito da evaporação entra o caldo clarificado/ decantado que passa pelo primeiro corpo do evaporador. Uma parcela de água deste caldo é evaporada e este vapor formado irá alimentar o segundo corpo de evaporação. Como objeto final tem-se um caldo um pouco mais concentrado devido a retirada da água. Este processo se repete por algumas vezes o que é chamado de “Efeitos de Evaporação” até que o caldo chegue a um Brix esperado próximo de 70° Brix no ultimo efeito de evaporação.

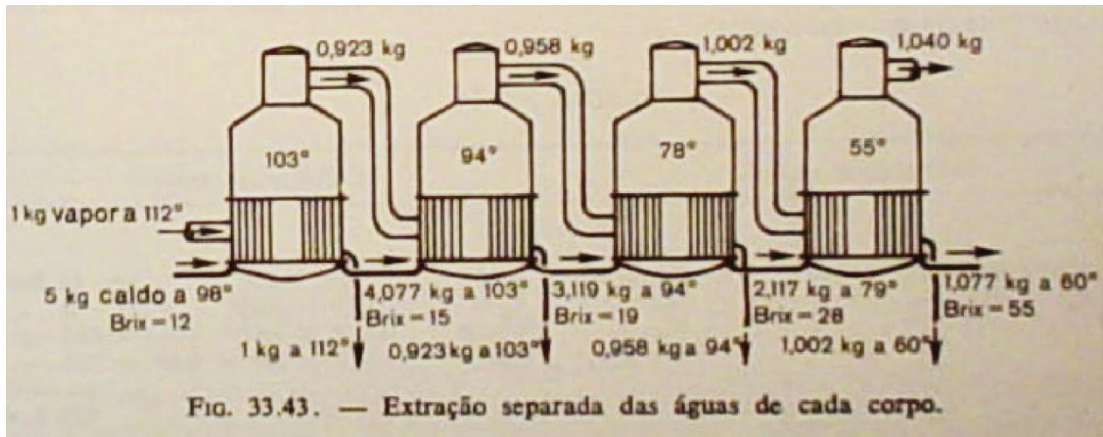
Figura 8 – Setor de Evaporação



Fonte: O Próprio autor

No exemplo da figura 9 há um exemplo simples de uma evaporação com 4 Efeitos modelada por HUGOT (1969):

Figura 9 – Modelo de Evaporação



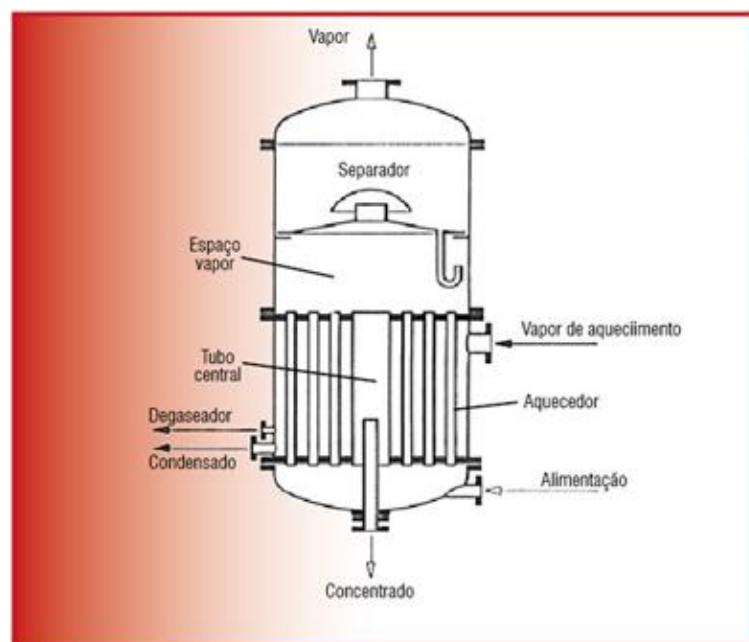
Fonte: Hugot, 1969

Na figura 10 pode ser visualizado a variação do vapor, temperatura de saída do caldo, condensado e corpo do evaporador.

Um fator importante que deve ser lembrado também são as novidades no setor. Atualmente o setor possui à disposição 03 (três) tipos diferente de evaporadores, os quais são:

- a) Evaporador Robert:

Figura 10 – Modelo de Evaporador tipo Robert

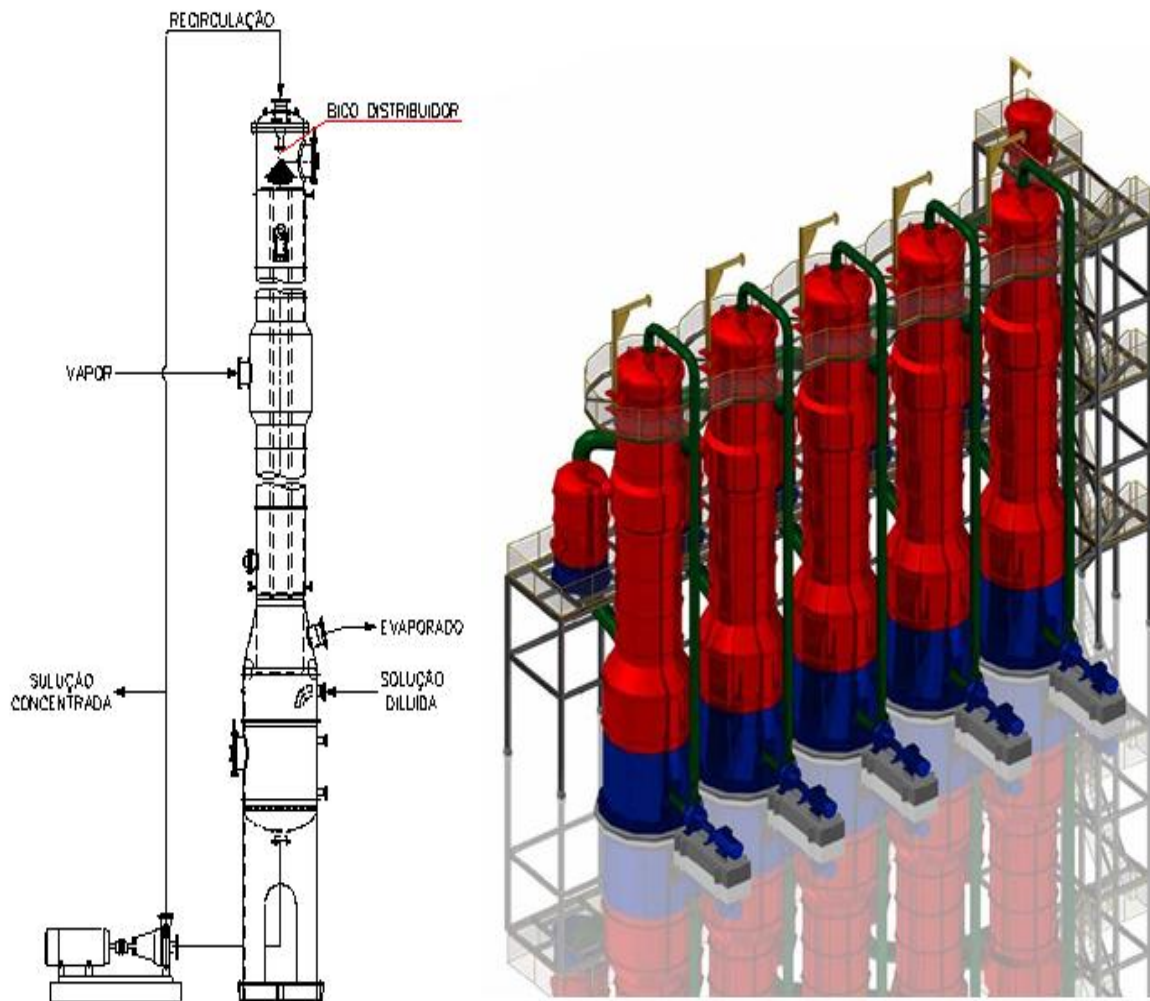


Fonte: [http:// www.quimica.com.br](http://www.quimica.com.br)

Estes são os evaporadores mais convencionais e utilizados no setor. Geralmente possui tubos para passagem de caldo com comprimento de até 1.500 mm e diâmetro até 1.1/4", possuem corpo de aproximadamente 8 metros de altura e a passagem de caldo é feita através da pressão. Sua limpeza pode ser feita com produtos químicos e também através de bombas de alta pressão.

b) Evaporador Falling Film:

Figura 11 – Modelo de Evaporador tipo Falling Film



Fonte: [http:// www.sermasa.com.br](http://www.sermasa.com.br)

São os novos evaporadores, com tubos de até 4.500 mm de comprimento para passagem e evaporação de caldo, seu corpo pode chegar a ter 15 metros de altura e a passagem de caldo de um efeito para outro é feito através de bombas. Sua limpeza é possível somente com produtos químicos.



c) Evaporador de névoa turbulenta (Citrotec®):

Figura 12 – Modelo de Evaporador tipo Névoa Turbulenta



Fonte: [http:// www.citrotec.com.br](http://www.citrotec.com.br)

O evaporador Citrotec é uma tecnologia desenvolvida para fabricas de concentração de sucos e está em fase de testes em usinas sucroalcooleiras. Até o momento os resultados obtidos estão satisfatórios, sendo a principal vantagem do sistema o pouco espaço que o mesmo ocupa. A passagem do caldo entre os efeitos é realizado através de bombas, a altura do corpo passa facilmente dos 15 metros de altura e a limpeza somente é possível por produtos químicos.

## 2.11 Flotação de Xarope

A flotação pode ser tida como uma nova clarificação do caldo, porem neste momento será caldo concentrado. Este processo é realizado na saída da evaporação, onde o caldo concentrado (Xarope) passa por um equipamento denominado “Flotador” com auxilio de polímero e aeração submete as partículas insolúveis do Xarope a ficarem separadas/submersas do restante do liquido, assim, através de uma raspa estas partículas são removidas.

O açúcar é um produto conhecido pela sua aparência. Devido a isso ele deve ser isento de impurezas como resíduos de incrustações e ferrugens. Para este motivo existe o processo de flotação, que retira estes sólidos insolúveis.

Complementando (ALBUQUERQUE, 2011) cita que a flotação do xarope deve ser considerada como uma segunda clarificação, pois durante a clarificação do caldo somente são precipitadas as substancias que já estavam solúveis no caldo, e mais os produtos das reações químicas para a clarificação, que se tornam insolúveis num ambiente da ordem de Brix 15°. Na evaporação o efeito da concentração do caldo insolubilizam, novas quantidades de

substâncias que ficam em suspensão no xarope. A flotação serve, então, para remover estes insolúveis, muitos dos quais podem ser considerados precursores de cor ou ainda ficar ocluídos nos cristais, deteriorando a cor do açúcar. A clarificação do xarope reduz substancialmente a viscosidade, e também o teor residual dos sulfitos, pois o aquecimento do xarope a 85°C para a flotação provoca a precipitação de quantidades significativas de sulfito de cálcio.

A flotação do xarope necessita que o processo esteja estável, necessita que o processo não tenha grandes variações de vazão, Brix, sujidades, temperatura, insumos químicos.

Em observações em campo, foi observado que um xarope com pH na 6,5 não precisa mais cal (carbonatação), pois com a queda do pH a partir da entrada da Evaporação até a saída e chegada a flotação, é devido a formação de incrustação na evaporação, que geralmente são sais de cálcio. Isto é devido o xarope estar saindo da evaporação saturado de cálcio. Possui cálcio suficiente disponível para reagir com o fosfato que é adicionado a seguir, pois em alguns casos observados, a adição de cal nesta etapa pode supersaturar o processo, acarretando em cinzas. O fosfato proporciona a reação com o cálcio. Estes agentes produzem a floculação dos compostos que acarretam na turbidez do açúcar (ALBUQUERQUE, 2011).

A flotação é um processo responsável pela remoção de substâncias coloidais. Estas substâncias são responsáveis pela dextrana, gomas e cor principalmente. Desta forma é possível reduzir a cor por este processo.

Conforme (ALBUQUERQUE, 2011) as etapas da flotação são as seguintes:

- a) Brix do xarope bruto pode estar no máximo em 70°;
- b) Dosar insumo químico para eliminar principais impurezas formadoras de cor e turbidez;
- c) Aquecimento do xarope dosado para facilitar a reação do produto químico dosado e reduzir a viscosidade do meio. A temperatura baixa dificulta a flotação do precipitado espumoso formado resultante da ação físico-química das impurezas, fosfatos, partículas ultrafinas de ar e do polieletrólito. Aquecer o xarope a uma temperatura entre 87 e 90°C;
- d) Aeração: a micronização da mistura ar/xarope cria e dispersa micro bolha de ar no xarope. O xarope espumante combina-se com o polímero (floculante) que coagula a maior parte do precipitado das impurezas coloidais que estão ao redor das bolhas de

ar, permitindo a separação das impurezas e da espuma pela flotação que se processa no flotador.

## **2.12 Cristalização e cozimento**

Esta é uma das etapas mais importantes do processo de produção de açúcar. É neste momento que são formados os cristais de açúcar, através de uma evaporação de simples efeito, eliminação de água e concentração do xarope. Nesta etapa, o xarope extraído da evaporação é encaminhado a um equipamento denominado “Cozedor” cujo qual aumentará o Brix com a extração da água, passando a obter os cristais numa massa.

Quando os caldos são concentrados, sua viscosidade aumenta rapidamente com o Brix e quando este alcança 78 a 80°, os cristais começam a aparecer e a constituição da massa transforma-se: passa progressivamente do estado líquido a um estado meio sólido, meio líquido, perdendo cada vez mais sua fluidez, e, conseqüentemente, sua manipulação se modifica completamente. Torna-se “massa cozida” (HUGOT, 1969).

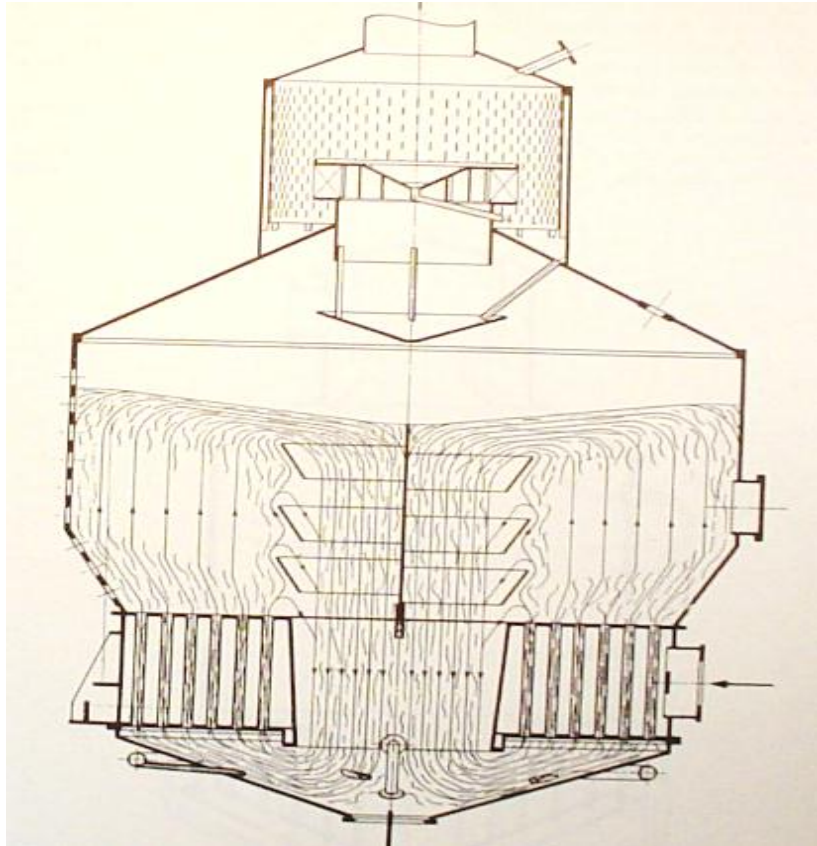
Seguindo a ótica da química, pode-se chegar a conclusão que a alimentação de um cozedor com um xarope com Brix entre 65 e 70% aumenta a capacidade do equipamento e diminui o tempo de cozimento da massa. Isso porque haverá menor quantidade de líquido a ser evaporado. Por outro lado, a adição de xarope muito denso poderá ocasionar conglomerados e grãos falsos.

A partir desta fase não é possível mais evaporar esta massa por tubos com espessura pequena igual as de evaporadores, portanto o “cozedor” é constituído de tubos com diâmetros maiores de 2.1/2” e um tubulão interno de recirculação.

Existem hoje basicamente dois tipos de cozedores, sendo um o cozedor convencional (Vertical) e outro o cozedor contínuo (Horizontal).

Entre os cozedores verticais pode-se citar os dois mais conhecidos, sendo um com aquecimento com calandra por feixe tubular e outro por serpentina interna.

Figura 13 – Modelo de Cozedor tipo Calandra/ Feixe tubular



Fonte: HUGOT (1969)

A massa a ser cozida neste caso sobe pelos feixes tubulares da calandra e desce pelo tubulão central, seguindo este ciclo por inúmeras vezes até a massa estar apropriada para ser arriada (esvaziar o cozedor). Devido problemas encontrados com massas espessas e viscosas, foram desenvolvidos vários tipos de calandras, entre elas são:

- 1) Calandra com espelhos inclinados;
- 2) Calandra plana com tubulão central;
- 3) Calandra de recirculação diametral;
- 4) Calandra suspensa.

Na figura 14 pode-se observar uma massa cozida, demonstrando todos os cristais de açúcares numa massa concentrada, é esta massa que será direcionada a centrífuga e realizada a extração do açúcar do licor mãe.

Figura 14 – Exemplo de Massa após Cozimento



Fonte: Próprio autor

Na figura 15 está exposta a imagem de uma massa vista por microscópio. É possível observar de forma mais focada a massa observada na figura 14, e a quantidade de licor mãe que compõe a massa de cozimento. Este licor mãe após a centrifugação será denominada mel (rico ou pobre) e será utilizado para novas massas no cozimento e/ou produção de álcool.

Figura 15 – Exemplo de Massa após Cozimento vista por Microscópio



Fonte: O Próprio autor

Esta massa cozida demonstrada é chamada no setor de “Massa A”. Esta massa é proveniente do xarope extraído da evaporação, porém em caso do processo estar em bom estado pode-se juntar o “Mel Rico” a esta massa, que geralmente encontra-se próxima a casa de 12% da capacidade de um Cozedor. Este mel rico é obtido através da centrifugação, onde é feito a separação do licor mãe dos cristais formados a partir da lavagem com água e o efeito centrifugo. Em casos em que o processo se encontra com algum problema, ou a cor do açúcar estiver acima do especificado pelo cliente, este mel rico é destinado diretamente a destilaria

para fabricação de álcool, pois este mel possui uma coloração mais elevada do que o xarope da evaporação. Um dado importante a ser alertado é que quanto maior a quantidade de mel rico utilizado no cozimento, maior a retenção da fábrica e menor a quantidade de açúcar perdido, levando em consideração que o açúcar é mais caro que o álcool.

## 2.13 Centrifugação

A centrifugação corresponde a uma das etapas mais importantes do processo de produção de açúcar. Isso é devido ao caso desta etapa não ser conduzida de maneira correta, colocará em risco todo o processo já passado.

Apesar de a centrifugação corresponder a uma fatia importante do processo, ela raramente é estudada, e geralmente é lembrada somente quando ocorrem problemas neste setor.

O processo de produção contém basicamente dois tipos de centrifugação:

- a) Centrifugas Contínuas;
- b) Centrifugas Descontínuas ou em Batelada.

As centrifugas contínuas são geralmente utilizadas para centrifugação de Massa B que utilizam na sua maioria o mel pobre e que extrai o Magma que é utilizado para o cozimento da Massa A.

As centrifugas de Massa A são responsáveis pela separação dos cristais de açúcar do Licor Mãe. Esta separação é feita através da força centrífuga realizada pelo equipamento juntamente com a lavagem dos cristais com água. A função principal da água para a lavagem e a redução do filme de mel com o objetivo de obter a pol desejada ao açúcar.

A remoção de mel na centrifugação se dá basicamente em três fases:

- 1) Remover o excesso de mel (extração de mel pobre);
- 2) Retirada do mel adicional procurando abrir espaço entre os cristais;
- 3) Reduzir o Filme mel dos cristais.

Indiferente destas três etapas acima, a centrifugação necessita de água para a extração do mel e ou licor mãe dos cristais. Sendo desta forma, existem dois grandes problemas para isto.

- a) A cada segundo de lavagem, são perdidos grãos de açúcar, que podem ser considerados na escala de 4kg a 5kg de açúcar por segundo de lavagem. Portanto, a lavagem em tempo elevado ocasiona a maior produção de mel e menor produção de açúcar;

- b) Por outro lado, a lavagem ineficiente influencia a qualidade do açúcar final obtido. Isto se justifica, pois quando o cristal não se isenta do mel contido em seu meio, a cor do açúcar tende a subir e ficar com uma turbidez elevada.

O funcionamento de uma centrífuga de Massa A é simples. Primeiramente o equipamento é carregado com a Massa A advinda dos cozedores de Massa A. Esta massa é carregada pela parte superior da centrífuga enquanto o cesto (parte interna da centrífuga com revestimento perfurado) do equipamento está em leve rotação. Ao final do carregamento a rotação da centrífuga aumenta e que em maioria dos equipamentos fica próximo a 1.000 RPM. Com esta rotação elevada é iniciado a extração de mel pobre pelos orifícios do cesto. Alguns segundos após o início deste processo, é iniciado a lavagem dos cristais para extração do licor mãe ainda contido nos cristais, neste momento é começado à extração de mel rico que será destinado a produção de álcool e/ou cozimento para posterior açúcar. Por fim, é feito a descarga de açúcar livre de méis e licor pelo fundo do cesto/centrífuga, se encaminhando por uma esteira que o leva diretamente a um secador de açúcar para retirada do excesso de umidade.

Figura 16 – Centrífuga de Açúcar (Por Batelada)



Fonte: O Próprio autor

## 2.14 Secagem de açúcar

O processo de secagem de açúcar não é considerado um dos mais importantes para a qualidade do produto final. Esta etapa não tem grande influência sobre os resultados e obtenção do açúcar.

A secagem de açúcar tem como principal objetivo a redução da umidade (advinda do processo e centrifugação) dos cristais de açúcar e resfriamento dos mesmos para posterior armazenamento. Este processo é necessário, pois um cristal com alto índice de umidade sofrerá com grandes tempos de estocagem, podendo influenciar na qualidade do produto a ser entregue ao cliente.

Apesar deste processo não ser responsável pela obtenção de produto final de qualidade, o seu mau dimensionamento pode ocasionar a obtenção de produto de má qualidade, causando o empedramento e/ou aumento de cor. Segundo (ALBUQUERQUE, 2011) o secador pode comprometer a qualidade de açúcar branco, produzindo com cor e granulometria rigorosamente dentro das especificações exigidas, se a temperatura final estiver acima de 40°C e a umidade oscilando entre 0,03 e 0,06%.

Outro grande problema encontrado em inúmeras Usinas Sucroalcooleiras é o quebraimento dos cristais de açúcar no interior do Secador. Isso acontece na sua maioria das vezes devido a velocidade alta da rotação do tambor do Secador e/ou velocidade elevada do ar na entrada do equipamento.

Como citado acima, o secador não influencia na produção de açúcar com maior qualidade, porém com seu mal dimensionamento ou operação pode prejudicar e até acabar com um processo anterior todo correto.

Figura 17 – Secador de açúcar de tambor rotativo



Fonte: [http:// www.planusi.com.br](http://www.planusi.com.br)



Existem hoje inúmeros tipos de Secadores de açúcar, entre os mais utilizados no Brasil temos:

- a) Secador rotativo convencional – este equipamento é um cilindro, que possui internamente aletas que elevam o açúcar passando o por apenas uma corrente de ar. Devido ter apenas uma corrente de ar, atualmente não vem sendo muito instalado e perde espaço a cada safra que passa.
- b) Secador Vertical de bandejas – O equipamento é alimentado com açúcar na sua parte superior que é passado sucessivamente para as bandejas inferiores. Desta forma, ao cair sobre a bandeja inferior, este açúcar forma uma cortina que recebe o ar que o seca e refrigera ao mesmo tempo.
- c) Secador/ Resfriador de tambor rotativo – Este equipamento é semelhante ao Secador rotativo convencional, porém possui duas correntes de ar, onde uma seca e outra resfria o açúcar no mesmo tambor rotativo.

Esta é a última etapa do processo de produção do açúcar. A partir deste momento o açúcar vai para o armazenamento, seja ele a granel em caso de açúcar VHP ou VVHP quanto em sacos no caso de açúcar cristal.

## **CAPITULO 3 - APRESENTAÇÃO DA NOVA TECNOLOGIA DE CLARIFICAÇÃO DE CALDO**

### **3.1 Motivos para criação de novas Tecnologias**

#### **3.1.1 Substituição do Enxofre**

Tradicionalmente no Brasil, a clarificação do caldo de cana, necessária à produção de açúcar, é realizada pelo processo da Sulfitação. Porém, apesar do baixo custo industrial para uma matéria-prima importada, o enxofre e seus derivados, são poluentes ambientais extremamente tóxicos a longo prazo e com potencial cancerígeno, podendo ao decorrer dos anos ser eliminados do processo. A alternativa de novas tecnologias são sempre estudadas e consideradas revolucionárias em casos de sucesso.

As maiores desvantagens da Sulfitação são, a possibilidade de geração de poluentes de alta toxicidade que comprometem:

- O meio ambiente;
- Saúde dos funcionários da usina;
- geração de derivados corrosivos (ácidos como sulfúrico, sulfuroso e sulfídrico) que comprometem a vida útil dos equipamentos;
- Presença de sulfito no produto final do processo em forma de sais de enxofre, que são alergênicos, pode ser cancerígeno e são capazes de comprometer a qualidade do açúcar, bem como seu sabor.

A Sulfitação destrói ainda nutrientes como vitaminas e mais do que isso, impede qualquer enriquecimento posterior ao refino do açúcar, pois os resíduos de enxofre no produto final, ainda possuem capacidade para desestabilizarem as vitaminas.

Reconhecida pela sigla P+L, a Produção mais Limpa vem sendo adotada por alguns países importadores de açúcar, que vêm limitando os índices de enxofre residual em suas especificações de qualidade. Isso se deve a preocupação com a segurança alimentar e pelas preocupações crescentes dos impactos ao meio ambiente pelas atividades industriais.

Sendo a principal preocupação com um produto de maior qualidade e uma fábrica com rendimento mais eficiente, fatores que motivaram a pesquisar novas alternativas à clarificação no processo produtivo do açúcar.

A utilização de nova tecnologia tem como principal objetivo produzir açúcar com menor utilização de enxofre e conseqüentemente maior valor para o mercado industrial. Outro

benefício que o insumo analisado se engaja é o fator do mesmo refletir em menores custos e vantagens financeiras, além de açúcar com maior qualidade e rendimento industrial. Isto se deve ao aumento da eficiência das produções de açúcar, bem como redução dos insumos químicos que podem chegar a diminuir uma despesa em 30% menor no total de insumos utilizados tradicionalmente, com o somatório de maior produtividade de açúcar e mais qualidade.

### **3.1.2 Novas variedades de Cana de Açúcar**

Devido ao grande crescimento da demanda de açúcar, as Usinas Sucroalcooleiras tem encontrado problemas para a total produção, tendo em vista o aspecto agrícola. Podemos visualizar este problema devido ao espaço de plantação de cana de açúcar, que vem cada vez mais disputando espaço com outras culturas como milho e soja. Desta forma, a solução encontrada foi a verticalização das plantações, que consiste em desenvolver em laboratório novas espécies de cana de açúcar com altura maior, onde temos o exemplo mais conhecido como RB 92.579. Obtém-se como resultado positivo nestas espécies a maior produção por hectare de terra devido fator altura da cana de açúcar, aumentando a produtividade em até 40%. Por outro lado, observa-se um resultado negativo, que são os compostos que conferem cor ao caldo extraído destas espécies.

Os resultados industriais obtidos com esta cana de açúcar no fator produção são extremamente positivos, porém o maior problema encontrado neste caso é a cor do açúcar obtido, que dificilmente consegue atingir o padrão exigido pelos clientes, principalmente ao açúcar branco, onde a cor exigida geralmente é abaixo de 150 U.I. (grandes indústrias de bebidas e doces exigem coloração baixa do açúcar para evitar que seus produtos sejam afetados por cores altas do açúcar).

Existem algumas maneiras de obter açúcar branco com esta cana de açúcar. Dentre as alternativas está aumentar o tempo de lavagem de açúcar na centrifuga, retirada de mel rico na massa A do cozimento, utilização de maior quantidade de enxofre e clarificantes, aumento de lubrificantes de massa, entre outros. No caso do aumento do tempo de lavagem de açúcar na centrifuga, podemos utilizar uma simples comparação que a cada segundo a mais de lavagem teríamos uma perda de aproximadamente 4 kg de açúcar (conforme testes em planta), este procedimento iria aumentar a produção de mel rico, sendo que este mel rico não poderia mais ser utilizado na massa A e seria destinada a destilaria para produção de álcool.

Juntamente com estes problemas operacionais têm o aumento de consumo de insumos químicos, o que inviabilizaria toda e qualquer chance de utilização desta cana de açúcar.

Portanto com a utilização desta tecnologia pode-se observar como ficarão estes números referente utilização de insumos químicos e operacionais para a produção.

### **3.1.3 Substituição do Enxofre pela nova Tecnologia**

Apesar da tradição no Brasil, das aparentes vantagens e de seu baixo custo, o uso de enxofre na clarificação do caldo é uma tecnologia antiga, que traz passivos ambientais e oferece riscos à saúde humana (principalmente funcionários da indústria), podendo ser banida do processo de clarificação do caldo na produção de açúcar branco no decorrer dos próximos anos.

Há inúmeras alternativas no mercado para produção de um açúcar branco de maior qualidade. Neste trabalho será demonstrado o potencial de uma delas, tanto do ponto de vista operacional, rendimento e qualitativo como do ponto de vista de custos.

A clarificação do caldo de cana de açúcar pelo insumo analisado neste trabalho esclarecerá que, o referido processo diminui outros insumos químicos como o enxofre no processo de clarificação do caldo e ressalta que seu processo é inovador.

A tecnologia enumera algumas vantagens previstas e que serão estudadas entre as quais se destacam:

- O processo de remoção de cor é irreversível, não removendo massa do processo;
- Não ocorre queda na pureza do xarope;
- Menor consumo de insumos químicos tradicionalmente empregados como enxofre, cal, clarificante e ácido fosfórico;
- Maior rendimento em açúcar;
- Maior estabilidade na cor durante a produção;
- Não escurecimento do açúcar durante a estocagem;
- Menor produção de mel circulante;
- Menor viscosidade das massas;
- Menor consumo de vapor de processo.

### **3.2 Produtos utilizados na aplicação da Tecnologia**

Para analisar melhor a aplicação da tecnologia, podem-se observar os compostos químicos dos insumos. Esta nova tecnologia tem como principais agentes dois produtos, que para fins de estudos serão chamados de Insumo a base Sulfito de sódio e Insumo a base Ácido

Fosfórico. Abaixo são citadas as composições, forma de armazenamento e utilização destes insumos, conforme consta na ficha técnica disponibilizada pelo fabricante dos Insumos.

### 3.2.1 Insumo a Base de Sulfito de Sódio

Tabela 1 – Detalhes do Insumo a Base de Sulfito de Sódio

<b>INSUMO A BASE DE SULFITO DE SÓDIO</b>	
Composição	Sulfito de Sódio
Aspecto	Cristais
Cor	Branco
Densidade à 25°C (g/cm <sup>3</sup> )	1,2
Solubilidade	Muito solúvel em água e pouco solúvel em etanol

Fonte: Fabricante do Insumo

Segundo o fabricante do Insumo, este é um clarificante inorgânico à base de Sulfito de Sódio, utilizado na linha de fabricação de açúcar. O Insumo a base Sulfito de sódio é um conservante usado em alimentos, solúvel em água deixando o meio básico. O sulfito de sódio é usado como um agente descolorante, sendo suas soluções ocasionalmente utilizadas como conservantes biológicos. É usado como conservante e também como agente antioxidante e lixiviante para prevenir degradação e descoloração. O Insumo a base de Sulfito de Sódio, composto para remoção de cor é uma associação de dois compostos. Para se obter um desempenho desejado na clarificação do processo produtivo de açúcar, deve-se associar a dosagem do Insumo a base de Sulfito de Sódio com o Insumo a base de Ácido Fosfórico.

### 3.2.2 Forma de preparo e utilização Insumo a Base de Sulfito de Sódio

Conforme o fabricante do Insumo, para as dosagens deve-se levar em consideração o tipo de açúcar a ser produzido, bem como, as características da matéria prima e as condições do processo produtivo. É necessário observar a equivalência dos dois insumos, pois a não conformidade pode ocasionar em um produto final fora do esperado. Sua aplicação é completamente miscível em água e somente pode ser dosado na forma diluída conforme critérios de operação. É aconselhado que a diluição do Insumo a base de Sulfito de Sódio seja realizada na concentração de solução de 10%. A dosagem do deste insumo poderá estar entre 3 a 30 gramas de produto em relação a moagem horária destinada a produção de açúcar na unidade industrial, e varia de acordo com o tipo e qualidade do açúcar a ser produzido. É interessante a realização de testes em bancada momentos antes da aplicação, segue, contudo quadro resumo de dosagens referenciais:

Tabela 2 – Detalhes de Dosagem do Insumo a Base de Sulfito de Sódio

<b>Tipo de Açúcar a Produzir</b>	<b>Dosagem mínima (ppm)</b>	<b>Dosagem máxima (ppm)</b>
VHP	3	10
BRANCO	10	30

Fonte: Fabricante do Insumo

### 3.2.3 Armazenamento do Insumo a Base de Sulfito de Sódio

O insumo é estável enquanto em sua forma sólida de cristais, nas condições ideais de estocagem e temperatura ambiente. Quando diluído, na concentração de operação, deve ser consumido em até 24 horas. As tubulações e as bombas que entram em contato com o produto devem ser de material resistente, em aço inoxidável, conforme o fabricante do insumo químico.

### 3.3.1 Insumo a Base de Ácido Fosfórico

Tabela 3 – Detalhes do Insumo a Base de Ácido Fosfórico

<b>INSUMO A BASE DE ÁCIDO FOSFÓRICO</b>	
Composição	Fósforo
Aspecto	Líquido Amarelada
Cor	Amarelo
Densidade à 25°C (g/cm <sup>3</sup> )	1,4
Flamabilidade	Inflamável
Solubilidade	Muito solúvel em água e pouco solúvel em etanol

Fonte: Fabricante do Insumo

Conforme o fabricante do insumo, este é insumo é um clarificante inorgânico a base de fósforo, utilizado na linha produtiva da fabricação de açúcar, em caldos e xaropes. O insumo é uma solução à base de fósforo, usado para clarificar alimentos e é solúvel em água. A clarificação de caldo natural é muitas vezes auxiliada pela adição de fosfatos. O Insumo a base de ácido fosfórico auxilia na remoção de materiais corantes e parte dos coloides do caldo/xarope. É um líquido estável e em condições ácidas é um clarificante.

### 3.3.2 Forma de preparo e utilização Insumo a Base de Ácido Fosfórico

O fabricante do insumo alega que para se obter uma perfeita clarificação do açúcar, a dosagem deste insumo no processo produtivo de açúcar deverá ser dimensionada e associada à utilização do Insumo a base de Sulfito de Sódio, de forma a proporcionar a remoção dos

compostos coloridos presentes no caldo e/ou xaropes de cana de açúcar, de acordo com o controle recomendado para o tratamento químico, levando-se em consideração a qualidade da matéria prima, a especificação do açúcar a ser produzido e as variabilidades do processo. Se a dosagem for insuficiente de ambos, ou seja, se não for observado a correta relação proporcional dos insumos, poderá não ocorrer os efeitos desejados no processo de clarificação do açúcar. Este Insumo já se encontra em sua forma de aplicação, e a sua dosagem poderá variar entre 60 a 230 ppm em relação à moagem horária para açúcar da unidade industrial a depender do tipo e qualidade do açúcar a ser produzido. É interessante a realização de testes em bancada momentos antes da aplicação, segue, contudo quadro resumo de dosagens referenciais:

Tabela 4 – Detalhes de Dosagem do Insumo a Base de Ácido Fosfórico

<b>Tipo de Açúcar a Produzir</b>	<b>Dosagem mínima (ppm)</b>	<b>Dosagem máxima (ppm)</b>
VHP	40	60
BRANCO	70	230

Fonte: Fabricante do Insumo

### **3.3.3 Armazenamento do Insumo a Base de Sulfito de Sódio**

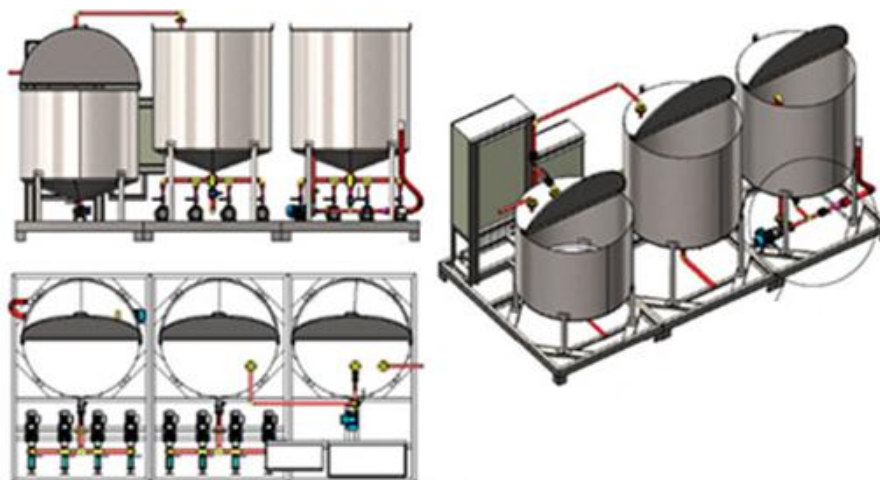
As soluções insumo a base de ácido fosfórico são estáveis quando em sua forma líquida em condições ideais de estocagem e temperatura ambiente. Armazenado em container de 1.000 litros com peso de 1.260 Kg. As tubulações e as bombas devem ser de material resistente ao produto, no caso de uso deste insumo que já se encontra na forma de aplicação e deverá ter o uso de tubulação de aço inoxidável, conforme o fabricante do insumo químico.

### **3.4 Forma de Aplicação dos Insumos**

A tecnologia é aplicada através de um Skid (tanques e bombas montadas sobre um chassi para facilitar a montagem e transporte) equipado com tanques de preparo, estocagem, dosagem, além das bombas de preparo e dosagem. Estes tanques são montados sobre um Chassi construído de Vigas em aço carbono, porem todos os tanques e tubulações são de aço inoxidável.

Pode-se visualizar na figura 18 a instalação deste Skid de dosagem.

Figura 18 – Modelo Padrão de Skid de Dosagem



Fonte: Fabricante do Insumo

### 3.5 Pontos de aplicação

Os pontos de aplicação para esta tecnologia são três, o primeiro ponto é no Caldo Clarificado e o segundo ponto no Pré-Xarope e o terceiro ponto no Xarope Flotado (em caso da Usina optar em manter o Flotador).

Esta tecnologia apenas tem seu efeito garantido em pontos que as temperaturas dos caldos estão acima de 75°C. Nestes pontos citados, esta temperatura seria alcançada apenas no Caldo Clarificado ou no Pré- Xarope, sendo assim a aplicação no Xarope Flotado somente será possível se o cliente tiver em linha um sistema de pré-aquecimento do Xarope antes do Flotador.

#### 3.5.1 Aplicação no Caldo Clarificado

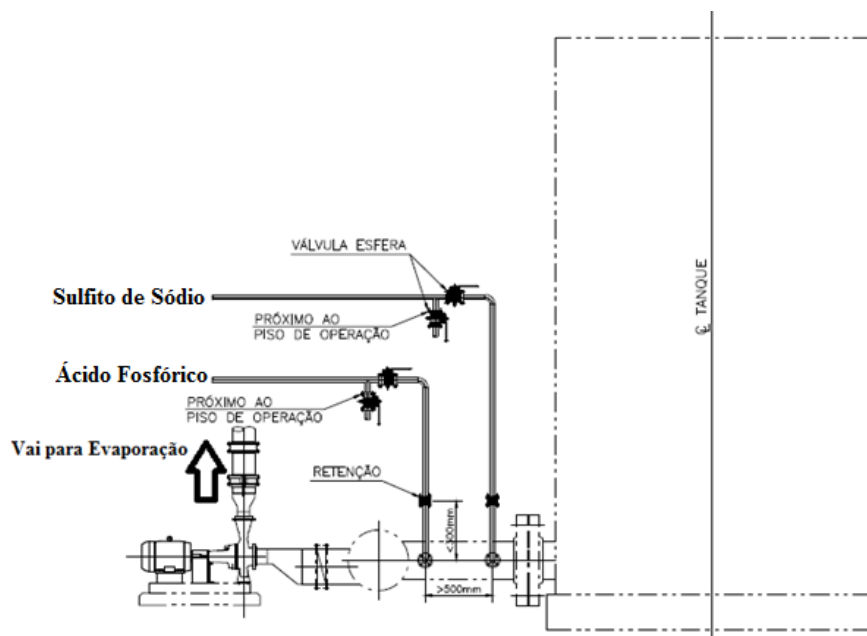
A dosagem neste ponto é realizada na sucção das bombas de Caldo Clarificado para a evaporação. A aplicação neste exato ponto nos garante uma boa mistura entre os dois reagentes na bomba.

Como observado nos testes, neste ponto a temperatura do Caldo Clarificado está em torno de 100 °C, temperatura ideal para dosagem da tecnologia.

Na figura 19 repara-se como é realizada a dosagem na entrada das bombas de Caldo Clarificado:



Figura 19 – Esquema de dosagem no Caldo Clarificado



Fonte: O Próprio Autor

Pode-se observar nestas imagens que o Insumo a base de Sulfito de Sódio é injetado já linha de caldo a no mínimo 500mm da entrada do Insumo a base de Ácido Fosfórico, e ambos precisam estar a 180° entre si para que haja boa homogeneização dos dois insumos.

### 3.5.2 Aplicação no Pré Xarope

A aplicação neste ponto é realizada entre a saída do penúltimo efeito e entrada do ultimo efeito da evaporação.

Como observado nas aplicações em campo, neste ponto da evaporação, a temperatura do caldo encontra-se entre 75°C e 80°C, portanto no limite da temperatura mínima para aplicação.

Na figura 20 se visualiza a aplicação no pré-xarope, que possui como ajuda um misturador estático que realiza a mistura entre os dois insumos que são dosados simultaneamente na linha de pré xarope. Este misturador estático é fabricado em aço inoxidável devido aos insumos que são inseridos na linha. O prosseguimento da linha não é necessário ser em aço inoxidável, pois ao se misturarem na linha os mesmos se anulam e se torna um produto neutro. Isso se prova com as análises de pH do caldo após a dosagem.

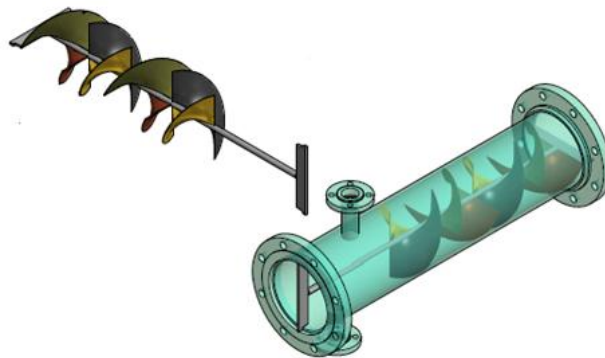
Figura 20 – Esquema de dosagem no Pré Xarope



Fonte: O Próprio Autor

Neste ponto de aplicação é utilizado um misturador estático para aumentar a turbulência do caldo, desta forma os dois insumos podem se homogeneizar.

Figura 21 – Esquema de montagem do Misturador Estático

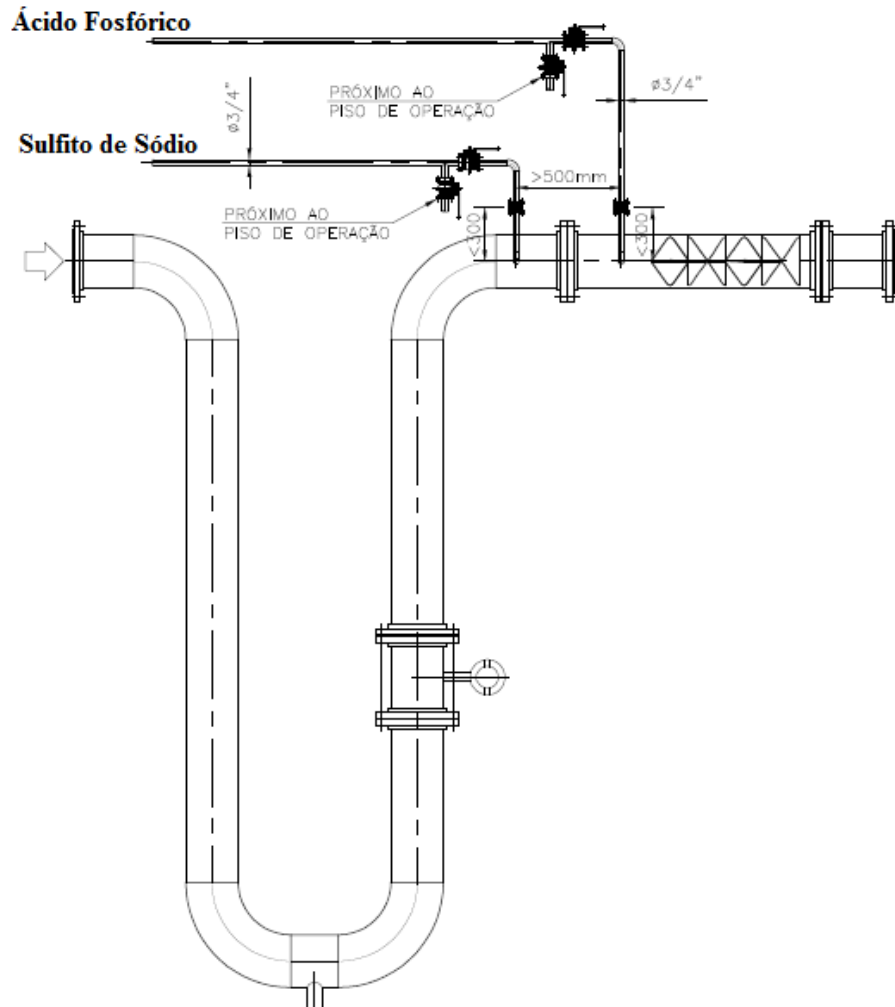


Fonte: O Próprio Autor

Por se tratar de um ponto do processo que se encontra com pressão negativa, geralmente este ponto possui sifão para manter esta pressão negativa. Desta forma, este misturador estático é instalado após o sifão. Da mesma forma como no caldo clarificado, o Insumo a base de Sulfito de Sódio é injetado já linha de caldo a no mínimo 500mm da entrada

do Insumo a base de **Ácido Fosfórico** e ambos precisam estar a 180° entre si para que haja boa homogeneização dos dois insumos, como pode ser observado na imagem abaixo:

Figura 22 – Detalhe da dosagem no Pré Xarope



Fonte: O Próprio Autor

## CAPITULO 4 - RESULTADOS OBTIDOS NA APLICAÇÃO

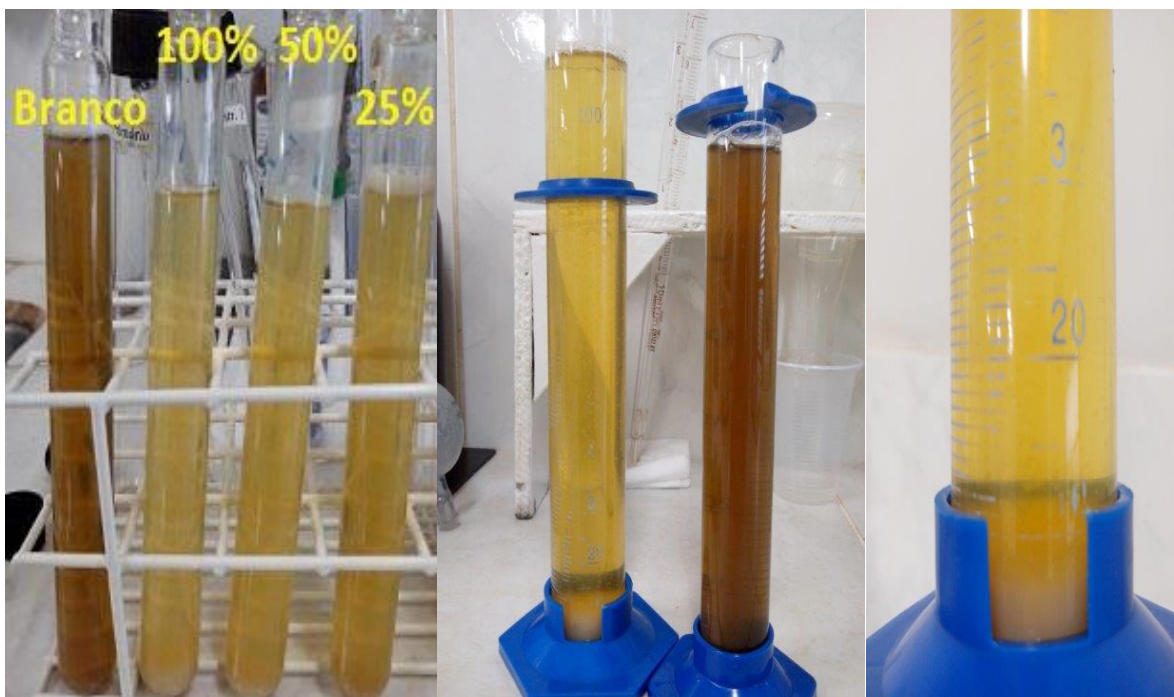
### 4.1 Aplicação e Teste em Bancada

Durante todo o período de testes, foram averiguadas inúmeras vezes antes da aplicação em planta os resultados obtidos em laboratório. Abaixo seguem os resultados obtidos com as devidas dosagens em bancada. Nas análises são verificados os parâmetros de cor, condutividade e pH.

#### 4.1.1 Análise de cor em teste de bancada

Um teste de bancada com as dosagens de 100% Cristal, 50% Cristal e 25% Cristal para visualizar a redução de cor. Na dosagem de 100% Cristal foi possível observar uma precipitação muito grande de flocos gelatinosos, provavelmente de amido e dextrana;

Figura 23 – Detalhe da mudança de Cor com a aplicação do Insumo



Fonte: O Próprio Autor

As análises de cor referente a figura 23 apresentaram resultado esperado, sendo que a dosagem máxima rendeu uma redução de 28% na cor do caldo e a dosagem mínima redução de 19%. Os valores completos estão expressos na tabela 5:

Tabela 5 – Números com a Redução da cor após a aplicação em bancada

	<b>Cores (U.I.)</b>	<b>Reduções</b>
<b>Caldo Clarificado</b>	7.587	-
<b>100% Cristal</b>	5.452	28,14%
<b>50% Cristal</b>	6.059	20,14%
<b>25% Cristal</b>	6.128	19,23%

Fonte: O Próprio Autor

#### 4.1.2 Análise de pH em teste de bancada

Neste teste de bancada foram realizadas outras análises, na tabela 6 estão apresentados os resultados de pH referente ao caldo clarificado sem dosagem e com as devidas dosagens:

Tabela 6 – Números do pH após a aplicação em bancada

	<b>pH</b>
<b>Caldo Clarificado</b>	6,65
<b>100% Cristal</b>	6,40
<b>50% Cristal</b>	6,48
<b>25% Cristal</b>	6,55

Fonte: O Próprio Autor

Nestas análises de pH pode-se ver que se mantém praticamente estável, desta forma chega-se a conclusão que não influencia negativamente ao processo como com inversão de sacarose conforme abordado por HUGOT (1969).

#### 4.1.3 Análise de condutividade em teste de bancada

Outro dado importante a ser analisado é a condutividade, que deve se manter estável. Conforme análises pelo método CTC, conforme a condutividade é observado o teor de cinzas. Esta análise possui uma importância muito grande, pois às usinas que vendem o açúcar as indústrias de bebidas possuem limites para este dado. As cinzas quando em excesso causam resíduos em líquidos claros, dando a impressão de sujo e contaminado.

Nos dados da tabela 7 é observado que a condutividade não é afetada após a dosagem máxima do Insumo:

Tabela 7 – Números da condutividade do caldo após a aplicação em bancada

	Condutividade $\mu/\text{cm}^3$
Caldo Clarificado	3,37
100% Cristal	3,42

Fonte: O Próprio Autor

Esta variação observada não influencia no valor final das cinzas.

Nos posteriores resultados apresentados serão analisados custos para utilização da tecnologia, redução de custos com insumos químicos e aumento da produção devido a utilização da tecnologia. Os resultados analisados referem-se a utilização em planta do Insumo, desta forma poderemos ter a noção real dos ajustes realizados, porem em determinados momentos utilizaremos dados virtuais, pois seria impossível realizar as medições em planta.

Como citado anteriormente, cada segundo a menos de lavagem de açúcar representa 4kg de açúcar perdido, portanto os cálculos serão realizados sobre este valor.

## **4.2 APLICAÇÃO EM CAMPO 01 – Diminuição da cor e Aumento de Produção**

### **4.2.1 Dados preliminares da Usina**

Nesta análise de campo foi realizado uma varredura da Usina Sucrialcooleira para posterior comparação dos resultados. Foram coletadas as seguintes informações:

- A Unidade processa diariamente 8.000 toneladas de cana, sendo cerca de 70% destinada ao processo de açúcar;
- Esta unidade produz açúcar cristal com limite 150 UI de cor e comercializado para indústrias de refrigerantes;
- Possuem sulfocaleação (ato de sulfitar antes de calçar);
- A Unidade possui apenas um Decantador, sendo do tipo convencional;
- A Evaporação é composta por dois Pré-evaporadores e mais quatro efeitos. A limpeza é realizada por rodízio;
- No processo é utilizado flotador;

- Depois da Flotação, o xarope vai para uma caixa de xarope flotado para retirar pontos pretos e outros sólidos insolúveis do mesmo, e após esta caixa ainda passa por filtros tipo multibag;
- Possuem quatro cozedores, sendo dois de 450 hl, um de 500 hl e um de 550 hl;
- O sistema de produção desta unidade é de duas massas, onde o mel rico é utilizado 100% na Massa A;
- Possuem sete cristalizadores de massa A.
- A usina possui quatro centrifugas BMA P650, ficando uma dessas na reserva e duas VETEK VK1250. Segundo o Levantamento, o tempo de lavagem de Massa A está em 16 segundos.

A instalação do sistema de dosagem se deu na saída do Flotador, foi instalado um misturador estático no interior da tubulação de sucção da bomba de Xarope Flotado.

Figura 24 – Local de aplicação na 1ª análise de campo



Fonte: O Próprio Autor

#### 4.2.2 Dados de Análises durante a aplicação

Foram coletadas amostras de xarope bruto, xarope flotado sem e com tratamento, magma, magma diluído, mel rico, mel pobre e massa “A”, para análises de cor e pureza. Os dados se encontram na tabela 8.

Tabela 8 – Análises de Cor da Planta

<b>Amostra</b>	<b>Cor (UI)</b>	<b>Pureza (%)</b>
Xarope	11.126	80,32
Xarope Flotado	9.734	75,12
Xarope Tratado	4.871	70,33
Mel Rico	8.974	74,29
Mel Pobre	14.580	67,66
Magma	1.091	94,7
Massa (A)	3.375	81,22

Fonte: O Próprio Autor

Foi realizado outro teste de bancada em laboratório para comparação da cor do xarope tratado. As dosagens foram: 100% cristal, 50% cristal e 25% cristal. Os dados estão apresentados na tabela 9:

Tabela 9 – Análises de Cor da Planta em Laboratório

<b>Amostra</b>	<b>Cor (UI)</b>
Xarope tratado	10.195
Xarope tratado (100%)	8.890
Xarope tratado (50%)	8.925
Xarope tratado (25%)	9.722

Fonte: O Próprio Autor

Na figura 25 pode ser visualizado a diferença das cores entre o Xarope Flotado e o Xarope Flotado Tratado referente a análise da tabela 9:

Figura 25 – Mudança de cor do Xarope Flotado em Planta



Fonte: O Próprio Autor



A diferença de cor nestas amostras foi de 8.779 U.I. do Xarope Flotado para 6.841 U.I. do Xarope Flotado Tratado.

A tabela comparativa de resultados foi a seguinte:

Tabela 10 – Comparativo de produção antes e após a dosagem

Cana Moida (TON)		% RB 92579	PC Cana	Produção (Sacos 50 kg)	Diferença Produção	UNICOP (Kg/TC)	Cor Açúcar (UI)	Obs.
Data	Açúcar							
08/05/13	6.744,495	18,63	10,3184	10.454	---	99,8	137	
09/05/13	6.528,180	19,54	10,1256	10.884	430	100,58	138	Início dosagem
10/05/13	6.135,325	17,57	10,3762	11.802	1.348	126,31	124	
11/05/13	6.590,310	44,88	10,2556	10.324	-130	107,51	128	
12/05/13	7.080,326	41,73	9,6029	11.778	1.324	102,82	134	
13/05/13	6.834,594	25,91	10,4111	11.570	1.116	128,78	133	
SUBTOTAL					4.088			

Fonte: O Próprio Autor

O início da dosagem se deu no dia 09/05 as 16:30. Pode-se dessa forma analisar somente os resultados obtidos a partir do dia 10/05. Podemos verificar dessa forma, um aumento na média de 1000 sacos de 50 kg por dia. Em valor total, são 40.000 kg de açúcar a mais nestes 04 dias de testes.

Outro dado importantíssimo a ser analisado é o aumento significativo da porcentagem de cana tipo RB 92579. Como já explicado anteriormente, esta variedade possui uma característica própria com aumento da coloração do caldo extraído, dessa forma, seria necessário diminuir a produção através de mudanças no processo para obtenção de açúcar no padrão de venda, cujo qual o valor é de no máximo 150 U.I. Portanto, observa-se que mesmo com este aumento significativo de 26% desta variedade de cana de açúcar a média de cor se manteve igual e uma pequena variação negativa na produção. Esta variação negativa deve-se a um acidente operacional causado no período noturno, onde houve entupimento na linha de Magma e a Usina precisou cristalizar no cozimento da Massa A, provocando inconformidade no tamanho dos cristais (ver figura 26), o que causou alteração na cor do açúcar.

Figura 26 – Cor da Massa A após a utilização da Tecnologia



Fonte: O Próprio Autor

### 4.2.3 Dados Financeiros após a aplicação

Como pode ser observado, houve um aumento produtivo que deve ser considerado o principal motivo pela utilização desta tecnologia, assim, são listados os gastos e ganhos a partir da utilização da tecnologia.

Para esta etapa, foram analisados os ganhos obtidos com a redução de gastos com Insumos químicos, redução do tempo de lavagem nas centrifugas e melhoria nas massas considerando os ganhos com massas menos viscosas.

Primeiramente, é demonstrado a moagem total e os gastos (em quantidade) referente os Insumos químicos utilizados antes e após a utilização da tecnologia.

A moagem total foi direcionada para a produção de açúcar, levando em consideração que não foram levantados os ganhos obtidos no álcool devido a redução de sulfitação e mantido o ATR médio de 140 quilogramas de açúcar por tonelada de cana de açúcar.

Tabela 11 – Dados de moagem da 1ª aplicação de campo

MOAGEM DIÁRIA			
Moagem (ton)	8.000,00	ATR (kg/ton)	140,00

Fonte: O Próprio Autor

#### 4.2.4 Calculo de gastos com Insumos Químicos

Para efetuar os cálculos referente a redução dos custos na diminuição de insumos químicos padrões e gastos com a utilização dos Insumo novo analisado, foi utilizado a seguinte relação de preços (Preços referente a 01 (um) quilograma de cada Insumo):

Tabela 12 – Dados de consumo de Insumos Químicos da 1ª aplicação de campo

<b>CONSUMO DIÁRIO DE INSUMOS QUÍMICOS (g/tc)</b>			
<b>INSUMOS</b>	<b>CONSUMO SEM O INSUMO</b>	<b>CONSUMO COM O INSUMO</b>	
Enxofre	400	200	
Cal	1200	800	
Polímero Decantador	0	0	
Polímero Flotador	0	0	
Anti-incrustante	0	0	
Ácido Fosfórico	0	0	
Lubrificante massa	0	0	
INSUMO ANALISADO	0	SULF.	FOSF.
		20	150

Fonte: O Próprio Autor

Para fins de cálculos expressados neste presente estudo, serão utilizados os valores da tabela 13 para demonstração de custos dos insumos químicos utilizados pelas usinas sucroalcooleiras. Desta forma, será possível obter um valor aproximado dos gastos e lucros obtidos pela unidade. Estes valores são referente aos praticados no período de confecção do estudo.

Tabela 13 – Valor dos Insumos Químicos da 1ª aplicação de campo

<b>Insumos</b>	<b>Preço</b>
Enxofre	R\$ 1,06
Cal	R\$ 0,28
Polímero Decantador	R\$ -
Polímero Flotador	R\$ -
Anti-incrustante	R\$ 3,53
Ácido Fosfórico	R\$ 1,51
Lubrificante massa	R\$ -
INSUMO BASE DE SULFITO	R\$ 16,00
INSUMO BASE DE FÓSFORO	R\$ 9,00

Fonte: O Próprio Autor

Considerando a economia dos insumos químicos padrões devido à redução de consumo, chega-se a um valor de R\$ 77.760,00. Porém, o gasto total mensal do insumo analisado a base de Sulfito de Sódio e Ácido Fosfórico chega ao patamar de R\$ 400.800,00. Para justificar este valor, este insumo deve proporcionar um relativo aumento de produção.

Este valor total obtido, é fruto do cálculo de gramas/tonelada de cana moída de cada insumo.

O cálculo abaixo demonstra o gasto com o Insumo à base de Sulfito de Sódio:

- **Dados para Cálculo:**

VT = Valor total gasto com o Insumo por mês

MT = Moagem total: 8.000 ton/dia

D = Dias de Moagem: 30 dias

V = Valor/ Kg: 16,00

C = Consumo/ton. Cana: 20g/ton. Cana = 0,02 Kg/ton. Cana

- **Fórmula:**

$$VT = (MT \times C) \times V \times D$$

- **Cálculo:**

$$VT = (8000,00 \times 0,02) \times 16,00 \times 30$$

$$VT = R\$ 76.800,00$$

O cálculo abaixo demonstra o gasto com o Insumo à base de Ácido Fosfórico:

- **Dados para Cálculo:**

VT = Valor total gasto com o Insumo por mês

MT = Moagem total: 8.000 ton/dia

D = Dias de Moagem: 30 dias

V = Valor/ Kg: 9,00

C = Consumo/ton. Cana: 150g/ton. Cana = 0,15 Kg/ton. Cana

- **Fórmula:**

$$VT = (MT \times C) \times V \times D$$

- **Cálculo:**

$$VT = (8000,00 \times 0,15) \times 9,00 \times 30$$

$$VT = R\$ 324.000,00$$

A soma destes dois cálculos chega aos R\$ 400.800,00 descritos acima. Este mesmo cálculo foi utilizado para obter a economia dos insumos químicos convencionais.

A partir deste momento, foram realizados os cálculos para comparar a produção com a utilização destes insumos químicos. Primeiramente foram coletados os dados referentes ao mel utilizado no cozimento de Massa A.

#### 4.2.5 Produção com maior utilização de Mel

Tabela 14 – Dados de utilização de mel no Cozimento da 1ª aplicação de campo

<b>AÇÚCAR PRODUZIDO COM MEL/DIA</b>		
Capacidade total dos Cozedores de Massa "A" (hl)	1950	
Quantidade de Mel utilizado normalmente (%)	8%	
<b>Quantidade de Mel utilizado após aplicação da tecnologia (%)</b>	<b>12%</b>	
Pol média do mel utilizado no cozimento (%)	58%	
<b>Quantidade de açúcar produzido com mel</b>	<b>6.982,18</b>	<b>kg</b>
	<b>140</b>	<b>sacos</b>

Fonte: O Próprio Autor

Este cálculo foi realizado sobre a Pol média do mel utilizado no cozimento (pureza deste mel) e com o devido aumento da utilização de mel, que passou de 8% do volume de cada Cozedor para 12%. Representando um aumento de 4% na utilização de mel no cozimento. Este mel utilizado no cozimento é um açúcar recuperado, que seria perdido na produção de álcool, que representa um valor menor de venda e, portanto não é vantajoso desperdiçar mel para a produção de álcool. Obteve-se desta forma um aumento aproximado de 6.982 kg de açúcar por dia somente com a utilização de maior quantidade de mel no cozimento. Este valor levado ao mês representa um montante aproximado de 209,5 toneladas de açúcar recuperado.

#### 4.2.6 Produção com tempo de lavagem da centrifuga

Os cálculos utilizados neste momento foram de açúcar recuperado por segundo a menos de lavagem nas centrifugas.

- **Dados para Cálculo:**

RT = Redução de Tempo: 5 segundos

AD = Quantidade de açúcar dissolvido: 4 kg/segundo

QC = Quantidade de ciclos: 20 ciclos

Qce = Quantidade de Centrífugas: 2 centrífugas

- **Fórmula:**

Açúcar Recuperado = RT x AD x QC x QCe x 24 horas

- **Cálculo:**

Açúcar Recuperado = 5 x 4 x 20 x 5 x 24

Açúcar Recuperado = 48.000 kg.

Para obter a quantidade de sacos obtidos a mais por dia basta dividir este valor por 50 que representa a capacidade de cada saco que é 50 quilogramas.

Sacos de Açúcar Recuperado = 48.000/50

Sacos de Açúcar Recuperado = 960 sacos/dia.

Como a produção da Usina é representada por 30 dias contínuos em uma safra que gira entre 220 dias a 260 dias dependendo da Unidade, a produção total mensal de açúcar a mais somente com a redução da lavagem na centrifugação chega a 1.440.000,00 Kg ou 28.800 Sacos de açúcar por mês.

Posteriormente foi analisada a produção com a diminuição da lavagem de açúcar nas centrífugas de massa A. Obteve-se os resultados da tabela 15:

Tabela 15 – Dados do tempo de lavagem na centrifugação da 1ª aplicação de campo

<b>AÇÚCAR RECUPERADO NAS CETRÍFUGAS/DIA</b>		
Redução do tempo de lavagem (s)	5	
Quantidade de ciclos por hora	20	
Quantidade de Centrífugas	5	
<b>Quantidade de açúcar recuperado</b>	<b>48.000,00</b>	<b>kg</b>
	<b>960</b>	<b>sacos</b>

Fonte: O Próprio Autor

#### 4.2.7 Balanço Financeiro final da 1ª aplicação em campo

Por final, foi realizado um balanço mensal, desta forma é possível obter o resultado se este insumo realmente proporciona lucro a Unidade Sucroalcooleira, os valores estão expressos na tabela 16.

Tabela 16 – Balanço financeiro da 1ª aplicação de campo

<b>GANHOS DE PRODUÇÃO E ECONOMIAS MENSAIS</b>			
<b>1.649,47 ton de açúcar a mais produzido por mês</b>			
<b>32.989 sacos de açúcar a mais produzido por mês</b>			
<b>Ou seja, um aumento na produção de açúcar de 6,14%</b>			
<b>Elevando a produtividade (sc/tc) de</b>	<b>2,24</b>	<b>para</b>	<b>2,38</b>
<b>Considerando uma economia de insumos químicos de</b>		<b>R\$</b>	<b>77.760,00</b>
<b>Gasto com INSUMO A e B de aproximadamente de</b>		<b>R\$</b>	<b>400.800,00</b>
<b>Que representa um gasto de</b>	<b>1,67</b>	<b>R\$/TC</b>	<b>ou 0,70 R\$/SC</b>
<b>LUCRO MENSAL =</b>	<b>R\$</b>	<b>1.326.425,29</b>	

Fonte: O Próprio Autor

Este valor é obtido através dos valores obtidos com a diminuição da utilização dos Insumos químicos convencionais, aumento da utilização de mel no cozimento de Massa A e redução no tempo de lavagem na Centrifugação. Para que este resultado tivesse o valor real do lucro mensal, foi também contabilizado o custo total do Insumo químico novo que está sendo analisado.

Para realização destes cálculos, foi adotado o seguinte valor do açúcar:

Tabela 17 – Valor adotado do açúcar na 1ª aplicação de campo

<b>Produtos</b>	<b>Preço</b>
Produção de açúcar Cristal (sc)	R\$ 49,00

Fonte: O Próprio Autor

Ao realizar esta análise, é de extrema importância que seja levado em consideração o valor gasto com Insumo químico novo analisado, que neste caso representou R\$ 1,67 por tonelada de cana moída e/ou R\$ 0,70 por saco de açúcar produzido.

Deve ratificar que nesta análise ainda não foi realizado cálculo da receita obtida com Ganhos com economia de vapor devido ao menor tempo na lavagem das telas da centrifuga e também em caso de cogeração, onde o vapor economizado pode ser utilizado na turbina. Outro ganho foi a diminuição das incrustações que permitem melhor circulação dos fluidos. Podem haver ganhos de produção de álcool reduzindo a sulfitação pois o enxofre é um inibidor de fermentação. Ganhos com possível aumento de produtividade agrícola em longo prazo, podendo plantar maior quantidade da variedade RB 92579 e ganhos de produção com a diminuição da viscosidade da massa "A".

### 4.3 APLICAÇÃO EM CAMPO 02 – Diminuição de Cinzas

Nesta segunda aplicação em planta, a solicitação da Usina foi a redução de cinzas, o produto não foi desenvolvido para este fim, porém através da sua utilização e posteriores mudanças em processo este objetivo poderia ser alcançado.

Como pode-se observar nesta introdução, esta Unidade não objetivava alcançar aumento de produção, troca de insumos químicos e/ou aumento de retenção da fábrica. O único objetivo desta unidade era produzir açúcar de qualidade para atingir as exigências dos clientes, pois no último mês todo o açúcar produzido não obedecia às exigências.

#### 4.3.1 Dados preliminares da Usina

Antes da aplicação foi realizado um levantamento na unidade para saber o real estado da usina, os dados obtidos foram os seguintes:

- Esta unidade processa cerca de 7.000 TCD (cerca de 270 TCH);
- A empresa produz cerca de 750 toneladas (15.000 SC/Dia) por dia de açúcar cristal com cor abaixo de 250 UI;
- O tratamento de caldo é feito por sulfocaleação e no preparo do leite de cal possuem um tempo de retenção baixo;
- Possuem dois clarificadores sem bandejas;
- A filtração do lodo é realizada por filtros tipo vacuum-press;
- Possuem flutador na saída do último efeito, onde se utiliza além do polímero e ar comprimido, sacarato de cálcio e ácido fosfórico;
- Possuem peneiras estáticas para o caldo clarificado e um filtro de xarope (Technopulp) para o xarope;
- O sistema de cozimento é de duas massas.

Antes do preparo do Insumo A foi realizada a análise da água de preparo, os resultados estão expressos na tabela 18:

Tabela 18 – Da condutividade da água de preparo do Insumo da 2ª aplicação de campo

	Condutividade	pH
Água de Preparo	74,6	6,80

Fonte: O Próprio Autor

Pode-se observar que estes valores são bons, representando uma água tratada.



### 4.3.2 Dados de análises antes da aplicação do Insumo

A partir deste momento foi iniciado o preparo do Insumo A e coletadas algumas amostras do processo para posterior comparação dos resultados. As análises de caldo clarificado, Xarope Bruto, Xarope Flotado e Açúcar do dia 01/08/2013 (dia antes da dosagem do produto) eram os seguintes:

A cor média do xarope bruto do dia 01/08 dia foi de: 6.808 U.I. este valor é obtido pela média dos valores da tabela 19:

Tabela 19 – Cor do Xarope Bruto antes da 2ª aplicação de campo

Xarope Bruto												
Hora	0:00	2:00	4:00	6:00	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00
Cor	6891	7868	7095	6942	6236	7300	7248	6236	5541	5837	7300	7197

Fonte: O Próprio Autor

Foi notado que o Flotador estava aumentando a cor do Xarope, sendo assim, deveria ser observado qual o problema neste equipamento.

A cor média do xarope flotado deste dia foi de 6.934 U.I, nas análises observadas na tabela 20.

Tabela 20 – Cor do Xarope Flotado antes da 2ª aplicação de campo

Xarope Flotado												
Hora	0:00	2:00	4:00	6:00	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00
Cor	6993	7454	6993	6386	6841	7300	6739	6891	6841	7095	6942	6739

Fonte: O Próprio Autor

No dia 01/08 foram realizadas também as análises referente cor e cinza do açúcar para posterior comparação com as análises após a dosagem. Na tabela 21 estão expressos os valores tendo uma média de cor de 180 U.I. e média diária de cinzas 0,139 g/ton. açúcar.

Tabela 21 – Cor do açúcar antes da 2ª aplicação de campo

Açúcar												
Hora	0:00	2:00	4:00	6:00	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00
Cor	189	147	220	164	335	137	190	0	243	234	145	155
Cinza	0,12	0,143	0,107	0,134	0,134	0,14	0,134	0,112	0,149	0,147	0,134	0,215

Fonte: O Próprio Autor

O início da dosagem estava previsto para as 9:00 do dia 02/08 porém, devido problemas da planta industrial, somente foi possível iniciar no dia 03/08/2013.

### 4.3.3 Dados de análises após da aplicação do Insumo

A partir da dosagem, foram coletadas algumas amostras para análise de cor. Os resultados destas análises estão expressos na tabela 22 e a mudança visual na figura 27. Observa-se neste caso que a diferença foi acima do esperado, que na média das aplicações se encontra em 30%. Fica nítido, que com o processo neste padrão de cor de caldo, não poderá obter problemas na obtenção na cor do açúcar, que possui cor máxima de 250 U.I. Devido esta redução é possível alterar algumas etapas do processo:

Tabela 22 – Mudança de cor do Caldo da 2ª aplicação de campo

<b>Amostra</b>	<b>Cor (UI)</b>
Caldo Clarificado	3.473
Caldo Clarif. Com Insumo	1.410
<b>Diferença (%)</b>	<b>-59,4%</b>

Fonte: O Próprio Autor

Figura 27 – Mudança de cor do Caldo da 2ª aplicação de campo



Fonte: O Próprio Autor

No período vespertino, foram encaminhadas ao laboratório duas amostras, sendo uma de caldo clarificado branco e outro de caldo clarificado com o Insumo para análise de condutividade.

Tabela 23 – Condutividade do caldo da 2ª aplicação de campo

<b>Amostra de Caldo</b>	<b>Condutividade</b>
Sem Insumo	3,37
Com Insumo	3,42

Fonte: O Próprio Autor

Conforme o método CTC, a análise de cinzas é feita através da condutividade do fluído. Portanto, pode-se observar que o Insumo não agrega as cinzas, pois a diferença observada não é considerada suficiente para aumentar cinzas no açúcar final.

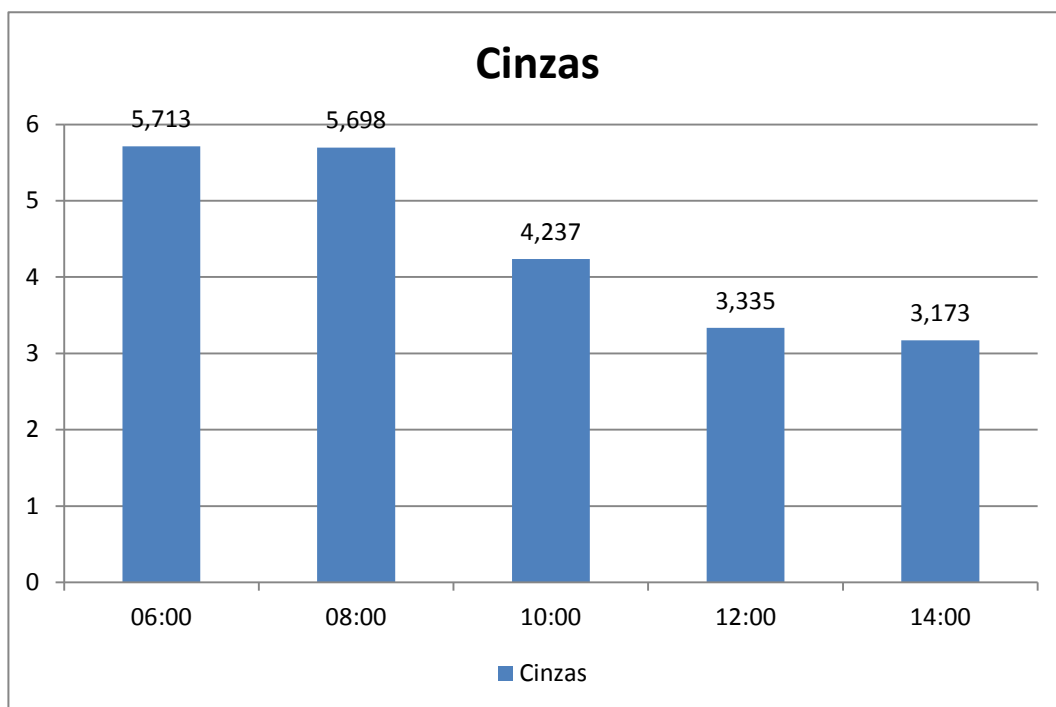
Para prosseguir no tratamento para diminuição do teor de cinzas foi direcionado o corpo técnico ao tratamento de caldo com o intuito de reduzir o enxofre e a cal. A alteração foi realizada eletronicamente da seguinte maneira:

- Enxofre: aumentado set point de pH de 4,3 para 4,5.
- Leite de Cal: será dosado de maneira que o pH não ultrapasse o set point de 6,3.

Desta forma, a dosagem de enxofre será menor para manter o pH na especificação, devido a isso utilizará menos cal para corrigir o pH do caldo, assim, será possível a redução das cinzas no açúcar, pois conforme algumas análises, pode-se observar que o principal problema das cinzas é o cal, onde o nível de sulfato de cálcio ultrapassou os 200 mg/L.

Outra mudança solicitada a usina foi a mudança do Cal utilizado no tratamento do caldo, onde os mesmos utilizavam Cal Virgem que foi trocado por Cal Hidratada. Esta manobra reduziu muito a concentração de cinzas no Xarope Flotado, como pode ser observado nos dados das análises abaixo. Esta mudança ocorreu as 18hs do dia anterior as análises, porém os tanques de cal ainda estavam cheios, portanto apenas ocorreu a troca completa deste cal durante a madrugada.

Gráfico 1 – Redução das Cinzas com a alteração da cal da 2ª aplicação de campo



Fonte: O Próprio Autor

É possível observar que houve uma redução de praticamente 45% no teor de cinzas no Xarope Flotado em relação ao caldo tratado com Cal Virgem. Isso demonstra que a Cal Virgem utilizada era de má qualidade, com altos índices de sulfato.

Apesar dessa redução de cinzas no Xarope Flotado, o açúcar ainda não estava no padrão exigido pelo cliente, sendo assim foram realizadas algumas análises na água de lavagem das centrifugas, as análises seguiram as seguintes etapas:

Preparar uma solução com açúcar e água, para uma solução foi utilizado água destilada e para outra a água de condensado geral, utilizada para lavar o açúcar nas centrifugas.

- Condutividade da água destilada: 9
- Condutividade da água condensada: 215

A figura 28 e tabela 24 demonstram a diferença das duas águas. Repara-se nitidamente que a água condensada utilizada agrega impurezas ao açúcar final.

Figura 28 – Aspecto da Água condensada x Água destilada da 2ª aplicação de campo



Água condensada (Esquerda)/ Água destilada (Direita)

Fonte: O Próprio Autor

Pode-se observar que a condutividade da água condensada utilizada para lavagem do açúcar nas centrifugas é muito elevada, como já citado acima, o método CTC utiliza a condutividade para especificar o teor de cinzas contido no açúcar, sendo assim as cinzas sempre irão ficar altas e necessitaram de alto tempo de lavagem para ser retirado.

Foram realizadas mais algumas análises que demonstraram a má qualidade desta água. Para estas análises foram preparadas soluções com açúcar e as devidas águas. Os resultados estão expressos abaixo:

Tabela 24 – Análise de cor - Água Destilada x Água Condensada da 2ª aplicação de campo

ÁGUA DESTILADA				ÁGUA CONDENSADA			
Lote Açúcar	Cor	Cinza	pH	Lote Açúcar	Cor	Cinza	pH
596	88	0,038	6,5	596	173	0,049	5,46

Fonte: O Próprio Autor

Estes números somente apontam mais um dos problemas encontrados nesta unidade. Com o mesmo lote de açúcar e análise de cor com as devidas águas, ouve um aumento de quase 100 pontos de cor. As cinzas que se encontravam no padrão exigido novamente passaram a ficar fora do padrão. Outro grande problema encontrado é o pH desta água, que se encontra demasiadamente baixo, como é sabido o pH deve-se manter acima de 5,8.

#### 4.3.4 Dados comparativos finais de análises após a aplicação do Insumo

Sendo assim, os resultados finais obtidos com a utilização da tecnologia e alguns ajustes na planta foram expressivos. Na tabela 25 é possível observar a diferença obtida na cor do xarope bruto. É possível observar que em números totais, a diferença média se manteve acima de 2.000 pontos na unidade icumsa (U.I.). Para mais fácil comparação, é possível também observar a porcentagem de redução, que mantém uma média acima de 30% de redução de cor comparando o dia antes da dosagem (01/ago) e um dos dias de dosagem (05/ago).

Tabela 25 – Comparativo de mudanças do xarope bruto antes e após a aplicação

Xarope Bruto												
01/ago												
HORA	00:00	02:00	04:00	06:00	08:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00
Cor (U.I.)	6891	7868	7095	6942	6236	7300	7248	6236	5541	5837	7300	7197
05/ago												
HORA	00:00	02:00	04:00	06:00	08:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00
Cor (U.I.)	6790	6386	5788	4374	3661	4470	-----	-----	3898	4135	3993	4518
Comparativo												
HORA	00:00	02:00	04:00	06:00	08:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00
Diferença Cor (U.I.)	-101	-1482	-1307	-2568	-2575	-2830	-----	-----	-1643	-1702	-3307	-2679
Diferença (%)	-1	-19	-18	-37	-41	-39	-----	-----	-30	-29	-45	-37

Fonte: O Próprio Autor

Os números se tornam ainda mais expressivos no xarope flotado (tabela 26), pois o equipamento “Flotador” auxilia na retirada de impurezas físicas ainda contidas no xarope. As reduções dos valores de cor encontram-se na sua maioria acima de 2.500 U.I., alcançando em alguns momentos a redução acima de 3.000 U.I. e o pico de 52% às 18hs na redução de cor com média próxima a 40%. Quando se analisa estes números, chega-se a conclusão que a massa do cozimento sairá muito mais clara, obtendo açúcar branco com extrema facilidade.

Tabela 26 – Comparativo de mudanças do xarope flotado antes e após a aplicação

Xarope Flotado												
01/ago												
HORA	00:00	02:00	04:00	06:00	08:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00
	6993	7454	6993	6386	6841	7300	6739	6891	6841	7095	6942	6739
05/ago												
HORA	00:00	02:00	04:00	06:00	08:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00
	4088	3803	5590	5246	4183	4663	5197	5788	4040	3379	3898	3798
Comparativo												
HORA	00:00	02:00	04:00	06:00	08:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00
Diferença Cor	-2905	-3651	-1403	-1140	-2658	-2637	-1542	-1103	-2801	-3716	-3044	-2941
Diferença (%)	-42	-49	-20	-18	-39	-36	-23	-16	-41	-52	-44	-44

Fonte: O Próprio Autor

Na tabela 27 observa-se como os números demonstrados nas tabelas 25 e 26 se comprovam na obtenção do açúcar final com cores baixas e remoção de cinzas com as alterações realizadas no processo devido a redução das cores. Ficou notório que tanto a cor do açúcar reduziu quanto do teor de cinzas acima de 50%. Com tamanha redução, as cinzas por fim se enquadraram no padrão exigido.

Tabela 27 – Comparativo de mudanças do açúcar da 2ª aplicação de campo

Açúcar												
01/ago												
HORA	00:00	02:00	04:00	06:00	08:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00
Cor (U.I.)	189	147	220	164	335	137	190	0	243	234	145	155
Cinza (g/ton)	0,12	0,143	0,107	0,134	0,134	0,14	0,134	0,112	0,149	0,147	0,134	0,215
05/ago												
HORA	00:00	02:00	04:00	06:00	08:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00
Cor (U.I.)	112	0	68	88	114	125	107	112	101	112	106	94
Cinza (g/ton)	0,047	0,047	0,056	0,056	-----	0,063	0,067	0,067	0,067	0,066	0,056	0,058
Comparativo												
COR												
HORA	00:00	02:00	04:00	06:00	08:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00
Diferença Cor U.I.	-77	-147	-152	-76	-221	-12	-83	112	-142	-122	-39	-61
Diferença (%)	-41	-100	-69	-46	-66	-9			-58	-52	-27	-39
CINZAS												
Diferença Cinza (g/ton)	-0,073	-0,096	-0,051	-0,078	-----	-0,077	-0,067	-0,045	-0,082	-0,081	-0,078	-0,157
Diferença (%)	-61	-67	-48	-58	-----	-55	-50	-40	-55	-55	-58	-73

Fonte: O Próprio Autor

Observando os valores obtidos, pode-se concluir que as cinzas que eram o principal problema nesta unidade diminuíram bastante mantendo o padrão de cinzas no especificado. Nitidamente os números representam uma queda superior a 50% de redução nas cinzas.

Também é possível observar uma grande redução na cor do açúcar, onde esta unidade já trabalhava com cores baixas antes de utilizar a tecnologia. É possível julgar que esta redução de cor é uma das principais responsáveis pela diminuição do teor de cinzas contidas no açúcar, pois através da redução de cor foi possível realizar ajustes para menos na utilização de enxofre e conseqüentemente a cal. Sabe-se que estes compostos são os principais compostos por agregarem cinzas ao açúcar final.

Outro grande fator positivo abordado neste estudo de campo é a mudança de cal, passado a utilizar a cal hidratada, sugere-se, portanto que a cal utilizada anteriormente não era de boa qualidade. Não se pode confirmar esta tese pois não foram realizados maiores estudos e sim apenas observações instantâneas do processo.

Neste caso não é possível realizar a influencia em lucros obtidos após a aplicação do insumo, pois a Unidade não estava produzindo açúcar no padrão exigido pelo cliente, portanto não o venderia ao cliente final.

## CAPITULO 5 - CONCLUSÃO

É nítido que a tecnologia está cada vez mais presente em todos os setores industriais, tornando o cada vez mais competitivo. Neste estudo foi possível observar que a tecnologia aplicada em campo, com a utilização na produção com novas espécies de cana de açúcar que estavam prejudicando o desempenho industrial, porém, esta dificuldade possibilitou o estudo para desenvolvimento de novas tecnologias.

Seguindo todas as literaturas adotadas, pode-se chegar a conclusão que em primeiro lugar deve-se seguir as premissas para extração do produto final, isto quer dizer, que indiferente das tecnologias adotadas, as premissas devem ser consideradas, levando como exemplo o caldo que deve ser mantido com pH no mínimo 5,8 para não haver a inversão.

Observando nesta ótica, nota-se que as premissas escritas a muito tempo, até hoje necessitam ser respeitadas, indiferente da tecnologia que esteja em desenvolvimento.

O objetivo principal deste estudo foi alcançado, em dois estudos de caso e aplicação em planta industrial foi possível observar os resultados obtidos com a aplicação do novo insumo químico a base de sulfito de sódio e ácido fosfórico.

Na primeira aplicação foi possível a obtenção de açúcar no padrão exigido pelo cliente, ainda com quase 50% de cana de açúcar da espécie RB 92579. Além desta adequação na qualidade, foi possível o aumento médio de 1.000 sacos de açúcar por dia, se aproximando a 30.000 sacos por mês. Apesar do valor do insumo químico analisado ser relativamente alto, o custo benefício alcançado é nitidamente positivo, com uma receita adicional de 1.326.425,29.

Na segunda aplicação em campo o foco era diferente, aplicando com o intuito de remover o residual de cinzas do açúcar. Este objetivo foi alcançado com a adição do insumo químico e conseqüente diminuição de cor. Após a redução de cor foi possível a diminuição da sulfitação e conseqüente diminuição da calagem. Sabe-se que o excesso de enxofre e cal são causadores de cinzas, que neste caso eram formados por sulfato de cálcio.

Nestes dois estudos de caso foi observado que tanto na redução de cor quanto na redução de cinzas, o insumo se portou extremamente bem, sendo responsável pelo enquadramento do açúcar com o especificado pelo cliente, podendo se tornar um grande aliado a indústria sucroalcooleira.

Deve-se ressaltar o grande aprendizado obtido neste estudo, que a partir da ideia de observar apenas o desempenho do insumo químico foi possível a observação de todo o processo de fabricação do açúcar, objetivando melhorias contínuas no processo.



## REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, Fernando Medeiros de. Processo de Fabricação do Açúcar. Editora Universitária UFPE, Recife, 3. ed., 2011;

CHENG, James C. P. Manual del Azúcar de Caña. Editora Limasa, México, v.1, 2000;

HUGOT, Emile. La Sucrierie de Cannes. **Dunod**, Paris, v. 1, 1969;

HUGOT, Emile. La Sucrierie de Cannes. **Dunod**, Paris, v. 2, 1969;