



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MATO GROSSO DO SUL
CURSO DE QUÍMICA INDUSTRIAL
UNIDADE UNIVERSITÁRIA DE DOURADOS



RELATÓRIO FINAL DE ESTÁGIO CURRICULAR SUPERVISIONADO II

**ETAPAS INDUSTRIAIS DE PRODUÇÃO DE AÇÚCAR E
ETANOL NA USINA SÃO SIMÃO S/A**

DOURADOS

2013



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MATO GROSSO DO SUL
CURSO DE QUÍMICA INDUSTRIAL
UNIDADE UNIVERSITÁRIA DE DOURADOS



André dos Santos Silva

**ETAPAS INDUSTRIAIS DE PRODUÇÃO DE AÇÚCAR E
ETANOL NA USINA SÃO SIMÃO S/A**

*Relatório Técnico Científico de Estágio Curricular
Supervisionado Obrigatório II apresentado ao Curso
de Química Industrial da Universidade Estadual de
Mato Grosso do Sul sob Supervisão Técnica do Sr.
Antonio Alves Figueiredo e orientação da Professora
D^{ra}. Leila Cristina Konradt Moraes.*

DOURADOS

2013

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Gilberto José de Arruda

Prof^a Dr^a Jandira Aparecida Simoneti

Prof^a Dr^a Leila Cristina Konradt Moraes

(Orientadora)

Prof^a Dr^a Marcelina Ovelar Solaliendres

Dourados, 18 de novembro 2013

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais Edivaldo e Maria Augusta. Pois, com grande amor e dedicação me ajudaram a conquistar esta importante vitória.

Aos meus queridos pais, muito obrigado!

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a Deus por ter me cingido de condições para conquistar esta importante vitória, concedendo desta forma o que almejava o meu coração. Pela sua fiel proteção e auxílio em todos os momentos.

Aos meus pais por terem me auxiliado, mesmo que de longe, durante os meses de estágio.

Aos meus irmãos Ronaldo e Waldrovany, os quais me ajudaram muito durante o período de execução do estágio.

A professor Dr^a. Leila Cristina Konradt Moraes, por ter me orientado durante a elaboração deste trabalho. Agradeço pela dedicação a qual demonstrou durante todos estes meses.

Ao Dr. Antonio Alves Figueiredo, meu supervisor profissional, o qual eu tive a honra de trabalhar durante estes meses. Pela ajuda e orientação, assim como pelo conhecimento repassado para mim, o período em que este trabalho foi realizado.

A Energética São Simão S/A, a qual me concedeu esta oportunidade de estágio, que culminou em grande aprendizado.

Aos meus entes queridos, amigos e pessoas próximas que de alguma forma, direta ou indiretamente, contribuíram para o meu sucesso em mais esta etapa.

A todos, muito obrigado!

RESUMO

Este relatório abrange as atividades desenvolvidas na disciplina de ESTÁGIO CURRICULAR SUPERVISIONADO OBRIGATÓRIO II, desenvolvidas entre os dias 29 de julho a 31 de outubro de 2013 e realizadas na empresa Energética São Simão S/A, localizada no município de São Simão - GO. O empreendimento atua no segmento sucroalcooleiro e tem como seus principais produtos o açúcar cristal e o etanol hidratado. O objetivo do estágio foi o acompanhamento das atividades desenvolvidas na indústria, e quando possível, sugerir melhorias no processo e controle de qualidade da produção de açúcar e etanol. As etapas para a produção do açúcar e do etanol têm como matéria-prima a cana-de-açúcar, que é rica em açúcares redutores e sacarose, que são componentes importantes para obtenção do produto final. Todo processo de produção do açúcar cristal, assim como o do etanol hidratado, é monitorado pelo laboratório industrial a fim de se controlar a qualidade dos produtos produzidos. Este controle é realizado através de amostragens efetuadas em locais adequados. Foi possível observar várias etapas no processo de produção do açúcar cristal, tais como: tratamento de caldo, evaporação, cozimento e centrifugação, assim como no processos de obtenção do etanol hidratado, fermentação e destilação. O estágio proporcionou momentos de interação do acadêmico com a realidade da indústria, sendo possível correlacionar a teoria com a prática promovendo uma boa compreensão do processo produtivo. Os resultados foram positivos, confirmando a necessidade de realização do estágio para o aperfeiçoamento do conhecimento, possibilitando uma visão mais ampla por parte do aluno e buscando uma adaptação do futuro Químico Industrial à realidade da profissão.

Palavras-chave: Açúcar cristal; Usina; Etanol hidratado; Cana-de-açúcar.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Potenciômetro utilizado para as medidas de pH.....	14
Figura 2 - Digestor de amostras sólidas.....	15
Figura 3 - Refratômetro de bancada.....	16
Figura 4 - Polarímetro de bancada.....	16
Figura 5 - Equipamento denominado <i>Open cell</i>	17
Figura 6 - Picadores (superior) e desfibradores (inferior).....	17
Figura 7 - Equipamento utilizado para determinação de umidade.....	18
Figura 8 - Tanques de coleta dos caldos sulfitados (esquerda) e caleado (direita)....	19
Figura 9 - Ponto de coleta da torta de filtro e do caldo filtrado.....	19
Figura 10 - Ponto de coleta do caldo clarificado.....	19
Figura 11 - Ponto de coleta do lodo.....	19
Figura 12 - Espectrofotômetro utilizado no setor de controle de qualidade.....	20
Figura 13 - Centrifuga utilizada no laboratório industrial.....	20
Figura 14 - Ponto de coleta do xarope.....	21
Figura 15 - Agitador/misturador de amostras.....	22
Figura 16 - Sistema de filtração a vácuo das amostras.....	23
Figura 17 - Funil metálico utilizado para espalhar uniformemente o açúcar.....	24
Figura 18 - Estufa utilizada para se determinar a umidade das amostras de açúcar.	24
Figura 19 - Centrifuga recuperadora de fermento.....	25
Figura 20 - Coluna de destilação B (esquerda) e Coluna A (direita).....	25
Figura 21 - Análise para a determinação do °GL das amostras de etanol.....	27
Figura 22 - Ebuliômetro utilizado para se determinar os teores alcoólicos das amostras de vinho e mosto.....	27
Figura 23 - Tanque de condensado.....	28
Figura 24 - Tanque de águas de alimentação.....	28
Figura 25 - Torres de resfriamento dos mancais da moenda (esquerda) e águas industriais (direita).....	28
Figura 26 - Água da lavagem das cinzas (esquerda) e da caldeira (direita).....	29
Figura 27 - Fluxograma de operação do tratamento de caldo.....	32
Figura 28 - Decantador.....	33
Figura 29 - Coluna de sulfitação.....	33

Figura 30 - Enxofreira.....	33
Figura 31 - Central de monitoramento do tratamento de caldo.....	35
Figura 32 - Aquecedores do caldo misto.....	36
Figura 33 - Balão de flash.....	36
Figura 34 - Preparo do polímero.....	36
Figura 35 - Peneira estática.....	36
Figura 36 - Fluxograma de produção do açúcar cristal.....	37
Figura 37 - Sistema de pré-evaporação do caldo misto.....	38
Figura 38 - Caixas de evaporação.....	39
Figura 39 - Válvula de controle do nível das caixas de evaporação.....	40
Figura 40 - Vácuos de cozimento.....	41
Figura 41 - Válvulas de alimentação dos vácuos de cozimento.....	41
Figura 42 - Amostrador de massas de cozimento.....	42
Figura 43 - Válvula de injeção de semente de nucleação.....	43
Figura 44 - Monitoramento do setor de cozimento e evaporação.....	45
Figura 45 - Fluxograma de produção do Etanol hidratado.....	46
Figura 46 - Dornas de fermentação.....	47
Figura 47 - Sistema de diluição do mel final.....	47
Figura 48 - Manutenção das centrifugas.....	48
Figura 49 - Aparelho de destilação ESSSA.....	50
Figura 50 - Trocadores de calor.....	50
Figura 51 - Coluna D, recuperadora de etanol de segunda.....	51
Figura 52 - Trocadores de calor alimentados com vinhaça.....	52
Figura 53 - Válvulas recuperadoras de óleo fússel.....	53
Figura 54 - Tanque de armazenamento de óleo fússel.....	53

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
2 OBJETIVOS.....	11
3 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA.....	12
4 DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS NO ESTÁGIO CURRICULAR SUPERVISIONADO OBRIGATÓRIO II.....	13
4.1 Setor do Laboratório Industrial.....	13
4.1.1 Análises de Controle do Processo de Extração do Caldo Via Moenda.....	14
4.1.1.1 Coleta das amostras.....	14
4.1.1.2 Análises das amostras coletadas.....	14
4.1.2 Análises de Controle do Processo de Tratamento do Caldo.....	18
4.1.2.1 Coleta das amostras.....	18
4.1.2.2 Análises das amostras coletadas.....	19
4.1.3 Análises de Controle do Processo de Produção do Açúcar Cristal.....	21
4.1.3.1 Coleta das amostras.....	21
4.1.3.2 Análises das amostras coletadas.....	22
4.1.4 Análises de Controle do Processo de Fermentação e Produção do Álcool Hidratado.....	25
4.1.4.1 Coleta das amostras.....	25
4.1.4.2 Análises das amostras coletadas.....	25
4.1.5 Análises de Controle de Qualidade de Águas Industriais.....	27
4.1.5.1 Coleta das amostras.....	27
4.1.5.2 Análises das amostras coletadas.....	29
4.2 Setor de Tratamento de Caldo.....	31
4.3 Etapas de Produção do Açúcar Cristal.....	36
4.3.1 Setor de Evaporação.....	37
4.3.2 Setor de Cozimento.....	40
4.4 Setor de Produção do Etanol Hidratado.....	45
4.4.1 Setor de Fermentação.....	46
4.4.2 Setor de Destilaria.....	49
5 CONTRIBUIÇÕES DO ESTÁGIO PARA FORMAÇÃO PROFISSIONAL. 54	54
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	55
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56
8 ANEXOS	57

1 INTRODUÇÃO

O setor sucroalcooleiro vem se consolidando no Brasil como o seu principal agronegócio. Grandes investimentos em pesquisa e melhorias da infraestrutura vêm sendo realizados desde o período da colonização, com a implantação dos primeiros engenhos de açúcar na região Nordeste do país. Estes, no entanto, possuíam como principal foco a produção de açúcar para o abastecimento do mercado externo, sendo o seu maior mercado consumidor, a Europa.

No entanto, o interesse em introduzir uma matriz energética sustentável, viável e eficaz para a substituição de matrizes não-sustentáveis, tais como o petróleo, trouxe a este seguimento industrial investimento em pesquisa para a produção de um novo combustível, o etanol, uma fonte energética mais limpa.

O PROÁLCOOL foi um programa bem-sucedido, em parte pela popularização de veículos bicomustíveis no Brasil. Este programa possuía o objetivo de substituir a utilização de derivados de petróleo, tais como a gasolina, utilizados em larga escala. Buscava ainda minimizar a dependência de fontes de energias externas, implementando, desta forma, uma matriz energética nacional (BIODIESEL BRASIL, 2013).

No Brasil foram produzidos na safra 2012/2013 cerca 38.357.134 milhões de toneladas de açúcar e 23.463.958 milhões de metros cúbicos de etanol, através do processamento de 589.237.018 toneladas de cana-de-açúcar (UDOP, 2013). Atualmente, somos o maior exportador e consumidor de etanol no mercado mundial (YAMADA, 2002).

Através do avanço da produção de etanol no Brasil e a sua importância na matriz energética nacional, podemos observar claramente a grande necessidade de investimento em pesquisa, controle de qualidade e infraestrutura neste setor industrial.

2 OBJETIVOS

O objetivo do estágio curricular supervisionado é assegurar o contato do formando com situações e contextos que inter-relacionem teoria e prática, permitindo que conhecimentos, habilidades e atitudes se concretizem em ações profissionais.

O estágio em uma indústria produtora de açúcar e etanol propiciará ao estagiário a vivência no dia-a-dia com os colaboradores em relação às atividades industriais inerentes ao processo de produção. Integrará o aluno de forma que este possa conhecer a realidade industrial, apresentando e desenvolvendo habilidades propostas, de forma a compreender a importância da atuação do Químico Industrial.

Visa ainda, melhorar as concepções de linha de produção, através de acompanhamento e participação durante o desenvolvimento do estágio.

3 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA

A Energética São Simão Sociedade Anônima (ESSSA) é uma indústria de médio porte do setor sucroalcooleiro situada na cidade de São Simão, no interior do Estado de Goiás. Esta é uma das plantas industriais de açúcar e etanol de uma tradicional família do Estado de Pernambuco, que a mais de 4 gerações atua neste setor industrial.

A empresa encontra-se em funcionamento desde o ano de 2008, totalizando desta forma, 5 safras completas de moagem. Possui a capacidade nominal de produção semanal de cerca de 60 mil sacas de 50 quilos de açúcar cristal superior e de 2,5 milhões de litros de etanol combustível hidratado, a partir do processamento diário de aproximadamente 5 mil toneladas de cana-de-açúcar.

Toda a matéria-prima utilizada para a produção de seus produtos é cultivada em canaviais da própria empresa, dispensado a compra de matéria-prima e/ou o arrendamento de áreas agrícolas para o cultivo da cana-de-açúcar.

A unidade de produção é subordinada a sua matriz, a Energética Goianésia Sociedade Anônima, a qual é situada na cidade de Goianésia - GO, onde se encontra em atividade industrial de produção a mais de 50 anos.

4 DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS NO ESTÁGIO CURRICULAR SUPERVISIONADO OBRIGATÓRIO II

O Estágio Curricular Supervisionado Obrigatório II, foi realizado no período de 29/07 a 31/10 de 2013, na empresa Energética São Simão S/A.

Na primeira visita à unidade no dia 29/07/2013, houve a integração do aluno pelo setor de segurança do trabalho. Ocorreu também a recepção por parte do gerente industrial Antonio Alves Figueiredo e o gerente de produção Waldrovany dos Santos Silva. Nesta oportunidade foram acordados os horários das atividades a serem desenvolvidas, assim como foi realizado o reconhecimento do laboratório industrial e do pátio industrial da empresa.

As atividades na planta tiveram início na mesma data.

As etapas de produção do açúcar cristal, assim como o do etanol hidratado, iniciam-se com a extração do caldo da cana-de-açúcar via moendas.

Em seguida este caldo passa pelo processo de tratamento do caldo, onde busca-se eliminar as impurezas e clarificar o caldo através de tratamentos físicos e químicos.

Logo após este processo, o caldo é destinado para a obtenção do açúcar no setor de fábrica de açúcar, onde é concentrado pelos processos de evaporação e em seguida passa pelo cozimento, onde se dá origem aos cristais de açúcar.

Este açúcar é então lavado em centrifugas, onde se gera certa quantidade de mel, o qual é rico em açúcares. Este mel é encaminhado ao setor de fermentação, onde por via biológica, o fermento transforma os açúcares presente neste mel em etanol.

Segue então o processo de destilação, onde os diversos compostos orgânicos gerados no processo de fermentação são fracionados, separando-se o etanol, produto de interesse.

A seguir serão descritas as atividades desenvolvidas em cada um dos setores da indústria e em anexo (Anexo I) está apresentado um fluxograma resumido do processo produtivo.

4.1 Setor do Laboratório Industrial

O laboratório industrial tem como finalidade acompanhar o controle de qualidade dos produtos produzidos pela empresa, assim como monitorar os padrões de qualidades intrínsecos dos processos industriais. Na ESSSA, o laboratório industrial também monitora a qualidade das matérias primas.

As atividades neste setor foram desenvolvidas de 29 de julho a 30 de agosto.

4.1.1 Análises de Controle do Processo de Extração do Caldo Via Moenda

4.1.1.1 Coleta das amostras

As amostras de cana desfibrada, caldo e bagaço, para as análises pertinentes, visando o controle do processo de extração, foram coletadas no setor de moendas da empresa.

As amostras líquidas coletadas neste processo foram: caldo primário, caldo misto e caldo residual, cerca de 500 mililitros (mL) de cada uma delas.

Os pontos de amostragem variaram em função de cada uma das matrizes a serem analisadas. O caldo primário foi coletado no primeiro terno da tandem (conjunto de rolos de pressão) da moenda, entre o rolo de pressão e o rolo de entrada. O caldo residual foi coletado no quarto terno do tandem da moenda, entre o rolo de pressão e o rolo de saída. O caldo misto foi coletado no próprio tanque de armazenamento.

As amostras sólidas coletadas neste processo foram: cana desfibrada e bagaço, cerca de 1.000 gramas (g) de cada matriz, amostradas em pontos distintos, sendo a cana desfibrada coletada na esteira de borracha, a qual alimenta a calha Donelly do primeiro terno da moenda e o bagaço coletado na esteira de alimentação da fornalha da caldeira.

4.1.1.2 Análises das amostras coletadas

Realizou-se inicialmente o procedimento de determinação do pH das amostras líquidas coletadas. Durante este procedimento, utilizou-se um potenciômetro acoplado a um eletrodo de vidro (Figura 1) e cerca de 200 mL de amostra.

Figura 1 - Potenciômetro utilizado para as medidas de pH.



Fonte: Arquivo pessoal

Em geral, o pH das amostras de caldo coletadas é ácido, devido a presença de ácidos orgânicos na cana-de-açúcar. As amostras que apresentaram pH alcalino é um indicativo que existem micro-organismos os quais promovem a degradação da sacarose por ação enzimática, ou a matéria-prima está contaminada com pragas, tais como a doença do mosaico.

Realizou-se também a digestão das amostras sólidas a partir da pesagem de cerca de 500 g e a adição de 1.000 mL de água destilada. Digeriu-se esta amostra em um equipamento apropriado (Figura 2) por cerca de 30 minutos. Em seguida, filtrou-se a amostra e coletou-se a porção líquida gerada. Este processo de digestão possui por principal finalidade extrair todos os açúcares, ainda presentes nas amostras analisadas, para as determinações posteriores.

Figura 2 - Digestor de amostras sólidas.



Fonte: Arquivo pessoal

Realizou-se também a determinação do °Brix das amostras líquidas e sólidas digeridas, mediante a utilização de um refratômetro de bancada (Figura 3). Durante este procedimento utilizou-se cerca de 10 mL da amostra coletada.

Através dos valores de °Brix das amostras de caldos coletados em cada terno, pode-se realizar a construção da curva de °Brix da moenda, onde o parâmetro analisado diminui a cada processo de pressão. Este procedimento possui como finalidade monitorar a extração promovida por cada terno, a fim de aperfeiçoá-los mediante a calibração da pressão do rolo superior, rotação, angulação dos ternos, altura da calha Donnelly, etc.

Para a realização da leitura sacarimétrica das amostras analisadas, inicialmente adicionou-se cerca de 10 g do agente clarificante de caldo, o polímero Octapol, em cerca 200 mL da amostra. Em seguida, realizou-se a leitura em um polarímetro de bancada (Figura 4).

Figura 3 - Refratômetro de bancada.



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 4 - Polarímetro de bancada.



Fonte: Arquivo pessoal

A partir desta determinação obtêm-se o °Brix, teor de sólidos dissolvidos, assim como a POL (porcentagem em massa de sacarose em uma amostra açucarada) e pode-se então determinar a pureza da amostras, segundo a seguinte relação:

$$\text{Pureza (\%)} = (\text{°Brix} / \text{POL}) \times 100$$

Deseja-se purezas elevadas no caldo primário e no caldo misto, sendo que a pureza deve diminuir, segundo o processamento do bagaço, ao longo dos ternos de pressão na moenda. Uma diferença de mais de 2% entre o caldo primário e caldo misto é um forte indicativo que existem micro-organismos nos rolos de pressão da moenda promovendo a inversão da sacarose, indesejável para o processo de obtenção do açúcar cristal. Este problema pode ser facilmente resolvido aplicando-se bactericidas nos ternos da moenda.

Determinou-se também o índice de abertura das amostras de cana desfibrada. Com o auxílio de um equipamento, denominado *open cell* (Figura 5). Avaliou-se ainda o grau de extração de açúcares na cana desfibrada mediante um processo de compressão, o qual simula a extração das moendas com um rendimento de 100%. Neste processo pesa-se 500 g da amostra de cana desfibrada e adiciona-se 2.000 mL de água destilada e agita-se por um tempo de 15 minutos.

O °Brix, assim como a POL, é determinado realizando a média aritmética dos valores coletados em cada copo do *open cell*. A partir destes valores, pode-se determinar a pureza das amostras de cana desfibrada.

Pode-se determinar o índice de preparo da cana desfibrada, que é o índice de células abertas, mediante a divisão da média aritmética do °Brix da cana, determinada pelo aparelho *open cell*, e o valor de °Brix determinado no processo de digestão. Este índice de preparo nos mostra a eficiência do processo de preparo da cana (que acontece nos picadores e desfibradores - Figura 6), que antecede a moagem.

Figura 5 - Equipamento denominado *Open cell*.



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 6 - Picadores (superior) e desfibradores (inferior).



Fonte: Arquivo pessoal

Determinou-se também a umidade do bagaço analisando uma amostra de 100 g do material coletado no setor das moendas. Pesou-se a amostra a ser analisada em recipiente o qual foi levado ao aquecimento a 105 °C, por um intervalo de tempo de 25

minutos, em um forno especial (Figura 7), e em seguida realizou-se a pesagem novamente deste amostra, determinando-se a umidade.

Figura 7 - Equipamento utilizado para determinação de umidade.



Fonte: Arquivo pessoal

Valores de umidade muito elevados podem prejudicar a queima do bagaço nas moendas, sendo este fato comunicado ao setor de extração, o qual diminui a taxa de alimentação de água de embebição da cana-de-açúcar.

4.1.2 Análises de Controle do Processo de Tratamento do Caldo

4.1.2.1 Coleta das amostras

As amostras para estas análises foram coletadas no setor de tratamento de caldo da empresa, sendo elas: caldo sulfitado, caldo caleado, caldo clarificado, caldo filtrado, lodo e torta.

Os caldos sulfitado e caleado foram coletados em válvulas em seus respectivos tanques (Figura 8). O caldo filtrado foi coletado no tanque de caldo filtrado, localizado embaixo do filtro rotativo de obtenção da torta (Figura 9). O caldo clarificado foi coletado em um tanque de estocagem desta matéria-prima (Figura 10). Todas estas amostras foram coletadas em uma alíquota de 500 mL.

O lodo foi coletado através de uma válvula embaixo do decantador (Figura 11) e a torta foi coletada no próprio filtro rotativo, com aproximadamente 500 g.

Figura 8 - Tanques de coleta dos caldos sulfitados (esquerda) e caleado (direita).



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 9 - Ponto de coleta da torta de filtro e do caldo filtrado.



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 10 - Ponto de coleta do caldo clarificado.



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 11 - Ponto de coleta do lodo.



Fonte: Arquivo pessoal

4.1.2.2 Análises das amostras coletadas

Realizou-se inicialmente a digestão da torta. Pesou-se cerca de 500 g e adicionou-se 1.000 mL de água destilada. Digeriu-se esta amostra em um digestor por cerca de 30 minutos. Em seguida, filtrou-se a amostra e coletou-se a porção líquida gerada.

Realizou-se o procedimento de determinação do pH das amostras líquidas coletadas. Durante este procedimento, utilizando-se um potenciômetro acoplado a um eletrodo de vidro e cerca de 200 mL da amostra analisada, como o mencionado anteriormente. Realizou-se também a determinação do °Brix e POL.

Avaliou-se ainda a quantidade de sulfito presente no caldo sulfitado. Para este procedimento, adicionou-se em um erlenmeyer 50 mL da amostra, 10 mL de ácido sulfúrico 10% e titulou-se com uma solução de iodo 1%, utilizando-se como indicador cerca de 1 g de amido solúvel.

Posteriormente realizou-se a determinação de cor do caldo clarificado. Para este procedimento diluiu-se uma alíquota do caldo clarificado a 1%, utilizou-se um espectrofotômetro Femto Cirrus 80 AS (Figura 12) para realizar a medida da transmitância da amostra, com cubetas de vidro de caminho óptico de 1 cm.

Ainda, determinou-se a concentração de sólidos no lodo coletado. Para tal procedimento, em um tubo graduado adicionou-se 10 mL da amostra a ser analisada. Esta amostra então foi colocada em uma centrífuga (Figura 13) por cerca de 15 minutos. Através da aferição do material depositado ao fundo do recipiente, determinou-se a concentração de sólidos presentes no lodo coletado.

Determinou-se também a umidade da torta mediante a análise de 100 gramas da torta coletada no filtro rotativo. Pesou-se a amostra a ser analisada em recipiente o qual foi levado ao aquecimento a 105 °C, por um intervalo de tempo de 25 minutos, em seguida realizou-se a pesagem novamente e a determinação da umidade pela diferença de massa.

Valores de umidade elevados na torta indicam baixo rendimento, mediante a ineficiência de operação do vácuo do alto do filtro rotativo.

Figura 12 - Espectrofotômetro utilizado no setor de controle de qualidade.



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 13 - Centrífuga utilizada no laboratório industrial.



Fonte: Arquivo pessoal

4.1.3 Análises de Controle do Processo de Produção do Açúcar Cristal

4.1.3.1 Coleta das amostras

As amostras do xarope, mel rico, mel pobre, mel final, magma, massa A, massa B e açúcar cristal foram coletadas na fábrica de açúcar da empresa, sendo o xarope coletado em uma válvula embaixo da terceira caixa (Figura 14), ou quarto efeito, do setor de evaporação.

Figura 14 - Ponto de coleta do xarope.



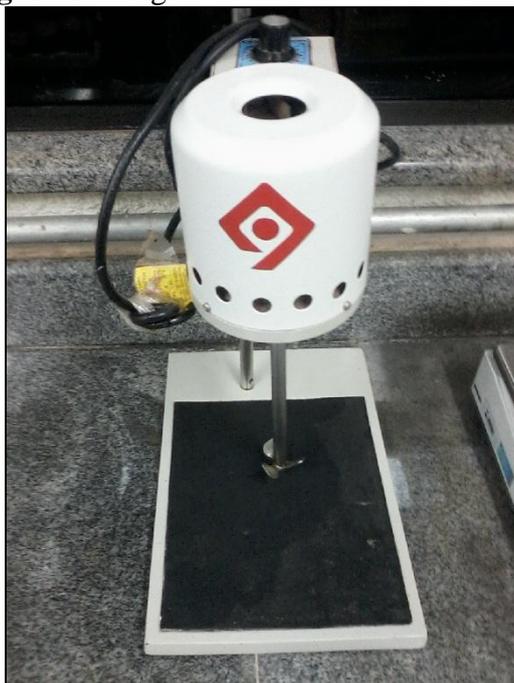
Fonte: Arquivo pessoal

O mel rico e mel pobre foram coletados em uma válvula presente em linha com a centrífuga de massa A. O mel final foi coletado em uma válvula presente na centrífuga contínua de massa B, e o magma coletado no tanque de magma, o qual está em linha com a centrífuga de massa B. O açúcar cristal foi coletado no setor de embalagens da empresa, antes de ser embalado em sacarias ou em *big bags*. As amostras foram todas coletadas em alíquotas de 500 g.

4.1.3.2 Análises das amostras coletadas

Inicialmente diluiu-se com água cinco vezes as amostras de xarope, mel rico, mel pobre, mel final, massa A e massa B, com o auxílio de agitador/misturador (Figura 15). Em seguida, realizou-se a leitura refratométrica das mesmas, afim de se conhecer o °Brix.

Figura 15 - Agitador/misturador de amostras.



Fonte: Arquivo pessoal

Realizou-se o clareamento das amostras e a leitura sacarimétrica com o auxílio de um polarímetro de bancada.

O °Brix das amostras analisadas é um importante ponto de controle de qualidade, em especial das massas A e B do cozimento, sendo que, a massa A deve ser

encaminhada para o setor de cristalização com o 93 °Brix e a massa B em torno de 95 °Brix.

O °Brix do xarope deve margear a faixa de 60, a fim de obter um cozimento com o menor tempo possível, e evitar a cristalização nas tubulações.

As medidas de pH da amostra foram realizadas por potenciômetro. Caso o pH da amostra de xarope apresente valores de pH ácidos é um forte indício de que existe processo de inversão de sacarose durante a evaporação.

Ainda, a cor do xarope é um importante fator que deve ser monitorado, a fim de ter um açúcar cristal de qualidade superior.

Mediu-se também a temperatura da amostra de açúcar cristal coletada com um termômetro. Em seguida, diluiu-se em 250 mL de água destilada 20 g desta amostra e adicionou-se 10 mL de uma solução 10% de um agente colorimétrico MOPS ($C_7H_{15}NO_4S$). Estas amostras foram filtradas a vácuo (Figura 16), a fim de se eliminar vestígios de matérias sólidas insolúveis, tais como pontos negros proveniente da oxidação de tubulações. Em espectrofotômetro determinou-se a transmitância e a cor da amostra.

Figura 16 - Sistema de filtração a vácuo das amostras.



Fonte: Arquivo pessoal

A qualidade do produto final, neste caso o açúcar cristal, está diretamente ligado a sua cor, sendo que o açúcar cristal Superior II deve possuir cor máxima de 250 UC (unidade de cor) enquanto que o açúcar VHP (*Very High Polarization*) ou também denominado de demerara (o qual não possui grau alimentício) pode assumir padrões de cor iguais ou superiores a 400 UC. Entre 250 e 400UC o açúcar é classificado como *standard*.

Posteriormente, pesou-se 100 g de amostra de açúcar cristal superior II, espalhou-se uniformemente sobre uma superfície branca, com o auxílio de um funil metálico (Figura 17). Neste açúcar são contados os pontos pretos e também se determina a umidade em estufa especial (Figura 18)

Figura 17 - Funil metálico utilizado para espalhar uniformemente o açúcar.



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 18 - Estufa utilizada para se determinar a umidade das amostras de açúcar.



Fonte: Arquivo pessoal

A quantidade de pontos pretos é um importante parâmetro de qualidade do açúcar. Estes são provenientes de processos de oxidação de tubulações, assim como de caixas de armazenamento de xarope e méis. A quantidade de pontos negros pode ser facilmente controlada fazendo-se a limpeza periódica das caixas de estocagem dos méis

e do xarope, sendo que o número máximo de pontos negros presente nas amostras analisadas deve ser de 15.

A umidade do açúcar deve ser controlada a fim de se evitar processos de escurecimento do açúcar, até mesmo processos de inversão da sacarose, depois do produto já processado. Este controle também evita que o açúcar empedre durante o tempo de estocagem.

4.1.4 Análises de Controle do Processo de Fermentação e Produção do Álcool Hidratado

4.1.4.1 Coleta das amostras

As amostras para estas análises foram coletadas no setor de destilaria e fermentação da empresa, sendo elas: fermento, mosto, vinho e etanol hidratado.

As amostras de fermento foram coletadas nas centrífugas de recuperação do fermento (Figura 19), assim como as alíquotas de vinho.

O mosto foi coletado nas dornas de fermentação com o auxílio de um amostrador e o etanol hidratado foi retirado de uma válvula na coluna de destilação B (Figura 20).

Todas estas amostras foram coletadas em alíquotas de 1.000 mL.

Figura 19 - Centrífuga recuperadora de fermento.



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 20 - Coluna de destilação B (esquerda) e Coluna A (direita).



Fonte: Arquivo pessoal

4.1.4.2 Análises das amostras coletadas

Realizou-se as medidas potenciométricas e condutométricas da amostra de etanol hidratado, a fim de se determinar o pH e a condutividade, respectivamente. Neste procedimento utilizou-se um potenciômetro acoplado a um eletrodo de vidro e um condutivímetro.

O pH das amostras de etanol devem estar na faixa entre 5 e 8 a fim de evitar corrosão de motores a combustão e dos tanques de armazenamento. Esta análise nos indica também a eficiência de separação das colunas de destilação, onde os diversos compostos orgânicos presentes no vinho, tais com ácidos orgânicos, água e etanol, são fracionados.

As medidas condutométricas também nos dão indícios da presença de íons no etanol hidratado gerado no aparelho de destilação. Esta condutividade deve possuir valor máximo de 350 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e pode ser controlada através da injeção de uma maior alimentação de vapor de escape na coluna A, favorecendo a degassagem (eliminação de gases), em geral gases compostos por ácidos orgânicos, da amostra de vinho, ou através da injeção de soda cáustica líquida concentrada em pratos intermediários da coluna B.

Durante este processo parte dos ácidos orgânicos são neutralizados e convertidos em sais e água. Esse processo elimina também espécies passíveis de ionização, as quais aumentam a condutividade elétrica das amostras de etanol.

Determinou-se ainda o teor alcoólico das alíquotas de etanol hidratado com o auxílio de um densímetro (Figura 21). O teor alcoólicos destas amostras devem abranger uma faixa entre 93 a 95 °GL.

Avaliou-se também os teores alcoólicos das amostras de vinho e mosto com o auxílio de um ebuliômetro (Figura 22). Através da determinação do ponto de ebulição das amostras hidroalcoólicas, pode-se avaliar os graus alcoólicos das mesmas.

Determinou-se a concentração de material sólido no fermento e no vinho, mediante a centrifugação por 15 minutos das amostras. Em seguida, aferiu-se a deposição de materiais sólidos ao fundo do tubo graduado utilizado neste procedimento, determinando-se a porcentagens de sólidos nestas amostras.

Determinou-se a acidez das amostras de etanol hidratado e mosto, através de uma titulação utilizando-se uma solução de hidróxido de sódio 0,1M e fenolftaleína como indicador.

Figura 21 - Análise para a determinação do °GL das amostras de etanol.



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 22 - Ebuliômetro utilizado para se determinar os teores alcoólicos das amostras de vinho e mosto.



Fonte: Arquivo pessoal

A presença de compostos orgânicos ácidos no mosto, gerados durante o processo de fermentação, é um indicativo da presença de bactérias selvagens nas dornas de fermentação. Estas contaminações são indesejáveis, pois a cada mol de ácidos orgânicos gerados deixa-se de se produzir pelo menos 2 mols de etanol, produto desejado neste processo. Esta contaminação deve ser controlada com a dosagem de antibióticos, assim como a assepsia das dornas.

4.1.5 Análises de Controle de Qualidade de Águas Industriais

4.1.5.1 Pontos de coleta

As amostras coletadas para estas análises foram retiradas em diversos pontos da empresa. As amostras avaliadas foram: água da alimentação, água da caldeira, água de lavagem das cinzas, água da torre de resfriamento e condensado.

A água de alimentação foi coletada em válvulas nos tanques de quarentena de condensado (Figura 23), assim como o condensado foi coletado em tanques de quarentena para a alimentação (Figura 24).

As águas das torres foram coletadas nas torres de resfriamento dos mancais das moendas e na torre de resfriamento da água da indústria, ambas apresentadas na Figura 25.

Figura 23 - Tanque de condensado.



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 24 - Tanque de águas de alimentação.



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 25 - Torres de resfriamento dos mancais da moenda (esquerda) e águas industriais (direita).



Fonte: Arquivo pessoal

As águas da caldeira, assim como a de lavagem das cinzas foram coletadas em válvulas presentes na caldeira (Figura 26).

Figura 26 - Água da lavagem das cinzas (esquerda) e da caldeira (direita).



Fonte: Arquivo pessoal

4.1.5.2 Análises das amostras

Tomando uma alíquota de cerca de 100 mL e com o auxílio de um eletrodo de vidro realizou a medição do pH das amostras das águas dos tanques de condensado, alimentação, da caldeira, cinzas e das torres de resfriamento.

O pH do condensado devem obrigatoriamente ser neutro, afim de evitar a corrosão e incrustações de tubulações, uma vez que o vapor é gerado pela evaporação do caldo, e este possui pH na faixa de 6,8 a 7,3, o vapor também deve possuir pH nesta faixa.

Já os valores de pH das águas de lavagem das cinzas, assim como da caldeira, devem ser alcalinos, uma vez que a lavagem das cinzas agrega uma série de carbonatos a esta amostra. O pH das águas da caldeira deve ser próximo a 10,2, a fim de se evitar o efeito de arraste e oxidação do tubos do superaquecedor.

Para as amostras de águas de alimentação da caldeira, assim como das águas do interior da caldeira, foram realizados os mesmo procedimentos de análises e controle de qualidade, sendo estes: teste qualitativo para açúcar, condutividade, sólidos totais dissolvidos (STD), alcalinidade total e hidróxida, sílica, cloreto, sulfito e ortofosfato.

Estas análises possuem como principal função verificar a incidências de possíveis agentes os quais poderiam dar origem a sais insolúveis que podem promover o surgimento de incrustações nos tubos do interior da caldeira.

A condutividade foi medida diretamente com o auxílio de um condutivímetro. Através deste dado foi possível, através de cálculos matemáticos, calcular o teor de sólidos totais dissolvidos presentes na amostra analisada, sendo que:

$$\text{STD} = 0,640 \times C$$

onde C é a condutividade.

O teor de cloreto nas amostras analisadas foi determinado através de uma titulação. Neste processo foi tomada uma alíquota de 50 mL das amostras a serem analisadas e adicionado a cada uma delas cerca de 1 mL de solução 0,1M de cromato de potássio, agente colorimétrico da titulação. Em seguida, titulou-se a amostra com uma solução 0,1M de nitrato de prata. O ponto final da titulação foi verificado com a mudança de coloração da amostra, de incolor para avermelhada.

O teor de sulfito nas amostras analisadas foi determinado através de titulação. Neste processo foram tomadas alíquotas de 50 mL das amostras a serem analisadas e adicionados a cada uma delas cerca de 1 g de amido solúvel, o agente colorimétrico da titulação. Em seguida, titulou-se a amostra com uma solução 0,1M de iodato de potássio. O ponto final da titulação foi verificado com a mudança de coloração da amostra, de incolor para acinzentada.

A dureza das amostras também foi determinada por titulação. Neste processo, foi tomada uma alíquota de 50 mL de amostra a ser analisada e adicionou-se cerca 1 mL de hidróxido de amônio 10% e o mesmo volume de uma solução de cloreto de amônio 10%. Adicionou-se posteriormente alguma gotas do agente colorimétrico, o negro de eriocromo T. Em seguida, titulou-se a amostra com uma solução 0,1M de EDTA, o agente complexante. O ponto final da titulação foi verificado com a mudança de coloração da amostra promovida pelo indicador utilizado.

A alcalinidade também foi determinada através de titulação. Neste processo tomou-se uma alíquota de cerca de 50 mL da amostra a ser analisada e adicionou-se o agente colorimétrico do processo, uma solução alcoólica 5% de fenolftaleína, para se calcular a alcalinidade total da solução, e uma solução alcoólica 5% de azul de bromotimol para se determinar a alcalinidade hidróxida da amostra. O ponto final destas titulações foram observadas através de uma ligeira mudança de coloração das amostras promovidas pelos agentes colorimétricos.

O teor de sílica, assim como o teor de ortofosfato, foram determinados através de métodos instrumentais. Para tal, tomou-se uma alíquota de 10 mL das amostras a serem analisadas e utilizou-se um espectrofotômetro Femto Cirrus 80AS.

Para a determinação do teor de sílica foi adicionado 1 mL de uma solução 10% de metavanadato de amônio e 1 mL de uma solução 10% de ácido oxálico. Deixou-se reagir completamente, e com o auxílio de uma cubeta de caminho óptico de 1 cm realizou-se a medição da absorbância da amostra analisada. Através deste valor de absorbância, determinou-se o teor de sílica presente na amostra em partes por milhão (ppm).

Para a determinação do teor de ortofosfato foram adicionados 1 mL de uma solução 10% de molibdato de amônio, assim como 1 mL de uma solução 10% cloreto estanhoso. Deixou-se este sistema reagir completamente, originando uma coloração levemente azulada. Com o auxílio de uma cubeta de caminho óptico de 1 cm realizou-se a medição da absorbância da amostra analisada. Através deste valor de absorbância, determinou-se o teor de ortofosfato presente na amostra em partes por milhão (ppm).

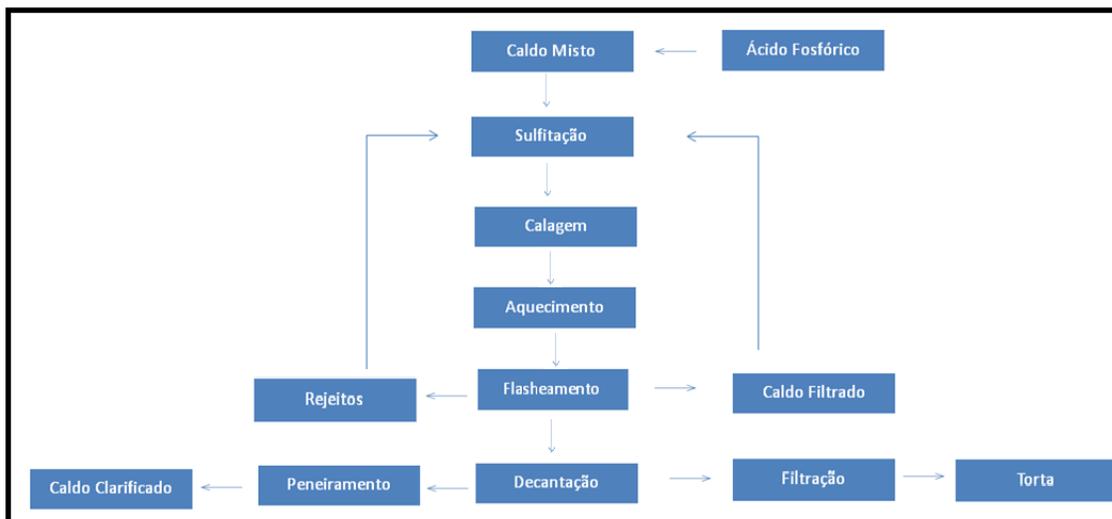
Em todas as amostras de águas industriais coletadas foram feitos os testes qualitativos para a identificação de açúcares. Este processo tem por finalidade identificar a presença de contaminação das águas industriais por açúcares devido ao efeito de arraste nos setores de evaporação, extração ou afins. Assim, coletou-se uma amostra de 10 mL, adicionou-se cerca de 2 mL de ácido sulfúrico concentrado e 1 mL de uma solução básica de sulfato cúprico. A presença de açúcares é comprovado pelo aparecimento de uma coloração levemente rósea.

4.2 Setor de Tratamento de Caldo

As atividades desenvolvidas neste setor foram realizadas de 02 a 13 de setembro.

O processo de tratamento (Figura 27) de caldo possui como finalidade a clarificação, assim como a purificação do caldo da cana-de-açúcar extraído via moenda e inicia-se imediatamente após a extração do caldo da cana-de-açúcar, via moendas ou difusor.

Figura 27 - Fluxograma de operação do tratamento de caldo.



Fonte: Arquivo pessoal

A produção de açúcar cristal superior exige-se a adição de agentes químicos, os quais ajudem no processo de decantação de impurezas no interior do decantador, assim como agentes clarificantes de caldo.

No início do processo é adicionado ao caldo misto uma porção de ácido fosfórico concentrado. Este procedimento tem por finalidade favorecer a precipitação de sais inorgânicos, no decantador (Figura 28), os quais podem diminuir a qualidade do açúcar cristal. Este processo visa promover principalmente a precipitação de fosfatídeos. A adição é controlada por uma bomba dosadora de precisão, pelo setor de controle de qualidade da empresa.

Logo após este processo, o caldo misto é então levado ao processo de sulfitação em colunas adequadas (Figura 29). O caldo misto entra em contato, em contracorrente, com um fluxo de gás composto por dióxido de enxofre, proveniente da combustão do enxofre sólido em condições adequadas de oxigênio, pressão e temperatura, no interior dos fornos de combustão, as enxofreiras (Figura 30).

Figura 28 – Decantador.

Fonte: Arquivo pessoal

Figura 29 – Coluna de sulfitação.

Fonte: Arquivo pessoal

Figura 30 – Enxofreira.

Fonte: Arquivo pessoal

Durante o processo de sulfitação ocorre a redução de grupos orgânicos presentes no caldo extraído da cana de açúcar, de tal modo que o dióxido de enxofre é oxidado ao íons sulfito (SO_3). Esta quantidade de sulfito presente no caldo é controlada pelo setor de qualidade, não devendo superar 600 ppm. Através da comunicação do setor de controle de qualidade e o setor de operação de tratamento do caldo, é feita a escolha da melhor taxa de alimentação das enxofreiras.

Durante o processo de combustão do enxofre também ocorre a formação de trióxido de enxofre (SO_3) o qual se hidrolisa em solução gerando o ácido sulfúrico. Este composto é indesejável durante a sulfitação pois promove a oxidação das tubulações e o decréscimo do pH do caldo. Para evitá-lo, a queima do enxofre é realizada em condições adequadas (temperatura inferior a $600\text{ }^\circ\text{C}$), o que visa minimizar a perdas de enxofre por sublimação e em consequência, o entupimento das tubulações de alimentação e recirculação e dos bicos do multijato. Fato o qual foi presenciado pelo aluno durante o tempo de estágio neste setor.

Após a sulfitação ocorre-se a caleação do caldo sulfitado, através da adição de uma suspensão de hidróxido de cálcio a uma concentração de 6° Baumé preparado previamente em tanques de diluição, com água quente proveniente do processo de condensação no setor de evaporação da empresa.

A dosagem de cal ao caldo é controlada por uma válvula automatizada de precisão, que promove o aumento da taxa de dosagem do leite de cal, assim como a sua diminuição mediante o monitoramento do pH do caldo caleado. Este processo é acompanhado pelo setor de instrumentação da empresa (Figura 31), sendo que o pH ideal para o caldo caleado margeia o valor de 7,30 a 7,50.

Figura 31 - Central de monitoramento do tratamento de caldo.



Fonte: Arquivo pessoal

Um dos grandes benefícios na utilização do leite de cal como agente de correção do pH do caldo tratado, além do preço deste insumo, é que por se tratar de uma base fraca, possíveis falhas dos instrumentos de dosagem podem ser controladas com maior facilidade. Assim como, a adição de íons cálcio (Ca^{2+}) favorecem a precipitação de sais de cálcio de baixa solubilidade, sendo o principal deles o $\text{Ca}(\text{SO}_3)_2$, o qual se torna menos solúvel acima de uma temperatura de $75\text{ }^\circ\text{C}$.

Logo após este processo, todo o caldo caleado é aquecido a uma temperatura de $105\text{ }^\circ\text{C}$ em trocadores de calor tubulares (Figura 32). Este aparelho é composto por 4 corpos contendo cada um deles quatro tubos aquecedores que são aquecidos mediante a alimentação com vapor vegetal I e II produzidos no 2º e 3º efeitos do setor de evaporação da empresa. As tubulações internas destes aquecedores são limpas diariamente, a fim de se eliminar incrustações as quais podem comportar-se como isolantes térmicos e dificultar o processo de aquecimento do caldo.

Logo após este processo, o caldo já aquecido é levado por tubulações a um balão de *flash* (Figura 33), o qual promove a desaeração do caldo, a fim de se impedir a formação de bolhas que dificultam o processo de decantação de impurezas presentes no caldo.

Figura 32 - Aquecedores do caldo misto.



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 33 - Balão de *flash*.



Fonte: Arquivo pessoal

No interior do decantador é adicionado um polímero, o qual favorece o processo de decantação das impurezas. Esta dosagem é realizada por válvulas automatizadas. A solução de polímero é preparada mediante a diluição lenta e cuidadosa de cerca de

1.000 gramas de Octapol em um tanque 1,5 m³ com água (Figura 34). Em seguida uma bomba realiza a dosagem no interior do decantador, na concentração final de 3 ppm.

Após a clarificação, ocorre a filtração em peneira estática (Figura 35), a fim de se eliminar possíveis impurezas sólidas ainda presentes no caldo. Posteriormente, a corrente é encaminhada ao setor de evaporação da empresa.

Figura 34 - Preparo do polímero.



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 35 - Peneira estática.



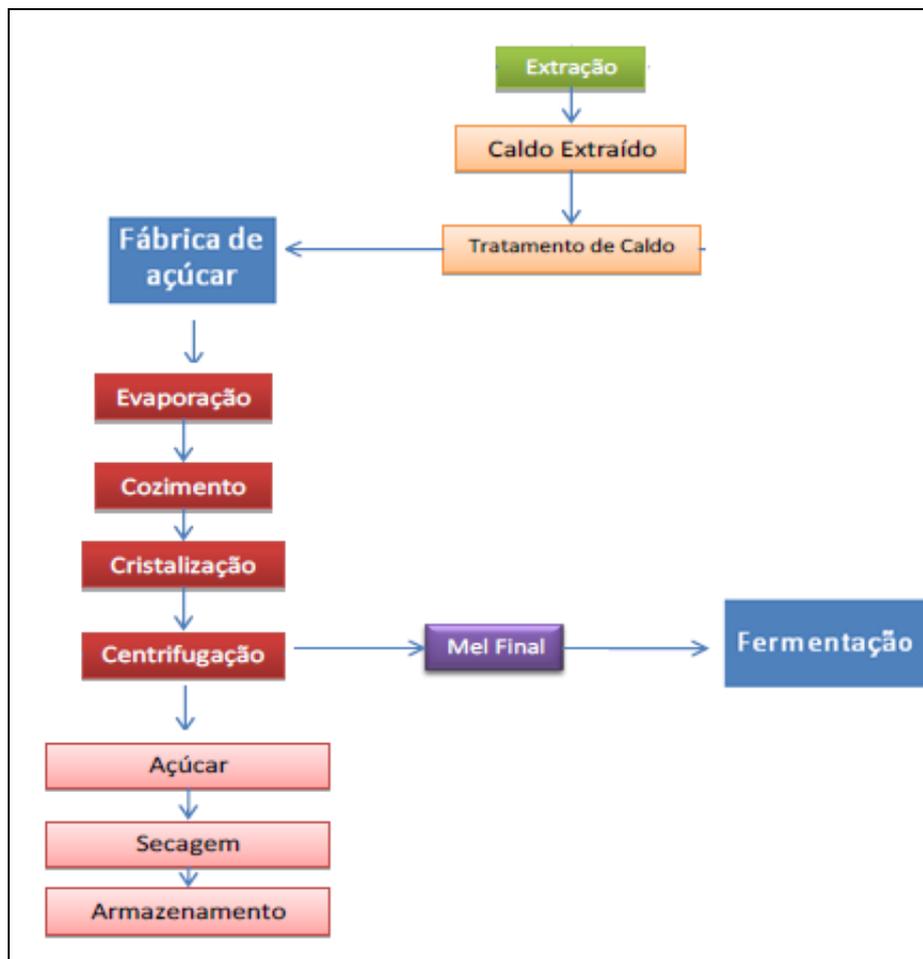
Fonte: Arquivo pessoal

O precipitado formado neste processo, o lodo, é recolhido em tanque e incorporado aos bagacilhos, previamente selecionados por peneiramento. O caldo filtrado gerado neste processo retorna ao tratamento de caldo, e o sólido gerado, a torta, é encaminhada ao setor agrícola para ser utilizada no campo como adubo, pois é rica em sais de fósforo, enxofre e potássio.

4.3 Etapas de produção do açúcar cristal

O setor de produção do açúcar cristal é apresentado no fluxograma (Figura 36) apresentado a seguir:

Figura 36 - Fluxograma de produção do açúcar cristal.



Fonte: Albuquerque, 2011 (Adaptado)

4.3.1 Setor de Evaporação

As atividades neste setor foram realizadas de 16 a 27 de setembro.

A evaporação possui a finalidade principal de promover a concentração do caldo extraído e tratado em processos anteriores, mediante a remoção de certo volume aquoso. Possui uma importância vital de geração de vapor vegetal para a alimentação no processos industriais, em geral.

Neste processo inicialmente o caldo já tratado, caldo clarificado, é aquecido a altas temperaturas no interior de *reboilers* (refervedores - trocadores de calor) e em seguida conduzido sob pressão a um balão de expansão (Figura 37). Estes *reboilers* são alimentados com vapor de escape, vapor que já passou pelo processo de umidificação nos dessuperaquecedores.

Figura 37 - Sistema de pré-evaporação do caldo misto.



Fonte: Arquivo pessoal

Tal processo, o de pré-evaporação, gera um caldo com elevado °Brix, passando de 16 para 28 °Brix, utilizando uma grande quantidade de vapor, comumente denominado vapor vegetal I ou simplesmente V1. Este vapor alimenta os vácuos de cozimento do açúcar, a destilaria, as caixas de evaporação e os aquecedores no tratamento de caldo.

O nível do balão de expansão é mantido em 20% do seu nível total. Este nível é mantido com o auxílio de sensores eletrônicos monitorados pelo setor de instrumentação. Tal nível é mantido para evitar o efeito não desejado de arraste de açúcares junto ao vapor gerado no processo.

Em seguida, este caldo pré-evaporado é conduzido para as caixas de evaporação, ou efeitos (Figura 38), as quais vão concentrando gradativamente este caldo até cerca de 60° Brix. Sendo que, a evaporação da ESSSA foi projetada para funcionar com 3 efeitos de evaporação, ou três caixas.

Figura 38 - Caixas de evaporação.



Fonte: Arquivo pessoal

O primeiro efeito é alimentado com vapor V1, e o condensado gerado neste processo é armazenado em um tanque. Este condensado é utilizado para a lavagem de torta no filtro rotativo, embebição do bagaço no quarto terno da moenda e na queima do cal. Este processo, a evaporação do caldo na primeira caixa de evaporação, gera o vapor V2, o qual alimenta a segunda caixa de evaporação, e o vapor gerado nesta, o vapor vegetal III ou V3, alimenta o último efeito de evaporação. O vapor gerado neste último efeito é resfriado nos multijatos geradores de vazão, os quais são um fluxo de água a temperatura ambiente.

O condensado gerado no segundo efeito é utilizado juntamente com o condensado gerado no primeiro efeito. Já o condensado gerado no último efeito é levado para os tanques de quarentena para ser utilizado na caldeira, pois, este possui menor quantidade de compostos orgânicos voláteis e impurezas. Este condensado também é utilizado para a lavagem do açúcar nas centrífugas de massa A e B.

O nível das caixas de evaporação é mantido pelo operador em cerca de 30%, para evitar a contaminação por arraste dos vapores gerados, e em decorrência disto a contaminação dos condensados. O processo de evaporação é contínuo e controlado pelos operadores através da abertura ou fechamento de válvulas de controle manuais (Figura 39).

Figura 39 - Válvula de controle do nível das caixas de evaporação.



Fonte: Arquivo pessoal

Todo este processo ocorre em pressões negativas, a fim de se evitar a degradação térmica da sacarose e o caldo já concentrado, denominado de xarope, é encaminhado para o setor de cozimento do açúcar.

4.3.2 Setor de Cozimento

O processo de cozimento possui a finalidade de obtenção dos cristais de açúcar em granulometria adequados. Este processo se baseia principalmente na nucleação de cristais de açúcar.

As atividades realizadas neste setor foram executadas entre os dias 30 de setembro e 11 de outubro do presente ano.

Neste processo dá-se origem aos grãos de açúcar cristal em tamanho e geometria adequadas. Este processo também ocorre sobre pressão negativa, a fim de se evitar a degradação térmica da sacarose e é realizado nos interiores de vácuos de cozimento (Figura 40), como são comumente denominados os aparelhos nos quais o açúcar passa pelo processo de concentração e posterior nucleação.

Figura 40 - Vácuos de cozimento.



Fonte: Arquivo pessoal

Nos vácuos de cozimento são originadas as massas, as quais possuem uma aparência escura e estão presentes os grânulos de açúcar, assim como o mel mãe, compostos principalmente por açúcar invertidos e sacarose não cristalizada, que circunda os cristais de açúcar.

Na empresa ESSSA o processo de cozimento é composto por 3 vácuos, sendo dois deles de massa A e um de massa B, possuindo cada um deles 1.000 Hectolitros (hL) e operados através de válvulas manuais (Figura 41).

Figura 41 - Válvulas de alimentação dos vácuos de cozimento.



Fonte: Arquivo pessoal

Para se iniciar o processo de cozimento, alimenta-se um dos vácuos de massa com magma, sendo este uma suspensão de pequenos cristais de açúcar proveniente da centrifugação da massa B, até a altura da calandra deste equipamento. Este processo comumente é chamado de erguer, ou puxar, um pé de magma. Em seguida, este vácuo é alimentado com xarope, operação a qual é realizada pelo operador através de válvulas manuais, até um volume de 600 hL. Para continuar o processo de cozimento, 50% do volume deste vácuo previamente alimentado é transferido para um segundo vácuo de massa de A, ficando cada um deles com o seu nível em 50%, ou seja, aproximadamente em 300 hL. Segue-se o processo de alimentação destes vácuos de cozimento até um nível máximo de 600 hL, afim de se evitar o arraste de açúcares junto ao vapor gerado neste processo.

O processo de cozimento e a nucleação dos grânulos são acompanhados pelos operados os quais manualmente, e em intervalos de tempos curtos, monitoram o crescimento dos grânulos através da coleta de amostras das massas do interior dos vácuos (Figura 42).

Figura 42 - Amostrador de massas de cozimento.



Fonte: Arquivo pessoal

O processo de cozimento da massa A, onde está presente o açúcar cristal, tem o seu fim quando os grãos de açúcar já possuem tamanho e geometrias adequadas, possuindo a massa A, desta forma, um °Brix próximo a 93. Então esta massa é transferida para os cristalizados, onde serão posteriormente levados as centrífugas, para a separação do licor mãe dos cristais de açúcar.

O processo de lavagem da massa A dá-se em centrífugas onde este açúcar é misturados com água de lavagem, aquecida a cerca de 95 °C, a qual é proveniente do condensado do último efeito de evaporação.

Inicialmente, esta massa é centrifugada, a fim de se eliminar o licor mãe o qual envolve estes cristais de açúcar, gerando, desta forma, um mel rico em açúcares invertidos, denominado de mel pobre. Este possui cerca de 60% de pureza, aparência escurecida e paladar ligeiramente adocicado.

Em seguida, esta massa é lavada com água aquecida por um intervalo de tempo determinado pelo operador da centrífuga. Este tempo de lavagem varia segundo a necessidade de purificação da massa A gerada nos processos de cozimento. O tempo de lavagem do açúcar é um importante fator para o embranquecimento deste. No entanto, 1 segundo de tempo de lavagem dissolve cerca de 5 kg de açúcar, gerando desta forma um mel rico em sacarose, denominado mel rico. Este mel possui aparência levemente escurecida, possuindo cerca de 85% de pureza e paladar bastante adocicado.

Estes méis então são armazenados em tanques para em seguida serem utilizados nos vácuos de cozimento de massa B e o açúcar já limpo produzido neste processo é conduzido para elevadores de canecos os quais o conduz para o setor de secagem e armazenamento.

Alimenta-se o vácuo de massa B até a altura da calandra com mel pobre. Segue o processo de concentração deste até que massa gerada possua um elevado grau de viscosidade. Adiciona-se então cerca de 2 litros de sementes de nucleação no interior do vácuo de cozimento de massa B, através válvula de alimentação (Figura 43). Sendo esta semente de nucleação composta por uma solução alcoólica anidra supersaturada com sacarose. O etanol é usado como solvente neste processo, pois durante o processo de cozimento, é facilmente eliminado por evaporação.

A quantidade de sementes de nucleação adicionadas neste processo está diretamente ligada ao tamanho dos cristais de açúcar a serem gerados no cozimento da massa A. Não obstante, a pureza dos méis usados também deve ser considerada durante

o processo de cálculo do volume de sementes a ser adicionado no vácuo de cozimento B.

Figura 43 - Válvula de injeção de semente de nucleação.



Fonte: Arquivo pessoal

Em seguida, após o processo de adição da semente, este vácuo é alimentado com mel rico, até um volume máximo de 600 hL, a fim de se evitar o arraste de açúcar.

Promove-se o corte do vácuo, sendo que este processo de corte trata-se da transferência de 50% do volume da amostra contida neste aparelho para um tanque, denominado sementeiro.

Alimentou-se novamente este vácuo, que inicialmente estava com 50% do seu volume completo, até o volume de 600hL. Este processo de alimentação com mel rico e corte foi realizado consecutivamente por mais 3 vezes. Então neste processo de corte dá-se origem a um total de 4 pés de cozimento de massa B, ou seja, gera produto para a alimentação inicial de 4 vácuos de massa B.

Alimenta-se novamente o vácuo com mel rico até o volume máximo, dando-se como finalizado o processo de cozimento da massa B. Transfere-se esta massa B para os cristalizados de massa B, um processo comumente denominado de arriar a massa.

Então esta massa B, a qual possui um aspecto escurecido é levada em uma centrífuga contínua, gerando o magma, que possui um aspecto claro, paladar extremamente adocicado e pureza próxima a 93%.

Neste processo de lavagem da massa B, gera-se o mel B, o qual é incorporado ao mel pobre, a fim de se aumentar a sua pureza, e o mel final. O mel final, não é de interesse para o setor da fábrica de açúcar, sendo usado no setor de fermentação como fonte principal de açúcares redutores.

Alguns procedimentos realizados neste setor da indústria também são controlados pelo setor de instrumentação (Figura 44).

Figura 44 - Monitoramento do setor de cozimento e evaporação.



Fonte: Arquivo pessoal

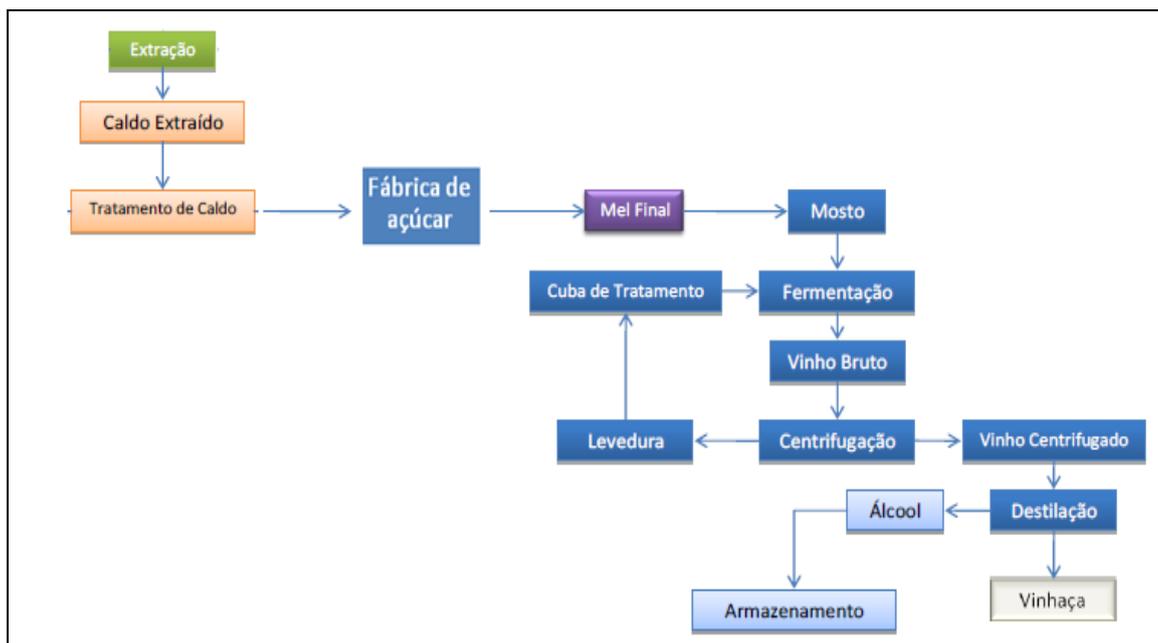


Fonte: Arquivo pessoal

4.4 Setor de produção do etanol hidratado

O setor de produção do etanol hidratado é apresentado no fluxograma (Figura 45) apresentado a seguir:

Figura 45 - Fluxograma de produção do Etanol hidratado.



Fonte: Albuquerque, 2011 (Adaptado)

4.4.1 Setor de Fermentação

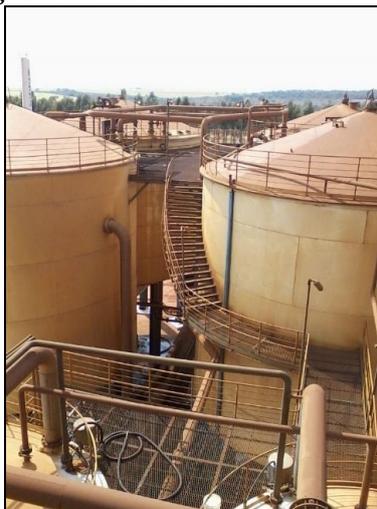
As atividades no setor de fermentação foram desenvolvidas de 14 a 18 de Outubro.

O processo de fermentação e obtenção do etanol (Figura 45) possui a finalidade principal de converter açúcares fermentáveis em etanol, o que ocorre nas dornas, e consumir o mel final produzido nos processos de lavagem da massa B. Na ESSSA o setor de fermentação possui 4 dornas de 1.100.m³ cada (Figura 46).

O processo de fermentação ocorre em um intervalo de tempo de até 6 horas. A alimentação das dornas ocorre a uma vazão de até 200 m³/hora.

O processo de alimentação inicia-se imediatamente após o tratamento do fermento. No estágio inicial o °Brix de alimentação é calibrado para trabalhar por volta de 14. O °Brix da alimentação é controlada através de válvulas automatizadas as quais promovem a diluição do mel final em água até o grau Brix desejado (Figura 47). Já no estágio final, a alimentação já ocorre a uma °Brix de aproximadamente 20 a 22.

Figura 46 - Dornas de fermentação.



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 47 - Sistema de diluição do mel final.



Fonte: Arquivo pessoal

A alimentação inicial ocorre em um °Brix mais baixos e a concentração deste vai aumentando conforme o fermento responde ao tempo e ao grau da alimentação.

Iniciar uma alimentação com °Brix elevado pode levar ao estresse das leveduras, prejudicando desta forma a produção do etanol, produto de interesse, uma vez que estas gerarão produtos indesejáveis, tais como ácidos orgânicos, glicerol entre outros produtos, em função do estresse.

Durante todo o processo de fermentação ocorre o desprendimento de gás carbônico, subproduto do processo de metabolismo celular das leveduras, indicando desta forma a continuidade do processo de fermentação e a liberação de calor. Por este motivo, existem trocadores de calor de placas na parte inferior das dornas a fim de manter a temperatura em torno de 30 a 32 °C. Temperatura elevadas podem favorecer a proliferação de agentes biológicos contaminantes e a síntese de glicerol pelas leveduras, ambos indesejáveis.

Após o término da alimentação, controlado pelo tempo de alimentação ou pelo nível das dornas, estas ficam por cerca de 12 horas em um processo de consumo dos açúcares presentes no meio.

Durante todo o período o processo é monitorado pelo setor de fermentação, assim como pelo setor de qualidade. Após certo tempo o °Brix se estabiliza na faixa de 2 a 3, indicando o fim da fermentação. O °Brix residual se deve a presença de açúcares não fermentáveis.

O processo gera um vinho levedurado, o qual passa por centrifugação, para separação do fermento e do vinho. As centrífugas de fermento passam por assepsias todos os dias, durante o turno C, onde estas são desmontadas, lavadas e passam por um processo de manutenção (Figura 48).

Figura 48 - Manutenção das centrífugas.



Fonte: Arquivo pessoal

O fermento é levado para o setor de tratamento de fermento, onde este é condicionado em cubas, onde recebe tratamento químico, e o vinho é encaminhado para a dorna volante, de onde é encaminhado para o setor de destilaria da empresa.

O tratamento químico do fermento inicia-se com a adição de água, a fim de se diluir a amostra. Em seguida, adiciona-se a este cerca de 150 litros de ácido sulfúrico comercial. Este processo tem por finalidade eliminar possíveis agentes tamponantes de pH presentes no meio, e calibrar este pH para uma faixa entre 1,5 e 2,0, favorável para o brotamento celular.

Em seguida, o fermento recebe a adição de dispersantes e antiespumante, a fim de se facilitar o manuseio deste e evitar o surgimento de emulsões. Os insumos são dosados a uma taxa de 10 litros por rodada de tratamento.

Ao final do processo de tratamento do fermento, este recebe uma dose de nutriente mineral, rico em fósforo, nitrogênio e potássio. Esta dosagem não ocorre todas as vezes que o fermento é tratado. Esta dosagem é feita em alternância, sendo que, em uma batelada de tratamento este fermento recebe uma dosagem de nutriente, enquanto que na próxima rodada de tratamento este não recebe. A dosagem é feita com a adição de cerca de 1 litro de nutriente líquido.

Após este procedimento o fermento é então levado às dornas para novamente passar pelo processo de alimentação e fermentação.

O teor alcoólico do vinho gerado está diretamente ligado ao °Brix da alimentação da dorna, assim como com o controle da temperatura desta. O grau alcoólico deste vinho na maioria dos casos pode ser considerado como sendo a metade menos um da °Brix da alimentação. Desta forma, alimentando-se uma dorna com °Brix de 20, este vinho terá um teor alcoólico de próximo a 9 °GL.

4.4.2 Setor de Destilaria

O processo de destilação possui a finalidade principal de promover a separação do etanol dos outros produtos orgânicos, tais como ácidos e ésteres, produzidos durante o processo de fermentação. O acompanhamento das etapas deste processo no estágio ocorreu entre os dias 21 e 31 de outubro.

O processo de destilação na ESSSA é realizado por um único aparelho destilação compostos por duas torres com capacidade nominal de 400 m³ de etanol hidratado (Figura 49).

O processo de produção do etanol hidratado inicia-se com o pré-aquecimento do vinho, antes mesmo deste ser introduzido na coluna de destilação A. Este passa por uma séries de trocadores de calor, colaborando com um melhor aproveitamento do calor

gerado pelos agregados de destilação, assim como favorecendo o balanço energético da indústria (Figura 50).

Figura 49 - Aparelho de destilação ESSSA.



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 50 - Trocadores de calor.



Fonte: Arquivo pessoal

O vinho pré-aquecido alimenta a coluna de destilação na bandeja número 20, a uma temperatura próxima a 100 °C. Sendo que, a temperatura da base da coluna de destilação fica em torno de 107 °C.

A coluna A é alimentado por vapor direto, assim como por V1, sendo a pressão de vapor de trabalho da coluna de 360 g.cm⁻¹, gerando um produto pré-destilado com teor alcoólico próximo a 70 °GL, denominado de flegma. Este produto, o flegma, é recolhido na bandeja número 22 e introduzido na bandeja número 1 da coluna B.

O produto de topo da coluna A é encaminhado para o setor de recuperação da destilaria, de onde é recuperado o etanol de segunda, com teor alcoólico inferior a 70% (Figura 51). O produto de base, a vinhaça é conduzido para as lagoas de sedimentação e posteriormente levado para o setor da agrícola para ser utilizado como fertilizante nos canaviais. O etanol de segunda é recuperado a uma vazão média de 0,25 m³/h.

Figura 51 - Coluna D, recuperadora de etanol de segunda.



Fonte: Arquivo pessoal

A bandeja número 1 da coluna B, assim como a bandeja número 22 da coluna A, trabalham a uma temperatura próxima de 85 °C. O etanol hidratado, com teor alcoólico próximo a 93%, é recolhido no topo da coluna B.

Nos pratos intermediários da coluna B é introduzido soda cáustica concentrada, a fim de se corrigir o pH do etanol da produção, assim como para neutralizar ácidos orgânicos, os quais aumentam a condutividade do produto gerado. A dosagem de soda da coluna B é controlada por mecanismos eletrônicos monitorados pelo setor de instrumentação da empresa.

O etanol recolhido no topo da coluna troca calor com o vinho, o qual será destilado, e este já resfriado é conduzido a tanques de armazenamento. O vinho pré-aquecido também é aquecido trocando calor com a vinhaça, produto de fundo da coluna A (Figura 52).

Figura 52 - Trocadores de calor alimentados com vinhaça.



Fonte: Arquivo pessoal

O etanol de segunda é recuperado nas colunas de destilação D e é reintroduzido na coluna A na bandeja 22. Sendo que, todo o etanol produzido nestas colunas de destilação é redestilado por 8 vezes, sendo este processo denominado de refluxo.

Nos pratos intermediários das colunas A e B também são coletados o óleo fússel, através de válvulas manuais (Figura 53).

Este subproduto da destilação é indesejável, pois possui pouca volatilidade e acaba se depositando sobre os pratos da coluna de destilação, funcionando como um isolante térmico, promovendo um desequilíbrio entre a temperatura da base do aparelho e das bandejas superiores. Este subproduto é armazenado em tanques (Figura 54) e comercializado, pois é composto basicamente por compostos orgânicos, graxas e álcoois superiores e possui valor comercial. Em geral, é comercializado para empresas alimentícias e de produtos de beleza.

Figura 53 - Válvulas recuperadoras de óleo fússel.



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 54 - Tanque de armazenamento de óleo fússel.



Fonte: Arquivo pessoal

No Anexo I está apresentado um fluxograma resumido do processo industrial descrito anteriormente.

5 CONTRIBUIÇÕES DO ESTÁGIO PARA FORMAÇÃO PROFISSIONAL

As atividades foram desenvolvidas na “Energética São Simão S/A” obtendo-se resultados satisfatórios, pois as atividades propostas no plano de atividades propiciaram ao aluno um contato direto com o dia-a-dia do profissional da Química Industrial.

Todas as atividades foram trabalhadas conforme as instruções passadas pelo supervisor profissional e de acordo com as normas da empresa. Os colaboradores da indústria demonstraram solidariedade e compreensão no decorrer das atividades do estágio.

Durante este período o aluno pode exercitar alguns conhecimentos da área de química, elucidando os mecanismos e funcionamento de algumas reações químicas aplicadas em testes qualitativos e quantitativos do laboratório industrial, assim como no setor de controle de qualidade. Podendo também implementar algumas boas práticas de laboratório.

No processo industrial foi possível verificar o funcionamento de alguns equipamentos utilizados, assim como alguns aspectos físico-químicos relacionados com a utilização dos mesmos.

Inicialmente houve certa resistência por parte de alguns colegas, as quais foram superadas conforme o dia-a-dia da empresa foi se processando.

Com o desenrolar do Estágio Curricular Supervisionado Obrigatório II ficou clara a importância deste na formação profissional do aluno pois, durante este período pode-se trocar, absorver e ter acesso a informações referentes ao processo estudado, assim como ter contato com profissionais da área de química, alguns com mais de 30 anos de experiência na área.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante todo o Estágio Curricular Supervisionado Obrigatório II, foi observada a real importância do profissional da área da Química Industrial em uma empresa, em especial, uma usina de açúcar e etanol.

Pode-se observar claramente a importância deste profissional, assim como a competência deste em solucionar problemas do dia-a-dia da empresa, de forma rápida, objetiva e quase sempre em pouquíssimo tempo.

Desta forma, este período de estágio foi de suma importância para que o aluno pudesse desenvolver suas habilidades, assim como verificar alguns aspectos de gerenciamento e liderança de pessoas.

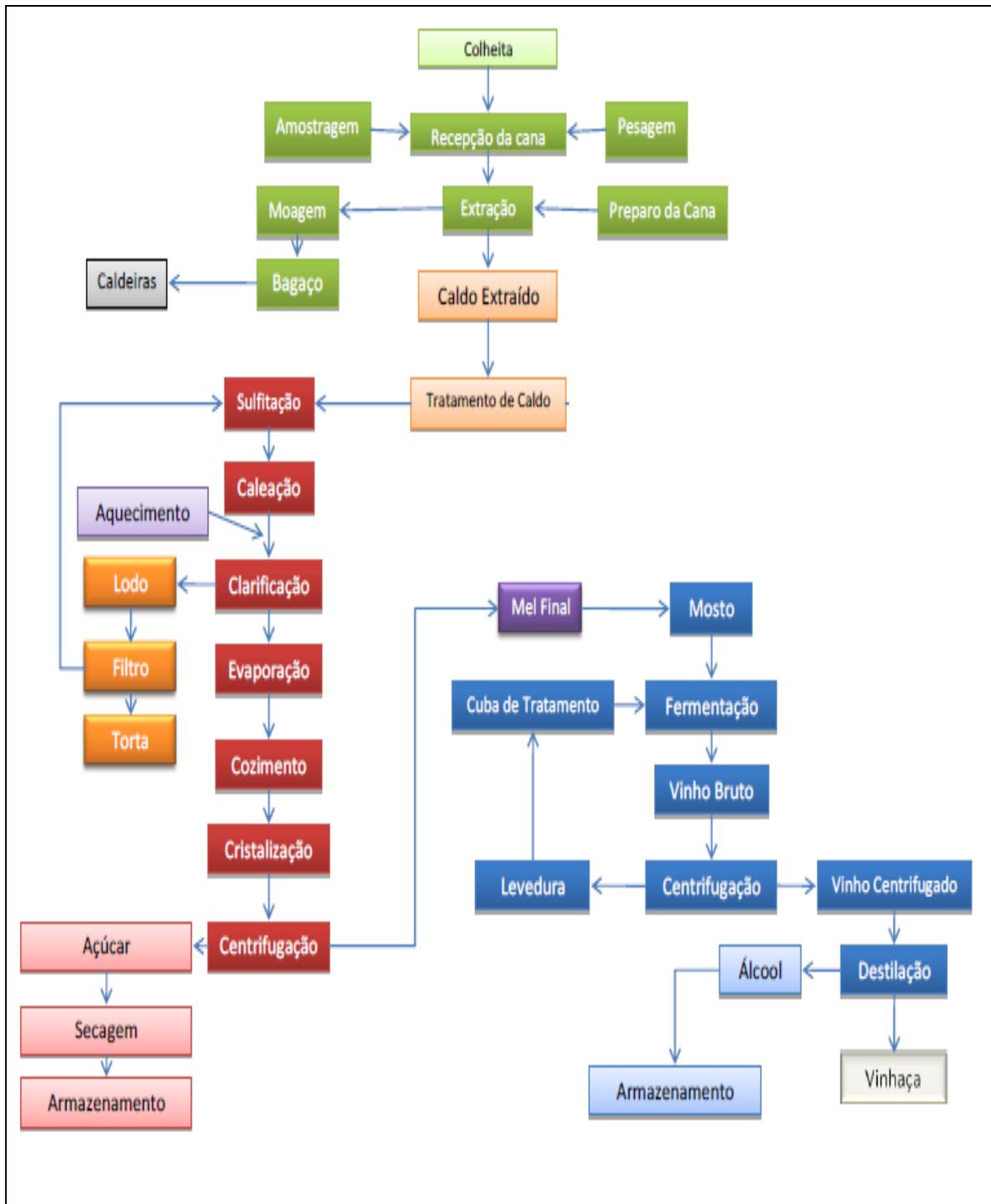
Estas experiências no âmbito profissional fizeram com que o estágio fosse de caráter ímpar, sendo realmente necessário para a formação profissional do acadêmico e trazendo à tona alguns aspectos referentes ao mercado de trabalho.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, F. M. **Processo de fabricação de açúcar**. Editora Universitária Universidade Federal de Pernambuco. 3º Ed. Recife, 2011.
- BIODIESEL BRASIL. Proálcool - Programa Brasileiro de Álcool, 2013.
- CENTRO DE TECNOLOGIA COPERSUCAR-CTC. **Manual de Métodos de Análises para Álcool Etílico**. Divisão Central de laboratório de análise e Controle de Qualidade-CTTI-5, 2001.
- CALDAS, C. **Manual de análises selecionadas para indústrias sucroalcooleiras**. Universidade Federal de Alagoas, Biblioteca Central. Maceió, 1998.
- UDOP - União dos produtores de Bioenergia. Produção Brasileira de Cana-de-açúcar, Açúcar e Etanol, 2013.
- YAMADA, M. C; PORTO, A. J. V; INAMASU, R.Y. **Aplicação dos conceitos de modelagem e de redes de Petri na análise do processo produtivo da indústria sucroalcooleira**. Pesquisa agropecuária brasileira. Brasília, v. 37, n. 6, p. 809-820, jun. 2002.

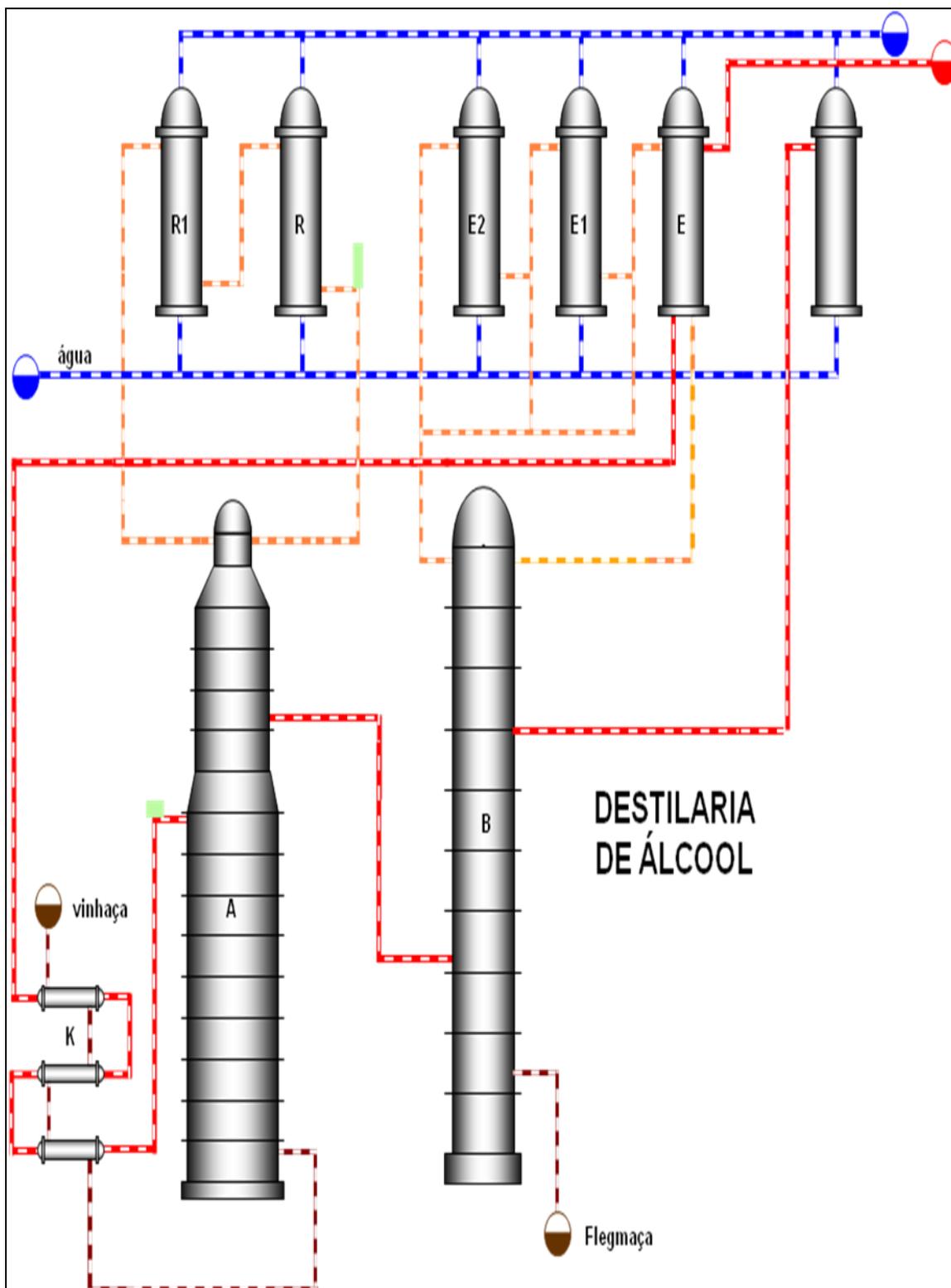
8 ANEXOS

Fluxograma simplificado da produção açúcar e etanol.



Fonte: Albuquerque, 2011 (Adaptado)

Destilaria



Fonte: CTC, 2001 (Adaptado)

Cronograma de estágio

Data	Setor de realização das atividades
27/09/2013 a 30/08/2013	Laboratório Industrial
02/09/2013 a 13/09/2013	Tratamento de caldo
16/09/2013 a 27/09/2013	Evaporação
30/09/2013 a 11/10/2013	Cozimento
14/10/2013 a 18/10/2013	Fermentação
21/10/2013 a 31/10/2013	Destilaria