

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MATO GROSSO DO SUL
CURSO DE QUIMICA INDUSTRIAL
UNIDADE UNIVERSITÁRIA DE DOURADOS
RELATÓRIO FINAL DE ESTÁGIO

MARCOS EDUARDO DA SILVA FERREIRA

PRODUÇÃO DE ETANOL DE CANA-DE-AÇÚCAR:
LABORATÓRIO E PROCESSO INDUSTRIAL

DOURADOS

2014

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

MARCOS EDUARDO DA SILVA FERREIRA

PRODUÇÃO DE ETANOL DE CANA-DE-AÇÚCAR:
LABORATÓRIO E PROCESSO INDUSTRIAL

*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 gerente de
processo industrial Eg. Agrônomo Carlos Afonso
Magalhães Galindo e orientação do Professor Dr.
Gilberto José Arruda.*

DOURADOS

2014

BANCA EXAMINADORA

Gilberto José de Arruda
Professor da disciplina de ECSO II
Orientador

Jandira Aparecida Simoneti
Professora da disciplina de ECSO II

Leila Cristina Konradt Moraes
Professora da disciplina de ECSO II

Marcelina Ovelar Solaliendres
Professora da disciplina de ECSO II

Dourados, 14 de novembro de 2014.

DEDICATÓRIA

Dedico este relatório à minha mãe, irmãos, professores, amigos e a todos aqueles que de alguma forma contribuíram nesta caminhada me ajudando a chegar até aqui, de forma direta ou indireta.

AGRADECIMENTO

Á Deus, por ter me amparado nos momentos difíceis e ajudado a superar as dificuldades que foram constantes nesta etapa da minha vida.

À IACO Agrícola S/A pela oportunidade de realização do estágio curricular supervisionado obrigatório II, assim como aos profissionais desta empresa que contribuíram para o meu aprendizado.

Ao professor Gilberto José de Arruda pelos ensinamentos e orientação e, aos demais membros da COES, professora Jandira Aparecida Simoneti, professora Leila Cristina Korandt Moraes e professora Marcelina Ovelar Solaliendres pelo apoio e dedicação aos estagiários.

Agradeço também a todos que de alguma forma contribuíram para realização do estágio.

RESUMO

Este relatório descreve as atividades desenvolvidas no Estágio Curricular Supervisionado Obrigatório II realizado na usina IACO Agrícola S/A, no período de 13 de agosto a 7 de outubro de 2014 totalizando 311 horas. A empresa faz parte do ramo sucroenergético tendo como produto principal o etanol, além de geração de energia e subprodutos. Durante o estágio acompanhou-se todas as etapas do processo produtivo desde a chegada da matéria prima, a cana de açúcar, até a obtenção do etanol, subprodutos e energia. As atividades desenvolvidas no período de estágio foram: análise da qualidade da cana no laboratório do PCTS (Pagamento da Cana pelo Teor de Sacarose), análises físico-químicas do Laboratório Industrial, operações industriais nos setores de preparo e extração da cana (moenda), tratamento de caldo, fermentação, destilaria, caldeira, estação de tratamento de água (ETA) e operações de controle e comando via Central de Operações Integradas (COI). Foi possível verificar a disposição dos efluentes e subprodutos, como vinhaça e torta de filtro, identificar e compreender as operações envolvidas para a obtenção dos produtos desejados e importância das análises efetuadas nos laboratórios.

Palavras-Chave: Cana de açúcar, Sacarose, Etanol hidratado, Etanol anidro.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sequência de reações do processo glicolítico	13
Figura 2 – Sonda oblíqua	16
Figura 3 – Desfibrador de cana	17
Figura 4 – Prensa hidráulica	18
Figura 5 – Hilo	19
Figura 6 – Estrutura de uma moenda	20
Figura 7 – Esquema do processo de fermentação	23
Figura 8 – Turbidímetro	27
Figura 9 – Refratômetro	29
Figura 10 – Sacarímetro	29
Figura 11 – Densímetro	32
Figura 12 – Espectrofotômetro	33

SUMÁRIO

RESUMO	VI
LISTA DE FIGURAS	VII
1 INTRODUÇÃO	10
1.1 História da cana-de-açúcar	10
1.2 Cultura da cana-de-açúcar	10
1.3 Aspectos Econômicos da Indústria Sucroenergética	11
1.4 Produção de Etanol	12
2 OBJETIVOS	14
2.1 Geral	14
2.2 Específico	14
3 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA	14
3.1 Histórico da Empresa	14
4 DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS NO ESTÁGIO SUPERVISIONADO OBRIGATÓRIO II	15
4.1 Descrição do Processo	15
4.1.1 Labortório do PCTS	16
4.1.2 Extração do caldo	18
4.1.3 Tratamento do caldo	20
4.1.4 Fermentação	21
4.1.5 Destilaria	23
4.1.5.1 Etanol hidratado	23
4.1.5.2 Etanol anidro	24
4.1.6 Caldeira	25
4.1.7 Estação de tratamento de água (ETA)	26

4.1.7.1 Torres de resfriamento	28
4.2 Descrição das análises realizadas no Laboratório Industrial	28
4.2.1 Determinação do °Brix	28
4.2.2 Determinação da POL	29
4.2.3 Determinação de AR e ART	30
4.2.4 Determinação de pH	30
4.2.5 Determinação de condutividade	30
4.2.6 Determinação de acidez	31
4.2.7 Determinação % de impureza e concentração de levedo	31
4.2.8 Determinação de teor alcóolico	31
4.2.9 Análise de umidade	32
4.2.10 Determinação da dureza em águas	32
4.2.11 Determinação cloro livre nas águas	32
4.2.12 Determinação SiO ₂	33
4.2.13 Determinação de açúcares em águas condensadas dos pré-evaporadores	33
4.2.14 Determinação de alcalinidade hidróxida e total das águas	33
4.2.15 Determinação de ferro nas águas	34
5 CONTRIBUIÇÕES DO ESTÁGIO PARA A FORMAÇÃO PROFISSIONAL	34
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	34
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35

1 INTRODUÇÃO

1.1 História da cana-de-açúcar

De origem asiática, a cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) foi inicialmente utilizada para a produção de remédios e temperos, e posteriormente empregada na produção de açúcar na forma de cristais pelos persas sendo dispersada por todo o oriente. Embora com grande disseminação pelo território do sudeste asiático, tentativas de plantio de cana na Europa não tiveram grandes sucessos, já que as plantas necessitavam de um clima mais quente para seu desenvolvimento (MACEDO, 2013).

Portugal, por sua posição geográfica favorecida, era passagem obrigatória de navios carregados com a especiaria, facilitando a entrada da cana na Ilha da Madeira, onde se desenvolveu a produção que depois viria ao Brasil (MACEDO, 2013).

A cultura da cana-de-açúcar surgiu no Brasil em meados do século XVI pela necessidade de se colonizar, defender e explorar as riquezas deste território até então sem tanta importância econômica para Portugal. Vários foram os motivos para a escolha da cana, entre eles, a existência no Brasil do solo de massapê, propício para este cultivo. Além disso, o açúcar era naquela época um produto muito bem cotado no comércio europeu, em crescente consumo e capaz de gerar valiosos lucros, transformando-se assim no alicerce econômico da colonização portuguesa no Brasil entre os séculos XVI e XVII (RODRIGUES, 2010).

Desde que chegou ao país se tornou um dos mais importantes cultivos desenvolvidos em terras brasileiras. Atualmente, o país ocupa o primeiro lugar no ranking de produção de açúcar e é o maior exportador de etanol do planeta. A recente busca por combustíveis renováveis que substituam o petróleo e não sejam tão agressivos ao meio ambiente faz da cana-de-açúcar um produto de importância global na procura por um desenvolvimento mais sustentável (NOVA CANA, 2014).

1.2 Cultura da cana-de-açúcar

Da família das gramíneas *Poaceae*, a cana-de-açúcar, é uma planta com metabolismo C^+ com produção crescente ao aumento de radiação, é extremamente eficiente na fixação do CO_2 , no uso de água e de nutrientes, portanto, indicado para regiões tropicais contribuindo

significativamente para a fixação do CO₂ atmosférico e na redução na taxa de aquecimento global. Para responder com alta produtividade a cana-de-açúcar requer solos corrigidos e equilibrados. No Brasil encontra condições climáticas favoráveis para se desenvolver em quase todo território (JUNIOR, 2012).

A cana-de-açúcar se desenvolve formando touceiras, constituídas por partes aéreas (colmos e folhas) e outras partes subterrâneas (rizoma e raízes). Seu crescimento ocorre melhor em solos profundos, argilosos de boa fertilidade, e que possuem boa capacidade de retenção de água, não sujeitos a encharcamento, com pH entre 6.0 e 6.5. Para o plantio há necessidade de se fazer uma calagem para que o pH atinja estes valores (REIS, 2010).

De todos os componentes da cana de açúcar o que mais tem interesse industrial é a sacarose (dímero de uma ligação entre uma molécula de glicose e uma de frutose). Sendo assim é interessante para fins industriais que a cana apresente um teor elevado de açúcares. O início da colheita deve iniciar quando a cana entra no seu estado de maturação, ou seja, quando atinge seu teor máximo de sacarose. Determinação do estágio de maturação pode ser realizado diretamente no campo, com auxílio de um refratômetro, ou por meio de análise químicas em laboratório, que fornece resultados mais precisos (CALTAROSSO, 2008).

1.3 Aspectos Econômicos da Indústria Sucroenergética

O setor sucroenergético tem grande relevância na economia brasileira. Além do açúcar, as usinas podem ter foco na produção de etanol, bioeletricidade, álcoolquímicos e na comercialização de créditos de carbono. Portanto tecnologias que aumentam a produtividade e reduzem custos expressam grande interesse para a indústria dessa área (SILVA^a, 2012).

A cultura da cana alcança quase todos os estados brasileiros e ocupa cerca de 9% da superfície agrícola do país. As usinas de açúcar e álcool geram, aproximadamente, 270 kg de bagaço (50% de umidade) por tonelada de cana-de-açúcar. Deste total, estima-se que apenas 50% sejam suficientes para suprir a energia necessária para a planta. O excedente pode ser vendido para outras indústrias com o mesmo intuito de geração de energia, utilizado para produção de ração para animais ou transformado em etanol de segunda geração (SILVA^a, 2012).

O Brasil aparece em uma posição de vantagem quando o assunto é a corrida dos países desenvolvidos na busca de alternativas aos combustíveis de origem fóssil, principalmente quando se fala em produção de etanol de cana de açúcar. O país tem as melhores oferta de

terra, clima e tecnologia para produção de etanol em grande escala, tanto que é o maior produtor do combustível no mundo (CORTEZ, 2010).

Estima-se que em 2015 o Brasil estará moendo aproximadamente 1 bilhão de toneladas de cana em uma área de 14 milhões de hectares e produzindo cerca de 60 bilhões de litros de etanol, sendo que deste total 8 a 9 bilhões de litros seriam exportados (BORGES, 2010).

1.4 Produção de Etanol

O etanol pode ser produzido com base em qualquer biomassa que contenha quantidades significativas de açúcares. Dentre as diversas culturas disponíveis para extração de biocombustíveis, destacam-se as culturas de cana, milho e beterraba (OLIVEIRA, 2010).

A produção de etanol no Brasil tem como matéria-prima a cana de açúcar, sendo produzido nas regiões Centro-Sul e Norte-Nordeste. O etanol é para uso combustível ou industrial, inclusive na produção de algumas bebidas industrializadas. O Brasil e os Estados Unidos são atualmente os maiores produtores de etanol, embora os Estados Unidos extraiam esse produto do milho (SILVA, 2010).

O processo industrial para produção de etanol começa com a recepção da cana seguido de lavagem dessa matéria prima (opcional), trituração, extração e tratamento do caldo, fermentação e destilação.

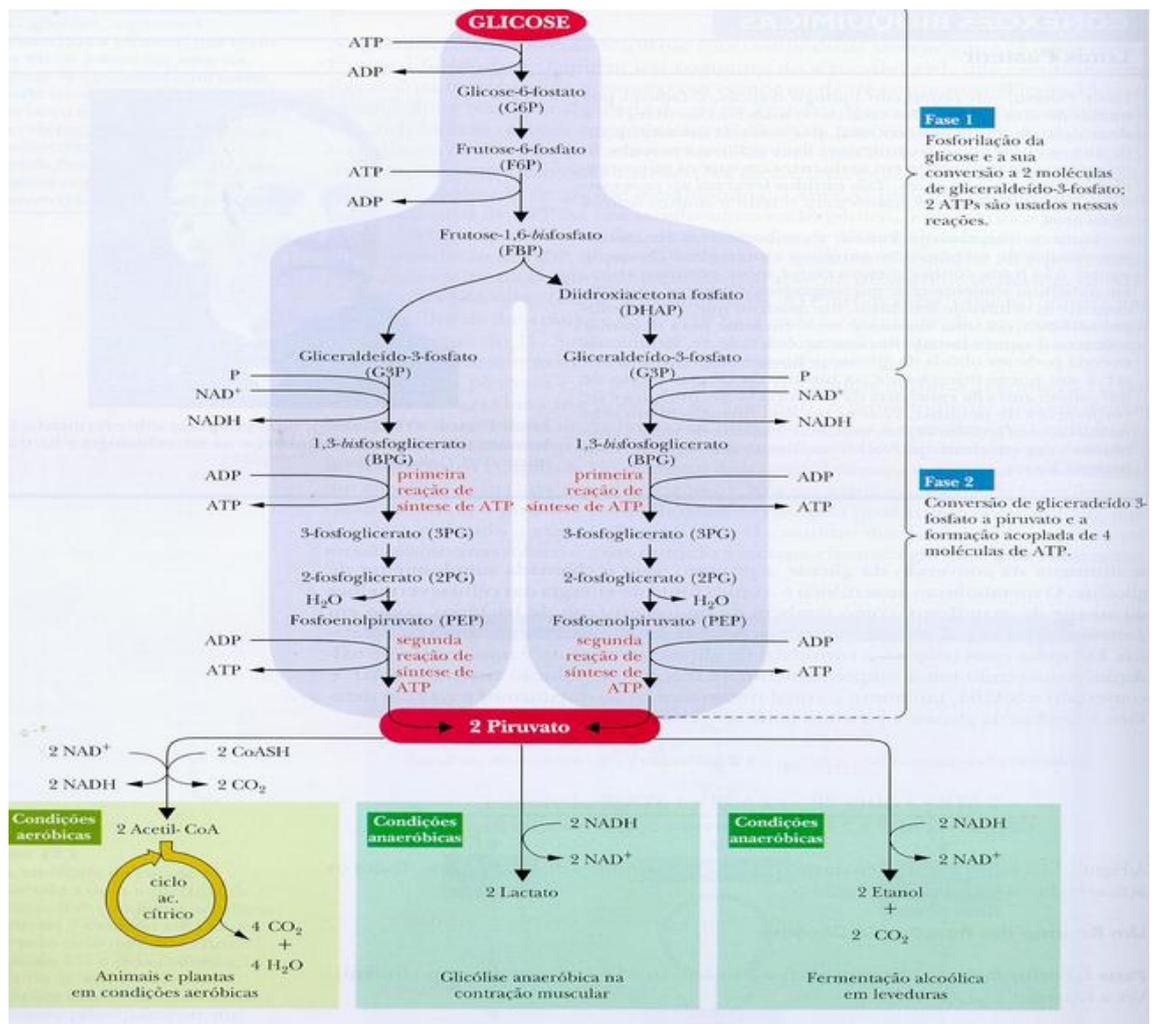
A extração do caldo da cana consiste no processo físico de separação da fibra (bagaço), sendo feito, fundamentalmente, por meio de dois processos: moagem ou difusão. Na extração por moagem, a separação é feita por pressão mecânica dos rolos da moenda sobre o colchão de cana desfibrada e embebição de água. Na difusão, a separação é feita pelo deslocamento da cana desintegrada por um fluxo contracorrente de água (MENEGUETTI, 2010).

É preciso preparar o caldo para a adição de leite de cal (calagem) com o objetivo de precipitar os componentes indesejáveis do caldo (colóides), compostos orgânicos e inorgânicos em suspensão, emulsificar graxas e ceras e fazer o tratamento térmico bacteriológico, que alguns denominam de pasteurização do caldo. Essa fase busca a redução ou eliminação de microorganismos indesejáveis no processo de fermentação alcoólica (OLIVEIRA et al., 2012).

A fermentação alcoólica é um processo químico de transformação dos açúcares em álcool. Este processo é desencadeado geralmente por leveduras, onde açúcares são transformados em etanol. Para que o açúcar (glicose) seja transformado em etanol e gás

carbônico são necessárias 11 reações em sequência ordenada (Figura 1), conhecida como via glicolítica. Nesta via, cada reação é catalisada por uma enzima específica. O processo fermentativo pode ser afetado pela ação de diversos fatores sofridos por estas enzimas glicolíticas, como quantidade de nutrientes, presença de inibidores, vitaminas, pH, temperatura, entre outros (SILVA, 2010).

Figura 1 – Sequência de reações do processo glicolítico



LEHNINGER, 1995

Após fermentação o conteúdo da dorna é centrifugado obtendo-se assim o vinho delevedurado, que é passado à destilaria. A destilação é realizada em três colunas superpostas que têm por finalidade esgotar a maior parte possível de álcool de seu produto de fundo, denominado vinhaça. As colunas realizam as seguintes atividades: destilação propriamente dita, retificação, desidratação e recuperação do desidratante. Na destilação propriamente dita, o vinho é alimentado no topo da primeira coluna, descendo pelas bandejas

e sofrendo uma epuração. O álcool é separado do vinho e sai como flegma (etanol de teor alcóolico em torno de 60 °GL), que é enviado à coluna seguinte, que realiza outro processo, a retificação, deste obtém o etanol hidratado (teor alcóolico de aproximadamente °GL). Parte do etanol hidratado é comercializado e outra parte passa por mais um processo unitário (desidratação) que pode ser realizado em peneira molecular onde é obtido o etanol anidro que é comercializado e pode ser misturado à gasolina (FILHO, 2010).

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Propiciar ao acadêmico o contato com situações e contexto que correlacione a teoria com a prática, permitindo que conhecimentos, habilidades e atitudes se concretizem em ações profissionais.

2.2 Específicos

Acompanhar todas a etapas do processamento do etanol, desde a recepção da matéria prima no Labortório PCTS até a obtenção do álcool etílico, tanto hidratado como anidro e também os subprodutos do processo.

Identificar e compreender as operações envolvidas para a obtenção dos produtos desejados e a importância das análises efetuadas no laboratório Industrial.

3 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA

A usina IACO Agrícola S/A está localizada no município de Chapadão do Sul MS, na rodovia MS 306 km 130, Zona Rural, Chapadão do Sul - MS. A empresa conta atualmente com aproximadamente 1000 colaboradores divididos entre setor industrial e agrícola.

3.1 Histórico da Empresa

Em 1980 a Schmidt Irmãos Calçados Ltda., tradicional empresa de Campo Bom, RS, comprou uma área de terra localizada em Mato Grosso do Sul no município de

Chapadão do Sul. A idéia era produzir grãos e criar gado de corte. Em 1984 passou a ser Agropecuária Ribeirão Ltda, Em 1997 passou para Ribeirão Agropecuária Ltda.

No ano de 2006 a Ribeirão Agropecuária Ltda passou a chamar IACO Agrícola S/A, época em que a empresa surpreendeu com o investimento em cultura de cana de açúcar. A cana estava em pleno desenvolvimento, com uma área de canteiro de 1.100 hectares. Com vistas à multiplicação para a área comercial, foi feita em 2008 o plantio em 6.500 hectares que produziram cana de açúcar que foi esmagada em 2009. Começava neste período a produção de etanol e um grande passo para o desenvolvimento econômico da empresa e da região.

Já para as safras 2011/2012 moeu aproximadamente três vezes mais e realizou um plantio de mais 9.500 hectares de cana de açúcar. Todo serviço de plantio e colheita passou a ser totalmente mecanizado com tecnologia de ponta.

Atualmente a IACO Agrícola S/A esmaga em torno de 12 mil toneladas de cana e produz 1,2 milhões de litros de etanol por dia. A previsão é que até o final da safra seja moída aproximadamente 2,5 milhões de toneladas de cana. O bagaço de cana é queimado em caldeira de alta pressão gerando vapor para todo o processo e energia que é excedente (o excesso é vendido). Para as próximas safras a IACO tem a perspectiva de aumento do parque industrial com início da produção de açúcar.

4 DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS NO ESTÁGIO CURRICULAR OBRIGATÓRIO II

Durante o estágio curricular supervisionado obrigatório II, foram acompanhadas todas as etapas do processamento do etanol, desde a recepção da matéria prima no Laboratório do PCTS até a obtenção do álcool etílico, tanto hidratado como anidro e também os subprodutos do processo. Foi possível identificar e compreender as operações envolvidas para a obtenção dos produtos desejados e importância das análises efetuadas no laboratório Industrial.

4.1 Descrição do Processo

Em geral, as atividades desenvolvidas no período de estágio foram as seguintes: Análise da qualidade da cana no laboratório da cana (PCTS), análises qualitativas e/ou quantitativas físico-químicas do Laboratório Industrial (monitoramento e resultados do

processo industrial), operações industriais nos setores de preparo e extração da cana (moenda), tratamento de caldo, fermentação, caldeira/VLC, estação de tratamento de água (ETA), destilaria e operações de controle e comando via Central de Operações Integradas (COI).

4.1.1 Laboratório do PCTS

Os caminhões carregados com a cana-de-açúcar chegam na indústria e tem a primeira parada no laboratório do PCTS. Se o caminhão for sorteado pelo sistema, então uma amostra de cana é retirada com o auxílio de uma sonda oblíqua (Figura 2). Esta amostra é retirada em apenas uma posição, seguindo a linha horizontal do carregamento, em duas etapas, na primeira etapa a sonda é introduzida até a metade e na segunda etapa é completamente introduzida, retirando e descarregando as amostras de cada etapa

Figura 2 – Sonda oblíqua



O AUTOR, 2014

As amostras são despejadas diretamente no desfibrador de cana (Figura 3). Ao mesmo tempo que a amostra vai sendo desfibrada ela é passada a betoneira que irá homogeneizar a cana desfibrada, em seguida um balde de amostra é recolhida para as análises e o restante é devolvido no caminhão.

Figura 3 – Desfibrador de cana



O AUTOR, 2014

Uma amostra de cada Frente (maneira de localizar a região que veio o caminhão) também é recolhida antes de desfibrar para análise de impureza vegetal, procedimento que verifica a quantidade de palha presente no caminhão. Para tal análise pesa-se a amostra recolhida antes e depois da retirada das palhas e demais impurezas. Essa análise é de grande importância para a indústria porque também serve para avaliar a eficiência das colhedoras de cana, onde o excesso de palha pode indicar que a máquina colhedora está desregulada ou que a colheita não está sendo executada corretamente, por falha algum tipo de falha que pode ser tanto mecânica como humana.

Uma massa de 500 g de cana desfibrada é então pesada e em seguida prensada pela prensa hidráulica (Figura 4) com uma pressão de 250 kgf/cm^2 de modo a obter o caldo da cana e o bagaço, chamado de Peso do Bolo Úmido – PBU que é anotado para o cálculo da % de fibra no caminhão. Do caldo extraído é determinado a quantidade de compostos solúveis em uma solução de sacarose ($^{\circ}\text{Brix}$) e em seguida o caldo é clarificado com um clarificante (Octapol) e é feita a leitura sacarimétrica onde determina a quantidade aparente de sacarose no caldo (POL).

Figura 4 – Prensa hidráulica



O AUTOR, 2014

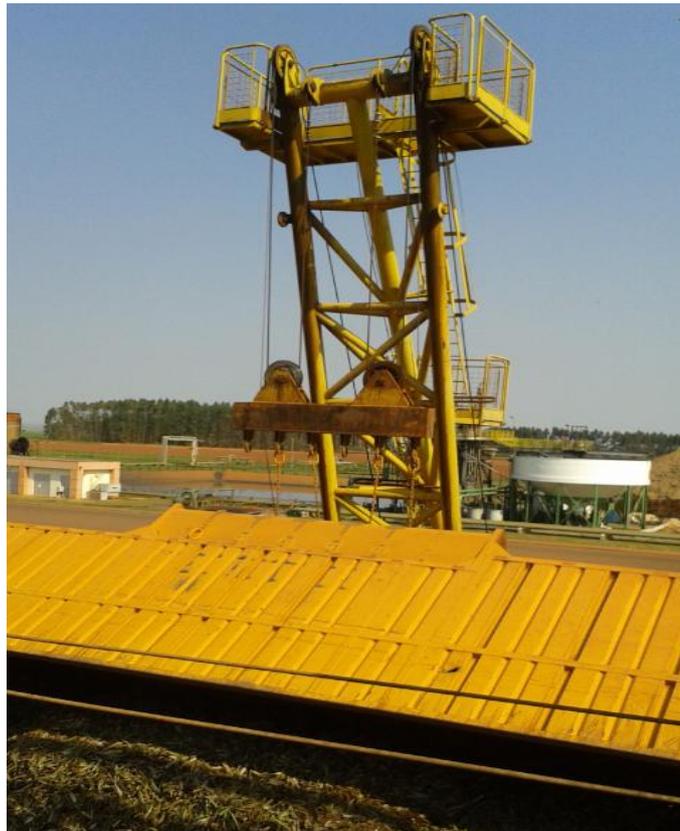
Uma amostra de cana desfibrada proveniente de cada Frente, é separada para análise mineral. Pesa-se 40 gramas da amostra em um cadinho de massa conhecida e coloca-se em uma mufla à 800 °C por um período de duas horas. Depois desse período, espera-se a amostra esfriar e pesa novamente determinando assim a quantidade de mineral presente na cana.

A maior parte da cana recebida na IACO Agrícola S/A é proveniente de fazendas da própria empresa, sendo assim as análises no Laboratório do PCTS é para controle da qualidade das culturas de cana dessas fazendas. Alguns poucos caminhões são de fazendas que não pertencem a IACO e desses caminhões é obrigatório a coleta de amostra, que depois das análises o fornecedor é pago de acordo com o teor de sacarose.

4.1.2 Extração do caldo

Os caminhões são conduzidos até mesa alimentadora onde um hilo (Figura 5) ergue e tomba a caçamba do caminhão despejando a cana nesta mesa. Após, a matéria prima é arrastada por uma esteira até os picadores, que é constituído por um jogo de facas rotativas que tem a finalidade de triturar a cana-de-açúcar. O tambor que têm logo em seguida nivela a cana para passar pelos desfibradores que desintegra os colmos da cana, abrindo as células aumentando a superfície de contato para facilitar a extração do caldo açucarado pelos rolos da moenda.

Figura 5 – Hilo



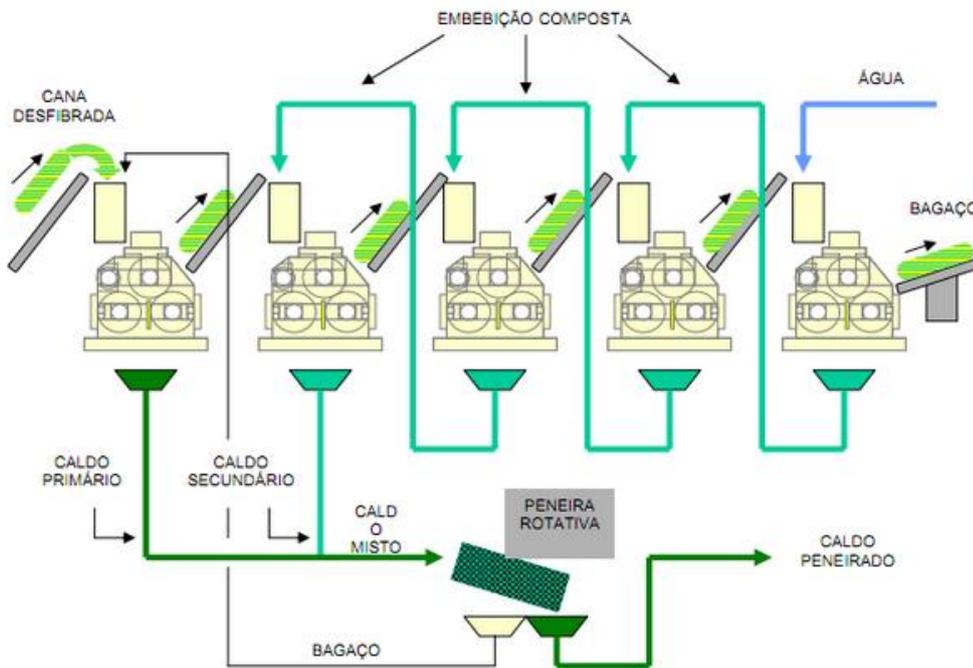
O AUTOR, 2014

Depois de trituração e desfibrada a matéria prima passa por um espalhador para que a cana caia de maneira mais homogênea na esteira que irá conduzir a cana até a moenda. Esta esteira contém um eletroímã responsável por retirar materiais metálicos que podem estar presente junto com a cana.

Na moenda a cana desfibrada é exposta a uma pressão de aproximadamente 250 kg/cm^2 , força que impulsiona a saída do caldo existente no interior células, este processo se repete pelos cinco ternos existentes na moenda.

Os ternos são compostos por quatro rolos (pré-rolo ou rolo de pressão, rolo de entrada, rolo superior e rolo de saída), dispostos em triângulo, de maneira que a fibra seja comprimida duas vezes: entre o rolo superior e o de entrada, e entre o rolo superior e o de saída. Como somente a pressão não remove todo o caldo adiciona-se água (embebição composta) ao bagaço para dissolver e retirar o restante de açúcar. Posteriormente, o caldo é conduzido por gravidade até o setor de tratamento e o bagaço é encaminhado para a alimentação da caldeira por uma esteira metálica. A Figura 6 ilustra a estrutura de uma moenda.

Figura 6 – Estrutura de uma moenda



TECSUCRO, 2014

No primeiro e no quinto ternos são coletadas amostra do caldo para verificar o °Brix e POL. No último terno são coletadas amostras de bagaço para a determinação de umidade e POL.

4.1.3 Tratamento do caldo

O caldo de cana de açúcar apresenta-se como um líquido viscoso, opaco de cor amarela esverdeada, de composição química bastante complexa e variável, contém açúcares, coloides, proteínas, pentosanas, pectinas, gorduras, gomas, ceras, albuminas, silicato coloidal e materiais corantes como clorofila e antocianinas (LIMA, 2012).

Antes de iniciar o tratamento, o caldo é conduzido a uma peneira rotativa para retirada de bagacilhos e impurezas. O tratamento do caldo consiste em várias etapas como aquecimento, adição de hidróxido de cálcio e polímero aniônico e decantação. Essas operações eliminam as substâncias que não foram eliminadas na peneira e poderiam comprometer a sequência do processo.

O caldo misto proveniente da moenda inicialmente sofre um aquecimento por troca de calor com a vinhaça e caldo pré-evaporado passando a ter uma temperatura de aproximadamente 60 °C, mesma temperatura que atinge a vinhaça e o caldo pré-evaporado

ao término da troca de calor (regeneração). O caldo misto aquecido passa então por aquecedores onde atinge a temperatura de 105 °C, recebe solução de hidróxido de cálcio até atingir o pH de 6 a 6,5 e passa a ser denominado de caldo dosado.

O caldo dosado recebe polímero aniônico e é enviado para os decantadores passando antes por um balão de Flasch que é responsável para diminuir a velocidade de entrada do caldo nos decantadores. Depois da decantação o caldo passa por uma peneira para retirada de bagacinhos que ficaram em suspensão e é denominado de caldo clarificado. O caldo clarificado é bombeado para os pré- evaporadores para concentração dos açúcares sendo que a temperatura atingida é de aproximadamente 117 °C. Nessas condições o Brix necessário a próxima etapa é conseguido (18 a 22) e praticamente todas as bactérias são eliminadas. O caldo clarificado e pré- evaporado depois de trocar calor segue para fermentação.

O lodo decantado recebe bagacilho e é enviado para os filtros rotativos a vácuo para filtração. O caldo filtrado retorna para o tanque de dosagem com cal e a torta de filtro é recolhida e armazenada para posterior aplicação na lavoura.

Nos pré- aquecedores a troca de calor ocorre quando o caldo circula em contracorrente com o vapor de água gerado na caldeira. O vapor é então condensado e se não houver contaminação com açúcar retorna para a caldeira. Para verificar se houve contaminação amostra das águas condensadas são recolhidas para fazer testes de alfa-naftol.

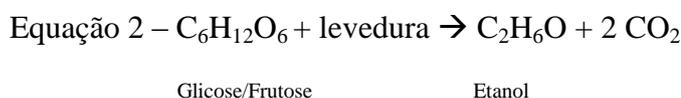
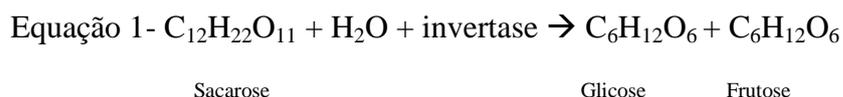
São apanhadas também as seguintes amostras para análise no laboratório industrial: Caldo misto para determinação de Brix, pH, pol, e acidez; Caldo dosado para verificar pH e Brix; Caldo clarificado para determinar Brix, pH, % impureza, pol e transmitância; Caldo filtrado para analisar Brix, pH, % impureza e pol; Caldo pré- evaporado (apenas Brix); Torta de filtro para determinar umidade e pol; Lodo para determinação de % de impureza.

4.1.4 Fermentação

O mosto (caldo clarificado e pré- evaporado) deve ser regenerado, isto é, resfriado à temperatura de 30-33 °C, antes de ser enviado para as dornas de fermentação. Para que consiga o resfriamento utiliza o caldo misto proveniente das moendas e água para circular no interior dos tubos dos trocadores de calor.

A fermentação é conduzida segundo um processo conhecido como *Méle-Boinot* (batelada alimentada com reciclo de fermento). As dornas contendo o fermento recebe o mosto e a fermentação é iniciada de imediato (Nas equação 1 e 2 é demonstrada a reação simplificada de fermentação dos açúcares). Depois que a dorna atinge o nível adequado

(aproximadamente 80%) análises são feitas no intervalo de uma em uma hora para controle de temperatura e verificação do Brix. Quando o valor Brix aproxima-se de zero indicando que praticamente todo o açúcar foi transformado em etanol inicia-se a centrifugação onde o vinho é separado do fermento. O vinho de levedurado é armazenado na dorna volante e em seguida enviado para destilaria e o fermento recebe tratamento ácido na cuba.



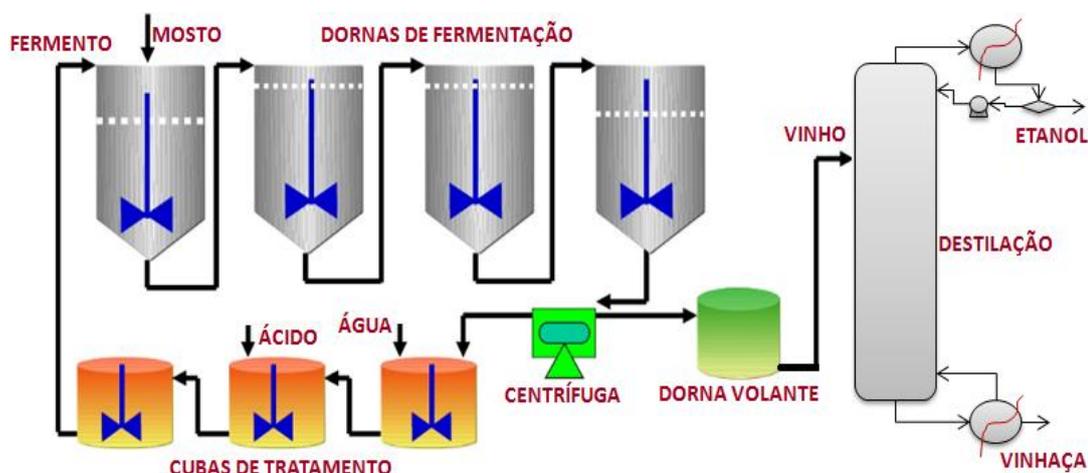
Nas cubas é adicionado uma solução diluída de ácido sulfúrico sobre o leite levedurado até que o pH atinja aproximadamente 2,5. Esse tratamento com ácido têm como objetivo outros microorganismos como bactérias que competem com as leveduras pelo menos durante a fermentação. As cubas geralmente ficam sob agitação de duas a três horas e em seguida o levedo é bombeado para dorna para mais uma batelada de fermentação.

O gás carbônico liberado pela fermentação é encaminhado para uma coluna de CO₂ onde ocorre uma lavagem com água para que moléculas de etanol que podem ter sido arrastadas pelas moléculas de dióxido de carbono possa ser recuperada.

No setor de fermentação são recolhidas amostras para análise em laboratório. Nas amostras do mosto são determinados Brix, pH, pol, acidez e ART. Nas amostras das dornas e das cubas são determinados pH, % de levedo, °GL e acidez (análise de ART é feita na amostra da dorna). Nas amostras da dorna volante são analisadas °GL e % de levedo. Nas amostras de água de lavagem da coluna de CO₂ e centrífugas é realizado análise da % de levedo.

Na Figura 7 é demonstrado um esquema do processo de fermentação com reaproveitamento de fermento.

Figura 7 – Esquema do processo de fermentação



SILVA, 2012

4.1.5 Destilaria

O vinho, mistura hidroalcoólica, que é resultante da centrifugação do mosto fermentado deve ter seu componente de maior interesse, o etanol, separado dos demais componentes por destilação. A destilação é uma operação unitária onde utiliza-se da diferença de temperatura de ebulição para promover a separação dos componentes voláteis de uma mistura líquida e homogênea (FILHO, 2010).

A destilaria é composta por duas colunas e um equipamento de desidratação, sendo que a maioria das usinas brasileiras faz uso de peneiras moleculares. A coluna A ou de destilação produz etanol com teor alcoólico de aproximadamente 60 °GL (flegma) e a coluna B ou de retificação produz etanol com °GL em torno de 96 (etanol hidratado). A peneira molecular desidrata o etanol hidratado produzindo etanol anidro com °GL próximo de 99,5.

4.1.5.1 Etanol hidratado

O vinho com temperatura de aproximadamente 30 °C ao chegar na destilaria passa por um primeiro trocador de calor, onde ocorre troca térmica com o vapor alcoólico que está saindo do topo da coluna B atingindo assim uma temperatura próxima a 70 °C e como consequência o vapor alcoólico é condensado. Em seguida o vinho já pré-aquecido passa por um segundo trocador de calor e atinge uma temperatura de aproximadamente 92 °C devido a troca térmica com a vinhaça (115 °C) que está saindo da base da coluna A.

Depois de trocar calor o vinho entra pelo topo da coluna A e na base desta coluna injeta-se vapor direto para garantir que o álcool existente na mistura vaporize completamente. Na

base da coluna A, retira-se a vinhaça e no topo da mesma coluna retira-se o vapor alcoólico com aproximadamente 60 °GL (denominado flegma). A vinhaça depois de trocar calor nos setores de destilaria e tratamento de caldo é armazenada em uma represa e posteriormente aplicada na lavoura de cana da Usina. Amostras de vinhaça é recolhida para verificar o teor alcoólico (°GL).

O flegma é então alimentado no topo da coluna B e entra em contato com o vapor direto que entra na base da colun. No topo da coluna B é retirado o etanol hidratado ainda na forma vaporizada que ao trocar calor condensa-se e é armazenado em tanques medidores. Na base da coluna é retiado a flegmaça e no meio o óleo fusel, resíduo oleoso composto por álcoois superiores pricipalmente o isoamílico. Amostra da flegmaça é coletada para determinação do teor alcoólico (°GL). A medida que os tanques medidores estão próximos do nível máximo (95 %) amostras são recolhids para verificar o teor alcoólico (°GL e °INPM), acidez, condutividade e pH.

4.1.5.2 Etanol anidro

A destilação pelo método convencional de separação por ponto de ebulição (descrita no item anterior) não consegue separar a mistura etanol-água quando é atingido 97 % de etanol e 3% de água. Nesse percentual a mistura se torna azeotrópica, ou seja, ela possui ponto de ebulição constante e a compoição do vapor é a mesma do líquido de origem, impossibilitando a separação (FIGUEIREDO, 2010). Portanto para produzir etanol anidro (99,3-99,9 °INPM), tem-se que fazer uso de métodos não convencionais como por exemplo peneiras moleculares.

Peneiras moleculares são estruturalmente formadas por zeólitas que apresenta canais e cavidades de dimensões moleculares com diâmetro de aproximadamente 0,3 nm. Esta estrutura confere às zeólitas propriedades de baixa densidade, grande quantidade de espaços vazios, alto grau de hidratação, adsorção de gases e vapores e propriedades catalíticas (SILVA, 2009).

Ao chegar no equipamento de desidratação, o etanol hidratado passa por evaporadores que têm a função de vaporizar a mistura etanol-água. O vapor é então pressionado contra a superfície das zeólitas para que ocorra adsorção seletiva, isto é, as moléculas de água são adsorvidas nas cavidades das zeólitas e as moléculas de etanol, por ter o diâmetro maior que os poros tangenciam superficialmente o material sletivo e é separado das moléculas de água.

A peneira molecular perde eficiência a medida que a quantidade de água adsorvida vai aumentando. Portanto é necessário fazer o regeneramento dos vasos periodicamente submetendo-os á um vácuo. A água removida detém quantidade considerável de etanol e recebe o nome de flegma rico da peneira e é devolvido na coluna B tornando etanol hidratado novamente. O etanol desidratado é armazenado em tanques medidores, dos quais são recolhidas amostras para verificar pH, condutividade, acidez, e teor alcoólico (°GL e °INPM). Do flegma rico amostras são também coletadas para análise do teor alcoólico (°GL e °INPM).

4.1.6 Caldeira

Caldeira é o nome dado ao conjunto de equipamentos responsáveis pela geração do vapor que é utilizado no processo industrial e também enviados aos geradores de energia elétrica que abastece as usinas. Algumas usinas tem energia elétrica em excesso que é vendida gerando mais uma fonte de lucro para a empresa.

A caldeira utilizada na IACO Agricola S/A é do tipo aquatubular, que opera em alta pressão (67 kgf/cm² e 500 °C). O vapor gerado na usina é utilizado para mover todo o setor industrial, porém no processo a temperatura e pressão do vapor necessárias é de 127 °C e 1,5 kgf/cm² respectivamente e para que esses parâmetros seja diminuidos o vapor passa por duas redutoras (a primeira reduz o vapor a temperatura de 360 °C e 32 kgf/cm² e a segunda para os parâmetros desejados).

Nas caldeiras aquatubulares a água passa no interior dos tubos, o que aumenta muito a superfície de aquecimento, e conseqüentemente aumenta a capacidade de produzir vapor. Os tubos são interligados ao balão ou tubulão superior, onde se dá a separação entre a fase líquida e o vapor e ao balão ou tubulão inferior, onde é feita a decantação e purga dos sólidos em suspensão. O tubulão de superior tem seu nível de água controlado em cerca de 50% e o inferior trabalha totalmente cheio de água (FRANCISCO, 2012).

O vapor gerado é utilizado para produção de energia mecânica para acionamento de todos os equipamentos da indústria. E o vapor (vegetal) que sai dos equipamentos é utilizado para o aquecimento de caldos, evaporadores e colunas de destilação. Nas águas condensadas são feitas análises de alfa-naftol para verificar a possibilidade de retorno para a alimentação da caldeira.

As análises físico-químicas são realizadas na água do interior da caldeira, a água de sedimentação (água que lava as fuligens e os gases) da caldeira. Nas amostras são realizadas

as seguintes análises: Na amostra do interior da caldeira analisa-se pH, condutividade, sílica de baixo teor, ferro, dureza e alcalinidade hidróxida e total; na água da sedimentação é analisado pH e na água residuária verifica-se o °Brix.

4.1.7 Estação de tratamento de água (ETA)

Na indústria sucoenergética, assim como em muitas indústrias, a água é um fluido de suma importância a ser aplicado em diversas operações unitárias devido às suas características físico-químicas e sua disponibilidade. Na sua forma líquida pode ser usada em processos industriais como fluido de limpeza, extração, transporte, solubilizante, de aquecimento ou resfriamento. Na forma de vapor, gerado em caldeiras, a água encontra aplicações nos processos de aquecimento em geral. Desta forma, pode-se observar que a água é um dos insumos industriais mais significativos (SILVA^b, 2012).

No entanto a água antes de ser aplicada na indústria necessita de tratamento. A finalidade de tratar a água é eliminar partículas que possam causar encrustações no interior das tubulações comprometendo a eficiência dos processos industriais, além de eliminar micro-organismos patogênicos.

A Estação de Tratamento de Água (ETA) é do tipo compacta acoplada a um sistema de desmineralização de água. A estação compacta é composta por três floccodcantadores e três filtros de areia.

A água é bombeada da caixa de água bruta e antes de entrar nos floccodcantadores passa pelo dispersor hidráulico, que têm função de misturar de maneira rápida os reagentes com a água a ser tratada. Os reagentes serão injetados através de conexões que ficam sobre o misturador. São adicionados solução de hidróxido de sódio (25 % m/v) que é responsável pelo controle de pH (6,2 a 7,5), hipoclorito de sódio (10 % m/v) que elimina grande parte dos microorganismos presentes na água, coagulante (sulfato de alumínio - 48 % m/v) que age em conjunto com polímero (polieletrólito – 0,2 % v/v) e são responsáveis pela decantação dos sólidos em suspensão presentes na água.

Em seguida a água com os reagentes é enviada aos floccodcantadores do tipo tubular sob pressão, decantação acelerada e lodos suspensos, onde acontece a coagulação e decantação dos sólidos suspensos na água. A água entra nos floccodcantadores pela parte inferior para que o colxão de lama decantado auxilie na filtração da água. A retirada dos

lodos é feita quando necessário através de uma descarga de fundo. A água clarificada sai pela parte superior e é conduzida aos filtros.

Nos filtro de areia de dupla ação, água proveniente do decantador é filtrada. Os filtros tem como características principais a filtração no sentido ascendente e descendente (entrada pela parte inferior e superior do filtro e saída pelo meio) pelas camadas de pedregulho e areia.

A eficiência da filtração é acompanhada no intervalo de trinta minutos através da análise de turbidez por um turbidímetro (Figura 8). Quando o valor da turbidez ultrapassa 0,5 NTU é necessário realizar a lavagem do filtro. A limpeza dos filtros é feita invertendo o fluxo de água (contracorrente) pelo acionamento de bombas via COI.

Figura 8 - Turbidímetro



O AUTOR, 2014

A água tratada é armazenada nos tanques de água filtrada e é utilizada em todo o processo da fábrica com excessão da caldeira. São recolhidas amostras da entrada e da saída da estação compacta para verificar pH, condutividade e cloro livre.

A água para utilização na caldeira necessita de um tratamento específico que consiste em desmineralizar a água que deve estar totalmente livre de sais minerais. O sistema de

desmineralização é composto de filtros de carvão ativado (filtros multimídia), osmose reversa e leito misto com resinas de torca iônica.

Nos filtros multimídia são removidos todo ou grande parte dos íons cloretos. Na osmose reversa são adicionados solução de hidróxido de sódio para controle de pH (6,0 a 7,0), sequestrante de cloro (se necessário) para retirada de íons cloretos que possam ter permanecido após a etapa anterior e antibióticos responsáveis pela eliminação de microorganismos que resistiram ao processo de tratamento. O leito misto é constituído por resinas aniônicas e catiônicas que trabalham misturadas para remoção de cátions e ânions que permaneceram após as etapas anteriores de tratamento. A regeneração do leito misto é feita pela passagem de solução de hidróxido de sódio 50 % m/v e ácido clorídrico 32 % v/v.

A água depois de passar por esse sistema está desmineralizada, e então é armazenada no tanque da Desmi de onde amostras para a determinação de sílica de baixo teor são recolhidas.

4.1.7.1 Torres de resfriamento

As aplicações das torres de resfriamento na usina são para o resfriamento da água que circula na destilaria, nos trocadores de calor das dornas de fermentação e no gerador de energia elétrica a vapor.

Nas torres de resfriamento também são adicionados produtos químicos (dispersantes inorgânicos, dispersantes orgânicos e inibidor de corrosão).

Amostras das águas da destilaria são coletadas para verificação do pH, condutividade, dureza, alfa-naftol, sílica de alto teor, cloro, alcalinidade total e °Brix (no caso da destilaria).

4.2 Descrição das análises realizadas no Laboratório Industrial

Laboratório onde são feitas análises qualitativas e/ou quantitativas físico-químicas para monitoramento do processo industrial. Os resultados servem para entender e acompanhar o que está ocorrendo em cada etapa do processo.

4.2.1 Determinação do °Brix

A medida do ° Brix é a análise feita em um refratômetro (Figura 9) que indica a quantidade de sólidos solúveis presente em uma solução de açúcares.

Figura 9 - Refratômetro



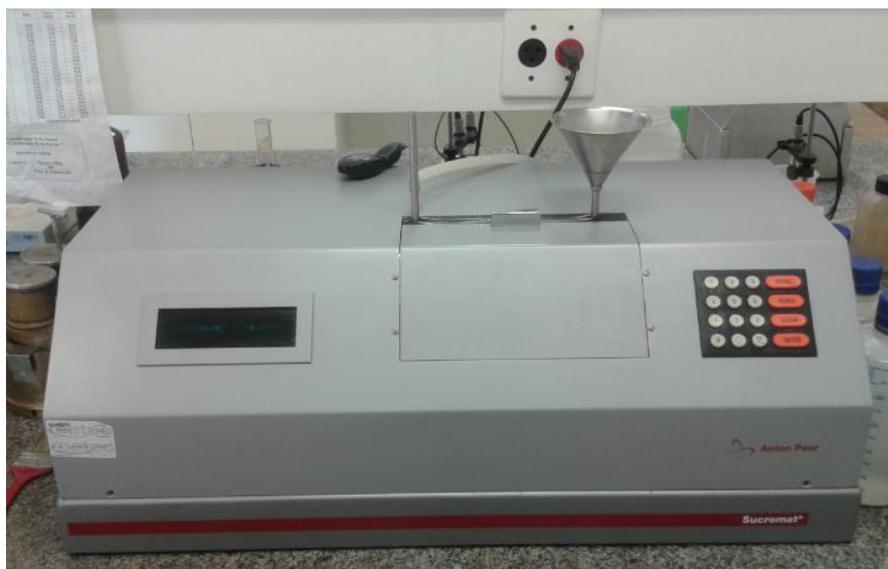
O AUTOR, 2014

Amostras nas quais se determina o ° Brix são caldo do 1° terno, caldo do 5° terno, caldo misto, caldo dosado, caldo clarificado, caldo filtrado, caldo pré-evaporado, mosto.

4.2.2 Determinação da POL

A POL é a quantidade aparente de sacarose em uma solução e é determinada através do valor obtido da leitura sacarimétrica passando-se as amostras por um equipamento de luz polarizada (Sacarímetro – Figura 10).

Figura 10 - Sacarímetro



O AUTOR, 2014

A determinação da POL é realizada no bagaço caldo do 5º terno, no caldo do 1º terno, no caldo misto, no caldo clarificado, no caldo filtrado, no mosto e na torta de filtro.

4.2.3 Determinação de AR e ART

A determinação dos açúcares redutores (AR) é feita no caldo misto. Em aproximadamente 500 mL da amostra é adicionado 1 g de oxalato e 2 g de celite com posterior filtração em algodão. O filtrado é colocado em bureta de 50 mL e procede-se a titulação onde o titulante é uma mistura de 5 mL de uma solução sulfato de cobre II (Solução de Fehling A) e 5 mL de uma solução de tartarato duplo de sódio e potássio (Solução de Fehling B) que ficam contidos em um determinador de açúcares redutores. A titulação é interrompida quando a solução titulante de coloração azul muda para vermelho tijolo, após é adicionado 2 gotas de azul de metileno o que reestabelece a coloração azul e continua-se a titulação até que a cor mude novamente para vermelho tijolo. Através do volume gasto da bureta determina-se a quantidade de açúcares redutores.

As amostras em que são feitas a análise de açúcares redutores totais são provenientes do mosto antes de início da fermentação e dorna morta (final da fermentação). As análises são semelhantes a descrita para açúcar redutor do caldo misto, porém antes da titulação é necessário hidrolisar as amostras em ácido clorídrico em aproximadamente 1 minuto em um microondas. Após a hidrólise neutraliza-se as soluções com hidróxido de sódio (na mesma concentração do ácido) e procede a titulação.

4.2.4 Determinação de pH

Faz-se uso de um pHmetro digital para medida do pH que é determinado nas seguintes amostras: Caldo misto, caldo dosado, caldo clarificado, caldo filtrado, mosto, dorna, cuba, água da entrada e da saída da ETA, água da coluna catiônica e aniônica, água condensada dos pré-evaporadores, água da caldeira, água do tanque da Desmi, água das torres de resfriamento e etanol hidratado.

4.2.5 Determinação de condutividade

A determinação de condutividade é realizada com auxílio de um condutímetro. As amostras em que são medidas a condutividade são água da entrada e da saída da ETA, na água do tanque da Desmi, água da coluna catiônica e aniônica, água condensada do pré-

evaporadores, água da caldeira, água das torres de resfriamento, etanol anidro e etanol hidratado.

4.2.6 Determinação de acidez

Para verificar a acidez do etanol, deposita-se em um elernmeyer 50 mL de água, goteja de 2 a 3 gotas do indicador alfa-naftol e titula-se a amostra com NaOH 0,02 N até a viragem de incolor para o azul claro. Após isso adiciona-se 50 mL da ampstra de álcool, que deixa a solução incolor novamente procede com a titulação até que a solução volte a azul claro. Os alcóois em que são analisados a acidez são hidratado e flegma rico.

Na análise de acidez do caldo misto e do mosto adiciona em um béquer 20 mL da amostra somado a 50 mL de água deionizada e procede uma titulação onde o titulante é NaOH 0,1 N com auxílio de um pHmetro até que o pH atinja 8,50.

4.2.7 Determinação % de impureza e concentração de levedo

A impureza e concentração de levedo é determinada colocando-se 100 mL da amostra em um tubo de centrífuga e procede-se a centrifugação por 5 min e mede-se a porcentagem de impureza através da quantidade de matéria decantada. As amostras em que são verificada a impureza são caldo clarificado e lodo dos decantadores. A concentração de levedo é analisada no vinho e leite de levedura das centrífugas, na amostra dorna de fermentação e da cuba.

4.2.8 Determinação de teor alcóolico

Nesta análise usa-se um microdestilador para destilar o etanol presente nas amostras através do arraste de vapor. E posteriormente, utiliza-se um densímetro digital (Figura 11), onde é determinada a densidade da solução hidroalcoólica condensada e, a partir desse valor o equipamento calcula e fornece o teor alcóolico da amostra, expresso em v//v (°GL) e em m/m (°INPM).

Figura 11 - Densímetro



O AUTOR, 2014

Amostras que são determinadas o teor alcoólico: dorna, dorna volante, cuba, vinhaça do aparelho de 500 e 600, flegmaça do aparelho de 500 e 600, solução aquosa de CO₂, condensado da peneira, álcool anidro e álcool hidratado.

4.2.9 Análise de umidade

A umidade é determinada pesando-se as amostras antes e depois de colocá-las em estufa a 100 °C por 1 hora. As amostras em que determina-se a umidade são o bagaço do último terno e torta de filtro.

4.2.10 Determinação da dureza em águas

Em 50 mL da amostra adiciona-se 2 gotas de negro de eriocromo T e verificar a coloração da solução, se azul significa que não tem dureza, se rosa significa presença de dureza. Se a amostra tiver dureza é necessário fazer uma titulação de complexação com EDTA até viragem para azul. Através do volume gasto determina-se a dureza total da amostra de água. As amostras em que se determina a dureza são água da ETA, da caldeira e das torres de resfriamento.

4.2.11 Determinação de cloro livre nas águas

Na determinação de cloro adiciona-se algumas gotas de fenolftaleína em um béquer contendo 5 mL da amostra. Se a amostra se tornar rósea adicionar ácido sulfúrico 10 N até a neutralização. Colocar 2 gotas de cromato de potássio e titular com solução de nitrato de

prata até primeira mudança precipitável de cor (amarelo para amarelo tijolo). Através do volume gasto determina-se a quantidade de cloreto. As amostras em que são determinada a quantidade de íons cloreto são água da ETA e torres de resfriamento.

4.2.12 Determinação SiO₂

A determinação de sílica é feita na água da ETA e da caldeira. Em 50 mL da amostra adiciona-se 1 mL de molibdato de sódio, após 4 minutos coloca-se 1 mL de ácido cítrico e em seguida 1 mL de aminoácido F e procede-se leitura de transmitância em espectrofotômetro (Figura 12), que através da curva de calibração fornece a concentração de sílica nas amostras.

Figura 12 - Espectrofotômetro



O AUTOR, 2014

4.2.13 Determinação de açúcares em águas condensadas dos pré-evaporadores

Com uma alíquota de aproximadamente 5 mL das amostras de água se adiciona ácido sulfúrico concentrado e 3 a 4 gotas de indicador alfa-naftol. Se formar um anel lilás, a solução contém açúcar, e se o anel formado tiver coloração amarela indica que a amostra não contém açúcar.

4.2.14 Determinação de alcalinidade hidróxida e total das águas

Em 50 mL de amostra adiciona-se 4 a 5 gotas de indicador metil-orange e procede titulação com solução de carbonato de sódio 0,02 N até o aparecimento de um coloração levemente avermelhada. Anota-se o volume gasto da bureta e através deste calcula-se a alcalinidade total na amostra.

4.2.15 Determinação de ferro nas águas

Para análise de ferro adiciona-se 50 mL da amostra em um béquer e 1 mL de ácido nítrico P.A e coloca-se em chapa de aquecimento por 15 minutos. Após resfriamento ajusta-se o pH para 3,5 e em uma alíquota de 10 mL adiciona-se um sachê de reagente TPTZ (Metassulfito de sódio e hidrossulfato de sódio) e procede leitura de transmitância em espectrofotômetro que através da curva de calibração fornece a concentração de ferro nas amostras. A quantidade de ferro é analisada nas águas condensadas dos pré- evaporadores, caldeira e torres de resfriamento.

5 CONTRIBUIÇÕES DO ESTÁGIO PARA A FORMAÇÃO PROFISSIONAL

Durante a realização do estágio foi possível correlacionar grande parte da teoria passada em sala de aula com a prática. Foi possível compreender o processo produtivo de etanol desde a chegada da matéria prima na indústria. No laboratório Industrial realizou-se as análises de controle de qualidade de todas as etapas do processo e percebeu-se que tais análises são de suma importância para tomadas de decisões para manutenção ou correção do processo produtivo.

No processo acompanhou-se a fabricação de etanol e geração de energia elétrica de modo a entender e compreender a sequência das etapas. Observou-se que as diferentes formas assumidas pela matéria prima durante o processo produtivo proporciona a interpretação de parâmetros que possibilitam o desenvolvimento de estratégias para evitar e/ou mitigar problemas que possam surgir dentro do parque industrial.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização do Estágio Curricular Supervisionado Obrigatório na empresa IACO Agrícola S/A proporcionou uma nova experiência que agregou conhecimento e permitiu fazer uma relação muito importante entre os conhecimentos teóricos adquiridos durante a graduação com a prática dentro do campo industrial.

Acompanhar as tomadas de decisões para resolução de imprevistos que surgem a todo momento dentro do processo produtivo e o convívio com profissionais de grande experiência foram de grande relevância, pois contribuíram para início da carreira profissional de Químico Industrial.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BORGES, J. M. M. Álcool combustível: Consolidação do mercado interno e estratégia para criar o mercado externo. In CORTEZ, L. A. Bioetanol De Cana-De-Açúcar: P&D para Produtividade E Sustentabilidade,. 1. Ed. São Paulo: Blucher, 2010, P. 128.

CALTAROSSO, F. Análises de tensões em equipamentos de moagem da cana de açúcar usando o método dos elementos finitos. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 2008.

CORTEZ, L. A. Estratégias de políticas públicas para o etanol. In CORTEZ, L. A. Bioetanol De Cana-De-Açúcar: P&D para Produtividade E Sustentabilidade,. 1. Ed. São Paulo: Blucher, 2010, P. 5.

FIGUEIREDO, E. M. O. Processos de desidratação do álcool. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2010.

FILHO, L. A. B. O. Cooperação internacional na produção de etanol: limites e oportunidades. Universidade de São Paulo, Campinas, SP, 2010.

FRANCISCO, R. P. Estudo termoquímico da queima de combustíveis em caldeiras usando balanços de energia. Tese de mestrado, Universidade Federal de São João Del Rei, São João Del Rei, MG, 2012.

LIMA, R. B. **Processo de clarificação do caldo de cana de açúcar aplicando elétrons acelerados.** Tese de mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2012.

LEHNINGER, A. L., NELSON, D. L., COX, M. M. **Princípios de Bioquímica.** São Paulo, Sarvier, 1995.

MACEDO, R. S. **Evolução do processo de produção de açúcar no setor sucroenergético no Brasil.** Araçatuba SP, 2013.

MENEGUETTI, C. C., MEZARROBA, S., GROFF, A. M. **Processos de produção do álcool etílico de cana-de-açúcar e os possíveis reaproveitamentos dos resíduos resultantes do sistema.** Campo Mourão, PR, 2010.

NOVA CANA. **Cana de açúcar.** Disponível em <<http://www.novacana.com/cana-de-acucar/>> Acesso em 6 de setembro de 2014.

OLIVEIRA, L. M., SERRA, J. C.V., MAGALHÃES, K. B. **Estudo comparativo das diferentes tecnologias utilizadas para produção de etanol,** Palmas, TO, 2012

SILVA, G. K. **Avaliação da ação de diferentes antibióticos sobre o crescimento de microrganismos contaminantes do processo fermentativo para a obtenção do etanol.** Faculdade de Tecnologia de Araçatuba, Araçatuba, SP, 2010 .

SILVA^a, I. S. S. **Simulação dinâmica do processo de destilação de bioetanol em simulador baseado em equações (emso).** Tese de Mestrado, Univesidade Federal São Carlos, São Carlos, SP, 2012.

SILVA^b, J. W. P., TORREZÃO, M. E. **Estudo sobre a utilização do policloreto de alumínio para a garantia da qualidade das águas de processo no setor sucroalcooleiro.** Universidade Federal Uberlândia, Uberlândia MG, 2012.

SILVA, M. L. P. **Síntese e caracterização de peneiras moleculares mesoporosas do tipo MCM-41 e AIMCM-41 a partir de fontes alternativas de sílica e de alumínio.** Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2009.

TECSOCRO. **Processo de extração de caldo por moendas.** Disponível em <<http://tecsucro.com.br/2013/07/processo-de-extracao-de-caldo-por.html>> Acesso em 26 de outubro de 2014.

TOPPA, E. V. B., JADOSKI, C. J., JULIANETTI, A., HULSHOF, T., ONO, E.O., RODRIGUES, J.D. **Aspectos da fisiologia de produção da cana-de-açúcar (*Saccharum Officinarum* L.)**, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, SP, 2010.

REIS, L. N. G. **Mapeamento da expansão da cana-de-açúcar na mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba-MG por meio de Imagens TM/ Landsat.** Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2010.

RODRIGUES, L. D. **A cana-de-açúcar como matéria-prima para a produção de biocombustíveis: impactos ambientais e o zoneamento agroecológico como ferramenta para mitigação.** Universidade Federal de Juiz de fora, Juiz de Jora, MG, 2010.