

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

ELLIEL GARCIA DE SOUZA BARROS

**PRODUÇÃO DE ETANOL:
LABORATÓRIO E PROCESSO INDUSTRIAL**

**DOURADOS
2012**

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

ELLIEL GARCIA DE SOUZA BARROS

**PRODUÇÃO DE ETANOL:
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 Eng. Agrônomo Carlos Afonso
Magalhães Galindo e orientação da Prof.^a Dr.^a
Eng.^a Química Leila Cristina Konradt Moraes.*

**DOURADOS
2012**

BANCA EXAMINADORA

Leila Cristina Konradt Moraes
Professora da disciplina de ECSO II (Orientadora)

Gilberto José de Arruda
Professor da disciplina de ECSO II

Jandira Aparecida Simoneti
Professora da disciplina de ECSO II

Marcelina Ovelar Solaliendres
Professora da disciplina de ECSO II

Dourados, 29 de novembro de 2012.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha mãe, a Sr^a Divina, pelo incentivo, pela dedicação, pelos telefonemas que me acalmavam nos momentos mais difíceis e por tudo que fez e está disposta a fazer por mim. Agradeço ao meu pai, o Sr. Elliel, que apesar da distância sempre se esforçou para participar da minha educação e minha vida.

Agradeço às minhas três irmãs que são minhas inspirações e meus orgulhos, (Evelyn, Laísa e Lalyer). Agradeço à minhas avós (Maria e Alzira), aos tios e primos que em geral sempre me apoiaram e incentivaram a continuar estudando apesar das dificuldades que surgiam.

Não poderia me esquecer de agradecer aos meus amigos de república: Aline, Júlio e Simone. Este período de estágio fez com que nos distanciássemos mais cedo que o previsto, infelizmente este momento chato chegou antes. Agradeço ao Elton Luís que não me abandonou apesar da distância.

Agradeço aos meus amigos de curso (Bibiana, Anderson, Heloíza, Herisson, Mariana Miguel, Afonso, Giovanna e Camila). Agradeço a Mariana Sidel que me suportou além da sala de aula, mas também no período de estágio. Agradeço também aos outros estagiários (Bruna e Cauê) pela troca de conhecimentos e não terem me deixado *forever alone* nos horários de almoço.

Agradeço a IACO Agrícola S/A por me receber de portas abertas, contribuindo grandemente em minha formação. Ao Carlos Galindo que fez o possível para se dedicar a supervisão de seus estagiários. Ao João Bosco e sua equipe do laboratório por me receberem e compartilhar seus conhecimentos.

Agradeço também aos professores que nos acompanharam nestes anos. Agradeço às professoras Marcelina e Jandira por se dedicarem ao curso de Química Industrial. Agradeço à minha orientadora, Prof^a. Leila pela orientação e paciência que teve comigo, tanto na orientação quanto nas aulas ministradas, eu sei que sou chato (risos).

E finalmente agradeço à UEMS, onde passei muitas alegrias e sufocos juntamente com meus amigos.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	v
RESUMO.....	vi
1 INTRODUÇÃO.....	7
1.1 O Papel do Químico Industrial.....	7
1.2 O Setor Sucroalcooleiro.....	8
1.3 Cana-de-açúcar.....	9
1.4 Etanol.....	10
1.5 Laboratório Industrial.....	11
2 OBJETIVOS.....	13
2.1 Gerais.....	13
2.2 Específicos.....	13
3 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA.....	14
3.1 Histórico da Empresa.....	14
4 DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS NO ESTÁGIO.....	15
4.1 Descrição Geral.....	15
4.2 Processo Industrial.....	16
4.2.1 Recepção de cana.....	16
4.2.2 Moenda.....	17
4.2.3 Tratamento de caldo.....	20
4.2.4 Fermentação.....	23
4.2.5 Destilaria.....	25
4.3 Utilidades Industriais.....	28
4.3.1 Tratamento de água.....	28
4.3.2 Caldeira.....	31
4.3.3 Gerador de energia.....	32
4.3.4 Tratamento de efluentes.....	32
4.3.5 Torres de resfriamento.....	33
4.4 Atividades no laboratório industrial.....	34
5 CONTRIBUIÇÕES DO ESTÁGIO PARA A FORMAÇÃO PROFISSIONAL.....	43
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	44
7 REFERÊNCIAS.....	45
ANEXO I – FLUXOGRAMA PARA PRODUÇÃO DE ETANOL.....	48
ANEXO II – ANÁLISES DO LABORATÓRIO.....	49
ANEXO III – DECLARAÇÃO DE CONCLUSÃO DE ESTÁGIO.....	52
ANEXO IV – TERMO DE COMPROMISSO.....	53
ANEXO V – PLANO DE ATIVIDADES DE ESTÁGIO.....	58

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Composição química da cana-de-açúcar.....	10
FIGURA 2 - Produtos e subprodutos da indústria de álcool.....	15
FIGURA 3 - Sonda oblíqua.....	16
FIGURA 4 - Prensa hidráulica.....	17
FIGURA 5 - Esquema da mesa alimentadora.....	18
FIGURA 6 - Esquema das facas picadoras.....	18
FIGURA 7 - Esquema a desfibragem de cana-de-açúcar.....	18
FIGURA 8 - Esquema dos rolos de um terno.....	18
FIGURA 9 - Esquema da passagem do bagaço de um terno para outro.....	19
FIGURA 10 -Bagaço.....	19
FIGURA 11 -Armazenamento de bagaço.....	19
FIGURA 12 -Filtro rotativo.....	20
FIGURA 13 -Regenerador (trocador de calor do tipo placas).....	20
FIGURA 14 -Balões flash.....	21
FIGURA 15 -Decantador convencional.....	22
FIGURA 16 -Filtros rotativos à vácuo.....	23
FIGURA 17 -Esquema do pré-evaporador.....	23
FIGURA 18 -Setor da fermentação.....	24
FIGURA 19 -Centrífugas.....	25
FIGURA 20 -Esquema de destilação e retificação.....	26
FIGURA 21 -Vaso de uma peneira molecular e zeólitas.....	27
FIGURA 22 -Esquema de uma ETA compacta.....	28
FIGURA 23 -ETA compacta.....	29
FIGURA 24 -Equipamento de osmose reversa.....	30
FIGURA 25 -Esquema ilustrativo de uma membrana utilizada no processo de osmose reversa.....	30
FIGURA 26 -Esquema de uma caldeira aquatubular vertical.....	31
FIGURA 27 -Partes do tratamento de água de fuligem.....	33
FIGURA 28 -Torres de resfriamento.....	34
FIGURA 29 -Determinador de Brix refratométrico.....	34
FIGURA 30 -Sacarímetro.....	35
FIGURA 31 -Digestor de bagaço.....	35
FIGURA 32 -Aparelho Redutec.....	36
FIGURA 33 -Centrífuga de bancada.....	36
FIGURA 34 -Microdestilador Kjeldahl.....	37
FIGURA 35 -Densímetro digital.....	37
FIGURA 36 -Estufa Spencer.....	39
FIGURA 37 -Espectrofotômetro UV/Vis.....	39

RESUMO

Este relatório descreve as atividades desenvolvidas no Estágio Curricular Supervisionado Obrigatório II realizado na empresa IACO Agrícola S/A, no período de 01 de agosto a 14 de novembro de 2012. Empresa esta que faz parte do ramo sucroalcooleiro com a produção de etanol, energia e subprodutos. O trabalho do estágio foi acompanhar o processo industrial bem como as atividades realizadas no laboratório, desde a recepção da matéria-prima (cana-de-açúcar) até a obtenção do etanol e subprodutos. Durante a execução das atividades foi possível acompanhar também o tratamento e a destinação dos efluentes e subprodutos gerados. No decorrer do processo foi possível verificar as diversas operações unitárias envolvidas até a obtenção dos produtos desejados. Ainda, observar que as análises físico-químicas são realizadas em amostras coletadas em pontos estratégicos, para que assim seja assegurado o controle de qualidade dos produtos e do processo. Assim, o estágio permitiu que todas as atividades propostas fossem desenvolvidas com sucesso, ampliando os conhecimentos do estagiário no ramo sucroalcooleiro e possibilitando a visualização na prática dos conceitos estudados na Universidade.

PALAVRAS-CHAVE: Cana-de-açúcar; Etanol; Bioenergia; Controle de qualidade.

1 INTRODUÇÃO

O presente relatório de estágio foi elaborado no âmbito da disciplina de Estágio Curricular Supervisionado Obrigatório II, com vista à conclusão da Graduação em Química Industrial da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, sendo desenvolvido na Indústria de Álcool e Açúcar de Centro-Oeste (IACO Agrícola S/A), durante três meses e meio, totalizando 420 horas de estágio.

1.1 O Papel do Químico Industrial

É atribuição do químico industrial desenvolver produtos e tecnologias para a indústria, avaliar a viabilidade técnica e econômica de processos de fabricação e gerenciar a linha de produção, coordenando a instalação e a manutenção de equipamentos e aperfeiçoar produtos que passem por tratamento químico (GUIA DO ESTUDANTE, 2012).

O profissional da química trabalha em todos os tipos de indústrias, por uma razão muito simples: o mundo material é formado por elementos e substâncias químicas, isso inclui desde itens básicos como a água, o ar e a terra, e também produtos de consumo obtidos por processos industriais extremamente necessários para a sobrevivência, como alimentos, bebidas, produtos de higiene, produtos para a agricultura, combustíveis, dentre muitos outros.

O químico pode trabalhar não só nos laboratórios, mas em todas as atividades que exigem o acompanhamento de um profissional. Estas atividades envolvem: projeto, planejamento e controle de produção; desenvolvimento de produtos; operações e controle de processos químicos; saneamento básico; tratamento de resíduos industriais; segurança; gestão de meio ambiente e, em alguns casos específicos, vendas, assistência técnica, planejamento industrial e até direção de empresas. Sem dizer que a chamada química forense tem sido uma grande aliada dos investigadores para a solução de crimes (CRQ 4, 2012).

1.2 O Setor Sucroalcooleiro

Desde que foi trazida para o Brasil, a cana-de-açúcar tem tido importante papel na economia nacional, sendo o país o maior produtor mundial em 2007, seguido por Índia e Austrália. Da matéria-prima, cana-de-açúcar, produz-se açúcar, etanol anidro (aditivo para gasolina) e etanol hidratado para os mercados interno e externo, com demandas e dinâmica de preços diferentes (VIEIRA *e.al.*, 2007).

A cultura da cana-de-açúcar espalha-se pelo Centro-Sul e pelo Norte Nordeste do país em dois períodos de safra. No Centro-Sul, a colheita concentra-se no período de abril/maio a novembro/dezembro de um mesmo ano. Já na região Norte-Nordeste, a colheita concentra-se no período de agosto/setembro de um ano até março/abril do ano seguinte.

Principal produtor e exportador de açúcar e etanol do mundo, o Brasil tem o menor custo de produção entre os principais competidores do mercado internacional, além de liderar o conhecimento da biotecnologia da cana, junto com a Austrália e a África do Sul (VIEIRA *et al.*, 2007).

Vieira e colaboradores (2007) afirmam que nesse contexto, o Brasil se destaca por acumular experiência de trinta anos no uso do bioetanol como fonte alternativa de combustível “limpo” e por ser o primeiro país a utilizá-lo em larga escala, diretamente como combustível ou através da adição compulsória de etanol anidro à gasolina, atualmente em 20%. Mais recentemente, destaca-se a comercialização de veículos médios movidos a álcool ou gasolina, os bicombustíveis ou *flex fuel*.

Com a expansão do setor canavieiro, nestes últimos anos, Mato Grosso do Sul foi o segundo Estado do Brasil que mais recebeu unidades agroindustriais, segundo o Jornal Cana (ALSEMI, 2008).

É notória a introdução e expansão da cultura da cana-de-açúcar no território sul-mato-grossense. No Estado, observa-se o crescimento da produção em toneladas de cana moída desde a primeira safra até os últimos anos quando, segundo a CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento) e a UDOP (União dos Produtores de Bioenergia), na safra de 1984/1985 a produção foi de 2,4 milhões de toneladas e 28,8 milhões de toneladas na safra 2009/2010. Além das canas moídas,

segundo o terceiro levantamento do mês de dezembro/2009 realizado pela Conab, o Mato Grosso do Sul apresentou um crescimento de 19% de área plantada de cana-de-açúcar, passando de 275,8 mil em 2008 para 328,2 mil hectares em 2009. Assim, no que diz respeito a todo o território brasileiro, a expansão da cana-de-açúcar no Mato Grosso do Sul ficou atrás apenas do Estado de Goiás que cresceu 29,5% (DOMINGUES, 2010).

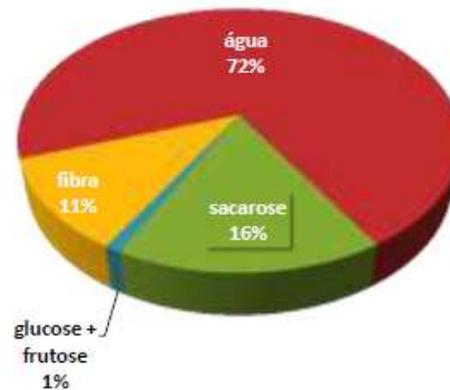
A previsão do total de cana moída na safra 2012/13 é de 596,63 milhões de toneladas, com aumento de 6,5% em relação à safra 2011/12, que foi de 560,36 milhões de toneladas, significando que a quantidade que será moída deve ser 36,3 milhões de toneladas a mais que na safra anterior. O Mato Grosso do Sul é responsável por aproximadamente 6,5% da cana produzida no Brasil, nesta safra o total colhido no estado será em torno de 38,8 milhões de toneladas (CONAB, 2012).

1.3 Cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é uma planta que pertence ao gênero *Saccharum* L.. Há pelo menos seis espécies do gênero, sendo a cana-de-açúcar cultivada um híbrido multiespecífico, recebendo a designação *Saccharum* spp. As espécies de cana-de-açúcar são provenientes do Sudeste Asiático. A planta é a principal matéria-prima para a fabricação do açúcar e etanol (MAGRO *et.al*, 2011).

É uma planta da família Poaceae, representada pelo milho, sorgo, arroz e muitas outras gramas. As principais características dessa família são a forma da inflorescência (espiga), o crescimento do caule em colmos, e as folhas com lâminas de sílica em suas bordas e bainha aberta (WIKIPÉDIA, 2012).

A composição química do colmo da cana-de-açúcar, em média, apresenta as seguintes porcentagens de sacarose, fibra e água (Figura 1).

FIGURA 1 – Composição química da cana-de-açúcar.

Fonte: FERNANDES, 2003.

1.4 Etanol

O etanol ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$), também chamado álcool etílico e, na linguagem corrente, simplesmente álcool, é uma substância orgânica obtida da fermentação de açúcares, hidratação do etileno ou redução do acetaldeído, encontrado em bebidas como cerveja, vinho e aguardente, bem como na indústria de perfumaria. No Brasil, tal substância é também muito utilizada como combustível de motores de explosão, um mercado em ascensão para um combustível obtido de maneira renovável, sendo proveniente de uma indústria de química de base, sustentada na utilização de biomassa de origem agrícola e renovável (WIKIPÉDIA, 2012).

O etanol é o mais comum dos álcoois. Os álcoois são compostos que têm grupos hidroxila ligados a átomos de carbono sp^3 . Podem ser vistos como derivados orgânicos da água em que um dos hidrogênios foi substituído por um grupo orgânico (WIKIPÉDIA, 2012).

Os automóveis que circulam no Brasil usam dois tipos de etanol combustível: o hidratado, consumido em motores desenvolvidos para este fim, e o anidro, que é misturado à gasolina, sem prejuízo para os motores, em proporções variáveis. Em julho de 2007, com a publicação da Portaria nº 143 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, toda gasolina vendida no Brasil passou a conter 25% de etanol combustível anidro (ANP, 2011), o que foi praticado até setembro de 2011, quando a Portaria nº 678 alterou esse valor para 20%, visando o não desabastecimento do mercado.

Para combater fraudes - tais como a adição de água ao etanol anidro para ser vendido como hidratado (mistura conhecida como “álcool molhado”) – a ANP estabeleceu, por meio da Resolução nº 36/2005, revogada pela Resolução ANP nº 7/2011, a obrigatoriedade de adição de corante de cor laranja ao etanol anidro no momento em que é efetuado o carregamento do caminhão que o transportará. Como o etanol hidratado é incolor, o corante denuncia se houver presença do anidro irregularmente misturado. Com a medida, o índice de não conformidade no etanol caiu de 3,8% em 2006 para 2,2% em 2010 (ANP, 2011).

1.5 Laboratório Industrial

De acordo com Galindo Junior (2012), uma unidade industrial prioriza ser uma empresa rentável, proporcionando um retorno compatível com os investimentos realizados sendo que, uma maior rentabilidade geralmente está relacionada com uma produtividade mais elevada – com otimização do processo. Em todos os processos produtivos, os setores envolvidos têm suas particularidades, sendo fundamentais para a unidade industrial como um todo. Dentre estes, destacam-se os laboratórios de controle de qualidade que, em meio a outras atividades, tem como objetivo avaliar a qualidade da matéria prima, monitorar os processos produtivos através das análises de produtos intermediários e subprodutos, quantificar as perdas do processo e avaliar a qualidade do produto final.

O conjunto de operações de medidas, análises e cálculos realizados sobre as diversas fases do processo constituem o que se denomina Controle Físico-Químico. Para o complexo industrial o controle físico-químico permite:

- Orientar operacionalmente todos os processos necessários à produção;
- Manter um arquivo de dados compondo o histórico da unidade, que servirá para assessorar a gerência da empresa nas tomadas de decisão;
- Através do histórico da unidade, calcular e analisar os dados obtidos em relação ao desempenho da unidade industrial, o que mostrará o caminho a seguir nas próximas semanas, meses e/ou safra (GALINDO JUNIOR, 2012).

Ainda de acordo com o autor, as diversas operações necessárias para realizar o controle físico-químico estão a cargo do laboratório industrial, que deverá ter os recursos humanos e materiais compatíveis com a responsabilidade. De um modo geral, podemos citar como pontos fundamentais a existência de um perfeito sistema de amostragem, frequência de amostragem, equipamentos modernos, práticos e confiáveis e equipe técnica competente e confiável.

Os principais controles sobre o processo sucroalcooleiro são a qualidade da matéria-prima, operações, balanço material (balanço de açúcar redutor total) e a qualidade do produto final.

2 OBJETIVOS

2.1 Gerais

Permitir a aproximação do acadêmico com situações que correlacionem teoria e prática, visando à consolidação dos conhecimentos e habilidades nas ações profissionais.

2.2 Específicos

Compreender o processamento da cana-de-açúcar até a obtenção do álcool etílico.

Acompanhar e compreender as análises efetuadas no laboratório industrial de controle de qualidade e quando possível, praticar tais análises.

Vivenciar a rotina industrial buscando a aproximação com a realidade de problemas enfrentados e responsabilidades atribuídas ao químico industrial.

3 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA

A empresa IACO Agrícola S/A é uma indústria de transformação do ramo sucroalcooleiro, onde é produzido álcool etílico (hidratado e anidro), autossuficiente na produção de energia elétrica a partir da queima de biomassa (bagaço). Localizada na rodovia MS 425, km 31 no município de Chapadão do Sul, MS.

A IACO Agrícola S/A esmaga aproximadamente 12 mil toneladas de cana e produz, em média, 1,1 milhões de litros de etanol (total) por dia.

3.1 Histórico da Empresa

Em 1979 os Srs. Sady e Paulo Schmidt conheceram a região do Pouso Frio, então pertencente à comarca de Paranaíba. Por intermédio do Sr. Júlio Alves Martins foi oferecida a eles uma gleba de terras do Sr. Ivo Alves Pereira. Essas terras tinham duas nascentes, cabeceira do Anta e cabeceira da Serra que formavam o córrego Ribeirão, que mais tarde veio a dar o nome de Fazenda Ribeirão.

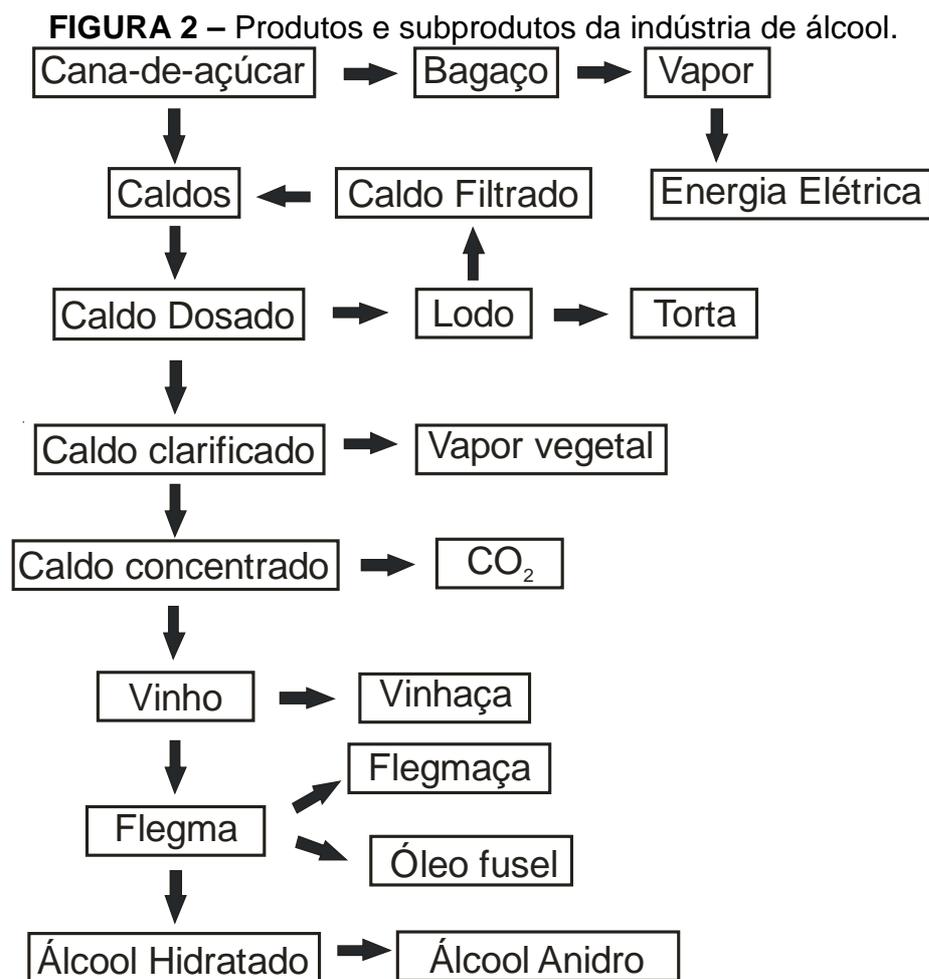
Em 1980, a Schmidt Irmãos Calçados Ltda. comprou uma área de terra na região de Pouso Frio, onde hoje é a cidade de Chapadão do Sul. A ideia era produzir grãos e gado de corte. Em 1984, passou a denominar Agropecuária Ribeirão Ltda. Em 2006, com a expansão do setor sucroalcooleiro no Mato Grosso do Sul, para IACO Agrícola S/A - Indústria de Álcool e Açúcar do Centro-Oeste (SILVA, 2011). Atualmente a IACO Agrícola produz álcool e energia elétrica para abastecimento próprio e futuramente produzirá açúcar.

4 DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS NO ESTÁGIO

4.1 Descrição Geral

Ao longo do estágio, foram acompanhados os processos relacionados com a produção sucroalcooleira, desde a recepção (Laboratório de PCTS – Pagamento de Cana pelo Teor de Sacarose) até a obtenção do álcool etílico (hidratado e anidro) e seus subprodutos, possibilitando a identificação das operações envolvidas para a obtenção dos produtos desejados. Sendo assim, possível compreender a finalidade das análises efetuadas no laboratório industrial.

Na Figura 2 estão apresentados os produtos e subprodutos obtidos a partir da cana-de-açúcar. O fluxograma completo da produção de álcool é mostrado no Anexo I.



Fonte: O Autor.

4.2 Processo Industrial

4.2.1 Recepção de cana

Os caminhões que chegam carregados de cana-de-açúcar na indústria passam por um sistema de sorteio no laboratório do PCTS (Pagamento de Cana pelo Teor de Sacarose), onde do caminhão sorteado é retirada uma amostra com o auxílio da sonda oblíqua, localizada na parte externa do laboratório (Figura 3), e o material coletado é posteriormente encaminhado para análises no referido laboratório.

FIGURA 3 – Sonda oblíqua.



Fonte: MOTOCANA, 2012.

No PCTS é determinada a porcentagem (%) de impurezas vegetais (palhas) contidas na cana, através da pesagem da matéria-prima com e sem estas impurezas.

Os torrões de cana coletados são submetidos à desfibração para que se possa extrair o máximo possível de caldo através da prensa hidráulica e posterior realização das análises.

Uma massa de 500 g cana desfibrada é submetida a uma pressão de 250 kgf/cm² com o auxílio de uma prensa hidráulica (Figura 4) de modo a obter o caldo da cana e a fibra da cana de onde se obtém o Peso do Bolo Úmido (PBU), para o cálculo da porcentagem (%) de fibras. Do caldo extraído são determinados: o Brix (quantidade de compostos solúveis presente em uma solução de sacarose) e a POL (quantidade aparente de sacarose no caldo). A partir dos valores obtidos, através de

cálculos, os caminhões são pagos e liberados para o descarregamento da cana-de-açúcar.

FIGURA 4 – Prensa hidráulica.



Fonte: PONTALMAQ, 2012.

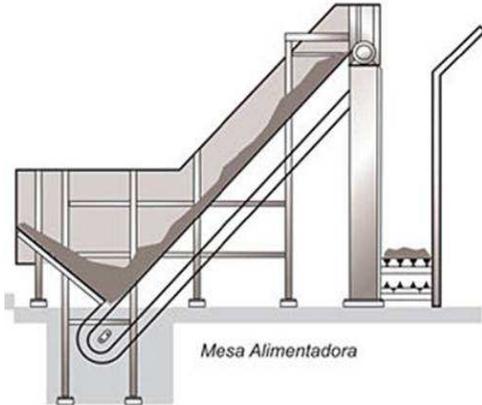
Nas usinas que recebem matéria-prima de diversas fontes, as análises do laboratório do PCTS são realizadas a cada carregamento que chega à unidade industrial. No entanto, no caso da IACO, as análises de Brix e POL deste laboratório são feitas no final de cada turno, apenas para controle da qualidade, uma vez que a cana é da própria empresa.

4.2.2 Moenda

A cana-de-açúcar é então descarregada na mesa alimentadora (Figura 5), que a despeja no esteirão metálico. Neste esteirão, os torrões de cana tem seu tamanho diminuído com o auxílio das facas picadoras (Figura 6) e então é desfibrada quando passa pelos martelos de desfibragem (Figura 7).

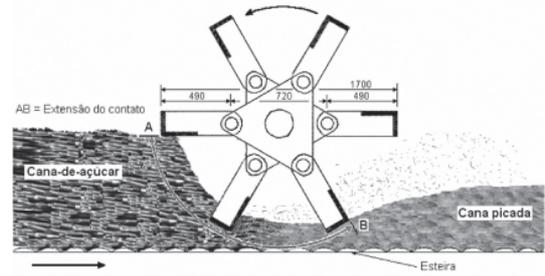
A cana desfibrada então é encaminhada para os ternos, onde é realizada a extração mecânica do caldo. Passando pelo conjunto de rolos que pressionam e separam o caldo do bagaço (Figura 8).

FIGURA 5 – Esquema da mesa alimentadora.



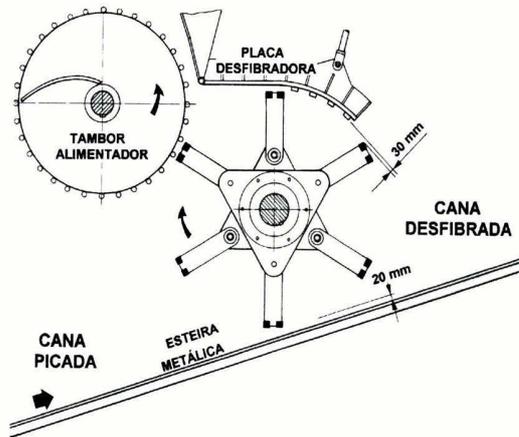
Fonte: BRUMAZI, 2012.

FIGURA 6 – Esquema das facas picadoras.



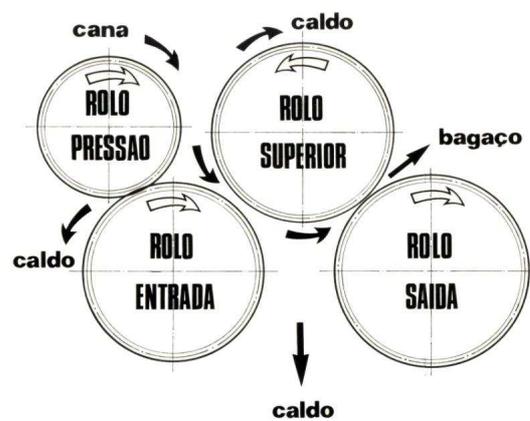
Fonte: LIMA e FERRARESI, 2010.

FIGURA 7 – Esquema da desfibragem da cana-de-açúcar.



Fonte: AMÉRICO *et al.*, 2010.

FIGURA 8 – Esquema dos rolos de um terno.

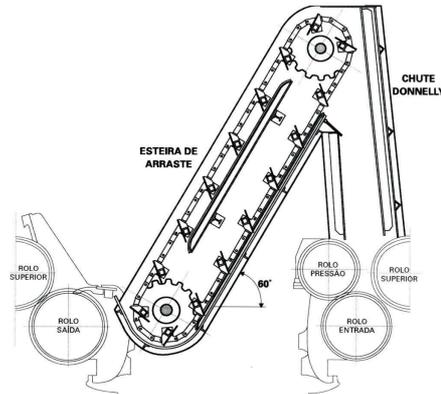


Fonte: AMÉRICO *et al.*, 2010.

O caldo primário é o que tem um maior teor de açúcar e é extraído no primeiro terno. O bagaço proveniente do primeiro terno recebe a embebição de água

quente e segue para o segundo terno através da esteira de arraste, caindo então no “chute donelle”, que é uma calha responsável pelo nivelamento do bagaço a ser prensado (Figura 9).

FIGURA 9 – Esquema da passagem do bagaço de um terno para outro.



Fonte: AMÉRICO *et al.*, 2010.

No último terno são coletadas amostras de bagaço para a determinação de umidade e POL e de caldo para determinação de Brix e POL. O bagaço (Figura 10) é encaminhado para a alimentação da caldeira (Gerador de vapor) e/ou armazenamento e venda (Figura 11).

FIGURA 10 – Bagaço.



Fonte: CARBONO SUSTENTÁVEL BRASIL, 2012.

FIGURA 11 – Armazenamento de bagaço.



Fonte: BRASIL AGRÍCOLA NEWS, 2012.

Já o caldo passa pelo filtro rotativo (Figura 12) onde são retiradas impurezas como bagacilho e areia, então, o caldo é encaminhado para o tratamento de caldo.

FIGURA 12 – Filtro rotativo.

Fonte: AMÉRICO *et al.*, 2010.

4.2.3 Tratamento de caldo

O caldo extraído da cana é então armazenado em um tanque e recebe o nome de caldo misto, pois nele contém o caldo primário, o caldo secundário (extraído do 2º ao 5º terno) e o caldo filtrado. Deste caldo misto é coletada uma amostra para a determinação de pH, Brix, POL, acidez sulfúrica, AR (açúcares redutores) e ART (açúcares redutores totais).

O caldo misto é aquecido nos regeneradores (Figura 13), que são trocadores de calor do tipo placas, onde ele recebe calor tanto da vinhaça obtida na destilaria quanto do caldo concentrado (ou pré-evaporado).

FIGURA 13 – Regenerador (trocador de calor do tipo placas).

Fonte: DAN THERM, 2012.

Após o aquecimento, este caldo recebe uma dosagem de leite de cal (Ca(OH)_2 ou cal hidratada) para a regulação de pH e coagulação de colóides presentes, sendo nomeado de caldo dosado. Uma amostra do caldo dosado é coletada para a determinação de pH e Brix.

O caldo dosado passa pelos aquecedores verticais do tipo tubo, onde é aquecido através da troca de calor com o vapor vegetal (gerado no evaporador). Após atingir uma temperatura próxima de $105\text{ }^\circ\text{C}$ é encaminhado para os balões de flash (Figura 14), onde o fluxo de caldo é estabilizado e em contato com a pressão atmosférica o ar dissolvido no caldo dosado acaba se “desprendendo”.

FIGURA 14 – Balões flash.



Fonte: O Autor.

No caldo dosado já *flasheado* é dosada uma quantidade de polieletrólito (polímero com alta densidade de carga) para que a decantação de impurezas seja facilitada. No interior do decantador (Figuras 15 (A) e (B)) são separados o lodo e o caldo clarificado. Do lodo é coletada uma amostra para a determinação da porcentagem (%) de impurezas e pH.

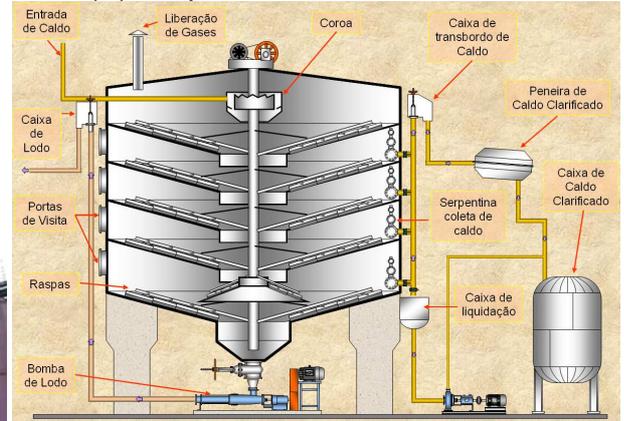
FIGURA 15 – Decantador convencional.

(A) Foto do decantador.



Fonte: BRUMAZI, 2012.

(B) Esquema do decantador.



Fonte: SILVA, 2006.

O lodo por sua vez é encaminhado para os filtros rotativos á vácuo (Figura 16), onde é recuperado o caldo contido nele (caldo filtrado) e a torta, por ser rica em nutrientes, é encaminhada para adubação da área plantada, denominada agrícola. Do caldo filtrado são coletadas amostras para a determinação de pH, Brix, % de impurezas e POL e da torta são coletadas amostras para determinação de umidade e POL. O caldo filtrado volta para o processo quando é misturado ao caldo misto.

Já o caldo clarificado passa por um filtro rotativo para retirada de eventuais resíduos de impurezas, por aquecedores verticais do tipo tubo e é encaminhado aos pré-evaporadores (Figura 17), que são estruturas capazes de concentrar o açúcar contido no caldo e gerar o vapor vegetal. No interior do pré-evaporador, o caldo clarificado troca calor com o vapor de escape que vem do turbo gerador. Do caldo clarificado é coletada uma amostra para determinação de Brix, pH, % de impurezas, transmitância e POL e dos caldos concentrados são coletadas amostras para a determinação do Brix. Os caldos concentrados são então encaminhados para o processo de fermentação.

FIGURA 16 – Filtros rotativos à vácuo. **FIGURA 17** – Esquema do pré-evaporador.



Fonte: O autor.



Fonte: SEAD/UFSCAR, 2011.

4.2.4 Fermentação

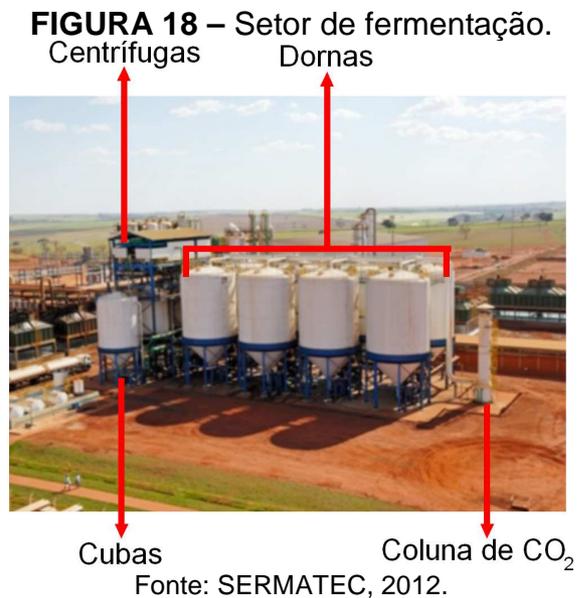
Na fermentação é onde as leveduras (*Saccharomyces cerevisae*) convertem a sacarose em álcool etílico e obtém energia para sua sobrevivência. Nesta etapa cuidados com a levedura devem ser tomados por se tratar de um ser vivo. Nas cubas, por exemplo, é o local onde as leveduras são diluídas em água acidificada com ácido sulfúrico para que a infecção microbiológica seja controlada. Uma amostra do conteúdo das cubas é coletada para a determinação do pH, % de leveduras e °GL (unidade de medida do teor alcoólico expresso em % de v/v).

Nas dornas de fermentação é o local onde de fato ocorre a fermentação alcoólica. O levedo é alimentado com o mosto (que nada mais é que o caldo concentrado e resfriado) e assim converte a sacarose em álcool etílico e gás carbônico de acordo com a reação química simplificada a seguir (reação de Gay Lussac):



Durante a fermentação são coletadas amostras das dornas para a determinação do Brix aerométrico, com a finalidade de identificar o final da fermentação, ou seja, quando a dorna “morre” e o Brix atinge valores próximos de zero. Uma amostra desta dorna “morta” é coletada para a determinação do pH,

levedo, °GL e ART. O mosto que alimenta as dornas é coletado para a determinação do Brix, POL, pH, % de impurezas, °GL, acidez sulfúrica e ART. Na Figura 18 está apresentado um setor de fermentação.



Com a dorna “morta”, seu conteúdo passa a conter a levedura, o vinho (mistura de etanol com água e outros compostos) e CO₂. O gás carbônico liberado acaba arrastando moléculas de etanol junto e assim é encaminhado para a coluna de CO₂ (Figura 18) onde este gás é lavado com água para a recuperação deste etanol. Amostras desta água de lavagem são coletadas para a determinação do °GL.

Já o conteúdo líquido da dorna é encaminhado para as centrífugas (Figura 19) onde é separado o vinho de levedado do levedo. O vinho de levedado é enviado para a dorna volante (Figura 18) antes de seguir para a destilaria e o levedo é reenviado para as cubas para o seu tratamento. Da amostra da dorna volante coletada são determinados °GL e a % de levedo.

FIGURA 19 – Centrífugas.

Fonte: O Autor.

4.2.5 Destilaria

A destilação é um processo de separação com base no fenômeno de equilíbrio líquido-vapor de misturas, ou seja, caso uma mistura seja formada com substâncias com diferentes volatilidades, a separação delas pode ser realizada pela destilação.

No caso da indústria de álcool, o vinho obtido na fermentação não possui apenas etanol em sua composição, mas vários outros compostos que vão desde resíduos de leveduras, álcoois de cadeia maior, até gases tóxicos. Deste modo, o vinho é destilado na Coluna A (Figura 20), entrando já aquecido na parte superior desta coluna enquanto o vapor vegetal é inserido na parte inferior da coluna. Os produtos mais voláteis são coletados na parte superior da coluna enquanto o subproduto, ou seja, vinhaça é coletada na parte inferior da coluna por não ser volátil. Amostra desta vinhaça é coletada para a determinação do °GL.

O produto destilado da coluna A recebe o nome de flegma e contém uma quantidade razoável de etanol, no entanto não a ideal para comercialização. Sendo assim este flegma passa por uma coluna de retificação, coluna B, de onde se obtém o etanol hidratado na parte superior, óleo fúsel (composto de álcoois com cadeia maior que a do etanol, com o álcool isoamílico e isobutílico) na parte intermediária e a flegmaça (resíduo aquoso da retificação do flegma, podendo apresentar até 0,01 °GL) na parte inferior da coluna. Amostra desta flegmaça é coletada para determinação do °GL.

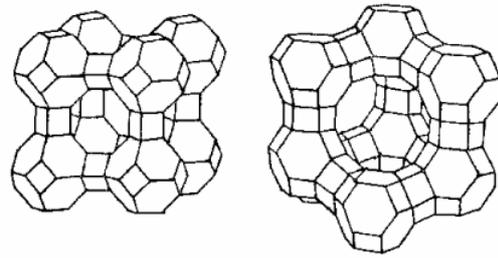
FIGURA 21 – Vaso de peneiras moleculares e zeólitas.

(A) Vaso de peneiras moleculares



Fonte: O autor.

(B) Zeólitas



Fonte: AGUIAR E NOVAES, 2002.

No caso da desidratação do etanol hidratado, as zeólitas utilizadas possuem poros com o diâmetro aproximado de 3 angstroms (Å) (3×10^{-10} m). Assim a molécula de água que possui cerca de 2,8 Å de diâmetro fica retida no interior das zeólitas por meio da adsorção na superfície dos poros, enquanto o álcool etílico que possui cerca de 4,4 Å não se retém nos poros e é coletado na parte inferior do vaso. O processo de desidratação termina quando a parte superior da zeólita se “inunda” de água, sendo esta água retirada para uma futura retificação recebendo o nome de flegma rico. Do etanol anidro obtido é coletada uma amostra para a determinação do INPM, condutividade e acidez enquanto que outra amostra do flegma rico é coletada para a determinação do °GL.

O vapor de água do superaquecedor é condensado para seu reaproveitamento e uma amostra é coletada para a determinação do °GL. Do tanque de medição de álcool anidro é coletada uma amostra para a medição dos mesmos aspectos físico-químicos do tanque de medição de etanol hidratado.

No caso da destilaria, a vinhaça obtida é encaminhada para a fertirrigação e a flegmaça é aproveitada para a realização de CIP (*Clean In Place*), limpeza dos aparelhos da indústria. Já o óleo fúsel coletado é comercializado para o mais variado tipo de indústrias, desde vernizes até perfumarias.

4.3 Utilidades Industriais

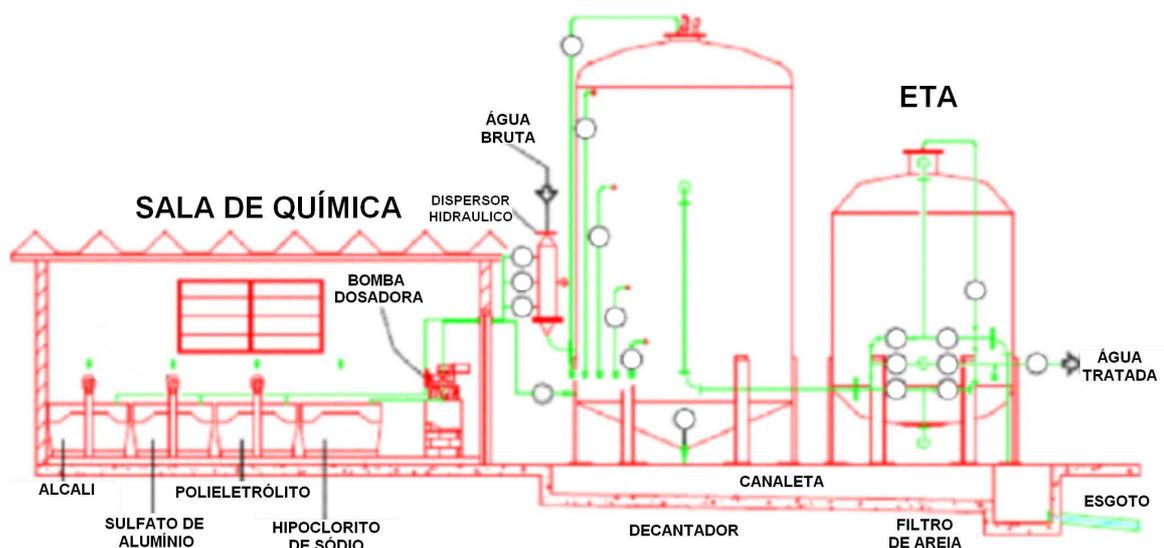
O termo utilidades industriais se refere às atividades relacionadas com o Tratamento de águas, geração de vapor (caldeira), geração de energia e tratamento de efluentes.

4.3.1 Tratamento de água

A finalidade do tratamento de água é a eliminação de partículas responsáveis pela cor e turbidez da água assim como micro-organismos patogênicos, além de alguns outros parâmetros. Neste processo nem todas as substâncias são removidas, porém a concentração das que permanecem é tão baixa que não causam problemas ao homem.

A Estação de Tratamento de Água (ETA) a qual abastece a usina é do tipo compacta (Figuras 22 e 23) e é acoplada juntamente com um sistema de Osmose Reversa (OR). A água que entra no processo é de origem fluvial, sendo coletada através de uma adutora em um rio próximo. Assim que é coletada permanece em reservatórios de onde é bombeada para o tanque de água bruta. Algumas partes da indústria utilizam esta água bruta para limpeza de pátios por exemplo. No entanto a maior parte é tratada na ETA compacta.

FIGURA 22 – Esquema de uma ETA compacta.



Fonte: CARVALHO e SANTOS, 2008.

FIGURA 23 – ETA compacta.



Fonte: FILTRAGUA, 2012.

De acordo com Carvalho e Santos (2008), a ETA compacta é composta pelos seguintes fases:

- a) Dispensor Hidráulico, destinado a proporcionar a rápida mistura dos reagentes com a água bruta a tratar. Os reagentes serão injetados através de conexões, especialmente deixadas sobre a tubulação de entrada do mesmo.
- b) Floculador Decantador Tubular Sob Pressão, destinado a coagulação e remoção dos flocos pelo processo de lodos suspensos. A extração dos lodos é feita continuamente através de uma descarga de fundo. A fim de controlar o processo de coagulação-decantação, lateralmente dispõe de três coletores e amostras, respectivamente: câmara de lodos (inferior), câmara de água clarificada (posição média superior) e saída para os filtros (parte superior).
- c) Filtro de Areia Dupla Ação, para filtração de água proveniente do decantador. Dispõe frontalmente de distribuidor constituído por tubos, conexões e registros, destinados as operações de filtragem, lavagem e pré-funcionamento do filtro.
- d) Dosagem de Produtos Químicos (sulfato de alumínio, hidróxido de sódio, hipoclorito de sódio e polieletrólito) através de bombas dosadoras.

Para controle do pH, após a dosagem dos produtos químicos, é acoplado um sensor na saída da ETA compacta e outro sensor indica a turbidez da água expressa em NTU (Unidade Nefelométrica de Turbidez). Amostras tanto da entrada

(água bruta com produtos dosados) da ETA compacta tanto da saída (água filtrada) são coletadas para análise de pH, condutividade e cloro livre.

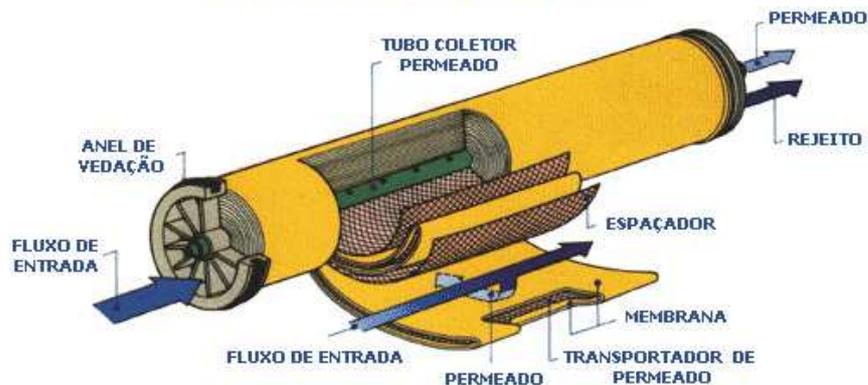
A água tratada recebe a nomenclatura de água filtrada, no entanto a água que será utilizada na caldeira necessita ter uma pureza superior e então, passa pelo processo de desmineralização. Para a desmineralização da água filtrada é empregado o processo chamado Osmose Reversa (OR) (Figuras 24 e 25).

FIGURA 24 – Equipamento utilizado no processo de osmose reversa.



Fonte: RENICS, 2012.

FIGURA 25 – Esquema ilustrativo de uma membrana utilizada no processo de osmose reversa.



Fonte: WATWRWORKS, 2012.

Na OR a água passa por outro filtro que contém carvão ativo e areia, a partir daí é dosado hidróxido de sódio para regulação do pH, anti-encrustrante e sequestrante de cloro para eliminar o cloro residual do tratamento da ETA. Esta água então é submetida à alta pressão contra os vasos que contém uma membrana

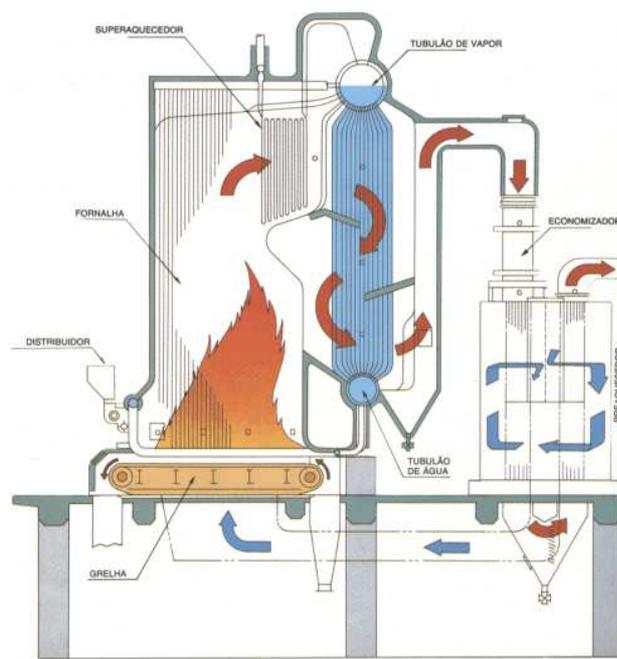
(Figura 25) com tamanho de poros diminutos, que consegue eliminar praticamente todas as impurezas da água.

Sendo assim existem 3 tipos de água a ser coletadas para análises referentes às OR, a água de entrada da OR (alimentação), o permeado da OR (purificada) e o concentrado da OR (alta concentração de sais). Nestas águas coletadas são determinados pH, condutividade, sílica de baixo teor (permeado), sílica de alto teor (entrada e concentrado) e dureza.

4.3.2 Caldeira

A caldeira (Figura 26) consiste num gerador de vapor em que o bagaço da cana é incinerado gerando calor, o qual aquece e superaquece a água contida nos tubulões e superaquecedores. É de grande importância que a água de alimentação das caldeiras seja ultrapura para que se evitem problemas de encrustação e corrosão tanto na caldeira quanto nas tubulações. Antes de entrar na caldeira, a água já desmineralizada passa pelo processo de desaeração, onde o oxigênio dissolvido é retirado com o auxílio de reagentes químicos no interior do desaerador. A caldeira da unidade industrial onde realizou-se o estágio e do tipo aquatubular vertical.

FIGURA 26 – Esquema de uma caldeira aquatubular vertical.



Fonte: ADORO FÍSICA, 2010.

As análises físico-químicas são realizadas em três tipos de água, sendo a água de alimentação da caldeira (será aquecida para gerar o vapor), água da caldeira (a qual está no interior do tubulão e contém alta concentração de sais devido à evaporação) e a água de vapor (condensado do vapor gerado na caldeira). Nas amostras coletadas são realizadas as seguintes análises: alimentação (pH, condutividade, alfa-naftol, sílica baixo teor, ferro, dureza, alcalinidade e sólidos totais), caldeira (pH, condutividade, alfa-naftol, sílica de alto teor, ferro, fósforo total, sólidos totais dissolvidos, dureza e alcalinidade hidróxida e total) e vapor (ferro, sílica de baixo teor, condutividade e pH).

Pelo fato do vapor proveniente das caldeiras passar pelo turbo gerador e em seguida pelos pré-evaporadores, este vapor acaba condensando nos pré-evaporadores e esta água condensada pode ou não voltar para a alimentação da caldeira. Para isto é analisado então o pH, a condutividade, alfa-naftol e o ferro desta água.

4.3.3 Gerador de energia

Para fins de conhecimento, acompanhou-se durante um dia, o funcionamento do gerador de energia elétrica que abastece a indústria. Em conjunto com a caldeira, o gerador de energia forma a central termoelétrica da usina, que assim como em uma usina hidrelétrica em que um gerador, impulsionado pela água, gira, transformando a energia potencial em energia elétrica, nas termelétricas a fonte de calor aquece uma caldeira com água gerando o vapor de água em alta pressão, e o vapor move as pás da turbina do gerador (WIKIPÉDIA, 2012).

4.3.4 Tratamento de efluentes

Os efluentes gerados em uma indústria de produção de etanol são geralmente reaproveitados:

- Torta de filtro: encaminhada para o setor da agrícola;
- CO₂ gerado na fermentação: lavado e eliminado na atmosfera;

- Vinhaça: é resfriada e encaminhada para a agrícola devido à presença de nutrientes essenciais para a cana-de-açúcar;
- Flegmaça: é empregada na CIP (limpeza) dos aparelhos da indústria;
- Água de fuligem: obtida na limpeza da fuligem e dos lavadores de gases da caldeira, é encaminhada para um clarificador de água de fuligem (Figura 27) onde recebe dosagens de polímero e as impurezas são decantadas. A água clarificada é reenviada ao processo industrial para algumas etapas específicas e a fuligem decantada é filtrada e encaminhada para adubação da área agrícola.

FIGURA 27 – Partes do tratamento da água de fuligem.

(A) Clarificador de água de fuligem.



Fonte: VLC, 2012.

(B) Filtro esteira para remoção de água da lama de fuligem.



Fonte: O autor.

4.3.5 Torres de resfriamento

São dispositivos que usam o ar atmosférico para resfriar a água que sofreu aquecimento no decorrer do processo industrial. Podem utilizar da evaporação da água para remover o calor das águas das torres de resfriamento (Figura 28). São coletadas amostras para a determinação de pH, condutividade, alfa-naftol, sólidos suspensos, sílica de alto teor, ferro, dureza, alcalinidade, cloreto e cloro livre.

FIGURA 28 – Torres de resfriamento.

Fonte: O autor.

4.4 Atividades no laboratório industrial

As análises realizadas no laboratório industrial geralmente são elaboradas e normatizadas por empresas que prestam consultoria às indústrias, seguindo manuais específicos para as análises de etanol e subprodutos, seguindo as especificações da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). O estagiário teve contato com as diversas análises descritas abaixo:

- **Determinação de Brix de caldos:** Esta análise se baseia na correlação que há entre a medida de índice de refração de uma solução açucarada e o teor de sólidos dissolvidos, principalmente a sacarose. É realizada com o gotejamento de algumas gotas do caldo no prisma do refratômetro digital (Figura 29). É expresso em % (m/m). Exemplo: 15 °Bx → 15 g de sólidos dissolvidos em 100 g de solução (FERMENTEC, 2012).

FIGURA 29 – Determinador de Brix refratométrico.

Fonte: ANTON PAAR, 2012.

- Determinação da POL de caldos:** A POL é a %, em peso, de sacarose aparente presente em uma solução açucarada, determinada através do desvio provocado pela solução no plano da luz polarizada no sacarímetro (Figura 30). O procedimento analítico é baseado na propriedade dos açúcares em desviar o plano de vibração da luz polarizada, desta forma o ângulo desviado é correlacionado com a concentração de sacarose. A escala sacarimétrica é definida a partir do princípio de uma solução pura de sacarose contendo 26 g em 100 mL de solução, colocada em um tubo de 20 cm de comprimento, a temperatura de 20,0 °C proporciona um desvio do plano de polarização ao qual se atribui valor 100 e denominou-se a unidade °S. (FERMENTEC, 2012). Para a realização do procedimento é necessário clarificar os caldos através da adição de agentes clarificantes, realizando em seguida a filtração. Para a determinação da POL de bagaços é necessária à digestão do mesmo em um digestor de bagaço (Figura 31) e para a POL da torta de filtro é necessário misturá-lo com água com o auxílio de um *mixer*.

FIGURA 30 – Sacarímetro.



Fonte: O autor.

FIGURA 31 – Digestor de bagaço.



Fonte: O autor.

- Determinação do AR de caldos:** Existem 2 métodos para a quantificação de açúcares redutores em caldos: Somogyi & Nelson e Eynon-Lane (Fehling). Ambos os métodos se baseiam na propriedade de alguns açúcares reduzirem o Cu^{+2} em Cu^{+} . Apenas os açúcares redutores (frutose e glicose) são quantificados nestas análises. No método de Somogyi & Nelson o monitoramento é feito espectrofotometricamente e no método de Fehling a solução preparada é titulada em um aparelho denominado Redutec (Figura 32).

FIGURA 32 – Aparelho Redutec.



Fonte: O autor.

- **Determinação do ART de caldos:** A análise de ART é semelhante à de AR, no entanto a sacarose presente é hidrolisada, ou seja, é convertida em frutose e sacarose, desta forma os açúcares redutores totais são determinados.
- **Determinação da % de levedo na amostra:** As leveduras presentes em 10 mL de amostra são separadas por centrifugação e o teor de levedo é determinado através de leituras dos tubos de centrífuga graduados. A centrífuga utilizada na determinação está apresentada na Figura 33.

FIGURA 33 – Centrífuga de bancada.



Fonte: O autor.

- **Determinação da % de impurezas na amostra:** A determinação das impurezas presentes em amostras é semelhante à determinação de leveduras.
- **Determinação da acidez sulfúrica de caldos:** O método é baseado na titulação ácido-base da amostra com uma base forte até sua total neutralização e posterior correlação da quantidade gasta de titulante com a concentração

equivalente em ácido sulfúrico. O teor de ácidos em caldos é expresso em gramas de ácido sulfúrico por litro de caldo de cana.

- **Determinação do pH de amostras:** O potencial hidrogeniônico (pH) é um termo que indica a acidez, neutralidade ou basicidade de uma solução em meio aquoso. O pH pode ser medido por indicadores ou pHmetros (FERMENTEC, 2012).
- **Determinação da condutividade de amostras:** A condutividade elétrica é a medida da capacidade de conduzir corrente elétrica por íons presentes em uma solução. O método se baseia na medição direta da condutividade em um condutímetro com célula de condutividade elétrica adequada (FERMENTEC, 2012).
- **Determinação do °GL de amostras:** O método se baseia na extração do etanol presente na amostra através de arraste a vapor na destilação (Microdestilador Kjeldahl - Figura 34). Em seguida, com a utilização de um densímetro digital (Figura 35) é determinada a densidade da solução hidroalcoólica condensada e, a partir desta constante física, é determinado o teor alcoólico da amostra, compensando o fator de concentração. No densímetro digital a densidade é determinada pela medida da frequência da oscilação do tubo em U preenchido com a amostra, comparada com as frequências de oscilação quando preenchido com água pura.

FIGURA 34 – Microdestilador Kjeldahl.



Fonte: O autor.

FIGURA 35 – Densímetro digital.



Fonte: POLIMATE, 2012.

- **Determinação do °INPM de álcoois:** Método semelhante à determinação do °GL, no entanto não é necessária a destilação da amostra, visto que sua concentração alcoólica é superior a 95 °GL. Porém o teor alcoólico em °INPM é expresso em % de álcool em massa (m/m) a 20 °C. Esta determinação é feita no densímetro digital (Figura 35).
- **Determinação da acidez acética de álcoois:** O método é baseado na titulação ácido-base da amostra com uma base forte até sua total neutralização e posterior correlação da quantidade gasta de titulante com a concentração equivalente em ácido acético. O teor de ácidos em caldos é expresso em miligramas de ácido acético por litro de álcool. O indicador alfa-naftolftaleína é empregado e se torna azul em pH alcalino.
- **Determinação da massa específica de álcoois:** A massa específica também é determinada no densímetro digital (Figura 35) e é expressa em g/cm².
- **Determinação da temperatura do álcool:** A determinação da temperatura do álcool é realizada no ato da coleta da amostra com o auxílio de termômetro. A “temperatura do tanque” é determinada para que se possa calcular a quantidade de álcool produzida e determinar a condutividade real, uma vez que a obtida no condutímetro é corrigida para temperaturas de 20 °C. Quando lançada no banco de dados, a temperatura é relacionada com o volume do tanque de armazenamento e o seu nível no ato da coleta.
- **Determinação da umidade de amostras:** A umidade é determinada através da evaporação forçada da água presente na amostra, sendo determinada pela diferença de peso existente entre a amostra úmida e seca. A amostra é seca em estufa do tipo Spencer (Figura 36).

FIGURA 36 – Estufa Spencer.



Fonte: TECNAL, 2012.

- **Determinação da transmitância de caldo:** Método baseado na leitura da transmitância da amostra quando submetida a um comprimento de onda de 760 nm em um espectrofotômetro (Figura 37). A transmitância da amostra é comparada com o branco que neste caso é a água deionizada. A transmitância se relaciona com a qualidade da clarificação do caldo.

FIGURA 37 – Espectrofotômetro UV/Vis.



Fonte: CETEC-LAB, 2012.

- **Determinação da sílica de baixo teor em águas:** Método baseado na leitura espectrofotométrica da amostra após adição de reagentes específicos e é comparada com o branco (água deionizada). O molibdato de amônio reage com a sílica e alguns fosfatos em pH próximo de 1,2, produzindo assim heteropoliácidos, que são combinações de átomos de hidrogênio e oxigênio com certos metais e não-metais, como o molibdato (metal) e a sílica (não-metal) presente na mistura. O ácido cítrico adicionado elimina o ácido molibdofosfórico, mas não o molibdosilícico. A

intensidade da cor amarela é proporcional à concentração de sílica molibdato-reativa. O comprimento de onda trabalhado é de 815 nm e sílica de baixo teor se refere a concentrações entre 0 e 1,6 ppm, que são consideradas aceitáveis na determinação de sílica de baixo teor.

- **Determinação da sílica de alto teor em águas:** A sílica presente na água em meio ácido, está na forma de ácido silícico dissolvido, que em contato com molibdato de amônio reage formando o ácido sílico-molibdico de cor amarela. O sulfito de sódio é então adicionado para a total redução deste ácido, apresentando coloração azul, sendo quantificado espectrofotômetro em comprimento de onda de 460 nm. Sílica de alto teor se refere a concentrações entre 10 e 150 ppm, que são consideradas aceitáveis na determinação de sílica da alto teor.
- **Determinação da dureza de águas:** A água pode conter um elevado conteúdo mineral, o qual consiste em elevados níveis de íons metálicos, especialmente cálcio (Ca) e magnésio (Mg) na forma de carbonatos. Para a determinação da dureza existem dois métodos. O método sabão que consiste na adição de sabão e agitação da alíquota da amostra, caso não apresente espuma a amostra apresenta dureza, desta forma se adiciona de 0,1 em 0,1 mL da solução de sabão e agita-se até que se forma espuma. O outro método consiste na titulação da amostra com EDTA, onde uma alíquota da amostra é tamponada e adicionado o indicador negro de eriocromo, em seguida a mistura é titulada com EDTA de baixa concentração. O método do complexante EDTA é o mais empregado no laboratório industrial pelo fato de ser quantitativo.
- **Determinação de cloro livre em águas:** Método baseado na leitura em espectrofotômetro em que é adicionado o kit (HACH) para determinação de cloro livre em uma alíquota da amostra. A coloração rosa é proporcional à concentração de cloro, sendo detectada em espectrofotômetro em comprimento de onda de 530 nm.
- **Determinação de cloretos em águas:** Método baseado na titulação de uma alíquota da amostra com nitrato de prata utilizando cromato de potássio como indicador, a titulação deve terminar quando a solução passar de amarelo para amarelo tijolo. Os cálculos são realizados em planilhas, quando os analistas lançam os valores no banco de dados da indústria.

- **Determinação da alcalinidade hidróxida e total de águas:** Alcalinidade hidróxida de uma amostra de água é dada por íons OH^- que podem ser titulados através de uma reação de neutralização com um ácido na presença de fenolftaleína como indicador, que muda sua cor de rosa para incolor em $\text{pH} = 8,3$. Já na alcalinidade devido aos íons bicarbonato (HCO_3^-) e carbonato (CO_3^{2-}), a determinação é realizada através de uma reação de neutralização com ácido na presença de metil-orange como indicador, mudando sua cor de laranja para salmão em $\text{pH} 4,3$.
- **Determinação qualitativa de açúcares em condensados (alfa-naftol):** Método baseado na adição de reagentes em uma alíquota da amostra e detecção visual de açúcares presentes. Onde em uma alíquota da amostra é adicionado ácido sulfúrico concentrado e algumas gotas de alfa-naftol, a presença de um anel de coloração roxa indica a presença de açúcar na amostra.
- **Determinação de ferro em águas:** Método baseado na detecção espectrofotométrica de ferro. Onde em alíquotas da amostra são adicionados ácido clorídrico e cloridrato de hidroxilamina e aquecidas em chapa aquecedora para a digestão, em seguida o volume corrigido para adição de tampão acetato e orto-fenantrolina. A coloração laranja da amostra é proporcional a concentração de ferro, então é realizada a leitura em comprimento de onda de 510 nm.
- **Determinação de sólidos totais dissolvidos em água:** Sólidos totais dissolvidos são sólidos ionizáveis encontrados na água, eles têm a propriedade de conduzir corrente elétrica por isso são medidos através da condutividade, expressa em $\mu\text{S}/\text{cm}^2$. Para a determinação de sólidos totais dissolvidos é necessário neutralizar a amostra com ácido bórico e posteriormente realizar a leitura no condutímetro e determinar a concentração dos sólidos totais dissolvidos em ppm através de cálculos.
- **Determinação de sólidos em suspensão em água:** O método fotométrico para determinação de sólidos suspensos é simples e direto, sem que sejam necessárias etapas de filtração, ignição ou pesagem, fundamentais para o procedimento gravimétrico. Uma alíquota da amostra é misturada com o auxílio de um *mixer* em alta velocidade. Em uma cubeta contendo água deionizada será determinado o branco e em outra cubeta é adicionada a amostra. A concentração de

sólidos suspensos é determinada em comprimento de onda de 810 nm e expressa em mg/L.

- **Determinação de fósforo total em águas:** Método baseado na leitura espectrofotométrica da amostra com os reagentes. A amostra é inicialmente digerida com a adição de ácido sulfúrico e aquecimento em chapa aquecedora, depois de esfriada a amostra é neutralizada com hidróxido de sódio e em seguida adicionados volumes de molibdato de sódio e cloreto estanhoso. A coloração azul indica a presença de fósforo e a determinação quantitativa é realizada em espectrofotômetro comprimento de onda de 590 nm.

Uma tabela que mostra resumidamente as matrizes e periodicidades das análises é mostrada no Anexo II.

5 CONTRIBUIÇÕES DO ESTÁGIO PARA A FORMAÇÃO PROFISSIONAL

Ao longo do estágio foi possível vivenciar a rotina de uma indústria do ramo sucroalcooleiro. O período no laboratório industrial contribuiu para o entendimento do controle de qualidade de processos industriais. Já o período vivenciado na planta industrial contribuiu para a compreensão das operações relacionadas à obtenção do etanol a partir da cana-de-açúcar.

O estágio contribuiu significativamente para que o acadêmico não partisse para o mercado de trabalho apenas com o conhecimento teórico das salas de aula. Durante o estágio foi possível relacionar algumas situações vivenciadas na indústria com o que foi visto em sala de aula como, por exemplo, o uso de EPIs, as operações unitárias relacionadas com o processo produtivo de etanol, a forma de se comportar diante de tomadas de decisões, as questões éticas relacionadas com a profissão do químico, dentre várias outras.

Foi uma ótima oportunidade de se familiarizar com um local de trabalho, utilizando as Boas Práticas Laboratoriais (PBL) e trocando conhecimentos com colaboradores experientes. Deste modo foi possível criar uma expectativa do mercado de trabalho ao qual o profissional será inserido.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Além do conhecimento teórico adquirido em sala de aula, ao entrar no território da IACO foi possível compreender a finalidade do estudo de determinadas disciplinas ao decorrer dos anos da graduação. Hoje se pode concluir que todos os conteúdos estudados foram indispensáveis para uma boa formação.

Sendo extremamente satisfatório entender a finalidade de uma análise e a forma com que elas são realizadas, como os aparelhos funcionam e como as reações ocorrem.

Outro aspecto positivo da realização do estágio foi a preparação do profissional, onde houve uma transição entre o período de estudante e o início do acompanhamento das atividades como colaborador de uma indústria, onde a cobrança por resultados e qualidade do trabalho é muito maior quando comparada com as salas de aula.

7. REFERÊNCIAS

ADORO FÍSICA; **Máquinas à vapor.** 2010. Disponível em <<http://www.adorofisica.com.br/trabalhos/fis/equipes/maquinasavapor/maquinavapor.htm>>. Acesso em 17/11/2012.

AGUIAR, M.R.M.P.; NOVAES, A.C. **Remoção de metais pesados de efluentes industriais por aluminossilicatos.** Química Nova, v. 25 n. 6, 2002. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422002000700015>. Acesso em 17/11/2012.

ALSEMI, R. Febre do etanol continua alta no Centro-Oeste. **Jornal Cana.** v. 2, n. 173, p. 58-59, 2008.

AMÉRICO, I.; AZEVEDO, M.J.G.; OLIVEIRA, R.A. e SOUZA, A. **Moenda x Difusor.** 2010. Disponível em <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAABeHAAE/moenda-x-difusor>>. Acesso em 17/11/2012.

ANP. **RESOLUÇÃO ANP Nº 7, DE 9.2.2011.** Disponível em <http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2011/fevereiro/ranp%207%20-%202011.xml> acesso em 12/11/2012.

_____. **Etanol combustível.** 2011. Disponível em <<http://www.anp.gov.br/?pg=57994&m=&t1=&t2=&t3=&t4=&ar=&ps=&cachebust=1353444534133>>. Acesso em 20/11/2012.

ANTON PAAR. **Refractive Index Measurement: Abbemat Heavy Duty Line.** Disponível em <http://www.anton-paar.com/Refractive-Index-Measurement-Abbemat-Heavy-Duty-Line/Refractometer/60_Corporate_en?product_id=88>. Acesso em 17/11/2012.

BRASIL AGRÍCOLA NEWS. **Bagaço de cana-de-açúcar é aproveitada como fibrocimento.** Disponível em <<http://brasilagricolanews.blogspot.com.br/2011/10/bagaco-de-cana-de-acucar-e-aproveitado.html>>. Acesso em 17/11/2012.

BRUMAZI. **Catálogo Eletrônico de Produtos:** Mesa alimentadora. Disponível em <http://www.brumazi.com.br/area_atuacao_recepcao/data/images/MesaAlimentadora_pb.jpg>. Acesso em 16/11/2012.

_____. **Decantador.** Disponível em <http://www.brumazi.com.br/area_atuacao_preparo/data/images/decantador2.jpg>. Acesso em 17/11/2012.

CARBONO SUSTENTAVEL BRASIL. **Bagaço.** Disponível em <<http://carbonosustentavelbrasil.files.wordpress.com/2010/05/bagaco.jpg>>. Acesso em 17/11/2012.

CARVALHO, C.C.G.; SANTOS, M.F. **Manual de Operação e Manutenção de estação de tratamento de água.** Alcon Química Ltda., 2008.

CETEC-LAB. **Espectrofotômetro HACH DR5000 UV/Vis.** Disponível em <http://www.cetec-lab.com.br/detalhe.php?id_produto=134>. Acesso em 17/11/2012.

CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar, segundo levantamento, agosto/2012.** Companhia Nacional de Abastecimento, Brasília, 2012.

CRQ 4. **O que faz um químico?** Disponível em: <http://www.crq4.org.br/default.php?p=texto.php&c=o_que_faz_um_quimico>. Acesso em 03/11/2012.

DANTHERM. **Trocados de calor a placas.** Disponível em <http://www.dantherm.com.br/prod_trocador_placas.htm>. Acesso em 17/11/2012.

DOMINGUES, A.L. **A Territorialização de Grupo Agroindustrial Canavieiro Louis Dreyfus no Mato Grosso do Sul.** Tese (Mestrado em Geografia), Universidade Federal da Grande Dourados, 2010.

FERMENTEC. **Métodos Analíticos para controle da Produção de Açúcar e Álcool.** 4 ed. Piracicaba, 2012.

FERNANDES, A. C. **Cálculos na Agroindústria da cana-de-açúcar.** 2ª.ed. Piracicaba, STAB, Cap.1, 2003.

FILTRAGUA. **Estação compacta.** Disponível em <http://www.filtragua.com.br/?pagina=info_produto.php&produto_id=18>. Acesso em 21/11/2012.

GALINDO JUNIOR, J. B. Laboratório Industrial e PCTS. **IACO Agrícola Informativo**, ed. 67, p. 04, 2012.

GUIA DO ESTUDANTE. **Química.** Disponível em: <<http://guiadoestudante.abril.com.br/profissoes/ciencias-exatas-Informatica/quimica-688125.shtml>>. Acesso em 03/11/2012.

LIMA, A.C.; FERRARESI, V.A. Análise da resistência ao desgaste de revestimento duro aplicado por soldagem em facas picadoras de cana-de-açúcar. **Soldagem e inspeção**, v. 15, n. 2, 2010. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-92242010000200003> Acesso em 17/11/2012.

MAGRO, F.J.; TAKAO, G.; CAMARGO, P.E.; TAKAMATSU, S.Y. **Biometria em cana-de-açúcar.** Piracicaba, 2011. Disponível em <<http://www.lpv.esalq.usp.br/lpv0684/Biometria%20em%20cana-de-acucar%20exemplo%20de%20texto%20aluno.pdf>>. Acesso em 19/11/2012.

MOTOCANA. **Linha canavieira: Sonda oblíqua – SO 04 M.** Disponível em <<http://www.motocana.com/2011/produtos.php?id=25>> Acesso em 16/11/2012.

POLIMATE. **Densímetro digital de bancada DMA 5000 M.** Disponível em <<http://www.polimate.com.br/poli/densimetros-medidores-de-concentracao/338-densimetro-digital-de-bancada-dma-5000-m.html>>. Acesso em 17/11/2012.

PONTALMAQ. **Prensa hidráulica para sacarose.** Disponível em <http://www.pontalmaq.com.br/links/sub_link/prensa_hidraulica.html> Acesso em 16/11/2012.

RENICS. **Equipamentos de osmose reversa.** Disponível em <<http://www.renics.com.br/produtos.asp?c=8>>. Acesso em 17/11/2012.

RODRIGUES, C.D. **Produção de álcool.** 2012.

SEAD/UFSCAR. **Corpo do evaporador de feixe tubular vertical.** 2011. Disponível em < <https://repositorio.sead.ufscar.br:8443/xmlui/handle/123456789/596>> Acesso em 17/11/2012.

SERMATEC. **Dornas de fermentação.** Disponível em < <http://www.sermatec.com.br/produtos/dornas-de-fermentacao/>>. Acesso em 21/11/2012.

SILVA, C.A.; Silva M.A.O. Prata da casa. **IACO Agrícola Informativo**, ed. 63, p. 01, 2011.

SILVA, P. S. G. **Tratamento de caldo de cana para fabricação de açúcar.** 2006.

TECNAL. **Estufa Spencer.** Disponível em <http://www.tecnallab.com.br/padrao.aspx?produtos.aspx?id=produtos_tipo>. Acesso em 20/11/2012.

VIEIRA, M.C.A.; LIMA, J.F.; BRAGA, N.M. **Setor Sucroalcooleiro Brasileiro: Evolução e perspectivas,** 2007. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/liv_perspectivas/07.pdf>. Acesso em 03/11/2012.

VLC. **Sistema fuligem.** Disponível em <<http://www.vlc.com.br/imagens/equipamentos/sistema-fuligem-g.jpg>>. Acesso em 17/11/2012.

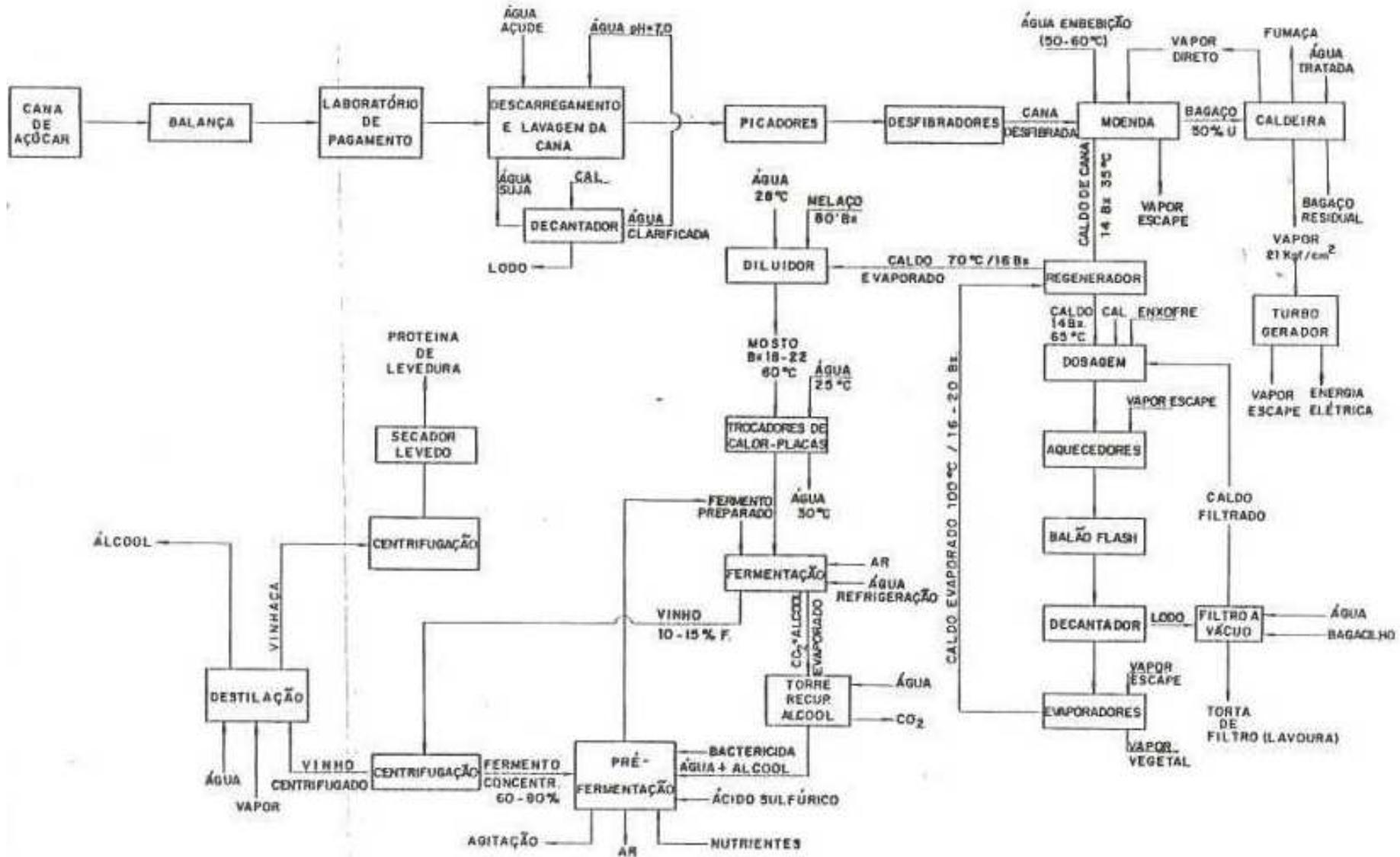
WATERWORKS. **Processo de osmose reversa.** Disponível em <<http://www.waterworks.com.br/tecnologia.php>>. Acesso em 17/11/2012.

WIKIPÉDIA. **Cana-de-açúcar.** Disponível em:<<http://pt.wikipedia.org/wiki/Cana-de-a%C3%A7%C3%BAcar>>. Acesso em 03/11/2012.

_____. **Etanol.** Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Etanol>>. Acesso em 03/11/2012.

_____. **Usina Termoelétrica.** Disponível em <http://pt.wikipedia.org/wiki/Usina_termoeletrica>. Acesso em 12/11/2012.

ANEXO I – FLUXOGRAMA PARA PRODUÇÃO DE ETANOL



ANEXO II – ANÁLISES DO LABORATÓRIO

TABELA I – Resumo das análises realizadas em cada etapa do processo.

Parâmetro Analisado	Matriz	Periodicidade	
% de impurezas vegetais	Cana <i>in natura</i> (PCTS)	1º caminhão de cada frente de colheita por turno	
PBU	Cana desfibrada e prensada (PCTS)	Todo caminhão sorteado que chega	
Brix	Cana <i>in natura</i> (PCTS)	Todo caminhão sorteado que chega (fim do turno)	
	Caldo último terno	A cada 4 horas	
	Caldo misto	A cada 4 horas	
	Caldo dosado	A cada 4 horas	
	Caldo filtrado	A cada 2 horas	
	Caldo clarificado	A cada 4 horas	
	Caldos concentrados	A cada 2 horas	
	Mosto	A cada hora e composta a cada 4 horas	
POL	Cana <i>in natura</i> (PCTS)	Todo caminhão sorteado que chega (fim do turno)	
	Bagaço último terno	A cada 4 horas	
	Caldo último terno	A cada 4 horas	
	Caldo misto	A cada 4 horas	
	Caldo filtrado	A cada 2 horas	
	Torta de filtro	A cada 4 horas	
	Caldo clarificado	A cada 2 horas	
	Mosto	A cada 4 horas	
pH	Caldo misto	A cada 4 horas	
	Caldo dosado	A cada 4 horas	
	Lodo	A cada 4 horas	
	Caldo filtrado	A cada 2 horas	
	Caldo clarificado	A cada 2 horas	
	Cuba	A cada término de fermentação	
	Dorna	A cada término de fermentação	
	Mosto	A cada 4 horas	
	Álcool retificado	A cada 2 horas	
	Tanque medidor de álcool hidratado	Quando solicitado	
	Tanque medidor de álcool anidro	Quando solicitado	
	Água entrada da ETA	Uma vez por turno	
	Água saída da ETA	Uma vez por turno	
	Água entrada OR	Uma vez por turno	
	Água concentrado OR	Uma vez por turno	
	Água permeado OR	Uma vez por turno	
	Alimentação da caldeira	Uma vez por turno	
	Interior caldeira	Uma vez por turno	
	Vapor da caldeira	Uma vez por turno	
	Condensado dos pré-evaporadores	Uma vez por turno	
	Água das torres	Uma vez por turno	
	Acidez Sulfúrica	Caldo misto	A cada 4 horas
		Mosto	A cada 4 horas
AR	Caldo misto	A cada 4 horas	
ART	Caldo misto	A cada 4 horas	
	Dorna	A cada término de fermentação	
	Mosto	A cada 4 horas	

TABELA I – Resumo das análises realizadas em cada etapa do processo – (Cont.).

Parâmetro Analisado	Matriz	Periodicidade
Umidade	Bagaço último terno	A cada 4 horas
	Torta do filtro	Uma vez por turno
	Cinzas	Uma vez por turno
% de impureza	Lodo	A cada 4 horas
	Caldo filtrado	A cada 4 horas
	Caldo clarificado	A cada 2 horas
	Mosto	A cada 4 horas
Transmitância	Caldo clarificado	Uma vez por turno
% de levedura	Cuba	A cada término de fermentação
	Dorna	A cada término de fermentação
	Vinho de levedurado	A cada 4 horas
	Dorna Volante	A cada 4 horas
	Creme de levedo	A cada 4 horas
°GL	Cuba	A cada término de fermentação
	Dorna	A cada término de fermentação
	Mosto	A cada 4 horas
	Coluna de CO ₂	A cada 4 horas
	Dorna volante	A cada 4 horas
	Vinhaça	A cada 2 horas
	Flegmaça	A cada 2 horas
	Flegma rico	A cada 2 horas
Condutividade	Álcool retificado	A cada 2 horas
	Tanque medidor de álcool hidratado	Quando solicitado
	Álcool anidro	A cada 2 horas (quando se produz)
	Tanque medidor de álcool anidro	Quando solicitado
	Água entrada da ETA	Uma vez por turno
	Água saída da ETA	Uma vez por turno
	Água entrada OR	Uma vez por turno
	Água concentrado OR	Uma vez por turno
	Água permeado OR	Uma vez por turno
	Alimentação da caldeira	Uma vez por turno
	Interior caldeira	Uma vez por turno
	Vapor da caldeira	Uma vez por turno
	Condensado dos pré-evaporadores	Uma vez por turno
	Água das torres	Uma vez por turno
°INPM	Álcool retificado	A cada 2 horas
	Tanque medidor de álcool hidratado	Quando solicitado
	Álcool anidro	A cada 2 horas (quando se produz)
	Tanque medidor de álcool anidro	Quando solicitado
Acidez acética	Álcool retificado	A cada 2 horas
	Tanque medidor de álcool hidratado	Quando solicitado
	Álcool anidro	A cada 2 horas (quando se produz)
	Tanque medidor de álcool anidro	Quando solicitado
Massa específica	Tanque medidor de álcool hidratado	Quando solicitado
	Tanque medidor de álcool anidro	Quando solicitado
Temperatura	Tanque medidor de álcool hidratado	Quando solicitado
	Tanque medidor de álcool anidro	Quando solicitado

TABELA I – Resumo das análises realizadas em cada etapa do processo – (Cont.).

Parâmetro Analisado	Matriz	Periodicidade
Cloro livre	Água entrada da ETA	Uma vez por turno
	Água saída da ETA	Uma vez por turno
	Água das torres	Uma vez por turno
Cloreto	Água das torres	Uma vez por turno
Sílica baixo teor	Água permeado OR	Uma vez por turno
	Alimentação da caldeira	Uma vez por turno
	Vapor da caldeira	Uma vez por turno
Sílica alto teor	Água entrada OR	Uma vez por turno
	Água concentrado OR	Uma vez por turno
	Interior caldeira	Uma vez por turno
	Água das torres	Uma vez por turno
Dureza	Água entrada OR	Uma vez por turno
	Água concentrado OR	Uma vez por turno
	Água permeado OR	Uma vez por turno
	Alimentação da caldeira	Uma vez por turno
	Interior caldeira	Uma vez por turno
	Água das torres	Uma vez por turno
Alfa-naftol	Alimentação da caldeira	Uma vez por turno
	Interior caldeira	Uma vez por turno
	Condensado dos pré-evaporadores	Uma vez por turno
	Água das torres	Uma vez por turno
Ferro	Alimentação da caldeira	Uma vez por turno
	Interior caldeira	Uma vez por turno
	Vapor da caldeira	Uma vez por turno
	Condensado dos pré-evaporadores	Uma vez por turno
	Água das torres	Uma vez por turno
Alcalinidade	Alimentação da caldeira	Uma vez por turno
	Interior caldeira	Uma vez por turno
	Água das torres	Uma vez por turno
Sólidos totais	Alimentação da caldeira	Uma vez por turno
Fósforo total	Interior caldeira	Uma vez por turno
Sólidos totais dissolvidos	Interior caldeira	Uma vez por turno
Sólidos suspensos	Água das torres	Uma vez por turno