



**INSTITUTO FEDERAL DE ALAGOAS  
CAMPUS PENEDO  
CURSO TÉCNICO SUBSEQUENTE EM QUÍMICA**

**KAWANY MONTEIRO ROLEMBERG**

**PARÂMETROS DE QUALIDADE RELACIONADOS À PRODUÇÃO DE ETANOL  
ANIDRO E HIDRATADO NA USINA CAETÉ – UNIDADE MARITUBA.**

**PENEDO, AL  
2022**

KAWANY MONTEIRO ROLEMBERG

PARÂMETROS DE QUALIDADE RELACIONADOS À PRODUÇÃO DE ETANOL  
ANIDRO E HIDRATADO NA USINA CAETÉ – UNIDADE MARITUBA.

Relatório de Estágio apresentado ao Curso Técnico de Nível Médio Subsequente em Química do Instituto Federal de Alagoas, *campus* Penedo, como requisito parcial para a obtenção do grau de Técnico em Química.

Orientador (a): Ana Laura Oliveira de Sá Leitão.

PENEDO, AL  
2022



**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação**  
**Instituto Federal de Alagoas**  
**Campus Penedo**  
**Biblioteca**

R745p

Rolemberg, Kawany Monteiro.

Parâmetros de qualidade relacionados à produção de etanol anidro e hidratado na usina Caeté – Unidade Marituba / Kawany Monteiro Rolemberg. – 2022.  
48f; il.

Orientação: Prof.<sup>a</sup> Ana Laura de Oliveira Sá Leitão.

Trabalho de Conclusão de Curso (Técnico de Nível Médio Subsequente em Química) – Instituto Federal de Alagoas, Campus Penedo, Penedo, 2022.

Trabalho em formato digital.

1. Etanol – Fabricação 2. Qualidade - Etanol. 3. Setor Sucroalcooleiro. I. Leitão, Ana Laura de Oliveira Sá. II. Título.

CDD: 662

**Maria Luzia Alexandre de Oliveira**  
**Bibliotecária/Documentalista**  
**CRB-4/2159**


KAWANY MONTEIRO ROLEMBERG

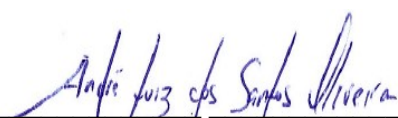
PARÂMETROS DE QUALIDADE RELACIONADOS À PRODUÇÃO DE ETANOL  
ANIDRO E HIDRATADO NA USINA CAETÉ – UNIDADE MARITUBA.

Relatório de estágio apresentado ao Curso Técnico de Nível Médio Subsequente em Química do Instituto Federal de Alagoas, *campus* Penedo, como requisito parcial para a obtenção do grau de Técnico em Química.

APROVADA EM: 11/04/2022.

**BANCA EXAMINADORA**

  
\_\_\_\_\_  
Prof. M<sup>a</sup> Ana Laura Oliveira de Sá Leitão (orientadora)  
Instituto Federal de Alagoas - IFAL

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Me. André Luiz dos Santos Oliveira  
Instituto Federal de Alagoas - IFAL



\_\_\_\_\_  
Prof. Dra. Taciana do Nascimento Santos  
Instituto Federal de Alagoas – IFAL

Sem o discernimento dado por Deus, este trabalho não teria sido concluído. Por isso, dedico este relatório a Ele.

## AGRADECIMENTOS

Sendo Deus aquele que tudo faz por todos, este agradecimento o homenageia de forma especial. Agradecê-lo pelos dons da sabedoria, inteligência, fortaleza, conselho, piedade, ciência e seu santo temor. Agradecê-lo, também, pelos dias difíceis enfrentados para a realização desse trabalho.

Aos meus pais, Renata de Barros Monteiro Rolemberg e Jorge Alexandre da Silva, por todo esforço e dedicação para que eu pudesse concluir mais uma etapa da vida acadêmica, sem esse apoio eu não conseguiria.

Aos meus irmãos, Jorge Alexandre da Silva Filho e Guilherme Monteiro da Silva, por ser o afago ao retornar para casa, por me ajudarem a espairar os pensamentos no meio de todas as dificuldades.

A minha orientadora Ana Laura Sá Leitão, por toda cautela e capricho ao me auxiliar no trajeto de elaboração desse trabalho de conclusão de curso.

Ao supervisor do estágio Lenilson de Almeida Santos, por todos os ensinamentos envolvendo a indústria sucroalcooleira.

Ao Instituto Federal de Alagoas – campus Penedo, pela oportunidade de ampliar meus conhecimentos e crescimento profissional.

A todo corpo Docente, que possuíram papel fundamental na passagem de conhecimento.

Por fim, sou grata a todos que contribuíram de forma direta ou indireta para a conclusão desse relatório.

*“Os obstáculos são ensinamentos para o seu espírito.”*

(Santa Rita de Cássia)

## RESUMO

A produção de etanol no Brasil se dá, principalmente, por meio da cana-de-açúcar. A elaboração desse produto – crucial para a economia nacional – é feita nas usinas sucroalcooleiras e para que haja a comercialização é necessário manter a qualidade na produção. Sendo assim, é indispensável o acompanhamento da qualidade em cada etapa de fabricação. Logo, o presente relatório tem como objetivo apresentar e relatar os ensinamentos absorvidos durante o estágio na usina CAETÉ S/A MARITUBA, produtora de etanol e outros derivados da cana-de-açúcar, enfatizando os parâmetros de qualidade relacionados à produção de etanol anidro e hidratado na usina. Mosto fermentado, mosto de alimentação, vinho delevedurado, água CO<sub>2</sub>, leite concentrado, leite tratado, mel final, vinhaça, e dorna volante são as amostras analisadas para que se mantenham os parâmetros da indústria. As análises incluem Brix, pH, acidez, condutividade, A.R.T., A.R.R.T., teor alcoólico e percentual de fermento, que têm por finalidade a estabilidade e qualidade do produto. O estágio desencadeou a curiosidade em aprender o papel de um técnico em química na usina, sendo de grande importância para a consolidação dessa carreira profissional.

**Palavras-chave:** Etanol; Qualidade; Parâmetros; Estágio.

## ABSTRACT

Ethanol production in Brazil is mainly from sugarcane. The elaboration of this product - crucial for the national economy - is carried out in the sugar-alcohol plants and for commercialization it is necessary to maintain the quality of production. Therefore, it is essential to monitor the quality at each manufacturing stage. Hence, this report aims to present and describe the lessons that were learned during the internship at CAETÉ S/A MARITUBA plant, producer of ethanol and other sugarcane derivatives, emphasizing the quality parameters related to the production of anhydrous and hydrated ethanol at the plant. Fermented must, feed must, unleavened wine, water, CO<sub>2</sub>, concentrated milk, treated milk, final honey, vinasse and vat are the samples analyzed in order to maintain the industry parameters. The analyzes include Brix, pH, acidity, conductivity, T.R.S., T.R.R.S., alcohol content and yeast percentage, which aim at the stability and quality of the final product. The internship triggered the curiosity to learn the role of a chemistry technician at the plant, being of great importance for the consolidation of this professional career.

**Keywords:** Ethanol; Quality; Parameters; Internship.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Usina Caeté – Unidade Marituba.....	14
Figura 2: Sequência das etapas e subprodutos gerados na fabricação de etanol a partir da cana-de-açúcar.....	16
Figura 3: Recepção de cana-de-açúcar na Usina Caeté - Unidade Marituba.....	17
Figura 4: Lavagem de cana-de-açúcar na Usina Caeté - Unidade Marituba.....	17
Figura 5: Eletroímã na Usina Caeté - Unidade Marituba.....	17
Figura 6: Rolo triturador da moenda na Usina Caeté - Unidade Marituba.....	18
Figura 7: Representação de um terno na Usina Caeté - Unidade Marituba.....	18
.Figura 8: Tratamento de caldo com leite de Cal e sulfitação com dióxido de Enxofre SO <sub>2</sub> na Usina Caeté - Unidade Marituba.....	19
Figura 9: Dorna para fermentação na Usina Caeté - Unidade Marituba.....	21
Figura 10: Conjunto de dornas para fermentação na Usina Caeté - Unidade Marituba.....	21
Figura 11: Fluxograma da destilação do etanol.....	22
Figura 12: Fluxograma da desidratação do etanol.....	24
Figura 13: Tanque de produção do etanol anidro na usina Caeté – unidade Marituba.....	25
Figura 14: Tanque de produção do etanol hidratado na usina Caeté – unidade Marituba.....	26
Figura 15: Tanque para armazenamento de etanol na usina Caeté – Unidade Marituba.....	26
Figura 16: Destilaria da usina Caeté – Unidade Marituba.....	27
Figura 17: Vinho de levedurado (ponto de coleta e amostra).....	28
Figura 18: Água de CO <sub>2</sub> (ponto de coleta e amostra).....	28
Figura 19: Leite concentrado (ponto de coleta e amostra).....	28
Figura 20: Mel final (ponto de coleta e amostra).....	29
Figura 21: Vinhaça (ponto de coleta e amostra).....	29
Figura 22: Caldo da destilaria (ponto de coleta e amostra).....	29
Figura 23: Mosto de alimentação (ponto de coleta e amostra).....	30
Figura 24: Mosto fermentado (ponto de coleta e amostra).....	30
Figura 25: Leite tratado (ponto de coleta e amostra).....	30
Figura 26: Dorna volante (ponto de coleta e amostra).....	31
Figura 27: Planilha de controle das análises da destilaria na usina Caeté – unidade Marituba. .....	31
Figura 28: Sacarímetro de Brix (aerômetro).....	32

Figura 29: Tabela de Brix verificado o aerômetro utilizada na usina Caeté – unidade Marituba. .....	33
Figura 30: refratômetro digital de bancada na usina Caeté – unidade Marituba.....	35
Figura 31: potenciômetro utilizado na usina Caeté – unidade Marituba.....	35
Figura 32: Condutivímetro utilizado na análise de condutividade na Usina Caeté – unidade Marituba.....	39
Figura 33: Densímetro digital (Densinty Meter (anto paar)) utilizado na usina Caeté - Unidade Marituba.....	41
Figura 34: Densímetro de álcool (alcoômetro).....	42

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	A INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA.....	13
2.1	A EMPRESA.....	13
2.2	ATIVIDADES DESEMPENHADAS DURANTE O ESTÁGIO.....	14
2.3	EXPLANAÇÃO DAS ETAPAS DE FABRICAÇÃO DO ETANOL.....	15
2.3.1	<b>Lavagem</b> .....	16
2.3.2	<b>Moagem</b> .....	18
2.3.3	<b>Eliminação de impurezas</b> .....	19
2.3.4	<b>Fermentação</b> .....	19
2.3.5	<b>Destilação</b> .....	21
2.3.6	<b>Desidratação</b> .....	23
2.3.7	<b>Armazenamento</b> .....	24
2.4	PARÂMETROS ANALISADOS PARA MANTER A QUALIDADE DA PRODUÇÃO DE ETANOL.....	27
2.4.1	<b>Brix</b> .....	32
2.4.1.1	Brix aerométrico .....	32
2.4.1.2	Brix refratométrico .....	34
2.4.2	<b>PH</b> .....	35
2.4.3	<b>Acidez</b> .....	36
2.4.3.1	Acidez sulfúrica .....	37
2.4.3.2	Acidez acética .....	37
2.4.4	<b>Condutividade</b> .....	38
2.4.5	<b>A.R.T (Açúcares Redutores Totais)</b> .....	39
2.4.6	<b>A.R.R.T (Açúcar Redutor Residual Total)</b> .....	40
2.4.7	<b>Teor alcoólico</b> .....	41
2.4.7.1	°INPM .....	42
2.4.7.2	°GL .....	43
2.4.8	<b>% Fermento</b> .....	44
3	CONCLUSÃO.....	45
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46

## 1 INTRODUÇÃO

A produção de cana-de-açúcar e o desenvolvimento no setor sucroalcooleiro possuem suas raízes históricas ligadas ao processo de colonização do Brasil. Esse processo influenciou e influencia diretamente em diversos setores em âmbito nacional como economia, relações de trabalho e traços culturais (LIMA, 2021).

Um dos subprodutos gerados a partir da cana-de-açúcar é o etanol ( $C_2H_5OH$ ), o qual possui usualidades diversas. Em sua forma pura (anidro) é vastamente utilizado na indústria, como matéria-prima para obtenção de tintas, solventes, aerossóis, etc. Outra usualidade do anidro se dá na mistura com a gasolina, seguindo a obrigatoriedade de 27%, ou no diesel (opcional) com cerca de 8%. No caso do etanol hidratado há a utilização na produção de bebidas, alimentos, cosméticos, aromatizantes, produtos de limpeza, remédios, vacinas e como combustível de veículos – é o que encontramos para venda direta nos postos de combustíveis (NOVACANA, 2022).

Porém, para que o etanol possa ser comercializado é necessário seguir diversos parâmetros de qualidade que garantirão as particularidades desse produto (NOVACANA, 2022). Na usina Caeté – unidade Marituba, os parâmetros são averiguados diariamente com o intuito de manter a eficácia da produção. As análises seguem como valor de referência os exigidos pela ANP (Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e biocombustíveis).

Nesse sentido, vale ressaltar a importância do estágio para colocar os conhecimentos teóricos em prática, formando um profissional qualificado nas atividades desenvolvidas em uma indústria. No setor sucroalcooleiro é contemplado tanto a parte de operações unitárias na indústria quanto às análises laboratoriais, que permitem o dinamismo de teorias vistas ao longo do período da formação acadêmica.

Em virtude dos fatos mencionados, o presente trabalho tem por objetivo geral a apresentação, de forma sucinta, do processo para a produção do etanol anidro e do etanol hidratado, e demonstrar a importância de manter os parâmetros de qualidade na obtenção desses produtos.

Como objetivos específicos do estágio pode-se citar a detenção de conhecimentos relacionados ao processo de fabricação de açúcar e etanol; a compreensão da importância das análises realizadas no laboratório; entendimento sobre a funcionalidade dos equipamentos e de cada operação unitária existente na empresa; aprimoramento das técnicas de laboratório

como: segurança, cuidados no manuseio de vidrarias e substâncias ácidas, vidrarias e interpretações dos resultados encontrados.

## **2 A INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA**

Segundo Carvalho-Gonçalves (2021), a indústria sucroalcooleira consiste em uma empresa especializada na produção de açúcar, etanol e outros possíveis derivados da cana-de-açúcar. A importância do setor sucroalcooleiro no território nacional é de que o Brasil além de ser o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo e o segundo maior em produção de etanol, é também um dos maiores exportadores de açúcar e biocombustíveis, ocupando um espaço essencial na economia Nacional, alcançando o status de commodity.

Além de sua importância econômica, a indústria sucroalcooleira possui papel fundamental na sustentabilidade ambiental, já que todos os possíveis dejetos gerados na produção de álcool podem ser utilizados em uma nova atividade como, por exemplo, a geração de energia a partir do bagaço residual do processo (CAEPPELE, 2021).

### **2.1 A EMPRESA**

Em 1979, a Unidade Marituba foi idealizada e projetada pelo Grupo Carlos Lyra. Na década de 90, com a construção da barragem Salvador Lyra, uma das maiores do Nordeste, a Unidade Marituba viabilizou a implantação de modernas técnicas de irrigação, utilizando sistemas lineares, o que se refletiu num ganho de produtividade para a unidade industrial. Possui como política de qualidade a produção com qualidade, e de modo sustentável, de produtos derivados da cana-de-açúcar, como o etanol, açúcar, eletricidade e outros, dentro das especificações exigidas pelo mercado, satisfazendo o cliente, aprimorando os processos, produtos e colaboradores e buscando a melhoria contínua na eficácia do sistema de gestão da qualidade (GRUPO CARLOS LYRA, 2022).

O grupo Carlos Lyra dispõe em suas usinas de açúcar e destilarias a geração de energia elétrica para auto suprimento e fornecimento a terceiros através do sistema de cogeração. Todas as unidades possuem certificação da Fundação Abrinq pelos Direitos da Criança e do Adolescente como Empresa Amiga da Criança, refletindo o compromisso do Grupo Carlos Lyra com a educação, saúde e erradicação do trabalho infantil (GRUPO CARLOS LYRA, 2022).

Figura 1: Usina Caeté – Unidade Marituba



Fonte: GRUPO CARLOS LYRA, 2022.

## 2.2 ATIVIDADES DESEMPENHADAS DURANTE O ESTÁGIO

Foram desenvolvidas atividades como análises laboratoriais de todo o processo de fabricação do açúcar, fabricação de etanol, tratamento de águas industriais, refinaria do açúcar, qualidade da cana (sacarose), e análises de microbiologia. Dentre as principais análises destacam-se: ART, Brix, Pol, PH, Pureza, grau alcoólico, acidez e sólidos totais dissolvidos.

Outra prática exercida foi o acompanhamento do processo de potabilidade da água, análises do carregamento do etanol, análises de açúcar VHP e refinado, análises de pré-colheita da cana-de-açúcar, microbiologia do processo de levantamento do fermento, análises de fungos e operações das caldeiras. Além disso, foi abordado o funcionamento dos equipamentos de cada operação unitária existente na empresa e a apresentação do fluxograma do processo.

Sobretudo, abordaram-se as técnicas de laboratório, tais como: segurança, cuidados no manuseio de reagentes e vidrarias, e a interpretação dos resultados do boletim de safra.

### 2.3 EXPLANAÇÃO DAS ETAPAS DE FABRICAÇÃO DO ETANOL

A produção de etanol consiste, basicamente, na fermentação da matéria-prima (cana-de-açúcar), seguindo as etapas necessárias para a obtenção de um produto com qualidade e dentro dos parâmetros ideais (PROPEQ, 2021).

Além disso, vale ressaltar os tipos de etanol existentes: anidro (álcool etílico anidro) e hidratado (álcool etílico hidratado). A principal diferença entre essas duas substâncias é o teor alcoólico presente, porém há ainda diferenças como na massa específica, grau alcoólico, acidez total e condutividade elétrica.

O anidro é caracterizado por possuir um teor alcoólico superior a 99,3° INPM (Instituto Nacional de Pesos e Medidas) composto apenas por etanol ou álcool etílico. A usualidade do anidro se dá na mistura para combustíveis de veículos e como matéria-prima para as indústrias de tintas, solventes e vernizes (NOVACANA, 2022).

Já o etanol hidratado possui teor alcoólico mínimo de 92,6° e máximo de 93,8° INPM composto por álcool etílico ou etanol. Esse tipo de etanol é bastante utilizado na indústria farmacêutica alcoolquímica, alimentícia, e de bebidas, podendo também ser utilizado no combustível para veículos e em produtos para limpeza (NOVACANA, 2022).

A Tabela 1 apresenta algumas diferenças encontradas nas especificações entre esses dois tipos de etanol.

Tabela 1: Características do álcool anidro e hidratado.

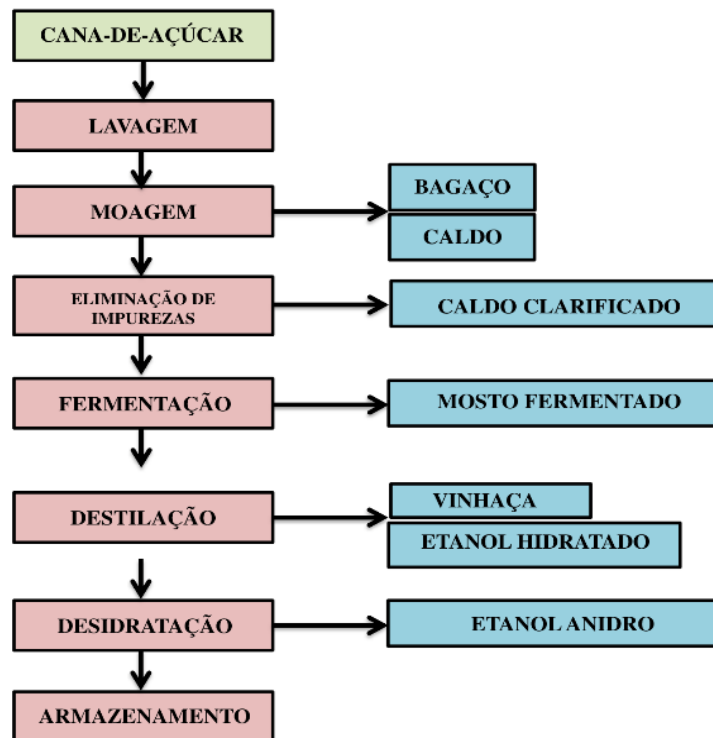
Parâmetros	Especificações	
	Anidro	Hidratado
Massa Específica (20°C), kg/m <sup>3</sup>	Máx. 791,5	807,6 a 811,0
Teor alcoólico, % máss. (°INPM)	Mín. 99,3	92,6 a 93,8
Grau alcoólico, % volume (v/v 20°C)	Mín. 99,6	95,1 a 96,0
Acidez total (como ácido acético), mg/L	Máx. 30,0	Máx. 30,0
pH	6,0 a 8,0	6,0 a 8,0
Condutividade Elétrica, micros/m	Máx. 500	Máx. 500
Aspecto	Límpido e isento de impurezas em suspensão	Límpido e isento de impurezas em suspensão

Fonte: ANP, Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2014.

O processo industrial para a produção do etanol a partir da cana-de-açúcar contempla, basicamente, as etapas de lavagem, moagem, eliminação de impurezas, fermentação, destilação, desidratação e armazenamento (NOVACANA, 2022).

A figura 2 a seguir demonstra de forma sucinta a sequência das etapas e os subprodutos gerados para a produção do etanol a partir da cana-de-açúcar.

Figura 2: Sequência das etapas e subprodutos gerados na fabricação de etanol a partir da cana-de-açúcar.



Fonte: Autoria própria, 2022.

### 2.3.1 Lavagem

A lavagem consiste na etapa inicial que precede todo o processo para a fabricação de etanol. Nesse momento a cana chega à usina em sua forma pura (figura 3), é colocada em uma esteira rolante e recebe um banho de água (figura 4) que servirá para retirar possíveis impurezas como areia e poeira (MACHADO, 2016). Por conseguinte, a cana passará pelo picador onde será cortada. Após esse processo ela passará pelo desfibrador onde acontecerá a retirada da fibra da cana. Continuamente, a matéria-prima passará pelo eletroímã (figura 5) que tem a função de retirar possíveis materiais metálicos presentes na cana desfibrada (NOVACANA, 2022).

Figura 3: Recepção de cana-de-açúcar na Usina Caeté - Unidade Marituba.



Fonte: acervo do autor, 2022.

Figura 4: Lavagem de cana-de-açúcar na Usina Caeté - Unidade Marituba.



Fonte: acervo do autor, 2022.

Figura 5: Eletroímã na Usina Caeté - Unidade Marituba.



Fonte: acervo do autor, 2022.

### 2.3.2 Moagem

A etapa de moagem consiste na passagem da cana-de-açúcar desfibrada por rolos trituradores (figura 6) o qual originará o caldo. Da cana moída é extraído cerca de 96% de seu caldo total (MACHADO, 2016). Do material completo cerca de 30% origina o bagaço, que poderá ser utilizado para geração de energia na própria usina, e os outros 70% será caldo, que continuará o processo para a fabricação de etanol (NOVACANA, 2022). Nas moendas, a cana já picada e desfibrada é espremida em altas pressões, cerca de 250 kg/cm<sup>2</sup>, entre sucessivos ternos (figura 7) montados numa estrutura denominada de castelos, e têm a função de extrair o máximo de caldo possível (CARVALHO-GONÇALVES, 2021).

Figura 6: Rolo triturador da moenda na Usina Caeté - Unidade Marituba.



Fonte: acervo do autor, 2022.

Figura 7: Representação de um terno na Usina Caeté - Unidade Marituba.



Fonte: acervo do autor, 2022.

### 2.3.3 Eliminação de impurezas

Para retirar possíveis impurezas presentes no caldo, é necessário que ele passe por uma peneira, e em seguida é sulfitado com  $\text{SO}_2$  (dióxido de enxofre) para auxiliar na coagulação dos materiais coloidais, na formação de precipitados e inibe a formação de cor. Além disso, recebe o leite de cal –  $\text{Ca} [\text{OH}]_2$  – (suspensão de hidróxido de cálcio em água que pode conter até 40% de sólidos em suspensão.) para manter um pH adequado por volta de 6,8 a 7,2, evitando assim problemas como a inversão da sacarose (figura 8) (MACHADO, 2016).

Por conseguinte o caldo recebe o polímero e segue para a etapa de aquecimento e esterilização, em que o caldo é aquecido para uma temperatura de  $105^\circ \text{C}$  com o intuito de eliminar possíveis micro-organismos presentes e auxiliar na viscosidade do caldo. Após o aquecimento, todo o caldo passa por um balão de flasheamento que ajudará na retirada do ar contido no caldo, impedindo o assanhamento das impurezas que irão decantar (NUNES & FINZER, 2019).

Em seguida, o caldo, segue para um tanque de descanso para que ocorra a sedimentação dos possíveis resíduos. Depois de decantar, retira-se o melado puro e esse será denominado de caldo clarificado (NOVACANA, 2022).

.Figura 8: Tratamento de caldo com leite de Cal e sulfitação com dióxido de Enxofre  $\text{SO}_2$  na Usina Caeté - Unidade Marituba.



Fonte: acervo do autor, 2022.

### 2.3.4 Fermentação

Antes de iniciar o processo fermentativo, o melado, segue para diluição e correção do pH no tanque de pré-diluição resultando no mosto de alimentação, mistura ideal para alimentar as dornas de fermentação, essa diluição é feita para correção dos açúcares totais, gerando

um ambiente propício para as leveduras. O pH tem papel importante na fermentação, sendo que para favorecer o desenvolvimento das leveduras deve estar na faixa entre 4,5 e 5,0. Além disso, há o uso de antissépticos que tem o objetivo de controlar os possíveis contaminantes, uma opção para esse processo é o uso de ácido sulfúrico. As leveduras desempenham melhor sua atividade à temperatura de 32 a 34° C (ALCARDE, 2022).

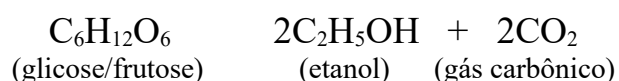
Após estar diluído, o mosto de alimentação, é levado para as dornas (tanques representados nas figuras 9 e 10), onde será misturado com o fermento/leveduras (a levedura mais comum é a *Saccharomyces cerevisia*). Nesse momento o micro-organismo utilizado irá alimentar-se do açúcar presente no caldo, durante esse processo as leveduras quebram as moléculas de glicose e produzem gás carbônico e etanol (ALCARDE, 2022).

A fermentação alcoólica na indústria sucroalcooleira é dividida em duas partes. Inicia-se com a hidrólise da molécula de sacarose em moléculas de glicose e frutose por meio da enzima invertase. Posteriormente, por ação da enzima zímase há a conversão dos açúcares redutores em etanol e gás carbônico conforme descrito na equação abaixo (LOURENÇO; TOLEDO & BIANCHI, 2020).

#### Ação da Enzima **INVERTASE**:



#### Ação da Enzima **ZÍMASE**:



O processo fermentativo pode durar diversas horas e gera o vinho fermentado que é composto por leveduras, açúcar não fermentado e cerca de 10% de etanol. Vale ressaltar que o fim da fermentação se dá pelo consumo máximo do açúcar, que é sinalizado pela estabilização do grau °Brix (ABDALA *et al.*, 2017).

Após a fermentação, o mosto fermentado, segue para as centrífugas onde ocorrerá a separação por densidade entre o vinho e a levedura. O vinho delevedurado seguirá para a etapa de destilação, enquanto as leveduras seguirão para as cubas de tratamento – para evitar a disseminação de outros microrganismos e diminuir a eficiência da levedura – e serão reutilizadas em mais um processo fermentativo. Esse processo de reutilização das leveduras é conhecido como método de Melle-Boinot (VANZELLA *et al.*, 2014).

Figura 9: Dorna para fermentação na Usina Caeté - Unidade Marituba.



Fonte: acervo do autor, 2022.

Figura 10: Conjunto de dornas para fermentação na Usina Caeté - Unidade Marituba.



Fonte: acervo do autor, 2022.

### 2.3.5 Destilação

A destilação possui por finalidade separar o etanol que está misturado ao vinho delevedurado. Para que esse processo seja realizado é necessário adicionar o vinho isento de leveduras na coluna de destilação, no qual será aquecido e irá evaporar. Esse vinho possui em sua composição de 7º a 10º GL (% em volume) de álcool (NOVACANA, 2022). A evaporação



A1e vai descendo através de bandejas sofrendo depuração – purificação do vinho – saindo em forma de flegma com cerca de 40° a 50° GL e segue para a coluna B. Além disso, há a formação da vinhaça como produto da destilação, que poderá servir como fertilizante em lavouras, já que é rico em minerais e matéria orgânica (MICHEL JUNIOR, 2010).

Os voláteis, principalmente ésteres e aldeídos são concentrados na coluna D e retirados em seu topo. Nos voláteis, por meio de condensadores, uma parte poderá retornar ao processo (cerca de 90% a 95%) e a outra será retirada como álcool de 2ª, que possui graduação de aproximadamente 92° GL, ou retorna a dorna volante (MICHEL JUNIOR, 2010).

Na coluna B há um processo denominado de retificação, o qual consiste em concentrar a flegma a uma graduação de 96° GL e realizar a retirada de impurezas como aldeídos, ésteres, aminas, ácidos e bases. No fundo da coluna B há a formação de flegmaça que é uma solução aquosa, a qual poderá ser reutilizada no processo ou descartada. Por conseguinte, os álcoois homólogos superiores – nomeados como óleo fúsel e alto – são retirados de bandejas próximas à entrada de flegma. Após essa purificação e aquecimento, o produto gerado é o álcool hidratado, que poderá seguir para armazenamento e comercialização, ou para a etapa de desidratação para a formação de Etanol anidro (MICHEL JUNIOR, 2010).

### **2.3.6 Desidratação**

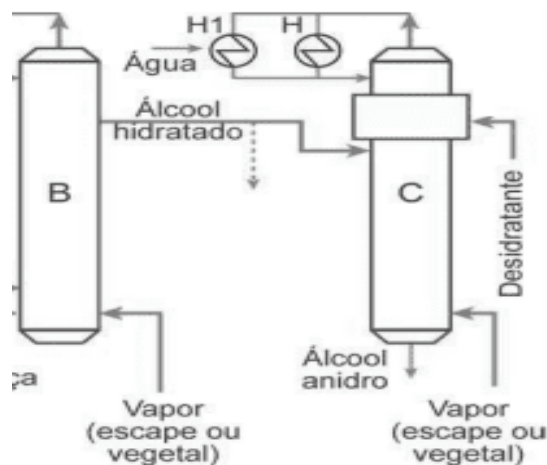
O álcool hidratado formado na etapa de destilação é uma mistura homogênea álcool-água que possui um teor de 96° GL. Essa mistura pode ser classificada como azeotrópica – condição em que a mistura possui ponto de ebulição constante – e por conta dessa circunstância não é possível obter o etanol anidro através da destilação, por isso se faz necessária à etapa de desidratação (SOUZA, 2022).

Na obtenção do álcool anidro é necessário que o álcool hidratado passe por algum procedimento com o intuito de separar a água do etanol, esse processo de separação pode ser feito de diferentes formas (NOVACANA, 2022).

Um exemplo de desidratação é utilizando um solvente que se mistura, somente, com a água e ambos evaporam juntos e após ser desidratado surge o álcool anidro que possui cerca de 99,3% de graduação alcoólica (LOPES, GABRIEL & BORGES, 2017).

Na Figura 12 é retratado o processo de destilação para obtenção do etanol anidro.

Figura 12: Fluxograma da desidratação do etanol.



Fonte: SANTOS *et al.* (2019).

Atualmente o principal solvente utilizado na coluna de desidratação é o cicloexano. A alimentação desse solvente é feita na parte superior da coluna C e o álcool que será desidratado entra um pouco abaixo (MICHEL JUNIOR, 2010).

Neste processo, o cicloexano, forma um azeotrope juntamente com a água e o etanol. Essa nova formação permite que haja mudança no ponto de ebulição da água, que se torna 63°C, enquanto o etanol irá evaporar com 78°C. Essa diferença de temperatura irá permitir retirar a água no topo da coluna C e passará por processo de tratamento para recuperação do solvente. Na parte inferior da coluna será coletado o etanol anidro com um teor alcoólico por volta de 99,3%, após condensação é encaminhado para o armazenamento (SANTOS *et al.* 2019).

### 2.3.7 Armazenamento

Ao finalizar o processo de destilação (para obtenção do etanol hidratado) e desidratação (para obtenção do etanol anidro), o produto gerado é armazenado em seu respectivo tanque de produção (figuras 13 e 14) para que o laboratório analise a condutividade e a acidez em ambos e o pH, somente, do hidratado.

A tabela 2 a seguir traz os valores de referência esperados nas análises dos tanques de produção.

Tabela 2: Valores de referência das análises de condutividade, acidez e pH dos tanques de produção – Etanol anidro e hidratado.

Parâmetros	Especificações	
	Hidratado	Anidro
<b>pH</b>	Máx. 8,0 Mín. 6,0	Análise ausente
<b>Condutividade</b>	Máx. 300 $\mu\text{s/m}$	Máx. 300 $\mu\text{s/m}$
<b>Acidez</b>	30 mg/L	30mg/L

Fonte: Manual de análises de processo e produtos as fabricação de etanol, Usina Caeté – unidade Marituba.

A análise de pH tem por finalidade determinar a concentração de íons  $\text{H}^+$ , por potenciometria através de um potenciômetro. Na análise de condutividade há a importância de determinar a condutividade elétrica por condutimetria, esse processo é realizado com um condutivímetro. Por fim, a análise de acidez, tem por objetivo determinar a acidez total, expressa em mg/L de ácido acético.

Figura 13: Tanque de produção do etanol anidro na usina Caeté – unidade Marituba.



Fonte: Acervo do autor, 2022.

Figura 14: Tanque de produção do etanol hidratado na usina Caeté – unidade Marituba.



Fonte: Acervo do autor, 2022.

Essas análises servem para constatar a qualidade do produto. Por conseguinte, se o etanol estiver dentro das especificidades, há a liberação para o armazenamento nos tanques até que sejam transportados por caminhões para seus respectivos receptores (NOVACANA, 2022).

Figura 15: Tanque para armazenamento de etanol na usina Caeté – Unidade Marituba.



Fonte: acervo do autor, 2022.

## 2.4 PARÂMETROS ANALISADOS PARA MANTER A QUALIDADE DA PRODUÇÃO DE ETANOL

Para verificar se o etanol (anidro e hidratado) está de acordo com as normas exigidas, a ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis) utiliza diferentes metodologias de teste (NOVACANA, 2022). Na usina Caeté – unidade Marituba, os parâmetros de análise são realizados de acordo com as Normas Brasileiras (NBR) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), e com o valor desejado em cada etapa da produção.

Para que haja um controle de qualidade nas etapas de produção do etanol é necessário que os parâmetros sejam seguidos, e para segui-los é necessário realizar diversos testes que possuem suas especificidades de acordo com o material analisado (PROPEQ, 2021).

Na usina Caeté – unidade Marituba, os caldos analisados para a produção de etanol são coletados na destilaria (figura 16) todos os dias, e a depender da necessidade podem ser pedidas análises extras para o acompanhamento do processo.

Figura 16: Destilaria da usina Caeté – Unidade Marituba.



Fonte: acervo do autor, 2022

As denominações dos materiais coletados são: vinho delevedurado/turbina (figura 17), água CO<sub>2</sub> (figura 18), leite concentrado (figura 19), mel final (figura 20), vinhaça (figura 21), caldo da destilaria (figura 22), mosto de alimentação (figura 23), mosto fermentado (figura 24), leite tratado (figura 25) e dorna volante (figura 26).

Figura 17: Vinho delevurado (ponto de coleta e amostra).



Fonte: acervo do autor, 2022.

Figura 18: Água de CO<sub>2</sub> (ponto de coleta e amostra).



Fonte: acervo do autor, 2022.

Figura 19: Leite concentrado (ponto de coleta e amostra).



Fonte: acervo do autor, 2022.

Figura 20: Mel final (ponto de coleta e amostra).



Fonte: acervo do autor, 2022.

Figura 21: Vinhaça (ponto de coleta e amostra).



Fonte: acervo do autor, 2022.

Figura 22: Caldo da destilaria (ponto de coleta e amostra).



Fonte: acervo do autor, 2022.

Figura 23: Mosto de alimentação (ponto de coleta e amostra).



Fonte: acervo do autor, 2022.

Figura 24: Mosto fermentado (ponto de coleta e amostra).



Fonte: acervo do autor, 2022.

Figura 25: Leite tratado (ponto de coleta e amostra).



Fonte: acervo do autor, 2022.

Figura 26: Dorna volante (ponto de coleta e amostra).



Fonte: acervo do autor, 2022.

Esse material coletado segue para o laboratório, onde receberá o tratamento necessário para a realização de análises como: brix, pH, acidez, condutividade, A.R.T (açúcares redutores totais), A.R.R.T (açúcar redutor residual total), teor alcoólico e percentual de fermento. Após a realização de cada análise, os resultados são anotados em uma planilha (Figura 27) que servirá para acompanhar a qualidade do processo. Ao finalizar os procedimentos, os resultados anotados na planilha seguem para um sistema computadorizado e programado para armazenar os dados da safra. Além disso, todos os resultados são passados para os operadores da destilaria que, a depender do resultado, decidirão como proceder às etapas de fabricação do etanol.

Figura 27: Planilha de controle das análises da destilaria na usina Caeté – unidade Marituba.



Figura 28: Sacarímetro de Brix (aerômetro).



Fonte: acervo do autor, 2022.

Para esse procedimento é necessário que haja uma correção no valor encontrado no aerômetro, que é feita por meio da tabela descrita na Figura 29. Esse equipamento fornece a temperatura da amostra e um valor que juntos servirão para correção do Brix. Posteriormente os valores obtidos são anexados na planilha de análises da destilaria. O cálculo para correção está descrito abaixo (no caso do leite concentrado há a necessidade de multiplicar por dois o resultado encontrado por conta da diluição feita inicialmente).

Brix% Leite tratado e mosto fermentado = [Leitura do sacarímetro + fator correção temperatura]

Brix % Leite concentrado = [(leitura do sacarímetro + fator correção temperatura) x2]

Figura 29: Tabela de Brix verificado o aerômetro utilizada na usina Caeté – unidade Marituba.

USINA CAETÉ S/A  
UNIDADE MARITUBA  
Cervejas Lógicas

TÍTULO: TABELA DE BRUX AEROMÉTRICO  
CÓDIGO: AM.COCOQ.06A

REV. 00  
PAG. 1/1

TABELA DE BRUX  
BRUX VERIFICADO NO AERÔMETRO

TEMP.	0 - 2,6	2,6 - 7,5	7,6 - 12,5	12,6 - 17,5	17,6 - 22,5
15,0	0,20	0,22	0,24	0,26	0,28
15,5	0,19	0,20	0,22	0,24	0,26
16,0	0,17	0,18	0,20	0,22	0,23
16,5	0,15	0,16	0,17	0,19	0,20
17,0	0,13	0,14	0,15	0,16	0,18
17,5	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15
18,0	0,09	0,10	0,11	0,11	0,12
18,5	0,07	0,07	0,08	0,08	0,09
19,0	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06
19,5	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03
20,5	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03
21,0	0,04	0,05	0,06	0,06	0,06
21,5	0,07	0,08	0,09	0,09	0,09
22,0	0,10	0,10	0,11	0,12	0,12
22,5	0,13	0,13	0,14	0,15	0,16
23,0	0,16	0,16	0,17	0,17	0,19
23,5	0,18	0,19	0,20	0,21	0,23
24,0	0,21	0,22	0,23	0,24	0,26
24,5	0,24	0,25	0,27	0,28	0,29
25,5	0,27	0,28	0,30	0,31	0,32
25,5	0,30	0,31	0,33	0,34	0,36
26,0	0,33	0,34	0,36	0,37	0,40
26,5	0,36	0,37	0,39	0,40	0,43
27,0	0,40	0,41	0,42	0,44	0,46
27,5	0,43	0,44	0,46	0,48	0,50
28,0	0,46	0,47	0,49	0,51	0,54
28,5	0,50	0,51	0,53	0,55	0,57
29,0	0,54	0,55	0,56	0,59	0,61
29,5	0,58	0,59	0,60	0,63	0,65
30,0	0,61	0,62	0,63	0,66	0,68
30,0	0,69	1,02	1,02	1,06	1,10
40,0	1,42	1,51	1,47	1,51	1,54

Fonte: acervo do autor, 2022.

A tabela 3 apresenta os valores esperados nas respectivas análises.

Tabela 3: Parâmetros esperados no brix aerométrico.

Amostra	Valores de referência (%)	
	Máx.	Mín.
<b>Leite concentrado (diluído 200g/400g)</b>	22,0	10,0
<b>Mosto fermentado</b>	5,0	0,10
<b>Leite tratado</b>	10,0	2,5

Fonte: Manual de análises de processo e produtos da fabricação de etanol, Usina Caeté – unidade Marituba.

Caso haja uma possível distorção entre o resultado encontrado e os valores de referência, há a necessidade de corrigir o material, em sua forma bruta, na destilaria. Essa correção é de responsabilidade dos encarregados da destilaria, que irão decidir qual procedimento deve ser seguido.

Um brix abaixo dos parâmetros irá indicar que houve falta de açúcar na alimentação das leveduras e acima dos valores desejados indicará o excesso de açúcar ou um déficit no processo fermentativo.

#### 2.4.1.2 Brix refratométrico

O brix refratométrico é realizado nas seguintes amostras: mel final (diluído com água destilada na concentração de 100g/600g), caldo da destilaria e mosto de alimentação. A análise é feita por meio do refratômetro que funciona de acordo com o índice de refração da substância. Por conta da diluição feita no mel, é necessário calcular o brix que seguirá o seguinte cálculo:

$$\text{Brix \% corrigido} = \text{leitura refratométrica} \times 6.$$

Os resultados esperados em cada amostra estão apresentados na tabela 4.

Tabela 4: Parâmetros esperados no brix refratométrico.

Amostra	Valores de referência (%)	
	Máx.	Mín.
<b>Mel final (diluído 100g/600g)</b>	88,0	70,0
<b>Caldo destilaria</b>	16,0	6,0
<b>Mosto alimentação</b>	25,0	12,0

Fonte: Manual de análises de processo e produtos da fabricação de etanol, Usina Caeté – unidade Marituba.

No mosto de alimentação, um brix muito alto causa uma fermentação irregular resultando em um excesso de açúcar no final do processo. E um brix muito baixo causará um déficit na fermentação, tendo em vista que faltará açúcar para o metabolismo das leveduras.

A importância de saber o brix do mel e do caldo da destilaria se dá pela necessidade de alimentação da dorna, o que precisa ser controlado para manter uma boa atividade de fermentação das leveduras.

Figura 30: refratômetro digital de bancada na usina Caeté – unidade Marituba.



Fonte: Acervo do autor, 2022.

#### 2.4.2 PH

O pH pode ser definido como potencial hidrogeniônico – é uma escala logarítmica que indica com valores que variam de 0 a 14 e podem indicar se a solução é ácida ( $\text{pH} < 7$ ), neutra ( $\text{pH} = 7$ ) ou básica ( $\text{pH} > 7$ ) (FOGAÇA, 2022). Além disso, é uma análise de suma importância para a fermentação industrial devido ao possível controle da contaminação bacteriana e, também, seus efeitos de crescimento da levedura e taxa fermentativa (NAVES *et al.*, 2010).

A análise do pH tem como objetivo determinar a concentração de íons  $\text{H}^+$  pelo método potenciométrico, realizado com o aparelho potenciômetro que está representado na figura 31.

Figura 31: potenciômetro utilizado na usina Caeté – unidade Marituba.



Fonte: acervo do autor, 2022.

Os resultados esperados em cada amostra estão discurridos na tabela 5.

Tabela 5: parâmetros esperados na análise de pH.

Amostra	Valores de referência.	
	Máx.	Mín.
Mel final (diluído)	7,0	4,0
Caldo destilaria	6,5	3,5
Mosto alimentação	7,0	4,0
Leite tratado	3,0	1,5

Fonte: Manual de análises de processo e produtos as fabricação de etanol, Usina Caeté – unidade Marituba.

Por meio dos resultados obtidos serão observados se há a necessidade de correção do pH ou se está dentro do esperado. Para as leveduras, um pH muito ácido irá favorecer a proliferação de bactérias (contaminação) o que poderá ser controlado com o uso de antibióticos e controlando o pH do meio. Segundo Amaral (2009), quando os valores de pH se encontram baixos, ocorre a perda de nutrientes como o potássio e o nitrogênio, resultando no crescimento da sensibilidade do etanol.

Se o meio estiver com pH acima do valor máximo não ocorrerá a contaminação por bactérias, mas também irá desintegrar as leveduras do processo fermentativo, por isso faz-se necessário manter essa variável dentro dos valores de referência.

### 2.4.3 Acidez

Para verificar a acidez do Etanol é utilizado o método da NBR 9866 - Determinação da acidez total por titulação colorimétrica, que consiste em adicionar ao etanol um reagente químico que muda de cor quando atinge a equivalência de acidez do etanol. (NOVACANA, 2022).

De acordo com o material analisado haverá um tipo de titulação, com o diferencial do titulante. A acidez sulfúrica é feita com as amostras de mel final, caldo da destilaria, mosto fermentado e mosto de alimentação, e usa-se como titulante o Hidróxido de Sódio 0,025 N. Enquanto que na análise de acidez acética utiliza-se o Hidróxido de Sódio 0,02 N nas amostras de Etanol anidro e Etanol hidratado.

#### 2.4.3.1 Acidez sulfúrica

Nessa análise há a importância de determinar a acidez sulfúrica, expressa em gramas de ácido sulfúrico por litro de amostra, através de titrimetria de neutralização. Após a preparação da análise e realização da titulação com Hidróxido de Sódio 0,025 N, é anotado o volume gasto (Vg) e feito um cálculo de acidez sulfúrica de acordo com a amostra analisada. Os cálculos estão descritos abaixo.

Acidez sulfúrica no caldo destilaria, mosto alimentação e mosto fermentado (g de ácido sulfúrico/ L da amostra) =  $Vg \times 0,49 \times F$ .

Onde: F = fator de da solução de hidróxido de sódio 0,025N.

Acidez sulfúrica no mel final (g de ácido sulfúrico/ L da amostra) =  $Vg \times 2,45 \times F$ .

Onde: F = fator de da solução de hidróxido de sódio 0,025N.

O valor de multiplicação no mel é diferente por conta da diluição inicial com água destilada, na proporção de 100g mel para 600g de solução.

A tabela 6 a seguir traz as informações dos valores de referência dessa análise.

Tabela 6: Parâmetros esperados na análise de acidez sulfúrica.

Amostra	Valores de referência.	
	Máx.	Mín.
<b>Mel final (diluído 100g/600g)</b>	14,0	5,0
<b>Caldo destilaria</b>	3,5	0,4
<b>Mosto alimentação</b>	4,5	0,6
<b>Mosto fermentado</b>	6,0	1,0

Fonte: Manual de análises de processo e produtos as fabricação de etanol, Usina Caeté – unidade Marituba.

Uma acidez elevada no mel final irá afetar o mosto de alimentação, já que esse é proveniente da mistura de mel, caldo e água. Poderá significar um retardamento no processo de fermentação, surgimento de floculações e perda do rendimento das leveduras.

No caso do mosto fermentado, uma acidez muito elevada prejudica a levedura apesar de manter um nível baixo de bactérias. Se tiver um nível de acidez abaixo do parâmetro pode provocar a proliferação de bactérias.

#### 2.4.3.2 Acidez acética

A importância dessa análise se dá por determinar a acidez total, expressa em mg/L de ácido acético. Além disso, o etanol só pode ser liberado para armazenamento e posterior comercialização se os valores encontrados estiverem dentro dos parâmetros. Após o preparo de todo o procedimento, anota-se o volume gasto (Vg) na titulação com Hidróxido de sódio 0,02 N para posterior cálculo.

Cálculo:

Acidez acética (mg/L) =  $Vg \times 24,02$ .

Onde: Vg = volume gasto na titulação

A tabela 7 a seguir traz as informações dos valores de referência dessa análise.

Tabela 7: Parâmetros esperados na análise de acidez acética.

Amostra	Valores de referência. (mg/L)	
	Máx.	Mín.
<b>Etanol anidro</b>	30,0	-
<b>Etanol hidratado</b>	30,0	-

Fonte: Manual de análises de processo e produtos as fabricação de etanol, Usina Caeté – unidade Marituba.

Caso o etanol esteja com sua acidez maior que 30,0 mg/L não poderá ser armazenado nem comercializado, já que está fora do padrão de permissão, regido pela NBR 9866 (álcool Etílico – Verificação da Alcalinidade e Determinação da Acidez Total) (NBR, 1987).

#### 2.4.4 Condutividade

Essa análise é regida pela NBR 10547 e sua importância se dá por determinar a condutividade elétrica, por condutimetria. O máximo permitido é de até 300 micro siemens por metro ( $\mu\text{s/m}$ ), o que torna praticamente inexistente sua capacidade de conduzir corrente elétrica. (NOVACANA, 2022).

O equipamento utilizado para medir a condutividade é um condutímetro DM-32, demonstrado na figura 31, que é um medidor digital para análises laboratoriais.

Figura 32: Condutímetro utilizado na análise de condutividade na Usina Caeté – unidade Marituba.



Fonte: Acervo do autor, 2022.

A tabela 8 a seguir traz as informações dos valores de referência dessa análise.

Tabela 8: parâmetros esperados na análise de condutividade.

Amostra	Valores de referência ( $\mu\text{s}/\text{m}$ ).	
	Máx.	Mín.
<b>Etanol anidro</b>	300,0	-
<b>Etanol hidratado</b>	300,0	-

Fonte: Manual de análises de processo e produtos as fabricação de etanol, Usina Caeté – unidade Marituba.

Uma condutividade elétrica elevada pode indicar a que existem substâncias que não deveriam estar no etanol.

#### 2.4.5 A.R.T (Açúcares Redutores Totais)

A análise de açúcares redutores totais (A.R.T.) tem a importância de determinar a concentração de A.R.T. expressos em porcentagem, e servirá para identificar a quantidade de açúcares possíveis de serem transformados em etanol. Esse procedimento é realizado com as amostras de mel final, caldo destilaria e mosto alimentação. Além disso, na usina Caeté – unidade Marituba, o método utilizado é o de Eynon-Lane (método de Fehling).

Após a realização de todo o processo, anota-se o volume gasto ( $V_g$ ) na titulação para a realização de cálculo, os quais estão descritos abaixo.

Cálculo de A.R.T. no caldo destilaria e mosto alimentação:

$$\text{A.R.T. (\%)} = \{[397,15 / (V_g \times F)] + 0,484\}$$

Onde: F = fator da solução de Fehling.

Cálculo de A.R.T. no mel final:

$$\text{A.R.T. (\%)} = [1600 / (\text{Vg} \times \text{F})]$$

Onde: F = fator da solução de Fehling.

A tabela 9 a seguir traz as informações dos valores de referência dessa análise.

Tabela 9: parâmetros esperados na análise de A.R.T. (Açúcares Redutores Totais).

Amostra	Valores de referência (%)	
	Máx.	Mín.
<b>Caldo destilaria</b>	16,0	6,0
<b>Mosto alimentação</b>	25,0	10,0
<b>Mel final</b>	65,0	48,0

Fonte: Manual de análises de processo e produtos as fabricação de etanol, Usina Caeté – unidade Marituba.

A relevância de manter as amostras com valores dentro do padrão se dá para construir uma concentração ideal de A.R.T. no mosto fermentado, fazendo com que as leveduras possam realizar a fermentação da forma mais eficiente possível.

#### 2.4.6 A.R.R.T (Açúcar Redutor Residual Total)

Na análise de açúcar redutor residual total (A.R.R.T.) há a importância de determinar a concentração desses açúcares para monitorar as perdas do processo. Nesse procedimento segue a utilização do método Eynon-Lane. A amostra que passa por esse processo é a de mosto fermentado. Após a titulação anota-se o volume gasto (Vg) para o cálculo de A.R.R.T descrito abaixo:

$$\text{A.R.R.T \% Mosto fermentado} = \{ [19,86 / (\text{Vg} \times \text{F})] + 0,024 \} - 0,4 \times 1$$

Onde: F = fator da solução de Fehling.

A tabela 11 apresenta as informações dos valores de referência dessa análise.

Tabela 10: parâmetros esperados na análise de açúcar redutor residual total (A.R.R.T.).

Amostra	Valores de referência (%)	
	Máx.	Mín.
<b>Mosto fermentado</b>	0,80	0,10

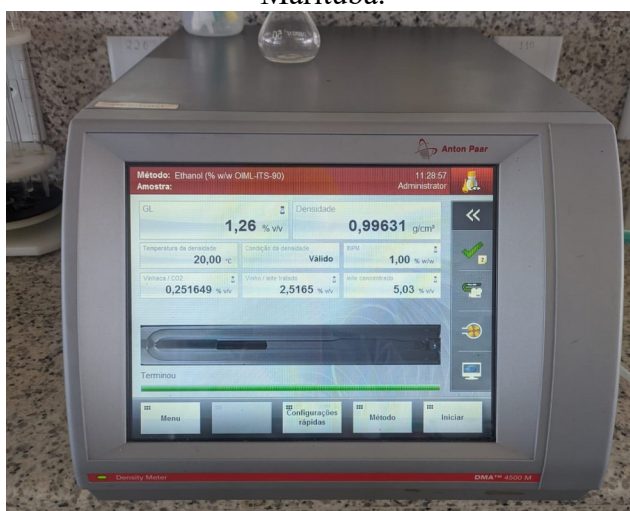
Fonte: Manual de análises de processo e produtos as fabricação de etanol, Usina Caeté – unidade Marituba.

No processo para obtenção de etanol é normal que haja perda, mas que sejam em valores dentro do esperado. No A.R.R.T, caso ultrapasse 0,80%, significa que a fermentação não possuiu a eficácia esperada, o que resultará em prejuízos nos processos seguintes ao fermentativo.

#### 2.4.7 Teor alcoólico

A análise de teor alcoólico possui por finalidade a verificação do teor alcoólico da amostra. Existem dois tipos de procedimentos que variam de acordo com a amostra estudada são eles: °INPM E °GL, que possuem a mesma finalidade e são realizadas por meio de um densímetro digital (figura 33) – nas amostras de leite tratado, leite concentrado, vinhaça, dorna volante, etanol anidro e etanol hidratado – ou por meio de alcoômetro (densímetro para álcool) representado pela figura 34 – nas amostras de etanol anidro e hidratado.

Figura 33: Densímetro digital (Densinty Meter (anto paar)) utilizado na usina Caeté - Unidade Marituba.



Fonte: Acervo do autor, 2022.

Figura 34: Densímetro de álcool (alcoômetro).



Fonte: Acervo do autor, 2022.

#### 2.4.7.1 °INPM

O grau INPM (Instituto Nacional de Pesos e Medidas), é a porcentagem de álcool em peso, a quantidade em gramas de álcool absoluto contida em 100 gramas de mistura hidroalcoólica (p/p). Essa unidade de medida é utilizada para informar a massa de álcool etílico contida em cada litro de etanol (anidro ou hidratado) (GRAEFF *et al.*, 2021).

Essa análise é realizada com as amostras de etanol anidro e hidratado. Essas amostras são colocadas em uma proveta e mergulha-se o densímetro de álcool para fazer a leitura.

Os valores esperados do grau INPM nas amostras de etanol anidro e etanol hidratado são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11: Parâmetros esperados na análise de °INPM.

Amostra	Valores de referência (%)	
	Máx.	Mín.
<b>Etanol hidratado</b>	94,60	92,50
<b>Etanol anidro</b>	-	99,30

Fonte: Manual de análises de processo e produtos as fabricação de etanol, Usina Caeté – unidade Marituba.

Se o valor encontrado não estiver dentro desses valores de referência, o etanol (anidro ou hidratado) não poderá ser comercializado. Caso seja o etanol hidratado, poderá passar pelo processo de destilação para melhorar o seu grau alcoólico. Já no caso do etanol anidro, será necessária uma nova desidratação.

#### 2.4.7.2 °GL

De acordo com Graeff *et al.*, (2021), o grau GL, ou °GL, é a fração em volume – é a quantidade em mililitros de álcool absoluto contida em 100 mililitros de mistura hidroalcoólica – por exemplo, um frasco de álcool com 90 °GL significa que tem 90%, em volume, de álcool e 10%, em volume, de água.

Os produtos utilizados nessa análise são: leite tratado, leite concentrado, vinhaça, dorna volante, etanol anidro e etanol hidratado. Essas amostras passam por um processo semelhante ao da destilaria, por meio de um destilador de laboratório e o produto dessa destilação seguirá para um densímetro digital (Densinty Meter (anto paar)), que faz a leitura da amostra de forma digital por meio da densidade.

No resultado obtido, é necessário fazer uma correção que irá depender do tipo de amostra que está sendo analisada. As correções são:

°GL de Vinhaça e CO<sub>2</sub> = leitura do equipamento / 5

°GL do Vinho delevedurado, Mosto fermentado e leite tratado = leitura do equipamento x 2

°GL do leite concentrado = leitura do equipamento x 4

A tabela 12 informa os valores de referência para as amostras analisadas.

Tabela 12: Parâmetros esperados na análise de °GL.

Amostra	Valores de referência (%).	
	Máx.	Mín.
<b>Leite tratado</b>	7,00	2,00
<b>Leite concentrado</b>	12,00	3,00
<b>Vinhaça</b>	0,03	0,01
<b>Dorna volante</b>	14,00	4,00
<b>Etanol anidro ANP</b>	-	99,3
<b>Etanol hidratado</b>	93,8	92,5

Fonte: Manual de análises de processo e produtos as fabricação de etanol, Usina Caeté – unidade Marituba.

As análises do °GL irão demonstrar se as etapas da produção de etanol estão dentro dos parâmetros. No caso da vinhaça, por ser um resíduo gerado na destilaria, é de suma importância que seus valores sejam realmente baixos, pois poderá indicar a perda de etanol.

#### 2.4.8 % Fermento

O percentual de fermento (% Fermento) é uma análise que possui como importância a determinação da porcentagem de fermento por meio da centrifugação. As amostras analisadas são as do leite tratado, leite concentrado e mosto fermentado.

Após a centrifugação, faz-se a leitura do fermento que está no tubo, e das impurezas (caso haja). Por conseguinte é necessário que se faça o cálculo de fermento – essa correção é necessária por conta da quantidade de material que é colocada para centrifugar.

Cálculos % Fermento:

% Fermento Leite tratado e Mosto fermentado = [(média dos volumes depositados no fundo dos tubos x 10)].

% Fermento leite concentrado = [(média dos volumes depositados no fundo dos tubos x 10) x 2].

No leite concentrado há a diluição antes da centrifugação, por isso há a multiplicação por 2 no cálculo % fermento.

Uma percentual maior de fermento no leite concentrado indica uma boa centrifugação do processo – separação do vinho e da levedura – e um baixo percentual indica falha na centrifugação, demonstrando que houve perda de fermento, o qual foi arrastado junto ao vinho.

Não há valor de referência para esse tipo de análise, o que deve ser feito é analisar se a quantidade (% fermento) está ou não satisfatória em comparação com o esperado no processo total.

### **3 CONCLUSÃO**

Durante o período letivo no Instituto Federal de Alagoas – campus Penedo no curso técnico em Química foi trabalhado, sucintamente, sobre a indústria sucroalcooleira e as possíveis análises realizadas nesse setor. Com o estágio realizado na Usina Caeté – Unidade

Marituba, foi possível aprofundar esse conhecimento por meio da aplicação da teoria na prática, demonstrando o ensino de forma dinâmica e compreensível. O estágio é essencial no que diz respeito à formação de profissionais qualificados, tendo em vista a diversidade de atividades que foram desempenhadas durante esse período, sendo de suma importância para a formação de uma profissional competente e ágil na tomada de decisões que impliquem no processo geral da indústria de forma satisfatória.

Nesse sentido, os parâmetros analisados na produção de etanol anidro e hidratado são importantes para manter a qualidade de cada etapa até a obtenção do produto final, viabilizando-o para a comercialização e possível transformação em outros derivados. Além disso, há a intensa exploração do setor sucroalcooleiro em âmbito nacional e local, o que possibilita o aproveitamento dos profissionais que estão em formação nas áreas que integram esse setor, primordial para a economia nacional.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDALA, T. O., *et al.* Análise comparativa dos processos de produção de etanol anidro. 2017.

ALCARDE, A. Árvore do conhecimento: cana-de-açúcar. *In: árvore do conhecimento: cana-de-açúcar.* Brasília: EMBRAPA, 2022. Disponível em:

[https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01\\_105\\_22122006154841.html](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_105_22122006154841.html). Acesso em: 18 mar. 2022.

AMARAL, F. S. **Influência Conjunta do pH, Temperatura e Concentração de Sulfito na Fermentação Alcoólica de Mosto de Sacarose**. Universidade Federal de Uberlândia, 2009.

ANP, Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2014.

CARVALHO-GONÇALVES, L. **Introdução à Tecnologia Sucroalcooleira**. 1. ed. João Pessoa - PB: UFPB, 2021. 249 p. v. 1. ISBN 978-65-5942-076-6. *E-book* (249 p.).

NUNES, T. S.; FINZER, J. R. D. A importância do tratamento do caldo de cana-de-açúcar para a produção de açúcar e etanol. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 11, p. 24816-24823, 2019.

NUNES, T. S.; FINZER, J. R. D. Estudos da produção de etanol anidro por destilação azeotrópica, extrativa e adsorção. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 11, p. 24842-24850, 2019.

FOGAÇA, J. R. V. Conceito de pH. *In*: MANUAL DA QÍMICA (Brasil) (org.). **Conceito de pH**. Brasil: Rede Omnia, 2022. Disponível em: <https://www.manualdaquimica.com/fisico-quimica/conceito-ph.htm#:~:text=Assim%2C%20o%20pH%20serve%20para,for%20maior%20que%207%2C%20b%C3%A1sico>. Acesso em: 26 mar. 2022.

GORNI, E. Produção e fabricação de açúcar e álcool. *In*: GORNI, Everton. **Produção e fabricação de açúcar e álcool**. Brasil: Cola da Web, 2022. Disponível em: <https://www.coladaweb.com/quimica/quimica-geral/producao-e-fabricacao-de-acucar-e-alcool-parte-1>. Acesso em: 22 mar. 2022.

GRAEFF, D. F., *et al.* Avaliação da qualidade do álcool gel utilizado no comércio de cascavel - pr. *in*: JUNIOR, Fábio Ferreira de Carvalho (org.). **Avaliação da qualidade do álcool gel utilizado no comércio de Cascavel - PR**. 1. ed. Paraná: Científica Digital, 2021. v. 1, cap. 11, p. 142-156. isbn 978-65-89826-63-7.

GRUPO CARLOS LYRA (Maceió). Grupo Carlos Lyra (org.). **AÇÚCAR, ETANOL E BIOELETRICIDADE**. 2022. Disponível em: <https://www.usinacaete.com/segmento/acucar-e-bioenergia/>. Acesso em: 11 jan. 2022.

LIMA, J. R. T. A realidade produtiva do setor sucroalcooleiro alagoano no período de 2008 a 2018. **Revista Contexto Geográfico**, v. 6, n. 11, p. 01-18, 2021.

LOPES, C. H.; GABRIEL, A. V. M. D.; BORGES, M. T. M. R. **Produção de etanol a partir da cana-de-açúcar: tecnologia de produção de etanol**. 2017.

LOURENÇO, C. A. S., TOLEDO, J. C. N., BIANCHI, R. M. C. Obtenção do etanol a partir do reaproveitamento dos rejeitos do processo de produção da cachaça. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**. Ano 05, ed. 04, v. 01, p. 29-54, 2020.

MACHADO, S. S. **Tecnologia da fabricação do açúcar**. 2016.

MARQUINI, M. F., *et al.* Simulação e análise de um sistema industrial de colunas de destilação de etanol. **Acta Scientiarum. Technology** [en linea]. 2007, v. 29, n. 1, p. 23-28.

MICHEL JUNIOR, R. J. S. **Obtenção do álcool etílico hidratado, com graduação alcoólica para uso automotivo: validação d e um processo em batelada.** 2010.

NAVES, R. F; FERNANDES, F. S; PINTO, O. G; NAVES, P. L. F. **Contaminação Microbiana nas Etapas de Processamento e sua Influência no Rendimento Fermentativo em Usina Alcooleira.** Enciclopédia Biosfera, 2010.

NBR 9866, “**Álcool Etilico – Verificação da Alcalinidade e Determinação da Acidez Total**”, Rio de Janeiro, ABNT, 1987.

NOVACANA (Brasil). Novacana (org.). **Aplicações e usos do etanol.** 2022. Disponível em: <https://www.novacana.com/etanol/aplicacoes> . Acesso em: 26 Mar. 2022

NOVACANA (Brasil). Novacana (org.). **Controle de qualidade: especificações do etanol.** 2022. Disponível em: <https://www.novacana.com/etanol/controle-qualidade> . Acesso em: 26 Mar. 2022.

NOVACANA (Brasil). Novacana (org.). **Processos de fabricação do etanol.** 2022. Disponível em: <https://www.novacana.com/etanol/fabricacao>. Acesso em: 15 jan. 2022.

PROPEQ (Campinas). Propeq - Projeto e Pesquisa em Engenharia Química (org.). **Venha conhecer a indústria sucroalcooleira e suas aplicações.** 2021. Disponível em: <https://propeq.com/industria-sucroalcooleira-e-suas-aplicacoes/>. Acesso em: 11 jan. 2022.

SANTOS, L. M. A., *et al.* Produção de álcool anidro mais limpa. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, v. 3, p. 67-80, 2019.

SOUZA, L. A. "Mistura azeotrópica"; *Brasil Escola*. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/mistura-azeotropica.htm>. Acesso em 19 de março de 2022.

VANZELLA, E., *et al.* **Processo fermentativo na indústria sucroalcooleira.** *Acta Iguazu*, v. 3, n. 1, p. 50-58, 2014.

VARELLA, Carlos Alberto Alves; BARROS, Vinicius Rios; BAESSO, Murilo Mesquita. **NOTA TÉCNICA: MAPEAMENTO DA VARIABILIDADE ESPACIAL DO BRUX EM CANA-DE-AÇÚCAR.** *Revista Engenharia na Agricultura-REVENG*, v. 20, n. 2, p. 112-117, 2012.