



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
INSTITUTO DE QUÍMICA E BIOTECNOLOGIA  
GRADUAÇÃO EM QUÍMICA TECNOLÓGICA E INDUSTRIAL



THAYNÁ TEREZINHA MARQUES MARTINS

PROCESSOS E ANÁLISES NO MONITORAMENTO DE UMA USINA  
DE ÁLCOOL

THAYNÁ TEREZINHA MARQUES MARTINS

PROCESSOS E ANÁLISES NO MONITORAMENTO DE UMA  
USINA DE ÁLCOOL

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto de Química e Biotecnologia da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do grau de bacharel em Química Tecnológica e Industrial.

Orientador: Vitor Lopes de Abreu Lima

Maceió - AL

2022

**Catálogo na fonte Universidade Federal de  
Alagoas Biblioteca Central  
Divisão de Tratamento Técnico**

Bibliotecária: Taciana Sousa dos Santos – CRB-4 – 2062

M386p Martins, Thayná Terezinha Marques.

Processos e análises no monitoramento de uma usina de  
álcool / Thayná Terezinha Marques Martins. – 2022.  
50 f. : il. color.

Orientador: Vitor Lopes de Abreu Lima.

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Química  
Tecnológica e Industrial) – Universidade Federal de Alagoas.  
Instituto de Química e Biotecnologia. Maceió, 2022.

Bibliografia: f. 49-50.

1. Etanol. 2. Fermentação alcoólica. 3. Química industrial. I.  
Título.

## FOLHA DE APROVAÇÃO

THAYNÁ TEREZINHA MARQUES MARTINS

PROCESSOS E ANÁLISES NO MONITORAMENTO DE UMA USINA DE ÁLCOOL

Trabalho de conclusão de curso  
apresentado ao Instituto de  
Química e Biotecnologia da  
Universidade Federal de  
Alagoas, como requisito parcial  
para obtenção do grau de  
bacharel em Química  
Tecnológica e Industrial.

Aprovado em: 21/03/2022

Banca examinadora



Prof. Dr. Vitor Lopes de Abreu Lima, Universidade Federal de Alagoas  
(Orientador)

gov.br Documento assinado digitalmente  
SIMONI MARGARETI PLENTZ MENEGHETTI  
Data: 23/03/2022 17:26:12 -0300  
Verifique em <https://verificador.itl.br>

Prof. Dr.<sup>a</sup> Simoni Margareti Plentz Meneghetti, Universidade Federal de Alagoas  
(Examinadora interna)

gov.br Documento assinado digitalmente  
JOSE EDMUNDO ACCIOLY DE SOUZA  
Data: 23/03/2022 16:04:49 -0300  
Verifique em <https://verificador.itl.br>

Prof. Dr. José Edmundo Accioly de Souza, Universidade Federal de Alagoas  
(Examinador interno)

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus pela minha vida e por ter permitido que eu tivesse saúde e determinação para não desanimar durante a realização deste trabalho. Sem ele, nada disso seria possível.

A minha mãe Tereza Cristina Marques Martins que é minha heroína, mesmo me criando sem o apoio paternal devido a perda do meu pai muito cedo para a casa do senhor, nunca deixou faltar o meu sustento diário. A pessoa que mais amo nesse mundo. Ela que é o pilar da minha formação como ser humano, a maior incentivadora dos meus sonhos, dedico todo amor incondicional como forma de gratidão.

Ao meu esposo e amigo Ítalo Fernando da Silva Barbosa pelo carinho e paciência, em nenhum momento deixou de me apoiar, sempre compreendeu minha ausência pelo tempo dedicado aos estudos.

Aos amigos que conquistei no curso, todo meu afeto e gratidão. Nos momentos mais difíceis me deram companheirismo e incentivo. As risadas e os choros que compartilharam comigo durante toda essa trajetória, fazem toda diferença. Esse TCC também é nosso: Alexandre Lopes, Izaura Marinho, Milton Oliveira e Patrícia Muriel.

Ao meu orientador Dr. Vitor Lopes de Abreu Lima por ser um profissional bastante humano, paciente e atencioso. Pelas vezes que me mantive desmotivada, ele sempre dizia: “Problemas todos tomamos, vamos conseguir terminar.” Agradeço pela confiança, conhecimento e incansável dedicação.

E por fim a toda banca examinadora que aceitaram estar presente mesmo diante das dificuldades encontradas no cenário atual da pandemia, meus agradecimentos pela contribuição pessoal acerca da monografia.

## RESUMO

O presente trabalho realizou uma pesquisa bibliográfica baseado no estágio realizado durante a graduação do curso, com visitas técnicas nas usinas da região local para assimilar de forma mais clara as etapas industriais a obtenção do etanol e análises físico-químicas e microbiológicas realizadas nas destilarias de etanol. A fermentação alcoólica é a transformação do açúcar em álcool pela ação da levedura *Saccharomyces cerevisiae*, sendo esta reação química realizada na ausência de oxigênio. Diversos fatores são consideráveis no processo de fermentação, pois caso não sejam monitoradas de forma eficiente afetam diretamente o meio, tais como: acidez, pH, temperatura e contaminação bacteriana. Dentre as principais matérias primas, sub produtos e produtos analisados neste setor estão: mosto de fermentação, caldo clarificado, mel, leite tratado, álcool hidratado, álcool anidro e vinhaça. As metodologias de análises que foram descritas são do livro do autor Celso Caldas, “Manual de análises selecionadas para indústria sucroalcooleiras.” Vale ressaltar que este trabalho pretende facilitar o estágio de um estudante em química na área industrial, visando descrever as experiências realizadas para melhor aplicação dos conceitos realizados na prática.

**Palavras-chave:** Álcool; Fermentação; Monitoramento.

## **ABSTRACT**

In this work, we carried out a bibliographic research, with technical visits to some local factories, to objectively evaluate the operation of the ethanol distilleries. Alcoholic fermentation is the transformation of sugar into alcohol by the action of the yeast called *Saccharomyces cerevisiae*, and this chemical reaction occurs in the absence of oxygen. Several parameters are considered in the fermentation process, such as: acidity, pH, temperature and others. If they are not efficiently monitored, they directly affect the medium. Among the main products analyzed in this sector are: fermentation must, clarified juice, honey, treated milk, hydrated alcohol, anhydrous alcohol and vingasse. The method analysis are from the book “Manual of selected analysis for the sugar and ethanol industry”, by the author Celso Caldas. In the following work, the steps in the process of obtaining ethanol and the importance of physical-chemical and microbiological analysis in the manufacture of alcohol were verified, using a bibliographical research and data collected in the visited factories. The results suggest that the monitoring of the analysis and stages are in perfect synchrony, once their control encompass a specific objective, which is the production of ethanol.

**Keywords:** Alcohol, Fermentation, Monitoring

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1:</b> Estrutura da cana-de-açúcar <b>Fonte:</b> Adaptada; Sliderpla, 2022 .....                                                                                     | 8  |
| <b>Figura 2</b> Linha do tempo do etanol <b>Fonte:</b> Autora,2022 .....                                                                                                       | 11 |
| <b>Figura 3</b> Composição do colmo da cana de açúcar <b>Fonte:</b> Autora,2022.....                                                                                           | 12 |
| <b>Figura 4</b> Etapas da fabricação do etanol <b>Fonte:</b> Autora,2022 .....                                                                                                 | 13 |
| <b>Figura 5</b> Hilo mecânico <b>Fonte:</b> Autora,2022 .....                                                                                                                  | 14 |
| <b>Figura 6</b> Levedura <i>Saccharomyces cerevisiae</i> em divisão por brotamento <b>Fonte:</b> Adaptada, Farout, 2022.....                                                   | 17 |
| <b>Figura 7</b> Conversão da glicose em etanol durante a fermentação alcoólica pela Levedura <i>Saccharomyces cerevisiae</i> <b>Fonte:</b> Adaptada, Faria-Oliveira, 2013..... | 18 |
| <b>Figura 8</b> Processo de Melle -Boinot na fermentação <b>Fonte:</b> Adaptada, Steinle, 2013. ....                                                                           | 20 |
| <b>Figura 9</b> Temperatura propícia para fermentação <b>Fonte:</b> Adaptada: Steinle, 2013.....                                                                               | 22 |
| <b>Figura 10</b> Solução de EDTA 4% e Ácido clorídrico 1,1% <b>Fonte:</b> Autora,2022.....                                                                                     | 26 |
| <b>Figura 11</b> Método e contagem das células <b>Fonte:</b> Autora, Usina Santo Antônio-2022 .....                                                                            | 29 |
| <b>Figura 12</b> Câmara de Neubauer <b>Fonte:</b> Autora, Usina santo Antônio-2022 .....                                                                                       | 30 |
| <b>Figura 13</b> Diluição em série $10^{-5}$ <b>Fonte Adaptada:</b> Usina Santo Antônio-2022 .....                                                                             | 31 |
| <b>Figura 14</b> Refratômetro <b>Fonte:</b> Autora,Usina Santa Maria-2022.....                                                                                                 | 32 |
| <b>Figura 15</b> Sacarímetro densimétrico em uma proveta <b>Fonte:</b> Adapataada-EBOLA-2022 .....                                                                             | 33 |
| <b>Figura 16</b> Soluções tampão e cloreto de potássio <b>Fonte:</b> Autora,Usina Santa Maria-2022 ..                                                                          | 38 |
| <b>Figura 17</b> Potenciômetro <b>Fonte:</b> Autora,Usina Santa Maria-2022.....                                                                                                | 39 |
| <b>Figura 18</b> Sugarpol <b>Fonte:</b> Autora,Usina Santa Maria-2022 .....                                                                                                    | 40 |
| <b>Figura 19</b> Colunas de destilação <b>Fonte:</b> Padilha, 2018.....                                                                                                        | 44 |
| <b>Figura 20</b> Tomadas de retirada dos óleos baixos e altos <b>Fonte:</b> Autora ,2022.....                                                                                  | 45 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabela 1</b> Fonte: ANP, Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2014.<br>..... | 26 |
| <b>Tabela 2</b> Fator temperatura Fonte: Autora, Usina Santo Antônio-2022 .....                         | 34 |
| <b>Tabela 3</b> Ocupação da lavoura canavieira Fonte: Lima, 2021 .....                                  | 47 |

## SUMÁRIO

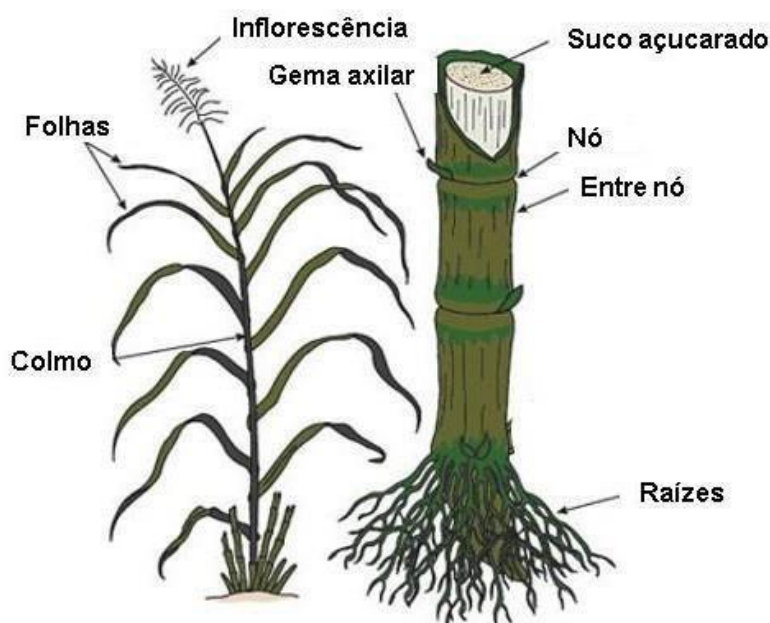
|                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 INTRODUÇÃO                                                                            | 8  |
| 2 OBJETIVOS                                                                             | 10 |
| 2.1 OBJETIVO GERAL                                                                      | 10 |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS                                                               | 10 |
| 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA                                                                 | 11 |
| 3.1 HISTÓRICO DO ETANOL                                                                 | 11 |
| 3.2 MATÉRIA PRIMA PARA OBTENÇÃO DO ETANOL                                               | 12 |
| 3.3 ETAPAS DO PROCESSO INDUSTRIAL PARA OBTENÇÃO DO ETANOL                               | 13 |
| 3.4 LEVEDURA SACCHAROMYCES CEREVISIAE                                                   | 17 |
| 3.5 PROCESSO FERMENTATIVO                                                               | 18 |
| 3.5.1 Fatores que influenciam a fermentação alcoólica                                   | 21 |
| 3.5.1.1 pH e Acidez                                                                     | 21 |
| 3.5.1.2 Temperatura                                                                     | 22 |
| 3.5.1.3 Contaminação bacteriana                                                         | 23 |
| 4 DESCRIÇÃO DAS TÉCNICAS DE ANÁLISES                                                    | 24 |
| 5 DESTILAÇÃO                                                                            | 44 |
| 6 DISCUSSÕES                                                                            | 46 |
| 6.1 Importância das análises físico-químicas e microbiológicas no processo fermentativo | 46 |
| 6.2 Vantagens da produção de etanol a partir da cana-de-açúcar                          | 47 |
| 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS                                                                  | 48 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS                                                              | 49 |

## 1 INTRODUÇÃO

A cana de açúcar é uma espécie vegetal originária da ilha Nova Guiné, foi encontrada no meio do Oceano Pacífico onde o homem teve seu primeiro contato com a planta, em seguida suas espécies foram disseminadas no Sudeste Asiático. Em 1532 um nobre Português chamado Martim Affonso levou a primeira muda de cana para o Brasil e iniciou o plantio na capitania de São Vicente, nesse local ele construiu o primeiro engenho de açúcar que utilizava a mão de obra indígena, mas foi no Nordeste do Brasil que os engenhos de açúcar se expandiram, especialmente nas capitanias de Pernambuco e Bahia.

A cana é uma gramínea pertencente ao gênero (*Saccharum Officinarum L.*) de clima tropical, composta pela parte aérea (folhas, inflorescência, gema axilar e colmo) e a parte subterrânea (raízes), sendo que nos colmos se concentram a sacarose. É uma das culturas mais importantes, pois é a principal matéria prima para fabricação de açúcar e álcool, de acordo com a figura 1.

**Figura 1:** Estrutura da cana-de-açúcar

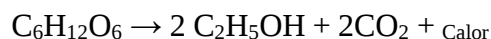


**Fonte:** Adaptada; Sliderpla, 2022

Desde os primórdios que os micro-organismos eram utilizados na fermentação de cereais, para obtenção de bebidas alcoólicas. As leveduras são pertencentes a família dos fungos, são unicelulares e eucariontes. Nas usinas sucroalcooleiras a fermentação alcoólica é

conduzida pela levedura (*Saccharomyces cerevisiae*), um agente biológico que se reproduz de forma vegetativa, geralmente por gemulação (brotamento).

Durante a fermentação, o mosto (solução composta por um líquido açucarado) sofre a ação da levedura por meio anaeróbico, convertendo o monossacarídeo hexose em álcool etílico e gás carbônico, conforme mostra a reação a seguir: (ABDALA, 2017)



Segundo Gois-Favoni (2018), no Brasil, especificamente na região Nordeste a condução da fermentação alcoólica mais empregada é o de batelada alimentada com reciclo de células, conhecido como Melle-Boinot. Este método empregado recupera o fermento através da centrifugação. Para a melhoria de um rendimento alcoólico nas indústrias é primordial o monitoramento dos fatores durante o processo fermentativo, tais como: pH e acidez, temperatura e contaminação bacteriana.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Descrever as principais etapas do processo industrial na fabricação do etanol, bem como apresentar as análises físico-químicas e microbiológicas realizadas durante a fermentação alcoólica.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Destacar a importância das análises físico-químicas e microbiológicas no processo fermentativo;
- Destacar a importância da produção de álcool a partir da matéria prima da cana-de-açúcar no Brasil e no Nordeste em Alagoas.
- Descrever e discutir os fatores que afetam a fermentação alcoólica

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 HISTÓRICO DO ETANOL

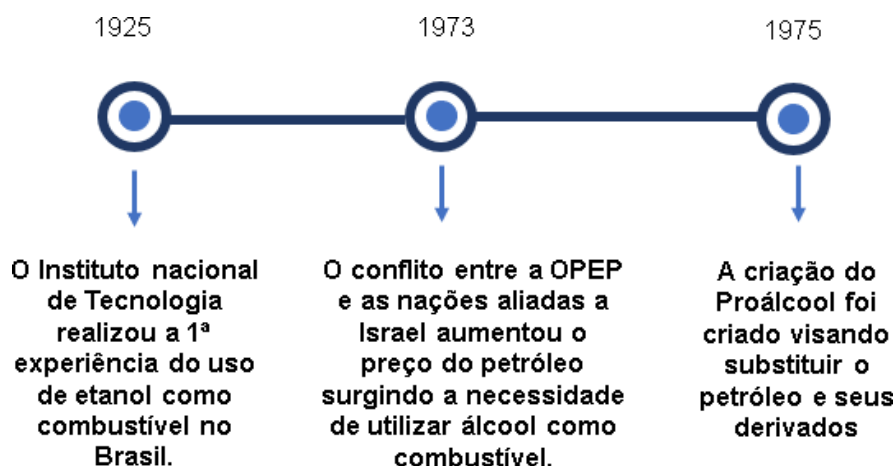
Em 1925 o Instituto nacional de tecnologia e minérios obteve o primeiro registro de uso de etanol em um automóvel, figura 2, adaptado para o funcionamento com álcool etílico hidratado.

A crise do petróleo em 1973, ocorreu durante o conflito militar na guerra do Yom Kippur, conhecida como guerra Árabe- Israelense, figura 2. A OPEP (Organização dos Países Exportadores de Petróleo) era dominada pelos países Árabes e estavam em conflito com Israel, então eles decidiram que as nações aliadas à Israel como Estados Unidos e outras nações que forneceram ajuda militar a Israel ficaria sem receber petróleo.

Os países aliados a Israel ao perceber a dependência dos países Árabes, devido a esse aumento no preço do barril do petróleo, viu a necessidade de utilizar o álcool como combustível, figura 2, conduzindo ao desenvolvimento do Programa Nacional do Álcool (Proálcool), em 1975 (SANTOS, 2016).

O Brasil se tornou pioneiro na área de biocombustíveis com a criação do PROÁLCOOL, figura 2, pelo decreto nº 76.593 em 14 de novembro de 1975. Foi instituído no Brasil com objetivo de visar a produção de álcool a partir da cana-de-açúcar e substituir os derivados do petróleo, para reduzir a dependência da importação e os sucessivos aumentos de custo do preço do petróleo. (SANTOS, 2016). A figura 2 descreve:

**Figura 2:** Linha do tempo do etanol

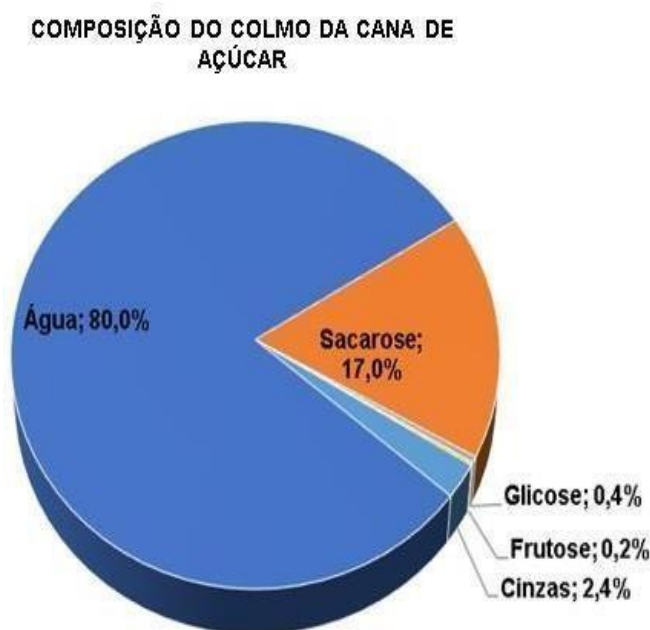


**Fonte:** Autora, 2022

### 3.2 MATÉRIA PRIMA PARA OBTENÇÃO DO ETANOL

No Brasil, a cana de açúcar constitui a matéria prima principal para a produção de álcool, a composição dos colmos apresenta 80% de água e cerca de 20% sólidos totais, principalmente açúcares sacarose (17%), glicose (0,4%), e frutose (0,2%), além das cinzas, como mostra o gráfico da figura 3.

**Figura 3:** Composição do colmo da cana de açúcar



**Fonte:** Autora, 2022

Desde os tempos arcaicos, que a queima é utilizada para áreas agrícolas afim de promover o controle fitossanitário de pragas que aparecem nas lavouras. Na cultura da cana-de-açúcar não é diferente, para praticar a colheita é realizada a queima da cana levando em consideração alguns aspectos como: horário da queima e o vento. Geralmente as queimas em canaviais são realizadas ao entardecer com temperaturas mais serena e com ventilação constante em apenas uma direção. No entanto, apesar das desvantagens que a queima causa a população e ao meio ambiente, continua sendo amplamente utilizada. A cana quando colhida carrega impurezas que traz problemas para os processos de maquinários nas usinas.

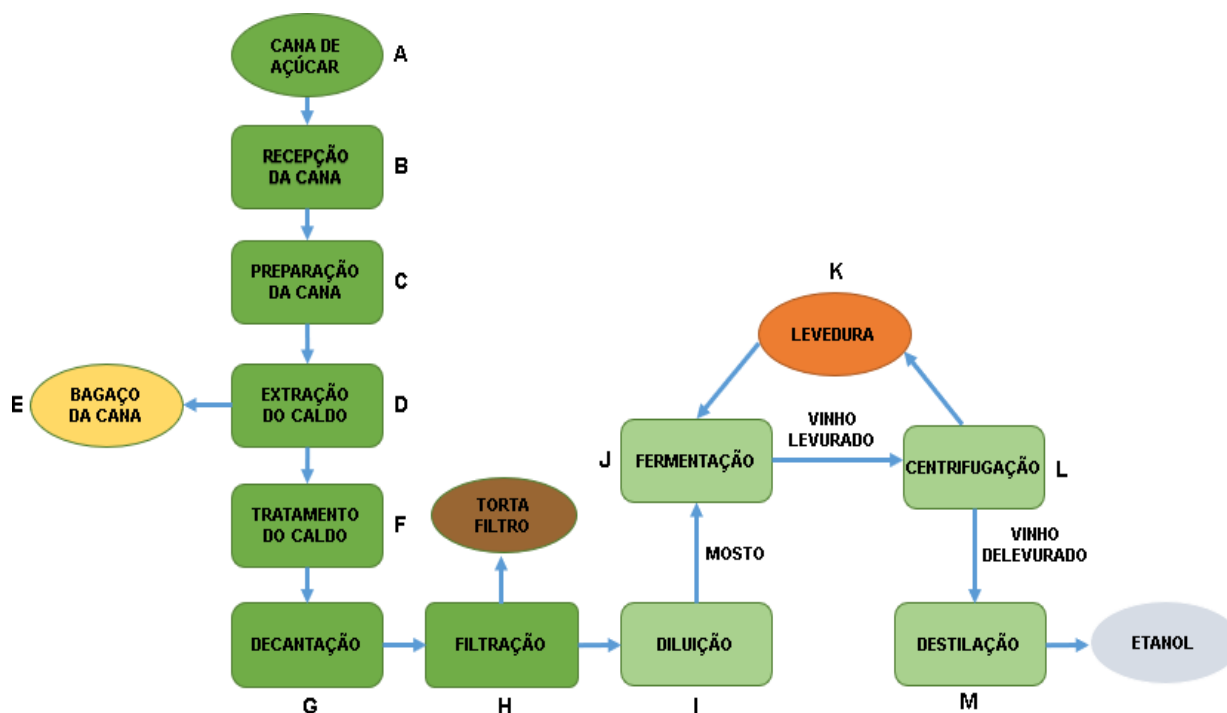
A colheita mecanizada sem a queima da cana é realizada por máquinas conhecidas como colhedoras, que retiram as folhas e uma quantidade de colmos são cortados, triturados e lançados sobre o solo, formando uma camada denominada palha. Esse sistema apesar de

contribuir para conservação do solo, apresenta diversas dificuldades em relação ao manejo do solo, um deles muito comum é o controle das plantas daninhas e o aparecimento de pragas que se hospedam nas palhadas.

### 3.3 ETAPAS DO PROCESSO INDUSTRIAL PARA OBTENÇÃO DO ETANOL

A figura 4, mostra um cronograma ilustrado apresentando as etapas que envolvem a obtenção do etanol.

**Figura 4:** Etapas da fabricação do etanol



**Fonte:** Autora, 2022

A cana (**figura 4, A**) chega à unidade industrial através de treminhões, esses caminhões são colocados em uma balança responsável para determinar a quantidade de matéria prima que entra na indústria. Além da cana ser pesada, realiza-se coletas de amostras através de sondas oblíquas horizontais. Essa amostra coletada é enviada para o laboratório de sacarose e nesta é realizada

análises tecnológicas para diagnosticar a quantidade de açúcar que a cana possui. O pagamento dos fornecedores é realizado através de cálculos obtidos nessas análises.

Na recepção da cana (**figura 4,B**), depois de pesada, a cana é encaminhada para os pátios de estocagem ou diretamente para mesas alimentadores das usinas, através de equipamentos chamados hilos mecânicos, mostrada na figura 5 a seguir.

**Figura 5:** Hilo mecânico



**Fonte:** Autora,2022

Após a cana ser colocada nas mesas alimentadoras, realiza-se o preparo da cana (**figura 4,C**). Imediatamente que a cana é colocada na mesa, é feita a lavagem da cana com água para reduzir as impurezas na mesa de recepção da cana. Depois de lavada a esteira metálica leva a cana para as navalhas para cortá-las, não realizando um processo por completo, a cana é levada para os martelos para terminar de picar, ficando com uma aparência de bagaço.

Em seguida, a cana que passou pelos martelos é levada por elevadores até a moenda para ser moída e extrair o caldo (**figura 4,D**), ela passa em um conjunto de três rolos, tendendo a forma de um triângulo, denominados ternos. Esse conjunto dos ternos é a moenda, com função de separar a parte fibrosa do caldo. O caldo extraído no primeiro terno é

é enviado para a fábrica de açúcar por possuir um maior teor de sacarose, pois não é lavado com água, enquanto que nos outros ternos o caldo é embebecido de água e tem um menor teor de sacarose. O caldo obtido dessa etapa vai para tratamento e o bagaço para as caldeiras.

O bagaço (**figura 4,E**) é direcionado para as caldeiras através de uma esteira, onde é queimado e os vapores transformados em energia através de processos de cogeração de energia. As usinas sucroalcooleiras são autossuficientes em energia durante a safra, além produzir energia mecânica para os maquinários, revendem energia para distribuidora de energia elétrica local, aqui em Alagoas, a Equatorial Energia.

Após ser extraído o caldo da cana, o próximo passo é um tratamento do caldo (**figura 4,F**) objetivando as retiradas de impurezas. Na primeira fase o caldo passa por uma peneira para eliminar areias, bagacilhos e etc. Em seguida esse caldo será encaminhado para produção de açúcar e etanol. Nas usinas das regiões locais a produção de açúcar é o demerara, não sendo necessária a etapa de tratamento da sulfitação, porém realizam a etapa da caleação que é a mistura do leite de cal mais o caldo para facilitar a floculação de impurezas e a decantação.

O pH dos caldos caleados variam entre 5,8 a 6,0; essa faixa é ideal pois o excesso de cal; 7,0; pode afetar a levedura. Depois de tratado, o caldo é levado para ser aquecido a 105° C para facilitar a clarificação e impedir o desenvolvimento de bactérias. Após o aquecimento, o caldo é enviado ao decantador.

O caldo no decantador (**figura 4,G**) é purificado o tornando isentos de impurezas ou resíduos. O caldo decantado é retirado na parte superior onde uma parte é enviada para a evaporação (etapa de fabricação do açúcar), e outra parte é enviada para a diluição (etapa de fabricação do etanol); o lodo é retirado do decantador pelo fundo do tanque e é enviado para os filtros a vácuos.

O lodo obtido nos decantadores é enviado para os filtros (**figura 4,H**) a vácuo para recuperar o açúcar contido nele, onde o caldo filtrado retorna para o decantador para ser misturado ao caldo decantado e a torta filtro é o resíduo obtido depois de ter filtrado o lodo. A torta filtro é muito

utilizada como adubo orgânico nos plantios de cana, já o caldo decantado ou o caldo clarificado é enviado ao tanque de diluição chamado garapeira para realizar a produção de etanol. Como as etapas do seguinte trabalho visam a produção de álcool, as seguintes fases: evaporação, cozimento, cristalização, centrifugação, secagem e armazenamento que fazem parte da produção do açúcar, ficaram isentas de explicações.

Na diluição (**figura 4,I**) o caldo filtrado é misturado na garapeira com o melaço (mel final) proveniente das centrífugas e água para a formar o mosto, porém o mosto também pode ser composto apenas por caldo e água, vai depender da disponibilidade do produto na unidade industrial.

O mosto obtido através da diluição é destinado para as dornas de fermentação (**figura 4,J**) para ser misturado com as leveduras (fungos unicelulares da espécie *Saccharomyces cerevisae*), o mosto e a levedura entram na parte superior da dorna passando por um processo de fermentação com carga horária de 8 a 12 horas.

Durante a reação no interior das dornas, ocorre uma intensa liberação de dióxido de carbono e calor, dando origem a formação do vinho levedurado e produtos secundários como álcoois superiores, glicerol, aldeídos, etc. Para manter a temperatura da dorna entre 32 e 35°C são instaladas serpentinas com circulação de água em seu interior.

A levedura (**figura 4,K**) adicionada ao processo, *Saccharomyces cerevisae*, é reciclada por meio da centrifugação, as leveduras são reutilizadas de uma fermentação para a outra.

O vinho levedurado obtido da fermentação contém células de leveduras em sua suspensão, para recuperar a levedura no processo de centrifugação (**figura 4,L**) as centrífugas contêm separadores que separam o fermento e o vinho levedurado. O vinho levedurado (produto isento de leveduras) irá para a dorna volante e o fermento, com uma concentração de aproximadamente 60%, é enviado às cubas de tratamento.

O vinho levedurado que está na dorna volante é bombeado para as colunas de destilação (**figura 4,M**) para recuperar o álcool contido no vinho, produzindo álcool hidratado podendo ser estocado como produto final ou sendo enviado para a coluna de desidratação para obtenção de álcool anidro. O etanol hidratado tem uma ordem alcoólica de 96°GL, é resultado das colunas

de epuração e retificação; já o etanol anidro possui uma riqueza alcoólica de 99,5 a 99,8°GL e é resultado da coluna de desidratação, onde é introduzida uma substância desidratante. Ainda nas colunas de destilação um subproduto líquido é produzido, a vinhaça.

### 3.4 LEVEDURA *SACCHAROMYCES CEREVISIAE*

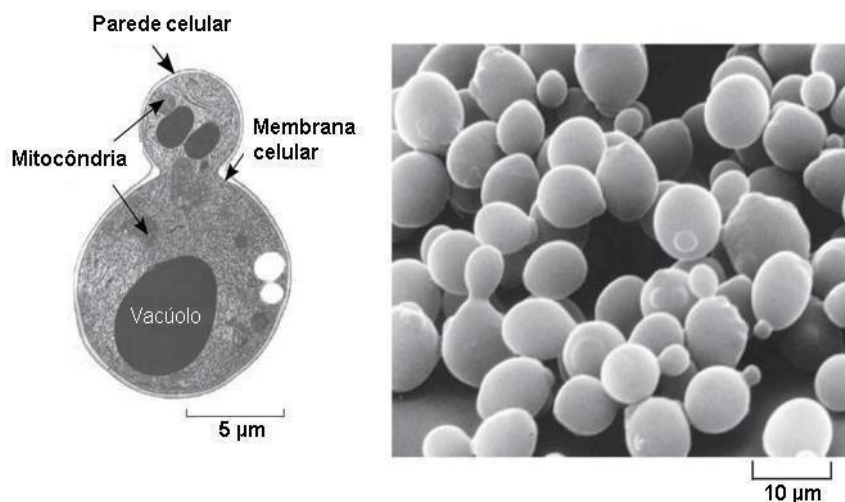
As leveduras são heterotróficas, que por sua vez não é capaz de produzir seu alimento e depende do consumo de matéria orgânica. As leveduras alcoólicas da espécie *Saccharomyces cerevisiae* apresentam cerca de 5 a 10 micrometros de diâmetro, em geral são maiores que as bactérias e possuem formas arredondadas, ovais ou elípticas podendo variar consideravelmente. Existem leveduras de espécies maiores e espécies menores, a forma e tamanho das leveduras podem variar com as condições climáticas, nutrientes e o estado fisiológico da levedura.

A figura abaixo mostra uma célula de levedura em divisão por brotamento

A) Estrutura de uma célula de levedura em brotamento

B) Células de leveduras no processo de divisão

**Figura 6:** Levedura *Saccharomyces cerevisiae* em divisão por brotamento

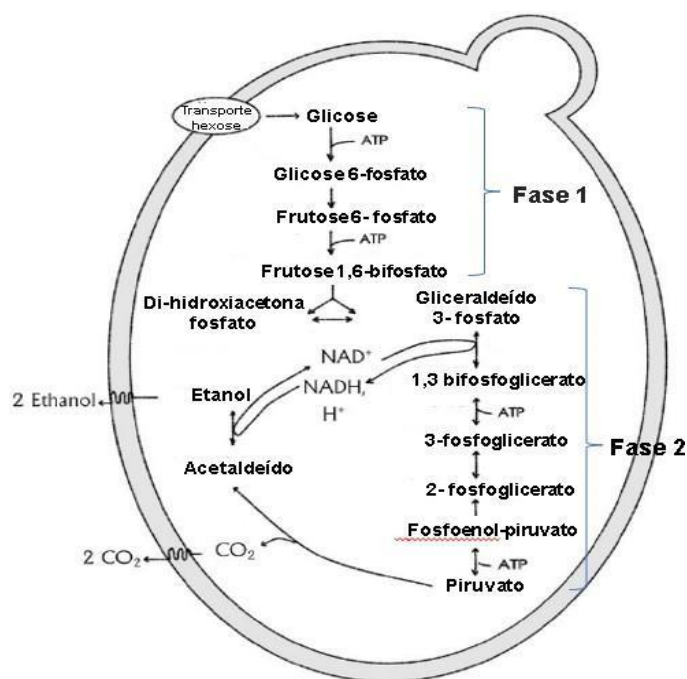


**Fonte:** Adaptada, Farout, 2022.

### 3.5 PROCESSO FERMENTATIVO

A figura 7 mostra a via metabólica da fermentação que acontece no citosol da levedura *Saccharomyces Cerevisiae*. A glicólise é o processo em que a molécula da glicose (6C) é quebrada em duas moléculas de piruvato (3C), onde acontece 10 reações químicas e existem 10 enzimas que catalisam estas reações, cada reação química tem sua enzima específica. O processo da glicólise é dividido em duas fases:

**Figura 7:** Conversão da glicose em etanol durante a fermentação alcoólica pela Levedura *Saccharomyces cerevisiae*



**Fonte:** Adaptada, Faria-Oliveira, 2013.

A via glicolítica é dividida em duas fases, a fase 1 que é de investimento (reação de 1 a 5) onde se gasta 2 moléculas de ATP's e a fase 2 é de compensação (reação de 6 a 10) no qual se recupera os ATP's gastos na fase 1 se produzem ATP's excedentes.

A partir da reação 6 o processo acontece de maneira duplicada, pois duas moléculas de Gliceraldeído 3- fosfato foram produzidas, figura 7. Na reação 7 e 10 são produzidos 2 ATP's e como o processo está acontecendo de maneira duplicada, então temos 4 ATP's. Como foram investidos 2 ATP's na primeira fase e formados 4 ATP's na segunda fase, teremos 2 ATP's ganhos na reação. O piruvato formado sofre a ação da enzima descarboxilase onde

acontece a perda de um carbono, e este carbono é eliminado na forma da  $\text{CO}_2$ , o produto resultante é o acetaldeído. Finalmente, o acetaldeído é reduzido ao etanol em uma reação envolvendo oxidação de NADH para  $\text{NAD}^+$ , o NADH perde o hidrogênio que é capturado pelo acetaldeído, o acetaldeído quando captura o H forma o produto, etanol.

Já no ponto de vista industrial a fermentação do etanol nas usinas se divide em três fases: preliminar, tumultuosa e complementar. É iniciada quando adiciona o substrato junto as células.

A multiplicação celular na fase preliminar é intensiva e na reprodução é utilizado o açúcar consumido. Essa fase é característica por representar uma pequena elevação da temperatura e baixo desprendimento de  $\text{CO}_2$ . A sua duração pode ser limitada quando é utilizada elevada concentração de células ou a adição de células em um meio nutricional mais rico que o original. (GOIS-FAVONI, 2018)

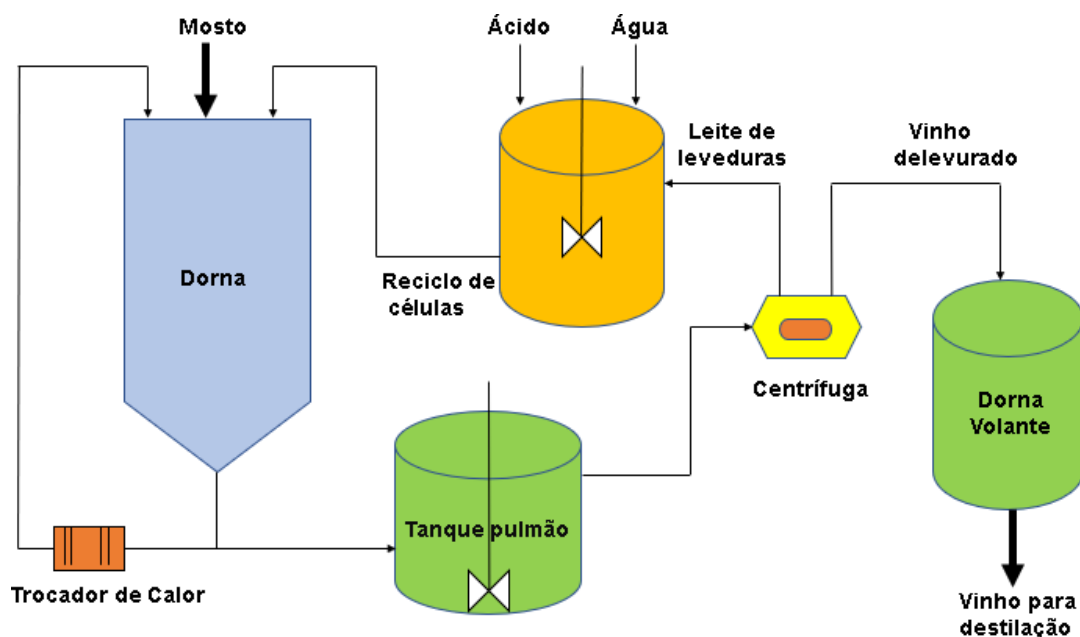
A fase tumultuosa é conhecida pela grande liberação de dióxido de carbono nas dornas, formando espumas. É uma fase de longo período, visto que é nessa etapa que acontece a conversão dos açúcares em etanol. Durante esta fase há um aumento na temperatura, corrigida através de trocadores de calor. (STEINLE, 2013)

Na fase complementar acontece a diminuição da fermentação, diminui o desprendimento do gás carbônico. Ocorre a redução da temperatura e a liberação de  $\text{CO}_2$ .

Há várias maneiras de se conduzir a fermentação e podem ser classificadas segundo os regimes de alimentação das dornas e do desenvolvimento da fermentação, em processos contínuos e descontínuos (batelada), figura 8. A maioria das usinas produtoras de etanol utilizam o processo descontínuo, denominados batelada simples ou batelada alimentada. A batelada alimentada é a mais utilizada, com reciclo de células (método Melle-Boinot, como podemos observar na figura 8. (STEINLE, 2013)

## Esquema simplificado do processo de Melle -Boinot na fermentação

**Figura 8:** Processo de Melle -Boinot na fermentação



**Fonte:** Adaptada, Steinle, 2013.

O esquema ilustrado acima explica como acontece as etapas de fabricação de etanol em usinas sucroalcooleiras. Na figura 8, as dornas são tanques de aço carbono com fundo cônico e sua capacidade volumétrica irá variar com o processo. O mosto introduzido pode ser composto de água e caldo ou água, caldo e mel; vai depender do que as usinas tiverem em disposição.

O mosto é introduzido nas dornas juntamente com o fermento tratado (levedura). O trocador de calor, figura 8, é de muita importância no processo para manter a temperatura da dorna constante devido ao alto desprendimento de energia sob forma de calor, gerando  $\text{CO}_2$  na liberação. Consequentemente para que as leveduras se proliferem com mais facilidade, o ideal é manter a temperatura em torno de  $35^\circ$ . Em contrapartida as lâminas do trocador de calor suja muito, tornando um meio de contaminação recorrente, por isso deve ser lavado.

Terminada a fermentação em uma dorna, o mosto fermentado (vinho) é enviado para o tanque pulmão, figura 8, através de um duto que é aberto no fundo da dorna. No tanque pulmão, o mosto fermentado sofrerá agitação pois como as leveduras são mais densas tendem a ficar no fundo do tanque, então agita-se para que o fermento seja mais recuperado possível no processo. Após sofrer agitação, o mosto fermentado é enviado ao setor de separação das leveduras, comumente conhecida como centrifugação.

É nas centrífugas, figura 8, que acontece a separação do vinho delevurado (isento de células) e o leite de leveduras (suspensão de alta concentração celular). Após a turbinagem (centrifugação), o vinho delevurado é enviado para a dorna volante, figura 8, de onde é bombeado para o setor da destilação. O leite de leveduras é transferido para as cubas (tanques de tratamento), figura 8, onde é diluído com água, após a homogeneização é tratado com ácido sulfúrico. Esta mesma cuba pode ser tratada também com antibiótico, o mais utilizado nas usinas das regiões locais é a monesina, a quantidade é estabelecida em função de volume do vinho nas dornas.

O tratamento com ácido sulfúrico é um processo seletivo, que elimina as eventuais células de bactérias contaminantes e as leveduras não mais ativas. Após o tratamento, o fermento é inoculado no mosto, para novo ciclo de fermentação.

Cerca de 90% das leveduras são reaproveitadas de uma batelada para outra e o reciclo de células ocorre durante toda a safra.

### **3.5.1 Fatores que influenciam a fermentação alcóolica**

#### **3.5.1.1 pH e Acidez**

As fermentações são desenvolvidas em valores de pH amplos, mas a faixa adequada é entre 4 e 5. Geralmente nos mostos industriais, os valores esperados encontram-se na faixa de 4,5 a 5,5 pois leveduras se reproduzem bem nessa faixa. Em pH muito ácido, a cerca de 2,0; os ácidos orgânicos entram na célula com mais facilidade e conseqüentemente causa a inibição da levedura, tornando o ambiente propício ao desenvolvimento de bactérias resistentes e leveduras selvagens.

Os microrganismos apresentam restrições a valores de pH, o crescimento e formação do produto ocorrem em velocidades altas e desta forma consegue ser controlado nas fermentações. Usualmente, as bactérias crescem no intervalo de pH: 4 a 8; leveduras: 3 a 6; mofos: 3 a 7 e células superiores na faixa de 6,5 a 7,5. (STEINLE, 2013). Diferentes valores de pH's influenciam para um processo de fermentação eficiente, visto que é possível selecionar as leveduras a partir de dados que se tem. Por exemplo, as bactérias se desenvolvem mais facilmente com pH em torno de 4 a 8, então uma fermentação com uma levedura que apresente pH 3 é menos suscetível a contaminação, porém esse levedo não irá se desenvolver tão bem

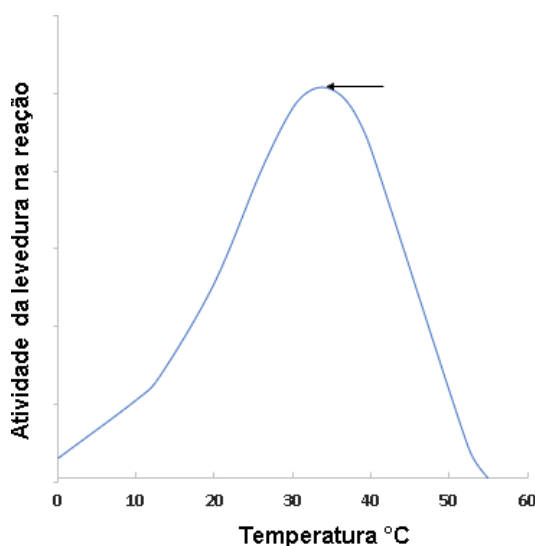
quanto na faixa adequada a ele. Foi observado durante o trabalho que em muitas usinas os mostos de fermentação apresentam pH em torno de 4,5 a 5,5.

### 3.5.1.2 Temperatura

O controle da temperatura, se não monitorada adequadamente, pode influenciar na atividade dos micro-organismos e no seu crescimento. Temperaturas abaixo de 30° C como mostra a seta ocasiona queda na velocidade da reação, e, portanto, na produtividade, levando a paralisação da fermentação. (RIBEIRO,1999)

A temperatura é um fator extremamente importante nas dornas de fermentação, pois influencia diretamente na velocidade das reações. A fermentação alcoólica é um processo exotérmico e devido a isso o mosto sempre apresenta valores de fermentação a mais que o normal. Em temperaturas inferiores a 30°C a atividade das leveduras é interrompida. Já em temperaturas máximas a 34°C o ambiente se torna propício para o aparecimento de bactérias o que provoca o enfraquecimento das leveduras. Aqui na região do Nordeste, as leveduras se desenvolvem melhor como mostra o gráfico 2, na faixa de 30° a 34°C. A figura 9 , mostra o gráfico das atividades das leveduras em função da temperatura durante o processo fermentativo.

**Figura 9:** Temperatura propícia para fermentação



**Fonte Adaptada:** Steinle, 2013.

### 3.5.1.3 Contaminação bacteriana

A cana de açúcar é uma matéria prima e um excelente meio de crescimento, não só apenas para as leveduras alcoólicas, mas como também para as bactérias contaminantes pois é rica em nutrientes e alguns micro-organismos que sobreviveram ao tratamento do caldo, podem estar presente no processo.

As bactérias mais encontradas nas dornas são as Bacillus gram-positivas, normalmente competem pelo substrato com as leveduras da fermentação alcoólica. A fermentação é considerada sadia quando apresenta níveis de bactéria próximos a  $10^5$  células/mL. (STEINLE, 2013)

Valores superiores a este citado, ocasionam danos aos processos industriais como por exemplo: as bactérias consumirão o açúcar presente no mosto, diminuindo assim a produção de etanol da unidade, formações de goma tornando o caldo mais gelatinoso e conseqüentemente entupindo as tubulações onde causa danos na manutenção.

## 4 DESCRIÇÃO DAS TÉCNICAS DE ANÁLISES

Durante todo o processo, a atuação do laboratório da destilaria em usinas, torna as etapas otimizadas na fabricação do etanol. A seguir estão elencadas algumas técnicas utilizadas:

- **Acidez**
- **Açúcares redutores totais %**
- **Análises microbiológicas**
- **%Brix**
- **Condutividade**
- **Massa específica a 20°C**
- **% Percentual do fermento**
- **pH**
- **Pol%**
- **Pureza %**
- **%Teor alcoólico**

As metodologias adotadas a seguir, são baseadas no livro do autor CELSO CALDAS. As técnicas serão aplicadas para realizar análises nos seguintes produtos: álcoois anidro e hidratado, caldo, leite tratado, mel, mosto e vinhaça.

A análise e a coleta descritas abaixo são realizadas de 4 em 4 horas, com exceção dos álcoois anidro e hidratado que são colhidos à medida que o tanque fica completo. O tempo abordado acima foi obtido através de uma visita técnica na Usina Santa Maria localizada no município de Porto Calvo.

É importante ressaltar que cada usina sucroalcooleira tem seus procedimentos laboratoriais distintos, como também os respectivos resultados.

➤ **Acidez:** Determinação da acidez através da titulação de neutralização. A titulação ácido-base é uma técnica frequentemente realizada em laboratórios e indústrias para determinar a concentração desconhecida de uma solução. Pode ser expressa em g/L ou mg/L.

## **Mosto de fermentação**

### Reagentes e soluções utilizados:

- Solução indicadora de fenolftaleína 1%
- Solução de hidróxido de sódio 0,1 N

Preparo da solução de hidróxido de sódio 0,1 N: Pesa rapidamente e exatamente 4,0000g de hidróxido de sódio (NaOH) e dissolve em um pouco de água. Transfere para o balão volumétrico de 1000mL e completa o volume de água destilada.

### Determinação da acidez:

- Pipetou-se 20 mL de amostra homogeneizada e filtrada e transferiu para o Erlenmeyer de 250 mL
- Adicionou-se 50 mL de água destilada e 2-3 gotas da solução de fenolftaleína
- Encheu-se a bureta com hidróxido de sódio 0,1 N e fez a titulação até o ponto de viragem, coloração rosa.

Cálculos:

Acidez sulfúrica (g/L  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) =  $V_g \times \text{Fator}$

$V_g$  = volume gasto na titulação

F= fator de correção da concentração de hidróxido de sódio

Resultados esperados: O resultado encontrado é transformado de mililitros para Litros. O ideal é a faixa de 2,0 a 2,5 g/L em ácido sulfúrico, essa dosagem deixa o mosto de fermentação com pH de 4,5 a 5,5. Este meio ácido favorece a fermentação. O controle do pH é feito com ácido sulfúrico.

**Álcool hidratado e anidro:** A metodologia para o álcool hidratado e anidro são meramente iguais ao mosto de fermentação, o que diferencia é que no mosto faz a titulação até o ponto de viragem atingir a coloração rosa e nos álcoois hidratado e anidro titula até mudar a coloração para azul céu.

Resultados esperados: De acordo com as especificações da ANP, a tabela abaixo apresenta características do álcool hidratado e anidro.

**Tabela 1: Características do álcool hidratado e anidro**

| Parâmetros                                         | Álcool hidratado | Álcool anidro |
|----------------------------------------------------|------------------|---------------|
| Acidez, mg/L                                       | Max. 30,0        | Max. 30,0     |
| pH                                                 | 6,0 a 8,0        | 6,0 a 8,0     |
| Condutividade elétrica, microS/m ( $\mu\text{S}$ ) | Máx. 500         | Máx. 500      |
| Massa específica a 20°C, kg/m <sup>3</sup>         | 807,6 a 811,0    | Máx. 791,5    |
| % Teor alcoólico (° INPM)                          | 92,6 a 93,8      | Mín. 99,3     |

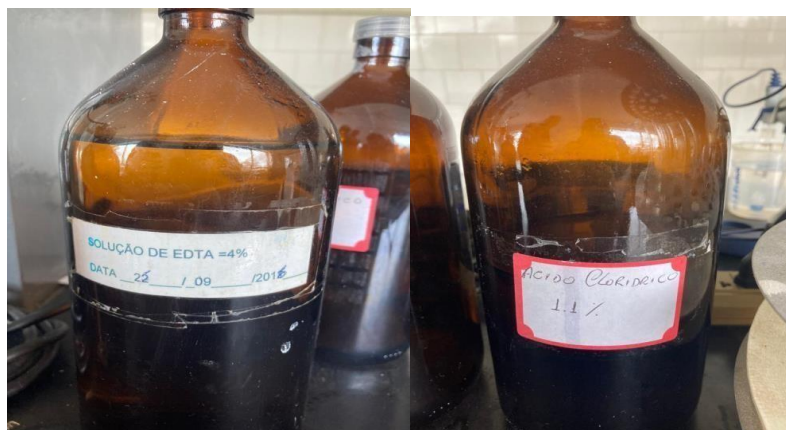
**Fonte:** ANP, Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2014.

➤ **Açúcares redutores totais%:** Os principais açúcares considerados como redutores são a frutose e a glicose, para indústrias alcooleiras esses açúcares são altamente desejáveis, uma vez que a partir deles que é produzido o etanol combustível. Expressa em percentagem, é a determinação da concentração total de açúcares da cana, pelo método de Eynon-Lane .

## Mel

### Reagentes e soluções

- Solução de EDTA em 4%
- Solução de ácido clorídrico 1:1
- Solução de Fehling A
- Solução de Fehling B
- Solução indicadora de azul metileno 1%
- Solução de hidróxido de sódio 26%
- Solução indicadora de fenolftaleína 1%

**Figura 10:** Solução de EDTA 4% e Ácido clorídrico 1,1%

**Fonte:** Autora, 2022

Determinação dos açúcares redutores totais em %

- Pipetou-se 25 mL da solução A e transferiu para o balão volumétrico de 200 mL. Em seguida adicionou 10 mL de ácido clorídrico 1:1.
- Agitou-se bem e colocou a amostra em banho maria a 60 °C. Movimentou bem em torno de 3 min, depois de agitado, deixou em repouso por 12 min. Retirou do banho maria e esfriou em água corrente.
- Adicionou-se 3 gotas de fenolftaleína 1% e solução de hidróxido de sódio 26 % e agitou constantemente, até aparecer a coloração rosa e permanecer.
- Com o ácido clorídrico 1:1 descoloriu a solução, sem quantidades de gotas determinadas, até que a mudança de cor seja visível.
- Adicionou-se 2,5 mL da solução de EDTA em 4% e completou-se o volume.
- Encheu-se uma bureta de 50 mL com a solução a ser analisada, lavou bem com a mesma solução.
- Em um Erlenmeyer de 250 mL, adicionou 10 mL da solução de Fehling A e 10 mL da solução de Fehling B.
- Verteu da bureta para o Erlenmeyer cerca de 20 mL, aqueceu até atingir o ponto de ebulição e manteu durante 2 min.
- Adicionou-se 3 a 4 gotas do indicador de azul de metileno e completou a titulação até descolorir a cor azul para vermelho tijolo.

*Cálculos:*

$$\text{Açúcares redutores totais \%} = [2000 / (C \times Vg)] \times F$$

Onde:

C= Concentração em gramas da solução a analisar

Vg = volume gasto em mL na titulação

F= fator de correção da concentração de Fehling

Simplificando:

$$\text{Açúcares redutores totais \%} = (1600 / Vg) \times F$$

Resultados esperados: Na faixa de 50-51 % indica um mel ralo, com pouco teor de sacarose. O ideal que os operadores trabalham é na faixa de 53-58%.

➤ **Análises microbiológicas:** Tem uma elevada importância, principalmente as leveduras para o processo de produção do álcool, tanto quanto o controle das bactérias presentes no mesmo. Microrganismo utilizado: Levedura comercial (*Saccharomyces cerevisiae*). São analisadas a seguir a viabilidade celular e o plaqueamento, respectivamente.

## **Leite tratado**

### Reagente e materiais utilizados na técnica de viabilidade celular

- Azul de metileno
- Microscópio óptico
- Câmara de Neubauer com lamínula
- Bastão de Vidro
- Proveta 50 mL
- Balão volumétrico 200 mL
- Pipeta graduada de 1 mL
- Pipeta volumétrica de 2 mL
- Pipeta volumétrica de 10 mL

### Determinação da técnica de viabilidade celular

- Com uma pipeta volumétrica, pipetou-se 2,0 mL do fermento tratado e transferiu para o balão volumétrico de 200 mL;
- Completou o volume do balão até o menisco com água destilada
- Transferiu 9 mL de água destilada em uma proveta compipeta volumétrica de 10 mL , pipetou-se 1,0 mL da amostra preparada no balão e transferiu para a proveta.
- Em uma proveta pipetou-se 0,5 mL de azul metileno (0,025%) com pipeta de 1 mL graduada. Agitou bem e transferiu para a câmara de Neubauer, já com a lamínula, cuidadosamente, para que não ocorresse dano na câmara.
- Logo após, fez contagem microscópica em 16 campos (amarelos).
- Nos campos, conta quantidade de células vivas (amarelas), as células mortas (coradas de azul), as células em brotamento (apenas as vivas), e os brotamentos mortos e bactérias.

*Cálculos:*

**Viabilidade celular:**  $\text{Total das células vivas} / (\text{células vivas} + \text{células mortas}) * 100$

**Porcentagem de Brotamento:**  $\text{Total de brotamento vivo} / \text{Total de células vivas} * 100$

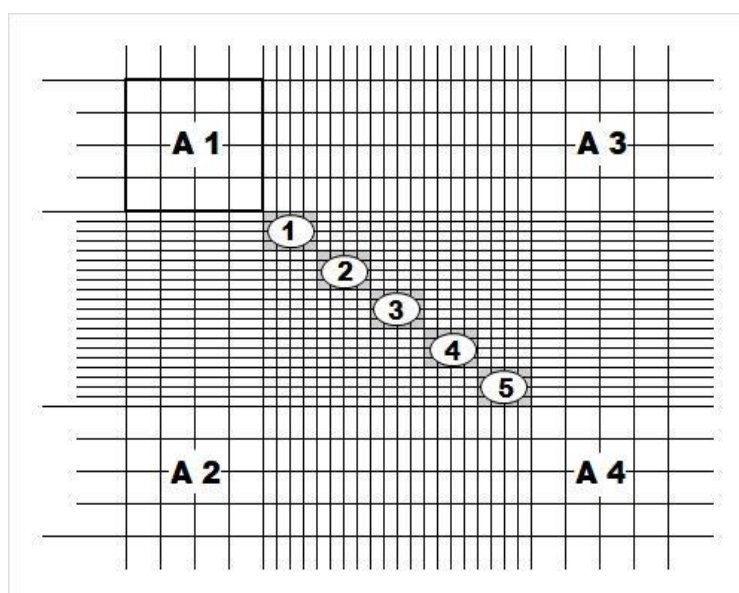
**Viabilidade de brotamento:**  $\text{Total de brotamento Vivo} / \text{Total de brotamento vivo} + \text{morto} * 100$

**Células/ mL (c/ mL):**  $\text{Total de células vivas} / \text{números de campos contados} * \text{Fator diluição}$

**Bactérias:**  $\text{Total de bactérias} / \text{número de campos contados} * \text{Fator diluição}$

*Método e contagem das células*

**Figura 11:** Método e contagem das células



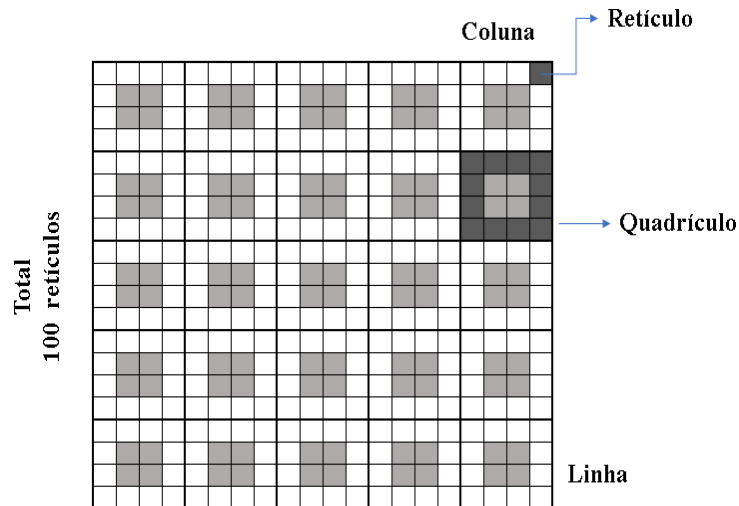
**Fonte:** Autora, Usina Santo Antônio-2022

Os quadrantes dos compartimentos A1, A2, A3, A4 é que estão localizadas as células maiores, enquanto que nos quadrantes menores estão as células pequenas. Como há a padronização destes quadrantes é possível visualizar a amostra ao microscópio e assim realizar a contagem determinando o número de células presentes naquela área determinada. Cada um dos compartimentos é subdividido em 16 compartimentos médios, totalizando 64 compartimentos.

## Câmara de Neubauer

As células devem ser contadas nos 4 retículos centrais dos 25 quadriculos, na objetiva de 100x

**Figura 12:** Câmara de Neubauer



**Fonte:** Autora, Usina santo Antônio-2022

### Reagentes e materiais utilizados na técnica de plaqueamento

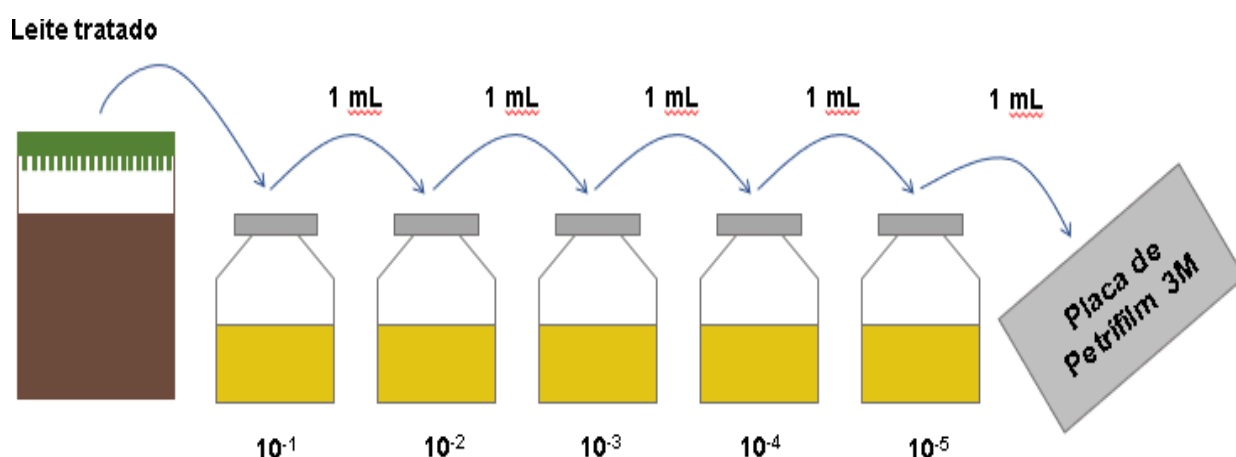
- Peptona de carne
- Bécker de 100 mL
- Proveta de 1000 mL
- Pipeta volumétrica de 10 mL
- Frasco
- Seringas de 1mL
- Balança analítica
- Estufa de incubação
- Placa Petrifilm 3M
- Lacre de alumínio
- Autoclave (120 °C) por 20 min
- Bastão de vidro

### Determinação da técnica de plaqueamento

- Pesou-se 1g de peptona de carne e dissolveu com um pouco de água destilada em um bécker de 100 mL, transferiu para proveta de 1000 mL e completou com água destilada até a marca da aferição.
- Com auxílio da pipeta, transferiu 9 mL da solução em um frasco p/ penicilina de 20 ML.
- Fechou com tampa de borracha e lacre de alumínio, logo após colocou na autoclave até que atingiu uma temperatura de 120°C. Após atingir esta temperatura, desligou a autoclave e esperou cerca de 20 min para abri-lá.
- A coleta do Leite tratado foi feita nas Cubas com auxílio de um coletor.
- Com o bico de Bunsen ligado e com auxílio de uma seringa, retirou 1mL da amostra bruta (leite tratado) e colocou-a no 1º frasco de penicilina. Essa diluição é feita em série repetidamente até chegar em 5 frascos, que apresenta concentração de  $10^{-5}$  para contagem de bactérias. Feito isso, a solução do 5º frasco foi coletada e colocada sobre a placa de petrifilm 3M.
- Em seguida, foi feito o espalhamento das placas para homogeneizar a solução que ali foi posta e inverteu-a para não formar gotículas de água na placa. Na estufa ela ficou incubada por 48 horas a 35°C.

**OBS:** A diluição em série  $10^{-5}$  para o leite tratado é normalmente utilizada para contagem de bactérias, as usinas do Nordeste (clima quente e úmido) utilizam a diluição sugerida

**Figura 13:** Diluição em série  $10^{-5}$



**Fonte Adaptada:** Usina Santo Antônio-2022

### *Cálculos:*

A contagem é expressa UFC/mL , unidade formadora de colônia por mililitro. O número de bactérias na amostra é calculado na seguinte equação:

$$\text{UFC/ mL} = \frac{\text{Número de colônias}}{\text{Diluição}}$$

Diluição

\*Diluição refere-se a diluição da amostra, por exemplo uma diluição de 1:1000 é  $10^{-3}$  e as colônias são contadas a olho nú. Quanto menor o número de bactérias, melhor para o processo.

➤ **%Brix:** Esta técnica determina a concentração de sólidos dissolvidos na solução, expressa em graus Brix através dos métodos densimétricos e refratométricos. Uma grama de açúcar por 100 gramas de solução. A relação de percentagem com graus, está diretamente ligada a relação de 1 grama de açúcar por 100 gramas de solução é igual a um grau Brix (1° Brix), ou 1% de açúcar.

### **Mosto de fermentação**

#### Método refratométrico

- Filtrou-se cerca de 50 mL da amostra em papel filtro, para não danificar o prisma do refratômetro com as impurezas do mosto
- Limpou-se os prismas do refratômetro com água destilada e enxugou com papel absorvente.
- Colocou-se algumas gotas da amostra entre os prismas do refratômetro e fez a leitura do brix.

### *Cálculos:*

$$\text{Brix \% mosto de fermentação} = \text{leitura do refratômetro}$$

**Figura 14:** Refratômetro

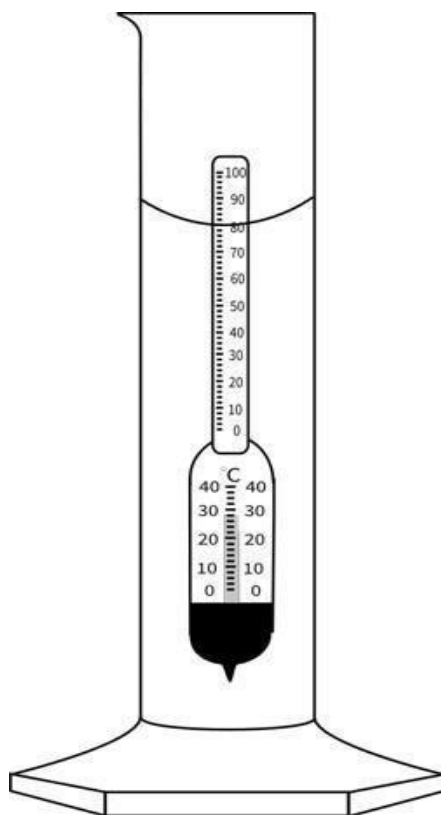


**Fonte:** Autora, Usina Santa Maria-2022

### Método densimétrico

- Em uma proveta de 500 mL, colocou-se a amostra.
- Imergiu cuidadosamente o densímetro Brix até o ponto de flutuação, esperou entre 10 a 15 min e realizou a leitura.
- Caso o densímetro brix não esteja equipado com termômetro, é imergido também um termômetro, esperando que a temperatura estabilize.
- Fez a leitura no densímetro brix, anotou a temperatura da amostra no momento da leitura.
- Os densímetros são calibrados para uso a 20°C, portanto, em caso de medições fora dessa temperatura, é necessário fazer uma correção da densidade.

**Figura 15:** Sacarímetro densimétrico em uma proveta



**Fonte:** Adaptada, EBOLA PREVENTION-2022

**Exemplificando:** Sacarímetro com escala de 0 a 100°, equipado ao termômetro. Foi realizado o experimento na Usina Santo Antônio, com dados obtidos da leitura do brix 21,2° e temperatura 28°C, os analistas fazem a correção do fator temperatura por uma tabela disposta no laboratório.

De acordo com a tabela 2 e os valores coletados da amostra do mosto, o valor mais aproximado do Brix 21,2° é o 20 como indicado pela cor verde, com a temperatura 28°C indicada na cor azul, observa-se que o valor somado ao Brix é 0,6.

**Tabela 2** Fator temperatura

| Sólidos Refratométricos     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Temp. (°C)                  | 0   | 5   | 10  | 15  | 20  | 25  | 30  | 35  | 40  |
| Subtrair do Brix            |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 15                          | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
| 16                          | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| 17                          | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| 18                          | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| 19                          | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| Adicionar ao Brix observado |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 21                          | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| 22                          | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| 23                          | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| 24                          | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| 25                          | 0,3 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
| 26                          | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| 27                          | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 |
| 28                          | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 |
| 29                          | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 |
| 30                          | 0,7 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |

**Fonte:** Autora, Usina Santo Antônio-2022

Cálculo:

Brix % mosto de fermentação = leitura do densímetro ± Fator de correção da temperatura.

Brix% = 21,2° + 0,6

Brix% = 21,8°

Resultados esperados: Em condições normais, quando se trabalha com mel, o brix varia entre 18 a 22°, e mosto de caldo de cana+ água, o brix varia de 14 a 15°.

## **Caldo clarificado**

Os métodos refratométricos e os densimétricos do caldo clarificado são meramente iguais ao do mosto de fermentação. [Vide]

Resultados esperados: Seu teor ideal fica entre 10-12°. Esse valor varia muito com a qualidade da matéria prima, cana com menos teor de sacarose terá um Brix com valor menor.

## **Mel**

### Método refratométrico

- Pesou 100g de mel em um bécker de 1000mL.
- Completou com água destilada até 600 g, ou seja, 500 mL de água.
- Com diluidor de massa, realizou a diluição no máximo em 5 minutos.
- Colocou umas gotas em cima do prisma do refratômetro e realizou a leitura. Depois de diluído mediu o brix, aproximadamente 13, 22°. Onde será multiplicado pelo fator constante 6, para encontrar o resultado esperado  $\pm 80^\circ$  a  $84^\circ$ .

Cálculos:

$$\text{Brix \% mel} = L \times Fd$$

Onde L= Leitura obtida no refratômetro

Fd= Fator de diluição, ou seja,  $600\text{g}/100\text{g} = 6$ ; neste caso Fd=6

Resultados esperados: O valor normalmente encontrado no mel final ou mel da fermentação, fica entre 77-82°. O Brix depende muito da qualidade da cana, mas em termos de produtividade e rendimento do produto para usina o ideal é essa faixa. Por exemplo, um Brix de 70-75° está muito ralo, fica com uma aparência de uma garapa, consequentemente teria que utilizar mais mel da produção para constituir o mosto de fermentação.

➤ **Condutividade:** Determinação da condutividade expressa em  $\mu\text{S}/\text{m}$  (*Microsiemens por metro*), por condutimetria. Valores fora da especificação da ANP pode causar corrosões de peças de automóveis e também nos sistemas de tanque de bombeamento de postos de combustíveis.

**Álcool hidratado e anidro:** Os parâmetros obtidos para ambos os álcoois estão descritos tabela 1

### Reagentes e soluções

-Solução de cloreto de potássio a 0,001M

### Calibração do condutivímetro

-Circulou a água na célula do condutivímetro.

-Lavou a célula com padrão de cloreto de potássio.

-Novamente encheu com a solução do padrão e aguardou 2min para estabilização da temperatura.

-Pressionou o botão 20  $\mu\text{S/m}$  da chave seletora e girou o botão de ajuste constante da célula até o visor apresentar o valor do padrão encontrado. Após estabilizar a posição do botão, o equipamento está aferido.

### Determinação da condutividade

- Colocou-se a amostra de álcool em béquer de 150 mL.

- A célula de medição e o sensor de temperatura foram bem lavados com a amostra a ser analisada, descartou o etanol utilizado para a lavagem.

- Transferiu a amostra de etanol totalmente para o béquer para célula de medição, cobrindo totalmente a superfície sensora do eletrodo e agitou vagorosamente.

- Aguardou 2 min e fez a leitura da condutividade pelo visor do aparelho.

- Retirou e secou o eletrodo.

Nota: alguns condutivímetros já vem com sensor de temperatura na parte de trás do aparelho, não sendo necessário utilizar termômetro para a medição da temperatura.

➤ **Massa específica a 20°C:** A massa específica ( $\mu$ ) é a razão entre a massa (m) de uma quantidade de substância e o volume (v), ficando com a fórmula:  $\mu = m/v$ .

O termo densidade é usado para compor a razão entre massa e volume de objetos sólidos, e massa específica para líquidos e substâncias, como no caso do álcool. INPM significa Instituto Nacional de Pesos e Medidas (°INPM) percentagem de massa; GL é a abreviação de Gay-Lussac, percentagem em volume.

Exemplo: 70% INPM = 70g de etanol e 30g de água 70% GL = 70 mL de etanol e 30 mL de água.

**Álcool anidro e hidratado:** Os parâmetros esperados pela especificação da ANP estão na tabela 1

### Método densimétrico

- Homogeneizou a amostra.
- Na proveta de 1000 mL, colocou a amostra já homogeneizada e imergiu o termômetro. Posteriormente o densímetro limpo e seco, de modo que flutue livremente sem tocar o fundo e as paredes da proveta.
- Esperou atingir a estabilidade térmica e a posição do densímetro.
- Atingida esta estabilidade, pressionou levemente o topo do densímetro fazendo submergir aproximadamente duas subdivisões e soltou. Verticalmente o densímetro ficou oscilando, até que atingiu sua posição de equilíbrio.
- Observou as leituras da massa específica e da temperatura no densímetro, os valores foram encontrados por uma tabela.

#### *Cálculos:*

Os resultados são obtidos através de uma tabela estabelecida no laboratório, por meio de consultas, os analistas conseguem verificar o valor da massa específica e da temperatura. Parâmetros da especificação da massa se encontra na tabela 1.

➤ **% Percentual do fermento:** É determinado por centrifugação, indica a concentração de fermento do vinho nas dornas. Expresso em percentagem.

### **Mosto de fermentação**

#### Determinação do % fermento:

- Pipetou 10 mL da amostra em dois tubos graduados da centrífuga e pôs os mesmos em posição simétrica evitando o desequilíbrio
- A amostra foi centrifugada por 5min a 3000 rpm
- Os tubos foram retirados e fez a leitura do volume do material depositado no fundo do tubo.

#### *Cálculos:*

$$\text{Fermento \%} = V \times 10$$

Onde V= média dos volumes de material depositado no fundo

Resultados esperados: Uma faixa adequada é entre 7 a 11%, pois se fosse ao contrário, de 2 a 3 % iria ter pouco fermento e quanto menos fermento tiver, o tempo para a levedura consumir toda sacarose seria mais demorado, ou seja, resultando em um tempo muito elevado para

dorna morrer, o que não é apropriado para uma unidade industrial, pois requerem agilidade e produção.

**Leite tratado:** A metodologia para encontrar o % percentual de fermento é igual para a do mosto de alimentação [Vide]

**Resultados esperados:** O percentual de fermento nas cubas deve manter uma porcentagem de aproximadamente entre 25% a 30%, pois uma porcentagem muito alta indica proliferação das bactérias

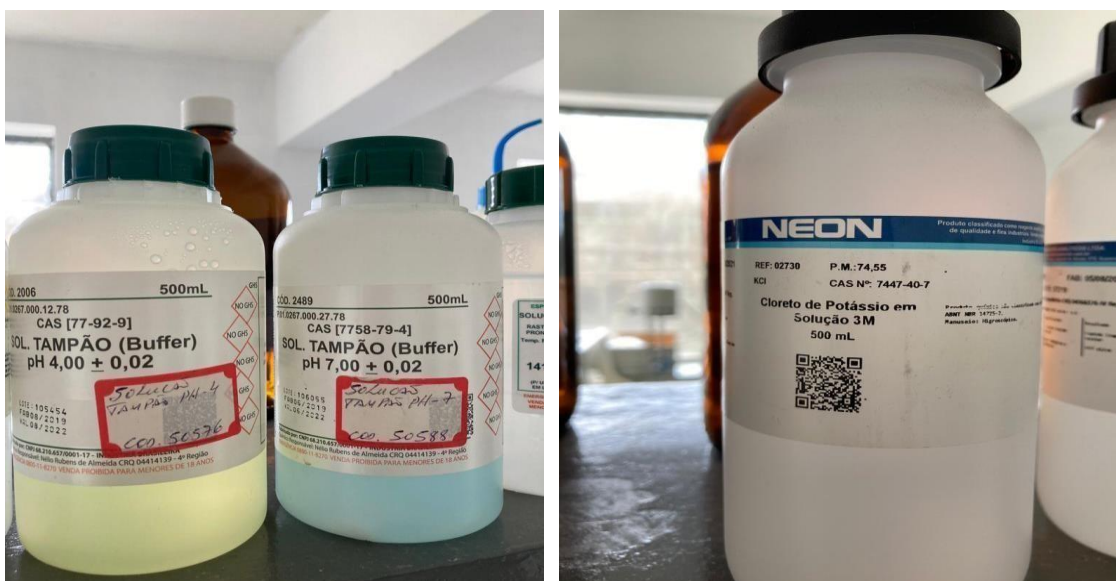
➤ **pH:** É a determinação da concentração de íons  $H^+$  pelo método potenciométrico. O pH é analisado no mosto de fermentação e segue com a mesma metodologia para os seguintes itens: caldo clarificado, leite tratado, álcool hidratado e álcool anidro

### Mosto de fermentação

#### Reagentes e soluções utilizadas:

- Solução tampão (Buffer) pH=  $7,00 \pm 0,02$  a  $25^{\circ}C$
- Solução tampão (Buffer) pH=  $4,00 \pm 0,02$  a  $25^{\circ}C$
- Solução de cloreto de potássio 3M

**Figura 16:** Soluções tampão e cloreto de potássio



**Fonte:** Autora, Usina Santa Maria-2022

### Calibração do potenciômetro

- Ligou-se o potenciômetro à rede elétrica
- Ajustou-se o botão de controle de temperatura para o valor médio da temperatura ambiente
- Emergiu o eletrodo na água destilada, enxugou levemente com papel higiênico macio e transferiu para a solução tampão de pH= 6,86 ~7,00. Ligou o aparelho em start até obter o 6,86 e deixou estabilizar.
- Emergi-lo, lavou com água destilada, enxugou e mergulhou na solução tampão de pH 4,0. Apertou no botão em start e obteve o valor de 4,0. Deixou estabilizar
- Após esse processo, o eletrodo continuou mergulhado em água destilada e depois secou.

### Determinação do pH

- Depois do eletrodo ser lavado e seco, imergiu na amostra onde foi analisada estando a temperatura ambiente.
- Esperou-se que os números nos visores se estabilizassem e anotou o valor do pH. Com mais ou menos 2 minutos, o resultado foi obtido no aparelho.
- Após o resultado da medição, lavou-se o eletrodo com esguichos de água destilada e deixou o mesmo mergulhado em água destilada ou cloreto de potássio (KCl) com solução de 3M.

Cálculos:

pH= leitura do potenciômetro

**Figura 17:** Potenciômetro



**Fonte:** Autora, Usina Santa Maria-2022

Resultados esperados: O pH mais ideal para fermentação alcoólica por meio de leveduras é em torno de 4,5. Pois nessa faixa leveduras se reproduzem bem.

**Caldo Clarificado:** A metodologia para encontrar o pH do caldo é igual para a do mosto de alimentação [Vide].

Resultados esperados: O pH ideal dos caldos clarificados ficam em torno de 5,8 a 6,0. Valores muito próximos a 7,0 causam incrustações nas colunas das destilarias.

**Leite tratado:** A metodologia para encontrar o pH do leite tratado é igual para a do caldo clarificado.[Vide]

Resultados esperados: é de 3,5 a 4,0 já com adição do ácido sulfúrico.

**Álcool hidratado e álcool anidro:** A metodologia para encontrar ambos os álcoois é igual ao do leite tratado [Vide]

Resultados esperados: Os parâmetros esperados pela especificação da ANP estão na tabela 1.

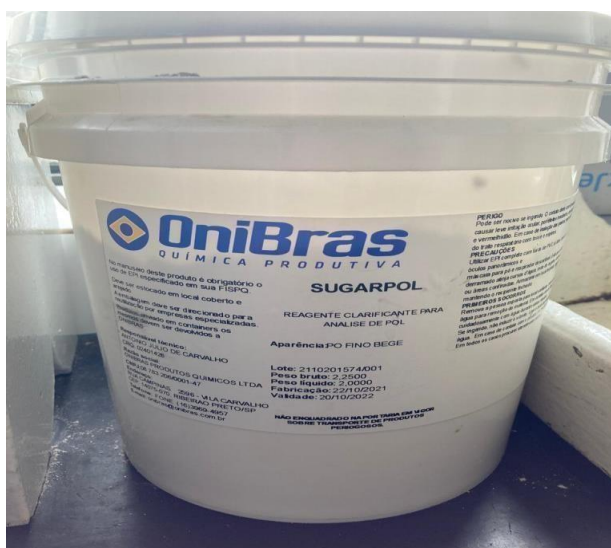
- **Pol%:** Determina o teor de sacarose na cana, medido pelo sacarímetro.

### Caldo clarificado

#### Reagentes e soluções utilizadas:

Sugarpol: reagente clarificante para análise de pol, com aparência de pó fino bege fino

**Figura 18:** Sugarpol



**Fonte:** Autora, Usina Santa Maria-2022

Determinação da POL:

- Colocou em um Erlenmeyer 200 mL da amostra.
- Posteriormente adicionou entre 5,0 e 8,0 gramas de sugarpol, o suficiente para 200 mL da amostra, logo após agitou.
- Depois de ter agitado, filtrou em papel de filtro com o funil separando as impurezas encontradas.
- O caldo clarificado é inserido no sacarímetro.
- Em segundos, foi apresentada a leitura sacarimétrica que entrará no cálculo da pol do caldo.
- O valor do fator de correção da temperatura é encontrado na tabela disposta no laboratório, pois varia com valor da temperatura.
- O valor do fator de polarização é encontrado com auxílio do brix, também identificado na tabela.

Cálculo:

$$\text{Pol\% caldo} = L_s \times F_p \times F_t$$

Onde:  $L_s$ = leitura sacarimétrica

$F_p$ = fator de polarização

$F_t$ = fator de correção da temperatura

A análise é realizada no sacarímetro, o  $F_p$  e o  $F_t$  são fatores encontrados com auxílio databela, a partir da leitura sacarimétrica.

Resultados esperados: Valores obtidos no laboratório da fabricação do açúcar, variando entre 8,0 a 8,3. Para a indústria canavieira quanto maior o teor de sacarose, melhor.

➤ **Pureza %:** Expressa em percentagem a partir de cálculos obtidos no procedimento anterior da POL.

Cálculo:

$$\text{Pureza \%caldo} = (\text{Pol\% caldo} / \text{Brix\% caldo}) \times 100$$

Resultados esperados: Valores obtidos no laboratório da fabricação do açúcar,  $\pm 82,00$ . Quanto maior a pureza, melhor a qualidade do caldo pois tem mais quantidades de açúcares disponíveis.

➤ **Teor Alcoólico %:** O teor alcoólico ou graduação alcoólica expressa a porcentagem de álcool em um líquido. Determina o teor alcoólico expresso em v/v (volume/volume) de etanol, pode ser determinado pelos métodos ebuliométricos, cromatográficos e densímetros. Analisa o teor alcoólico no leite tratado, álcool hidratado, anidro e vinhaça.

**Leite tratado**Determinação % alcoólico pelo método ebuliométrico

- Lavou a caldeira com pequenas porções da amostra.
- Colocou 50 mL da amostra na caldeira.
- Rosqueou a parte superior do aparelho que contém água e o termômetro.
- Acendeu a lamparina.
- O mercúrio contido no tubo capilar foi movido até que estabilizou-se em um determinado ponto.
- Leu a temperatura e o teor alcoólico na régua graduada.

Cálculos:

Teor alcoólico (etanol %) = L

Onde L= leitura obtida na régua graduada

Resultados esperados: Em teores acima de 8%, o etanol passa a ser maléfico para a levedura, costuma-se fazer uma fermentação com teor alcoólico entre 6,5 a 8,0%.

**Álcool hidratado e anidro:** A metodologia é igual para os dois álcoois. Os parâmetros do teor alcoólico se encontram na tabela 1

Reagentes e soluções utilizados

- Álcool etílico absoluto
- Solução padrão

Preparo da solução padrão

- Pesou em uma balança analítica 93,6 g de álcool etílico ( $C_2H_5OH$ ) absoluto e completou com o peso para 100g com água destilada.

As condições cromatográficas variam de acordo com cada equipamento, pois os mesmos aparelhos já vêm com manual de instrução para regularizar as colunas, temperaturas, fluxos e etc.

Determinação do % alcoólico pelo método cromatográfico:

- Injetou 3  $\mu$ L da solução padrão e identificou a água com seu respectivo tempo de retenção.
- Calibrou o programa computacional de acordo com seu manual de operação
- Injetou o mesmo volume de amostra

## *Cálculos*

Teor alcoólico (%) = 100 -C

Onde C = concentração de água obtida diretamente dos programas computacionais.

## **Vinhaça**

### *Destilação da amostra*

- Agitou por alguns segundos a amostra em um recipiente fechado, abriu a tampa para liberar o CO<sub>2</sub>. Repetiu entre 4 e 5 vezes.
- 25 mL da amostra homogeneizada foi pipetada, destilando em destiladores do tipo Kjeldahl
- Lavou com água destilada onde colocou-se a amostra. -Acoplou um balão volumétrico de 50 mL no final do condensador para receber o destilado. - Destilou aproximadamente até 50 mL.
- Desacoplou o balão do condensador, completando o volume com água destilada.

### *Determinação do % alcoólico pelo densímetro*

- Com uma seringa de 2mL, injetou a amostra já destilada. Lavou o tubo do densímetro quanto a seringa 3 a 4 vezes com a solução a ser lida.
- Acendeu a luz interna e verificou se não ficou bolha na amostra.
- Esperou de 2 a 3min para estabilizar a temperatura e fez a leitura da densidade a 20° C
- Observado o resultado, converteu a densidade lida para teor alcoólico (%) com auxílio da tabela disposto no laboratório.

*Resultados esperados:* Na faixa de 0,03-0,04 é o percentual menos nocivo que se pode trabalhar a vinhaça para fins agroindustriais, como por exemplo adubo orgânico. Amostras de vinhaça contendo o % alcoólico com valor de 0,06 não é adequado para usinas, pois começa a ter extravios de álcool pela coluna de destilação, o que não é almejado em uma unidade

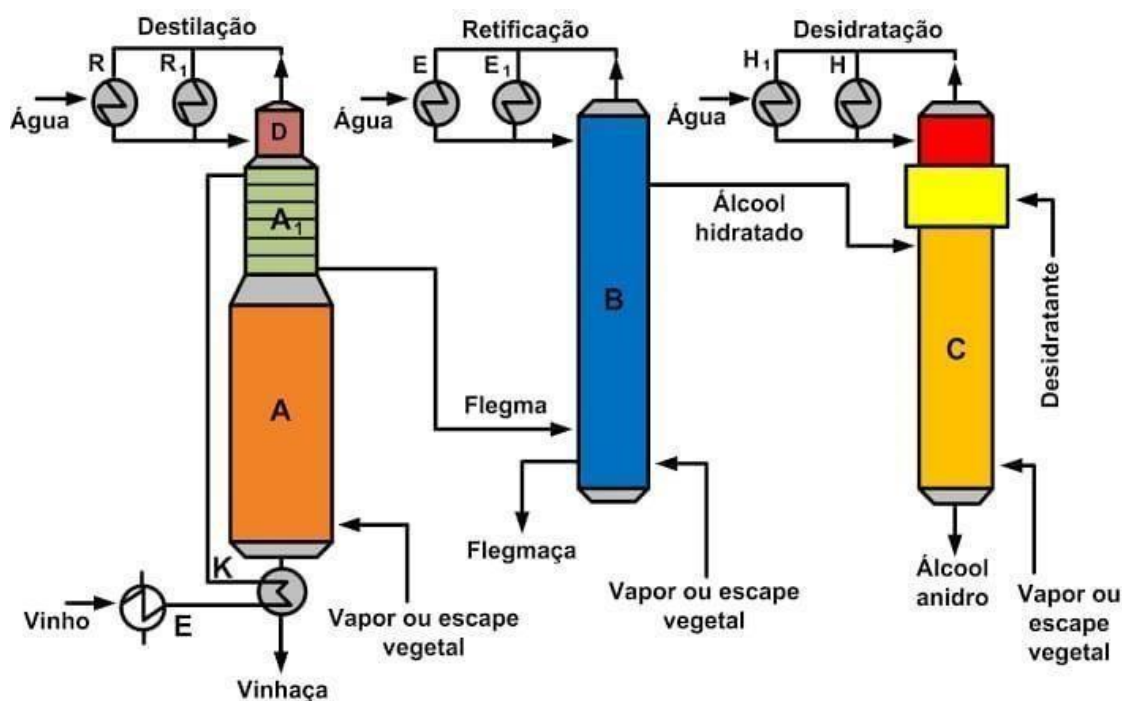
NOTA: As coletas, análises e os resultados esperados descritos nas análises acima variam muito para cada usina. Diferentes matérias-primas requer diferentes processos de produção e apresentam eficiências distintas, sendo que a escolha da mais adequada irá resultar num processo de fermentação com parâmetro desejável.

Os valores dos resultados esperados dependem de vários fatores como por exemplo: condições climáticas, temperatura, qualidade da matéria prima, contaminação bacteriana. As diversas etapas do processo são controladas individualmente. Contudo, para um alto desempenho da usina, é fundamental que todas as operações unitárias do processo trabalhem em harmonia.

## 5 DESTILAÇÃO

É um processo físico de separação usado para extrair etanol do vinho delevurado. Nesta destilação alcoólica normalmente são utilizadas três colunas separadas, a coluna de epuração A; coluna de retificação B e coluna de desidratação C.

**Figura 19:** Colunas de destilação



Fonte: Padilha, 2018.

A primeira operação realizada nas colunas de destilação é a epuração do vinho, onde consiste purificar o mesmo eliminando as impurezas na cabeça da coluna, como aldeídos e ésteres. A coluna A é superposta por três colunas, A, A1 e D, figura 19. O vinho é alimentado no topo da coluna “A1” na forma líquida onde passa por um aquecedor de vinho “E”, com teor de 5 a 7° GL e uma temperatura acima de 90°.

O vinho alimentado no topo da coluna A1, desce pelas bandejas, sendo a flegma retirada no fundo da badeja A1 e enviada para coluna B com teor de 40 a 50° GL. Na coluna A, figura 19, faz a retirada do produto de fundo, a vinhaça devendo apresentar uma concentração de 0,03°GL. Os voláteis produzidos nesse processo, principalmente ésteres e aldeídos são concentrados na coluna D e retirados no topo, onde são condensados em dois condensadores R e R1, onde uma parte do líquido volta para coluna D (90 a 95%) e outra é retirada vinhaça que retorna para o processo nas dornas volantes.

Para evaporar os voláteis no interior da coluna A, a energia é fornecida na base da coluna. Geralmente essa potência é causada por borbulhamento direto com um vapor apresentando baixa pressão. O princípio das bandejas que compõem a coluna A é garantir um esgotamento adequado da fase líquida, recuperando todo etanol para a fase de vapor e na corrente da flegma tendo como saída a extração. (ABDALA, 2017)

A coluna de retificação é análoga a coluna A, ou seja, é composta pela superposição de outras colunas. A flegma é alimentada na base da coluna “B”, figura 19, que contém um número de bandejas superior a 40, sobem através de bandejas enriquecendo o teor alcoólico para ser retirado sob a forma de álcool hidratado no topo da coluna. À medida que a flegma vapor vai descendo pelas bandejas ela se esgota em álcool e abandona a coluna como flegmaça, sendo redestilada no processo e enviada para às dornas volantes. O vapor que entra na base da coluna “B” é uma quantidade necessária, que serve de extrema importância para evitar restos de álcool na flegmaça. O vapor retirado no topo da coluna é totalmente condensado em dois condensadores E e E1, parte sendo reciclada como forma de garantir a fase líquida que escoam nas bandejas desta coluna e a outra parte sendo extraído como o produto álcool hidratado. O álcool retificado ou hidratado abandona a coluna “B”, onde é resfriado por água e encaminhado para o tanque medidor ou segue destino para coluna “C” de desidratação para produzir o álcool anidro. Ainda na coluna “B” a flegma concentrada é separada que resultam em produtos de óleos altos e óleos baixos, respectivamente concentrados em bandejas altas e bandejas baixas. Os produtos obtidos são contaminantes que contém óleo fúsel, isopropanol e outros,, estes são extraídos ao lado da coluna por tomadas, figura 20, não depreciam a qualidade do álcool.

**Figura 20:** Tomadas de retirada dos óleos baixos e altos



**Fonte:** Autora -2022

Existem duas técnicas para desidratar o álcool, a utilização de peneira molecular e a mais utilizada pelas usinas do Nordeste que é a destilação azeotrópica por meio do uso ciclo-hexano como agente desidratante

O álcool apresenta um ponto de ebulição de 78,37°C e a água 100°C, por se tratar de um azeótropo não é possível ter os componentes separados por métodos convencionais. A coluna C funciona para desidratar o álcool hidratado, figura 19. Nela são alimentados o álcool e o ciclo-hexano, sendo o ciclo-hexano alimentado no topo do equipamento e o álcool alimentado um pouco abaixo do topo da coluna C. A destilação azeotrópica na coluna C acontece da seguinte forma, o ciclo-hexano adicionado forma com os componentes uma mistura ternária (azeótropo) com ponto de ebulição de 63°C, essa mistura apresenta menor ponto de ebulição relacionado aos outros componentes, então a água é retirada no topo da coluna e o álcool anidro é retirado no fundo da coluna C, onde é encaminhado para o tanque de armazenamento. A água que sai no topo da coluna é enviada para uma coluna de recuperação do ciclo-hexano, que retorna a coluna de desidratação. (ABDALA, 2017)

Este produto obtido na coluna C é o álcool anidro, com graduação alcoólica de 99,5%. É muito utilizado em postos de combustíveis, misturado à gasolina. O etanol hidratado e anidro são armazenados em tanques enormes para serem transportados por caminhões até as distribuidoras.

## 6 DISCUSSÕES

### 6.1 Importância das análises físico-químicas e microbiológicas no processo fermentativo

O controle das análises no processo constitui um importante fator para as indústrias obter êxito no produto final. Nas usinas de açúcar e álcool do nordeste, a cana é a matéria prima utilizada para obtenção de etanol. Segundo estudos, o número de bactérias aumenta significativamente diversos a vários fatores, desde a qualidade da matéria prima como na higienização dos equipamentos que mantém contato com o caldo, tornando a cana susceptível a sofrer lesões que favoreçam o desenvolvimento de micro-organismos. A atuação do laboratório em uma usina é direcionar a otimização de todas etapas do processo para a produção do etanol, desde as etapas da moagem até a destilação.

Coordenar um laboratório de destilaria de uma usina sucroalcooleira apresenta um papel de grande importância. É por meio de análises realizadas neste setor que as usinas verificam a existência de contaminação bacteriana que possam interferir no processo fermentativo, para que não venham causar a formação excessiva de espumas e floculação do fermento.

## 6.2 Destacar a importância da produção de etanol a partir da cana-de-açúcar, no Brasil e no Nordeste.

No Brasil, a principal importância de produzir etanol pela cana é porque esta matéria prima apresenta maior extensão de terra para o cultivo, consequentemente demanda de mão de obra qualificada para a plantação. Desde o descobrimento da cana, que está gramínea foi introduzida na região Sudeste (São Paulo) e no Nordeste. Na tabela 3, observa-se que o estado de São Paulo lidera a produção de cana, durante os anos de 2008 a 2018 ganhou destaque de 60% de toda cana. Alagoas apresenta segunda colocação em termos de cultivo da plantação. O clima do Brasil é tropical por isso apresenta melhor desenvolvimento a cana, essa planta vive melhor em áreas com altas temperaturas. Na região do Nordeste, a principal vantagem de produzir etanol a partir da cana de açúcar é que sua área é três vezes maior do que quando comparada com outra espécie vegetal.

A tabela 3 mostra um percentual da ocupação da lavoura canavieira nos demais estados, no período de 2008 a 2018.

**Tabela 3:** Ocupação da lavoura canavieira

| ANO  | BRASIL | AL     | PE     | SP     | MG     | PR    | MS     | MT    | GO     |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|--------|
| 2008 | 12,53% | 64,23% | 30,79% | 59,94% | 12,88% | 6,06% | 7,79%  | 2,45% | 9,85%  |
| 2009 | 13,46% | 66,69% | 29,44% | 65,19% | 14,94% | 5,91% | 8,91%  | 2,74% | 11,79% |
| 2010 | 14,02% | 70,94% | 32,80% | 64,92% | 15,41% | 6,45% | 12,29% | 2,25% | 12,83% |
| 2011 | 14,11% | 72,55% | 30,03% | 65,76% | 16,79% | 6,47% | 14,16% | 2,28% | 14,16% |
| 2012 | 14,09% | 82,2%  | 30,93% | 65,34% | 17,31% | 6,53% | 14,63% | 2,18% | 13,87% |
| 2013 | 14,11% | 76,87% | 52,61% | 66,61% | 16,94% | 6,15% | 14,87% | 2,21% | 15,27% |
| 2014 | 13,71% | 74,03% | 34,65% | 66,80% | 17,38% | 6,36% | 14,04% | 2,09% | 14,58% |
| 2015 | 13,23% | 66,73% | 37,68% | 65,77% | 16,91% | 5,89% | 11,50% | 2,06% | 15,18% |
| 2016 | 13,24% | 67,32% | 31,01% | 64,77% | 16,47% | 6,12% | 13,31% | 1,93% | 14,68% |
| 2017 | 12,96% | 61,79% | 32,25% | 64,44% | 17,13% | 6,04% | 12,53% | 1,79% | 14,34% |
| 2018 | 12,82% | 63,54% | 31,55% | 63,91% | 17,22% | 5,87% | 12,43% | 1,84% | 15,03% |

**Fonte:** Lima, 2021.

Diante da tabela, um fato que chama bastante atenção é o estado de Alagoas apresentar mais que 60% da ocupação da lavoura, visto que em termos de tamanho territorial é o segundo menor do País. No decorrer dos anos de 2008 a 2012 os percentuais de área plantada de cana chegaram a 82% do território plantado no Estado. Contudo, nos anos de 2013 a 2018 o percentual foi sendo reduzido. Esse destaque, mesmo que esteja diminuindo é de suma importância para o estado, visto que comparado aos outros estados ainda está em segundo patamar de ocupação canavieira.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A indústria sucroalcooleira é de suma importância no estado de Alagoas e como muitos estudantes da Universidade Federal irão estagiar em usinas, esse trabalho de conclusão de curso pode contribuir para melhoria na qualidade dos estágios de futuros estudantes, preparando-o antes de começar, pode permitir ao estudante escolher o estágio sabendo o que acontece na indústria, além de familiarizar os graduandos em química a essa atividade industrial.

Este trabalho foi baseado em um relato de estágio nas destilarias de etanol bem como buscas por pesquisas bibliográficas para melhor aprimorar o conhecimento. Diante do acompanhamento nas etapas industriais e análises físico-químicas e microbiológicas foi perceptível notar que o controle do processo fermentativo foi satisfatório, contudo, o estagiário encontra dificuldade, pois muitos analistas não possuem a carteira profissional de química e aprendem a prática como macete do dia-a-dia, o estagiário que está tendo seu primeiro contato com uma indústria não consegue compreender de forma técnica e científica os resultados analisados.

Uma sugestão para os futuros estagiários de química é buscar a prática desde o início do curso, cobrando da Universidade visitas técnicas e procurando estágios mesmo não sendo remunerados, com ajuda de professores ou colegas que já tenham contato com a indústria para assim facilitar mais a compreensão ao término do curso e contribuir para a sua carreira profissional.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDALA, Thais. Análise comparativa dos processos de produção de etanol anidro. Orientador: Prof. Dr. Eloízio Júlio Ribeiro. 2017. 42 p. TCC (Bacharelado) - Graduação, Uberlândia, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/21338/5/AnaliseComparativaProcessos.pdf>. Acesso em: 7 nov. 2021.
- ALVORADA DO BEBDOURO/ ALVORADA DO OESTE. 3-TREINAMENTO TRATAMENTO DE CALDO. 2012. Página inicial. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/leandrocandido982/3treinamento-tratamento-de-caldo>. Acesso em: 07 de fev. de 2022.
- CALDAS, Celso. MANUAL DE ANÁLISES SELECIONADAS PARA INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRAS. n/a. ed. S/l: Sindicato da Industria do Açúcar, p. 426, 1998.
- CASTRO, Heizir F. de. INDÚSTRIA AÇUCAREIRA. Processos Químicos Industriais II, [s. l.], p. 19, 2013. Disponível em: <https://sistemas.eel.usp.br/docentes/arquivos/5840855/LOQ4023/Apostila1-Industriaacucareira2013.pdf>. Acesso em: 8 dez. 2021.
- EBOLA PREVENTION AND CONTROL. Guide to local production: WHO-recommended handrub formulations: Materials required (small volume production). Bettercare Learning Programmes, [S. l.], 27 fev. 2022. Disponível em: <https://bettercare.co.za/learn/ebola-prevention-and-control/text/06.html#guide-to-local-production-who-recommended-handrub-formulations>. Acesso em: 8 fev. 2022.
- FARIA-OLIVEIRA, Fábio. Alcoholic fermentation - enzymatic steps on *S. cerevisiae* (adapted from [11]). 2013. Disponível em: [https://www.researchgate.net/figure/Alcoholic-fermentation-enzymatic-steps-on-S-cerevisiae-adapted-from-11\\_fig1\\_234128686](https://www.researchgate.net/figure/Alcoholic-fermentation-enzymatic-steps-on-S-cerevisiae-adapted-from-11_fig1_234128686) Acesso em: 8 fev. 2022
- FAROUT, Mahmoud. The structure of a budding yeast cell. 2019 Disponível em: [https://www.researchgate.net/figure/A-The-structure-of-a-budding-yeast-cellB-The-yeast-Saccharomyces-cerevisiae-is-a\\_fig1\\_336116058](https://www.researchgate.net/figure/A-The-structure-of-a-budding-yeast-cellB-The-yeast-Saccharomyces-cerevisiae-is-a_fig1_336116058) Acesso em: 8 fev 2022
- GOIS-FAVONI, Silvana Pedroso de *et al.* Fermentação alcoólica na produção de etanol e os fatores determinantes do rendimento. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, s/l, v. 9, n. 4, p. 285-296, 2018.
- LIMA, Jose Rodolfo Tenório. A REALIDADE PRODUTIVA DO SETOR SUCROALCOOLEIRO ALAGOANO NO PERÍODO DE 2008 A 2018. Revista Contexto Geográfico, Maceió, v. 6, n. 11, p. 01-18, 2021.
- LUXIMETRO DIGITAL INSTRUSUL. Como calibrar phmetro: confira o passo a passo! c2018. Página inicial. Disponível em: <https://blog.instrusul.com.br/como-calibrar-phmetro-confira-o-passo-passo/>. Acesso em: 07 de fev. de 2022.
- MENEGUETTI, Claudio Cezar; MEZARROBA, Silvana; GROFF, Andréa Machado. Processos de produção do álcool etílico de cana-de-açúcar e os possíveis reaproveitamentos dos resíduos resultantes do sistema. FECILCAM, [s. l.], p. 1-9, 2010.

NUNES, Elis Fernando. CANA-DE-AÇÚCAR: A PRODUÇÃO DE ETANOL E SEUS BENEFÍCIOS. 2017. 29 f. Artigo (Tecnólogo) - Técnico, Barreto, 2017.

PADILHA, Tomás Capistrano. Tecnologia da Fabricação do Etanol. Alcool combustível, [S. l.], p. 1-69, 10 jan. 2018. Disponível em: <https://docplayer.com.br/33848391-Tecnologia-da-fabricacao-do-etanol.html>. Acesso em: 2 fev. 2022.

RIBEIRO, A. F. Carlos. TECNOLOGIA DO ÁLCOOL. Piracicaba: [s. n.], 1999- .

Disponível em:

[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2214646/mod\\_resource/content/1/Apostila%20de%20%C3%A1lcool.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2214646/mod_resource/content/1/Apostila%20de%20%C3%A1lcool.pdf). Acesso em: 7 nov. 2021.

SANTOS, Magda Correia dos. Condução de fermentação etanólica contínua com o uso de antibiótico. 2016. 61 f. Dissertação (Mestrado) - Mestrado, Rio Largo, 2016.

SLIDE PLAY. Panorama Geral Do Processo Industrial, Tecnologia Do Álcool Etílico- Lan 5811, Prof. Antonio Sampaio Baptista. 2010. Página inicial. Disponível em: <https://slideplayer.com.br/slide/11859966/>. Acesso em: 08 de dez de 2021

SLIDEPLAYER. Structure of a sugar cane e talk. p. 11. s/a. Disponível em:

<https://slideplayer.com/slide/715532/2/images/11/STRUCTURE+OF+A+SUGAR+CANE+S+TALK.jpg>. Acesso em: 8 fev. 2022

SOUZA, JOSÉ EDMUNDO ACCIOLY DE. FORMAS DE CONDUÇÃO DA FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA. N/a, [s. l.], n/a. Disponível em:

<https://docs.google.com/presentation/d/1EGHRjmbnXZuYvti3BthLs79dvIxRRsgT/edit#slide=id.p2>. Acesso em: 7 fev. 2022.

STEINLE , LUIS ANTONIO. FATORES QUE INTERFEREM NA FERMENTAÇÃO ALCÓOLICA. 2013. 58 f. Monografia (Pós-Graduação) - Latus Sensu, Sertãozinho, 2013. Disponível em: <https://www.mta.ufscar.br/arquivos/publicacoes/sertaozinho-iii/luis-antonio-steinle.pdf>. Acesso em: 7 nov. 2021.

SUGARPOL: clarificante de caldo para análise de POL. Onibras, Ribeirão Preto, 2013.

Disponível em: [http://www.onibras.com.br/Produto/Setor\\_Sucroenergetico/40/SUGARPOL](http://www.onibras.com.br/Produto/Setor_Sucroenergetico/40/SUGARPOL). Acesso em: 7 fev. 2022.