



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
COORDENAÇÃO DO CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

ELIELSON DA SILVA LIRA

PERDAS NA CADEIA PRODUTIVA DO SETOR DA DESTILARIA

JOÃO PESSOA/ PB

2021

ELIELSON DA SILVA LIRA

PERDAS NA CADEIA PRODUTIVA DO SETOR DA DESTILARIA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Graduação de
Engenharia Química da Universidade Federal da
Paraíba como exigência para a obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Química.

Orientador: Dr. Genaro Zenaide Clericuzi.

JOÃO PESSOA/PB

2021

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

L768p Lira, Elielson da Silva.

Perdas na cadeia produtiva do setor da destilaria /
Elielson da Silva Lira. - João Pessoa, 2021.
42 f.

Orientação: Genaro Zenaide Clericuzi.
TCC (Graduação) - UFPB/CT.

1. Eficiência industrial. 2. Fermentação alcoólica.
3. Eficiência do processo. I. Clericuzzi, Genaro Zenaide.
II. Título.

UFPB/BSCT

CDU 66.01(043.2)

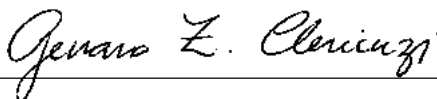
ELIELSON DA SILVA LIRA

PERDAS NA CADEIA PRODUTIVA DO SETOR DA DESTILARIA

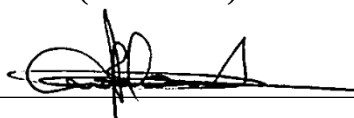
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Graduação de Engenharia Química da Universidade Federal da Paraíba como exigência para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

Aprovado em 03 de dezembro de 2021

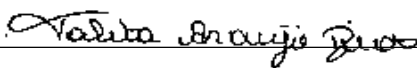
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Genaro Zenaide Clericuzi
(Orientador)



Profa. Dra. Josilene de Assis Cavalcante
(Examinadora)



Me. Talita Araújo Dias
(Examinadora)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais Antônio e Eliete, que são exemplo de força e coragem, que sempre me incentivaram a buscar um caminho mais oportuno através dos estudos. Dedico também aos meus irmãos Victor, Paula e Flávia.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus por me permitir a realização de um sonho e ter me guiado nos momentos de adversidade.

Aos meus pais por todo o esforço e confiança investida na minha educação durante esses anos e aos meus familiares que me incentivaram e acreditaram em meu trabalho.

A todos os meus colegas e amigos, mas em especial a Wanessa Elaine que esteve presente em toda essa etapa acadêmica, foram muitas risadas, conversas, diversão, trabalhos, enfim... estava sempre ao meu lado, me dando força e incentivo para continuar nos momentos bons e ruins. Te guardarei sempre comigo.

Ao meu orientador Prof. Dr. Genaro Zenaide Clericuzi, pela atenção, cooperação e paciência me instruindo. Obrigado pelos ensinamentos durante o curso e por todo amparo.

À Universidade Federal da Paraíba, bem como todo seu corpo docente que me proporcionaram conhecimento, sabedoria e apoio.

À Usina Monte Alegre S/A pela disponibilidade dos dados do acompanhamento fermentativo para realização do trabalho, assim como a todos desta empresa que me auxiliaram, instruíram e contribuíram direta ou indiretamente para o meu aprendizado. Grato em especial à Dr^a Marlene, Jailson Alexandre, Zilma, Sr. Paulo e Lenilson, por todas as explicações, conversas e ensinamentos. Nunca esquecerei de vocês.

E a todos que de forma direta ou indireta contribuíram com a minha formação acadêmica e pessoal, ficam aqui os meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

A obtenção do etanol por meio do processo de fermentação é afetada por diversas condições de estresse experimentadas pelos microrganismos e pode levar à redução da produção de etanol e perda de eficiência industrial. No processo produtivo da indústria sucroalcooleira as perdas de açúcares são obtidas pela diferença entre os açúcares redutores totais (ART) contido na matéria prima e o ART recuperado nos produtos finais, sendo as perdas agrupadas em: perdas físicas, perdas bioquímicas, perdas microbiológicas e perdas econômicas. Considerando que o Brasil é o maior produtor mundial de etanol combustível e sendo sua matéria-prima a cana-de-açúcar, o objetivo deste trabalho é avaliar as principais etapas do processo industrial e da bioquímica da fermentação, além de avaliar e quantificar as perdas determinadas do processo fermentativo de etanol. Para realização do trabalho foram coletados dados referentes aos parâmetros tecnológicos da fermentação. Esse trabalho foi realizado na Usina Monte Alegre S/A localizada na cidade de Mamanguape – Paraíba e pertencente ao grupo Soares de Oliveira. Os resultados obtidos das análises físico-química e microbiológica durante a produção do etanol servem para averiguar a qualidade da matéria-prima usada, a eficiência do processo fermentativo e a obtenção de um produto melhor e mais rentável no mercado. Assim, o conhecimento das bases científicas que regem o processo fermentativo nas diferentes fases do processo industrial pode contribuir para a redução de problemas e aumento da produção.

Palavras chaves: eficiência industrial, fermentação alcóolica, eficiência do processo.

ABSTRACT

The production of ethanol through the fermentation process is affected by several stress conditions experienced by microorganisms and can lead to reduced ethanol production and loss of industrial efficiency. In the production process of the sugar and alcohol industry, sugar losses are obtained by the difference between total reducing sugar (ART) contained in the raw material and the ART recovered in the final products, and the losses are grouped into: physical losses, biochemical losses, microbiological losses and economic losses. Considering that Brazil is the world's largest producer of fuel ethanol and its raw material being sugarcane, the objective of this work is to evaluate the main stages of the industrial process and the biochemistry of fermentation, in addition to evaluating and quantifying the determined losses of the ethanol fermentation process. Data on the technological parameters of fermentation were collected to perform the work. This work was carried out at Usina Monte Alegre S/A located in the city of Mamanguape – Paraíba and belonging to the Soares de Oliveira group. The results obtained from the physicochemical and microbiological analyses during ethanol production serve to ascertain the quality of the raw material used, the efficiency of the fermentation process and the achievement of a better and more profitable product on the market. Thus, knowledge of the scientific bases that govern the fermentation process in the different phases of the industrial process can contribute to the reduction of problems and increased production.

Keywords: industrial efficiency, alcohol fermentation, process efficiency.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Regiões canavieiras do Brasil.....	15
Figura 2 – Produção de biodiesel por região.....	16
Figura 3 – Produção industrial para produção do etanol.....	17
Figura 4 – Reação de hidrólise da sacarose pela enzima invertase em meio aquoso.....	19
Figura 5 - Via metabólica da fermentação de etanol em <i>S. cerevisiae</i> . Abreviações: HK: enzima hexoquinase, PGI: fosfoglucoisomerase, PFK: fosfofrutoquinase, FBPA: frutose bifosfato aldolase, TPI: triose fosfato isomerase, GAPDH: gliceraldeído-3-fosfato desidrogenase, PGK: fosfoglicerato quinase, PGM: fosfoglicomutase, ENO: enolase, Pyk: piruvato quinase, PDC: piruvato descarboxilase, e ADH: álcool desidrogenase.....	20
Figura 6 – Fermentação descontínua em batelada alimentada.....	22
Figura 7 – Classificação das perdas industriais.....	28
Figura 8 – Relação de conversão do ART (mosto de alimentação) em °GL (mosto fermentado)	31
Figura 9 – Rendimento da fermentação referente a safra de (2020/2021)	31
Figura 10 - Eficiência da fermentação de setembro a janeiro da safra (2020/2021)	32
Figura 11 - Teor de ácido láctico (mg/L)	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Especificações do álcool anidro e hidratado.....	14
Tabela 2 – Média mensal dos dados do processo fermentativo.....	30
Tabela 3 - Parâmetros teóricos para avaliação da acidez láctica.....	33
Tabela 4 – Acompanhamento do teor de ácido láctico.....	33

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1 OBJETIVO GERAL.....	11
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
2 FUNDAMENTAÇÃO TEORICA.....	11
2.1 MATÉRIA PRIMA PARA PRODUÇÃO DE ETANOL	11
2.1.1 Cana-de-açúcar no Brasil.....	12
2.1.2 Etanol	13
2.1.3 Etanol no Brasil	14
2.2 PROCESSO PRODUTIVO DE ETANOL	16
2.3 PROCESSO FERMENTATIVO.....	18
2.4 LEVEDURA.....	22
2.5 FATORES QUE IMPACTAM NA FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA.....	24
2.5.1 Concentração etanólica.....	24
2.5.2 pH.....	24
2.5.3 Temperatura	25
2.5.4 Contaminação bacteriana	26
2.6 IDENTIFICAÇÃO DAS PERDAS NO PROCESSO INDUSTRIAL	27
3. MATERIAIS E MÉTODOS	29
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4.1 RENDIMENTO FERMENTATIVO.....	30
4.2 EFICIÊNCIA FERMENTATIVA.....	32
4.3 ACIDEZ LÁCTICA	32
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	36
REFERÊNCIAS	37

1. INTRODUÇÃO

O etanol, conhecido também como álcool etílico, possui seu processo de produção realizado nas usinas de açúcar e álcool, um produto que é derivado da fermentação alcoólica, podendo ser obtido a partir de diferentes tipos de matérias primas, como a cana-de-açúcar, o milho e a beterraba. No Brasil, a maior parte dessa fabricação ocorre através da cana-de-açúcar, desta forma, o principal componente da fermentação é a sacarose (açúcar) contida no caldo (AQUINO et al., 2014).

Levando em conta o aumento do preço dos combustíveis derivados do petróleo (também conhecidos como combustíveis fósseis) e o rápido crescimento da procura interna de álcool combustível, prevê-se uma expansão ainda maior no futuro próximo, desta forma, entende-se que a indústria do setor sucroenergético deve maximizar a produção, buscando reduzir ou eliminar suas perdas para manter a eficiência e a competitividade (AYARZA, 2007).

Conforme Chieppe Junior (2012), a levedura utilizada para produção do álcool apresenta muitas reações enzimáticas em seu metabolismo celular, sendo que alguns fatores físicos, químicos e biológicos afetarão negativamente a eficiência da fermentação, ou seja, na capacidade de converter açúcares do mosto em etanol. Portanto, o estudo de fatores como temperatura, pH, presença de nutrientes e inibidores, concentração de leveduras, contaminação microbiana e outros fatores são a base para se buscar o aumento da produção de álcool na prática industrial.

O presente trabalho foi desenvolvido na Usina Monte Alegre S/A, localizada no município de Mamanguape - PB, durante o período de 28 de agosto de 2020 a 28 de fevereiro de 2021. As atividades realizadas tiveram orientação da Prof^o. Dr^o. Genaro Zenaide Clericuzi e com supervisão da gerente industrial Dr^a. Marlene de Fátima Oliveira.

A Usina Monte Alegre S/A, foi fundada em 1940, pela família Fernandes de Lima, que passou da condição de engenho, para a fabricação do Açúcar. Em 1990, foi adquirida pelo GRUPO SOARES DE OLIVEIRA, cujas instalações e áreas de cultivo foram ampliadas e modernizadas. Atualmente a Usina atua no segmento de varejo com a marca (Açúcar Alegre), tendo como principais produtos: açúcar (cristal, triturado, demerara e VHP), além da produção de etanol e energia.

A falta de acompanhamento por meio de balanços de massa do processo de fabricação eleva os custos da produção, devido a não identificação em qual etapa do processo está ocorrendo perdas, o que impossibilita a tomada de ações corretivas. O presente trabalho

consiste de um acompanhamento do processo fermentativo no setor da destilaria, visando determinar a perdas dos componentes do caldo a partir do (ART), visando a eficiência de conversão em etanol.

1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar as perdas associadas ao processo de produção de etanol durante o processo fermentativo, permitindo a otimização do rendimento da produção de etanol.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Destacar como as perdas podem ocorrer no processo de produção de álcool a partir do setor de fermentação;
- Exemplificar como essas perdas podem ocorrer;
- Propor formas de evitar as perdas.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEORICA

2.1 MATÉRIA PRIMA PARA PRODUÇÃO DE ETANOL

No Brasil, a cana de açúcar constitui a principal matéria prima para a obtenção do etanol carburante. De acordo com Lima (2012) a cana de açúcar está entre as culturas agrícolas mais antigas e mais exploradas no Brasil, sendo o país o maior produtor mundial da planta, de açúcar e de etanol (BRASIL, 2016). Na composição da cana de açúcar destaca-se cerca de 80% de água e aproximadamente 20% de sólidos totais, principalmente açúcares sacarose (17%), glicose (0,4%), e frutose (0,2%), além das cinzas (LIMA, 2012).

De acordo com Vieira (2012) tão importante quanto à produção de cana por hectare, é a qualidade da matéria prima, medida pelo teor de sacarose contida na planta e que determina o potencial de produção de açúcar por tonelada de cana. A qualidade da matéria prima em São Paulo e no Centro-Sul está entre 14 e 15,5% de POL (sacarose aparente), o

que equivale ao rendimento médio de 140 a 145 kg de açúcares totais recuperados (ATR) por tonelada de cana. Para o etanol, isso significa rendimento entre 80 e 85 litros por tonelada.

Nas usinas sucroalcooleiras, a produção do açúcar e de etanol segue as etapas de moagem da cana de açúcar, tratamento químico do caldo e filtração. Para obtenção do etanol, o caldo clarificado é aquecido a 115 °C objetivando a concentração de sólidos solúveis em torno de 20 °Brix, além de sua esterilização. O caldo aquecido é resfriado a 30 °C em trocadores de calor e corrigido para compor o mosto (líquido açucarado fermentável) constituído pelo caldo clarificado adicionado de melaço (um subproduto obtido na produção de açúcar e conhecido também como mel final) e água para diluição dos sólidos solúveis, sendo geralmente utilizado 18 °Brix. O mosto corrigido será fermentado por leveduras, destilado e retificado para obtenção do etanol hidratado (com grau alcoólico entre 92,6 a 93,8%) ou segue para a desidratação após a destilação para obter etanol anidro (teor alcoólico mínimo de 99,3%) (CHIEPPE JUNIOR, 2012).

2.1.1 Cana-de-açúcar no Brasil

A cana-de-açúcar foi introduzida no Brasil em 1532 pelos portugueses, tendo papel fundamental para a formação econômica e a inserção do país no mercado internacional via exportações de açúcar (MORAES e BACCHI, 2014). Do século XVI ao século XVIII, a atividade era preponderante sobre todas as atividades econômicas desenvolvidas no país. Com o passar dos anos os processos de industrialização modernizaram-se, no século XIX, houve aumento dos fornecedores e das unidades de produção (EISENBERG, 1977).

A formação de focos para a abertura da produção industrial iniciada no Brasil ao final do século XIX, em conjunto com o aparecimento da mão de obra remunerada, condicionou o movimento de acúmulo de riquezas e o desenvolvimento das relações de montaria em resposta ao aumento da comercialização internacional e o processo de internacionalização de capital e investimentos estrangeiros, iniciando a construção das primeiras vias ferroviárias, culminando no aumento das disponibilidades monetárias, intensificando ainda mais a produtividade da cana-de-açúcar, evidenciando o movimento da construção de modernas refinarias de açúcar (FURTADO, 1986).

De acordo com Júnior (2010), o cultivo da cana no Brasil sofreu dois impactos negativos, o primeiro foi após a introdução da cultura no Caribe, na América Central, onde os resultados mais expressivos foram em Cuba, assim houve um colapso no cultivo brasileiro, no entanto, esse impacto não eliminou completamente seu cultivo no país. O segundo,

conhecido como o fim do "Ciclo do Açúcar", ocorreu quando os franceses desenvolveram tecnologia para a produção de açúcar a partir de beterraba, neste período a dependência dos europeus do açúcar da cana brasileira reduziu drasticamente. O declínio das exportações de açúcar de 24% chegou a 10% da década de 30 a 80 do século XIX.

A economia açucareira do Nordeste resistiu por mais de três séculos às mais prolongadas depressões, buscando recuperar-se sempre que o mercado externo permitia, sem sofrer nenhuma modificação estrutural significativa (FURTADO, 2007). Tendo em vista o cenário de depressão que o mercado de açúcar passava, foi necessário encontrar novas aplicações para a cana-de-açúcar, havendo assim um incentivo em pesquisas no desenvolvimento de combustível a partir da cana-de-açúcar.

Segundo Anciões (1980), as primeiras experiências com álcool combustível vieram a ocorrer no início da década de 1920, mas, somente na década de 1930, o governo através do decreto nº 197 17, tornava obrigatória a adição de álcool à gasolina importada, numa proporção inicial de 5%. Destaca que a intenção governamental com tal decreto foi a de regularizar a situação do setor açucareiro que passava, então, por séria crise.

2.1.2 Etanol

O etanol pode ser produzido a partir da cana-de-açúcar, e é um composto orgânico oxigenado de fórmula química C_2H_6O , conhecido também como álcool etílico. De acordo com as características físico-químicas, o etanol é um líquido incolor, transparente, volátil, de cheiro etéreo, sabor picante e miscível em água e em diferentes líquidos orgânicos (ARIAS et al., 1999).

O etanol (CH_3CH_2OH), também chamado álcool etílico - na linguagem popular, simplesmente álcool - é uma substância orgânica obtida da fermentação de açúcares, hidratação do etileno ou redução a acetaldeído, encontrado em bebidas como cerveja, vinho e aguardente, bem como na indústria de perfumaria. No Brasil, tal substância é também muito utilizada como combustível de motores de explosão, constituindo assim um mercado em ascensão para um combustível obtido de maneira renovável e para o estabelecimento de uma indústria de química de base sustentada na utilização de biomassa de origem agrícola e renovável (UNICA, 2008).

O produto final resultante do processamento químico é uma mistura binária etanol-água, denominado álcool etílico. Existem dois tipos de etanol combustível: o hidratado, que é o etanol comum vendido nos postos, consumido em motores desenvolvidos para este fim,

e o anidro, que tem elevada pureza alcóolica e é misturado à gasolina, sem prejuízo para os motores, em proporções variáveis (MAGALHÃES, 2007). Na Tabela 1 são apresentadas as especificações para esses dois tipos de álcool, o hidratado e o anidro.

Tabela 1 - Especificações do álcool anidro e hidratado

Parâmetros	Especificações	
	Anidro	Hidratado
Massa Específica (20 °C), kg/m ³	Máx. 791,5	807,6 a 811,0
Teor alcoólico, % más. (oINPM)	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 (2014)

2.1.3 Etanol no Brasil

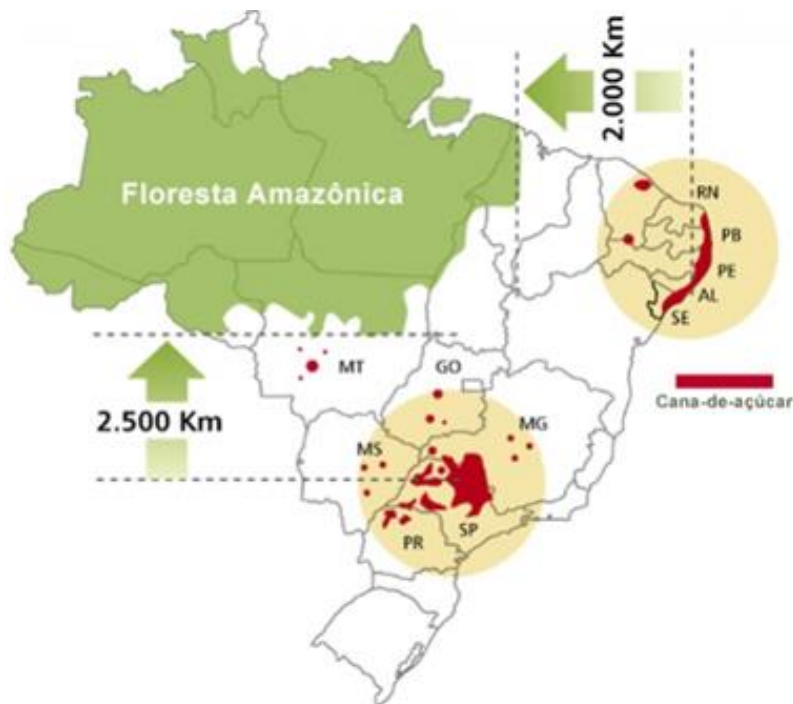
No Brasil a história dos biocombustíveis teve início no século XX, mas o Brasil só se tornou pioneiro na área de biocombustíveis a partir de 1975 com a criação do Programa Nacional do Álcool (Proálcool), que surgiu com o objetivo de incentivar as Usinas para a produção do etanol a partir da cana-de-açúcar (RODRIGUES, 2010).

O etanol de cana-de-açúcar é o biocombustível com menor pegada de carbono do mundo. No Brasil, a mistura de etanol na gasolina é obrigatória por lei: 27% (E27) desde 2015. O etanol é um orgulho nacional por sua eficiência energética (fonte limpa e renovável de energia), pela sustentabilidade em toda sua cadeia e pela geração de emprego e renda no campo (UNICA, 2021).

A preocupação com emissões de dióxido de carbono a partir de fontes fósseis torna a necessidade de substituir derivados do petróleo uma constante nos nossos dias. Como o Brasil é dependente da gasolina para automóveis, e sua demanda continuará crescendo nas próximas décadas, o etanol é considerado uma alternativa essencial para diminuir as emissões causada pelo setor de transporte. Estas condições, além da possibilidade de utilização do enorme potencial brasileiro de aproveitamento para o etanol da produção dos canaviais, conforme

apresentado na Figura 1, possibilitaram o crescimento de uma enorme indústria doméstica. Devido à estratégia de tornar o Brasil menos dependente da importação de derivados fósseis e expandir o mercado de biocombustíveis, incentivos governamentais asseguraram a oferta em períodos de menor competitividade (CBIE, 2019).

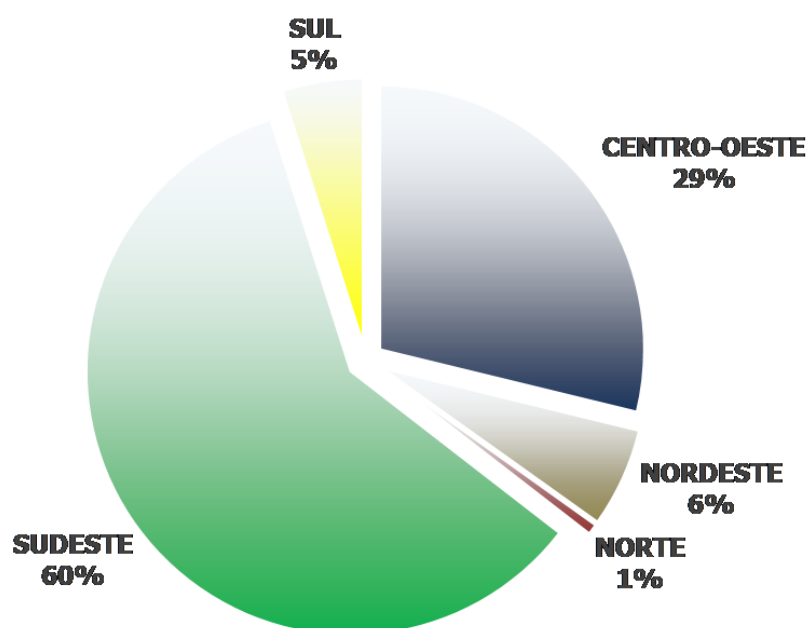
Figura 1 – Regiões canavieiras do Brasil



Fonte: (CBIE, 2019)

A produção brasileira de etanol, conforme apresentado na Figura 2, concentra-se nas regiões Sudeste e Centro-Oeste, que produzem 60% e 29% do total de biodiesel, respectivamente. As regiões Nordeste e Sul também produzem uma parcela relevante do etanol doméstico, enquanto a Região Norte não é grande produtora por ser a localização primária da Floresta Amazônica (CBIE, 2019).

Figura 2 - Produção de biodiesel por região

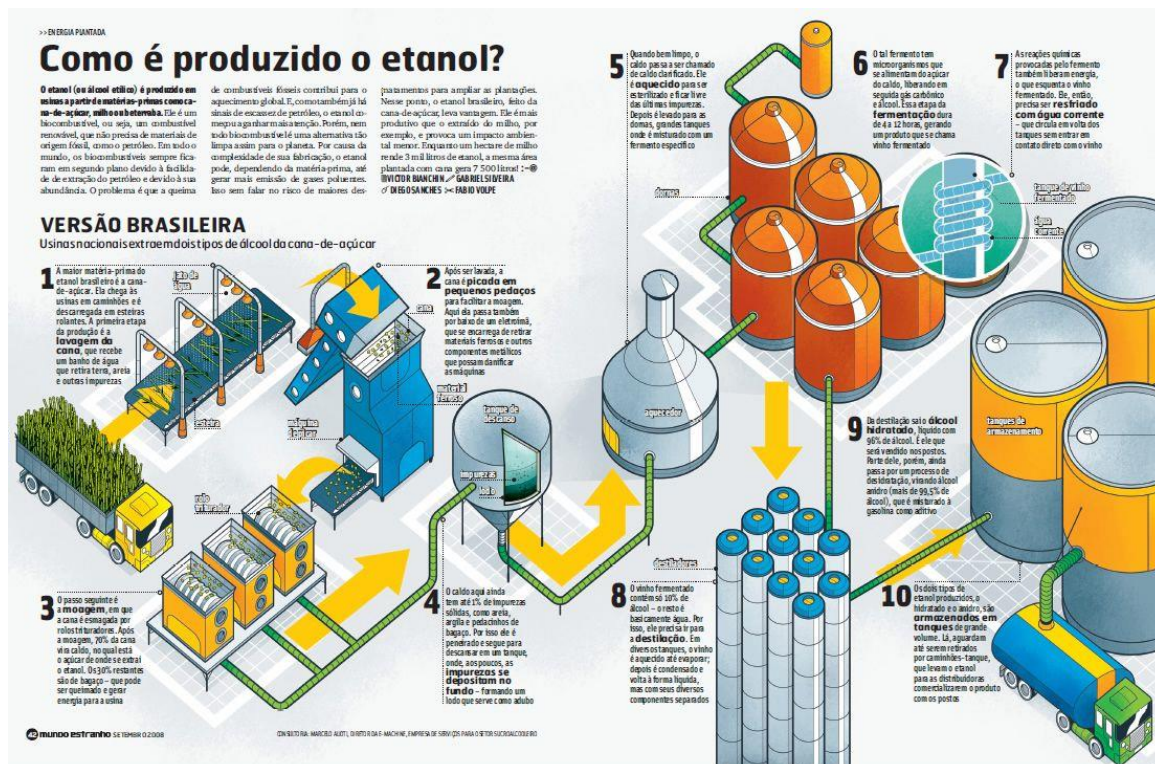


Fonte: ANP (2014)

2.2 PROCESSO PRODUTIVO DE ETANOL

O processo industrial para a produção do etanol de cana-de-açúcar, mostrado na Figura 3, contempla as seguintes etapas (NOVACANA, 2021).

Figura 3 - Produção industrial para produção do etanol



Fonte: NOVACANA (2021)

1. Lavagem: A cana de açúcar, chegando às usinas em sua forma pura, é colocada em uma esteira rolante. Lá, ela é submetida a uma lavagem que retira sua poeira, areia, terra e outros tipos de impurezas. Na sequência, a cana é picada e passa por um eletroímã, que retira materiais metálicos do produto.
2. Moagem: Nesse processo, a cana é moída por rolos tritadores, produzindo um líquido chamado melado. Cerca de 70% do produto original viram esse caldo, enquanto os 30% da parte sólida se transforma em bagaço. Do melado, continua-se o processo de fabricação do etanol, enquanto o bagaço pode ser utilizado à geração de energia na usina.
3. Eliminação de impurezas: Para eliminar os resíduos presentes no melado (restos de bagaço, areia, etc.), o líquido passa por uma peneira. Em seguida, ele segue a um tanque para repousar, fazendo com que as impurezas se depositem ao fundo – processo chamado decantação. Depois de decantar, o melado puro é extraído e recebe o nome de caldo clarificado. O último processo de extração de impurezas é a esterilização, em que o caldo é aquecido para eliminar os micro-organismos presentes.
4. Fermentação: Após estar completamente puro, o caldo é levado a domas (tanques) no qual é misturado e eles um fermento com leveduras (sendo mais comum a levedura de

Saccharomyces cerevisiae). Esses microrganismos se alimentam do açúcar presente no caldo. Nesse processo, as leveduras quebram as moléculas de glicose, produzindo etanol e gás carbônico. O processo de fermentação dura diversas horas, e como resultado produz o vinho, chamado também de vinho fermentado, que possui leveduras, açúcar não fermentado e cerca de 10% de etanol.

5. Destilação: Estando o etanol misturado ao vinho fermentado, o próximo passo é separá-lo da mistura. Nesse processo, o líquido é colocado em colunas de destilação, nas quais ele é aquecido até se evaporar. Na evaporação, seguida da condensação (transformação em líquido), é separado o vinho do etanol. Com isso, fica pronto o álcool hidratado, usado como etanol combustível, com grau alcoólico em cerca de 96%.
6. Desidratação: Com o álcool hidratado preparado, basta retirar o restante de água contido nele para se fazer o álcool anidro. Essa é a etapa da desidratação, no qual podem ser utilizadas diversas técnicas. Uma delas é a desidratação, em que um solvente colocado ao álcool hidratado mistura-se apenas com a água, com os dois sendo evaporados juntos. Outros sistemas, chamados peneiração molecular e pé vaporação, utilizam tipos especiais de peneiras que retêm apenas as moléculas da 11 água. Após ser desidratado, surge o álcool anidro, com graduação alcoólica em cerca de 99,5%, utilizado misturado à gasolina como combustível.
7. Armazenamento: Nesta etapa, o etanol anidro e hidratado é armazenado em enormes tanques, até serem levados por caminhões que transportam até as distribuidoras.

2.3 PROCESSO FERMENTATIVO

O processo de fermentação na produção de álcool pode ser conduzido por diversas formas, dividida em contínua ou descontínua, com ou sem reutilizar o fermento por meio da recirculação o (SANTOS; BORÉM; CALDAS, 2012).

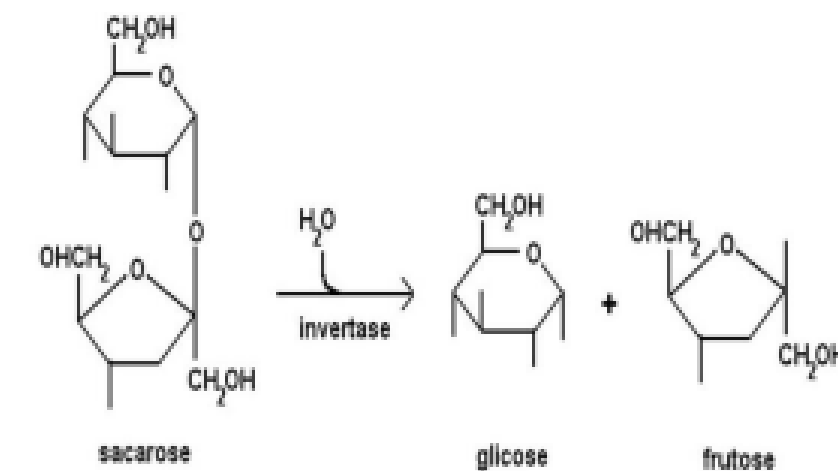
Todo processo de fermentação é realizado nas dornas de fermentação. Durante o processo fermentativo se faz necessário o controle da temperatura na faixa de 28 a 30 °C. Temperaturas elevadas provocam a degradação das enzimas desenvolvidas pelas leveduras e consequentemente baixos rendimentos da fermentação (LIMA; MARCONDES, 2002).

A fermentação alcoólica com uso de microrganismo ocorre por processos metabólicos desenvolvidos pelas enzimas produzidas pelos microrganismos, essas enzimas promovem transformações químicas nas substâncias orgânicas presentes no meio (CHIEPPE JÚNIOR, 2012).

O etanol apenas pode ser formado pelas leveduras a partir de monossacarídeos, sendo, portanto, necessário decompor a sacarose ($C_{12}H_{22}O_{11}$) em D-glicose e D-frutose ($C_6H_{12}O_6$).

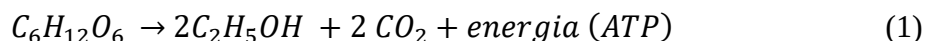
O processo bioquímico pelo qual ocorre a fermentação alcoólica pode ser dividido em duas etapas. Na primeira etapa ocorre a hidrólise da sacarose (Figura 4), convertendo-a em glicose e frutose pela ação da enzima invertase expressada pela levedura *Saccharomyces cerevisiae* (LOPES; BORGES, 2009).

Figura 4 – Reação de hidrólise da sacarose pela enzima invertase em meio aquoso.



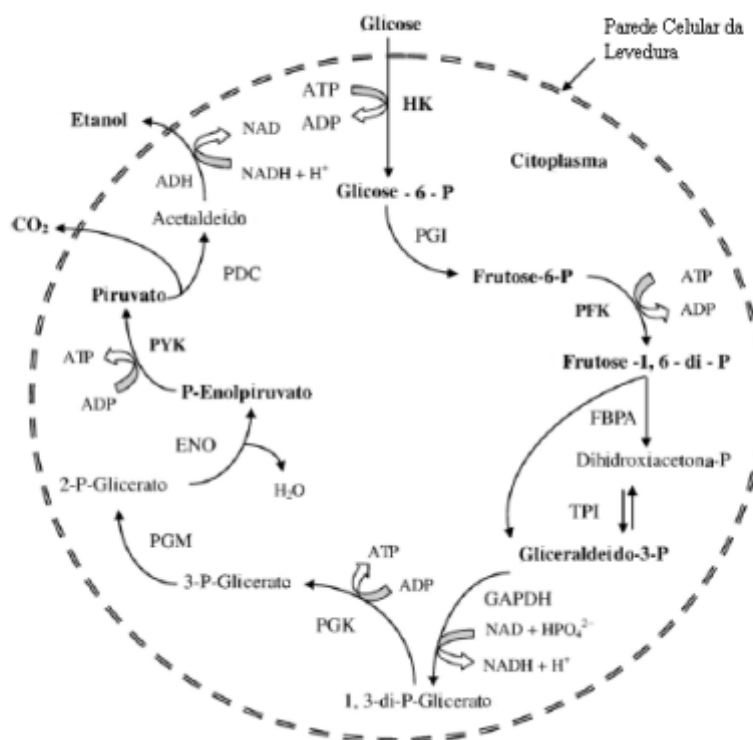
Fonte: Adaptado de TORRES; MARZZOCO (1999)

Na segunda etapa, de acordo com Lima e Marcondes (2002), os processos de fermentação com uso de leveduras resultará na conversão de açúcares redutores (D-glicose) em etanol e gás carbônico como apresentado na Equação 1:



Na produção do etanol em leveduras a principal via metabólica é a via glicolítica (Embden-Meyerhof): uma sequência de reações catalisadas por enzimas, em que para cada molécula de glicose metabolizada, duas moléculas de piruvato são produzidas no citoplasma da célula, de acordo com a Figura 5 (BAI; ANDERSON; MOO-YOUNG, 2008)

Figura 5 - Via metabólica da fermentação de etanol em *S. cerevisiae*. Abreviações: HK: enzima hexoquinase, PGI: fosfoglucoisomerase, PFK: fosfofrutoquinase, FBPA: frutose bifosfato aldolase, TPI: triose fosfato isomerase, GAPDH: gliceraldeído-3-fosfato desidrogenase, PGK: fosfoglicerato quinase, PGM: fosfoglicomutase, ENO: enolase, Pyk: piruvato quinase, PDC: piruvato descarboxilase, e ADH: álcool desidrogenase.



Fonte: BAI; ANDERSON; MOO-YOUNG, 2008

No Brasil o processo de fermentação alcoólica por batelada é mais usual, sendo realizado o reciclo do inóculo pelo processo Melle-Boinot. Baseia-se na recuperação de leveduras do vinho através da centrifugação, que serão tratadas para serem empregadas em um novo uso ou serem recicladas no processo. Nesta configuração o volume do inóculo corresponde de 20 a 30% do volume de trabalho das dornas. Esse modelo corresponde a 70% do parque industrial do Brasil (SANTOS; BORÉM; CALDAS, 2012).

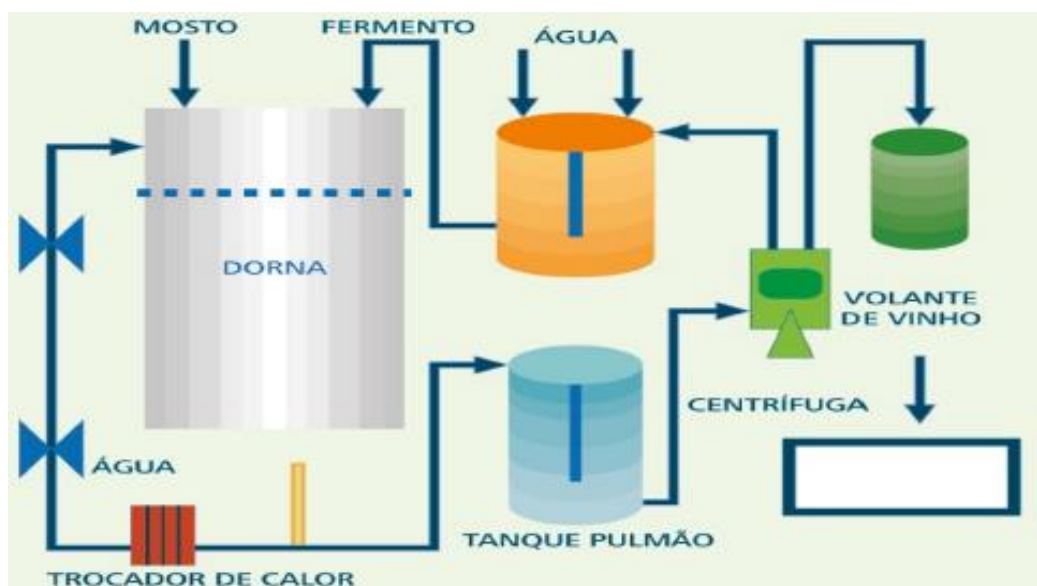
No Quadro 1 são mostrados os principais parâmetros do processo Melle-Boinot e na Figura 6 é apresentado o processo de fermentação em batelada alimentada com reciclo do fermento.

Quadro 1 - Parâmetros típicos do processo Melle-Boinot

Equipamentos e Desempenho			
<i>Descrição</i>	<i>Quantidade</i>	<i>Capacidade</i>	<i>Informações adicionais</i>
Fermentadores	8 - 12	300 m ³	Cilíndricos; aço carbono
Centrífugas	3 – 6	45 m ³ /h	Disco, com bocal de descarga
Trocadores de Calor	4 – 6	1,2 x 10 Kcal/h	Placas
Produtividade	3 - 6	Kg EtOH/L.h	
Dados do Processo			
Mosto de Fermentação			
Açúcares totais (como glicose, %)			12 - 15
pH			5,5 - 6,2
Temperatura (°C)			26 - 30
Vinho (Mosto Fermentado)			
Açúcares totais (%)			< 0,5
Teor de álcool (Graus GL)			7 – 11 GL (9 em média)
Concentração de células (% p/v)			7 – 16
Temperatura de fermentação (°C)			34 – 38
Rendimento estequiométrico (%)			85 – 92
Tempo de fermentação (h)			5 – 9
Inoculo			
Açúcares totais (%)			< 0,25
Teor de álcool (Graus GL)			< 4 GL
PH			2,2 – 2,8
Concentração de leveduras (%)			15 – 35
Tempo de tratamento ácido (horas)			1 – 4
Temperatura (°C)			28 – 32
Subprodutos			
Glicerol			6% do álcool
Ácidos			2 – 6 % do álcool
Fermento (leveduras)			4 – 10 do álcool (base seca)

Fonte: (CASTRO, 2013)

Figura 6 - Fermentação descontínua em batelada alimentada.



Fonte: (CHIEPPEJUNIOR, 2012)

2.4 LEVEDURA

Os micro-organismos do gênero *Saccharomyces* constituem os mais empregados pelas usinas sucroalcooleiras no Brasil. As leveduras são micro-organismos facultativos, ou seja, realizam respiração pelo metabolismo aeróbico resultando na transformação do açúcar em H_2O e CO_2 e também o metabolismo anaeróbico quando na ausência do oxigênio, produzindo etanol (C_2H_6O) e dióxido de carbono (CO_2), além de subprodutos como ácidos orgânicos e glicerol (VENTURINI FILHO, 2010).

De acordo com Del Rio (2004) as leveduras devem apresentar certas características fundamentais para a eficiência do processo, como a velocidade de fermentação que é determinada pela quantidade de açúcar fermentado por uma quantidade de leveduras durante certo tempo. Quanto maior a velocidade de fermentação, maior a produtividade em fermentações mais rápidas, elevando assim o aumento da produção diária e reduzindo, consequentemente, o custo de produção e o risco de contaminação por micro-organismos prejudiciais. Outra característica desejada para as leveduras alcooleiras é a tolerância ao álcool em valores acima de 10% (p:v), uma vez que a baixa tolerância ao etanol limita o seu rendimento e produtividade durante a fermentação industrial. Além destes fatores, a resistência e dominância perante contaminantes e a estabilidade fisiológica para suportar oscilações no processo industrial também são fundamentais para estes micro-organismos.

A levedura é capaz de utilizar quase que imediatamente a sacarose presente na cana de açúcar, hidrolisando o dissacarídeo em glicose e frutose pela produção e ação da enzima sacarase ou invertase (β - fructofuranosidase, EC. 3.2.1.26). A *Saccharomyces cerevisiae* dispõe de dois tipos de invertase, uma na forma extracelular ou periplasmática e outra intracelular, da qual a extracelular apresenta-se como uma glicoproteína com cerca de 50% de carboidratos (SALVATO, 2010).

A fermentação ocorre quando, após a glicólise, não é realizado o ciclo de Krebs, porque esta via está bloqueada pela hipóxia (ausência de oxigênio). Portanto, as duas moléculas de piruvato sofrem descarboxilação pela ação da enzima piruvato descarboxilase, gerando duas moléculas de CO₂ e duas de acetaldeído, que se converterão em duas moléculas de etanol pela ação da enzima álcool desidrogenase (MADIGAN et al., 2010).

Segundo Monteiro (2016) precisa ser levado em conta o pertinente papel da glicose na regulação das opções metabólicas da levedura. A presença de glicose acima de 0,3% no mosto ocasiona um efeito repressor sobre os genes que codificam as enzimas da cadeia respiratória e estruturas mitocondriais, ou seja, exerce uma repressão catabólica. Dessa forma, ocorre acúmulo de biomoléculas em sua forma reduzida na qual o NADH gerado durante a glicólise é prevalentemente oxidado através da reação de conversão do piruvato em etanol, quer dizer, que mesmo sob condições de aerobiose a fermentação predomina sobre a respiração. Com a repressão catabólica, acontece o aumento da taxa de fermentação e isto influencia negativamente os transportadores de açúcar para o interior da célula, ocasionando em uma baixa produtividade de etanol. Este efeito regulatório do metabolismo da levedura é conhecido como efeito Crabtree.

Conforme Lima et al. (2001), o papel principal da levedura em metabolizar o açúcar é a geração de ATP, isto é, uma forma de energia química instável que determinará a realização de diversas funções fisiológicas e biossínteses necessárias para manutenção do metabolismo da célula. O etanol e o CO₂ resultantes constituem não somente produtos de excreção, sem utilidade metabólica para a célula em anaerobiose. Todavia, o etanol, tal como outros produtos de excreção (o glicerol e ácidos orgânicos), com redução da disponibilidade de glicose no meio, conseguem ser oxidados metabolicamente, gerando mais ATP e biomassa, mas apenas em condição de aerobiose, gerando um comportamento metabólico conhecido como diáuxico.

Levando em conta que a levedura utiliza preferencialmente a sacarose, o cálculo estequiométrico mais utilizado como estimativa no processo produtivo, considera todo o açúcar que a levedura utilizará como sendo a glicose, assim 100 Kg do açúcar produzirão

51,1 Kg de etanol e 48,9 Kg de CO₂ (MARTINS, 2009). No entanto, parte dos açúcares presentes no meio serão consumidos em reações paralelas necessárias para a síntese de etanol, gerando outros produtos como glicerol e ácidos orgânicos, principalmente acético e succínico. Em razão disso, costuma-se observar rendimentos na fermentação alcoólica industrial em torno de 90% (CANHA, 2009). Deste modo, a partir de 100 Kg de glicose haverá uma produção real de aproximadamente 46,12 Kg de etanol.

2.5 FATORES QUE IMPACTAM NA FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA

2.5.1 Concentração etanólica

De acordo com Dorta et al. (2006) a levedura *Saccharomyces cerevisiae* tem sua tolerância limitada perante o etanol, da qual sua concentração máxima que permite o crescimento é de 10% (p:v). O efeito inibidor do etanol está diretamente relacionado à temperatura da fermentação e a faixa de melhor resistência ao etanol para levedura é de 13 a 27°C. Fora desta faixa de temperatura ocorre inibição do crescimento da levedura em função do álcool presente no meio.

Tal limitação quanto a presença de etanol no meio é constatada pela queda da viabilidade celular e pela redução do seu crescimento. O etanol tem a capacidade de se instalar no meio da bicamada fosfolipídica mais precisamente na parte hidrofóbica, se alojando nos espaços que resultam das interações entre ácidos graxos insaturados e proteínas. Levando a um decréscimo na fluidez da membrana, visto que restringi o movimento dos ácidos graxos na cadeia e promove um aumento da polaridade perturbando a troca livre das moléculas polares. O resultado é a alteração do posicionamento das proteínas na bicamada fosfolipídica, que afeta diretamente a capacidade da levedura em preservar o gradiente de concentração de compostos variados através da membrana citoplasmática, refletindo na inibição da taxa máxima de captação de glicose (MONTEIRO, 2016; BANAT et al., 1998).

2.5.2 Potencial hidrogeniônico (pH)

Sousa; Monteiro (2011) apontam que as fermentações alcoólicas podem desenvolver-se em ampla faixa de pH, porém a faixa considerada ideal para o crescimento da levedura situa-se entre 4,0 e 5,0. Entretanto, a fermentação alcoólica industrial inicia-se com valores de pH mais baixos, entre 2,0 e 3,0 e finaliza com valores entre 3,5 a 4,0. Isto se dá porque

fermentações alcoólicas quando são conduzidas em meios mais ácidos apresentam melhores resultados quanto ao rendimento em etanol, pelo fato de delimitar o crescimento do fermento, e consequentemente a redução da produção de glicerol. Enquanto, pH mais baixo reduz a contaminação bacteriana, e considerando que não há correção do pH durante o processo de fermentativo e sim apenas durante o tratamento inicial do fermento, a condução da fermentação em pH em faixa abaixo do ótimo seria benéfica ao processo (LIMA et al., 2001; SOUSA, 2011). Todavia, segundo Dorta et al. (2006), em pH muito ácido (em torno de 2,0) os ácidos orgânicos que estão em seu estado não ionizado penetram na célula com mais facilidade causando inibição da levedura e pode também propiciar a seleção de bactérias resistentes e leveduras selvagens o que implica diretamente no rendimento etanólico.

2.5.3 Temperatura

O controle da temperatura consiste num fator importante durante o processo de fermentação alcoólica, pois para a produção de biomassa a temperatura ótima situa-se entre 25 °C e 30 °C, caracterizando-as como micro-organismos mesófilos, enquanto para a produção alcoólica as temperaturas ótimas situam-se na faixa mais ampla de 26 °C a 35 °C. Chieppe Junior (2012) relaciona que valores de temperatura na faixa 26 °C a 35 °C causam enfraquecimento da levedura, isto é, o crescimento é reduzido, além de ser propício ao surgimento de contaminantes e ocasionar perdas do produto formado por evaporação. Já em temperaturas abaixo de 25 °C, a levedura apresenta menor atividade de crescimento e também de formação do produto.

No Brasil, o início da safra se dá no mês abril que condiz com o inverno, cuja temperatura é baixa, chegando perto de 14 °C a 15 °C, nas regiões Sul e Sudeste requerendo o aquecimento prévio do mosto para atingir a temperatura entre 28 °C a 30 °C. No decorrer da safra, com o aumento da temperatura ambiente, esta medida se faz desnecessária. Como a fermentação alcoólica é um processo exotérmico, a temperatura do mosto pode exceder os limites admitidos para a fermentação, isso acarreta em fatores que afetam a atividade microbiana e por isso a temperatura durante a fermentação é controlada havendo resfriamento por trocadores de calor nas dornas fermentativas (SOUSA et al., 2011).

Embora as leveduras *S. cerevisiae* sejam mesófilas, não esporadicamente as temperaturas nas destilarias alcançam 38 °C, dependendo das condições climáticas da região, pois o mosto é dispensado na dorna em temperatura ambiente. À medida que a temperatura se amplia, eleva-se a velocidade da fermentação, porém, conforme descrito acima, esta condição torna-se mais propícia à contaminação bacteriana, ao mesmo tempo em que a

levedura fica mais sensível a toxidez do álcool, levando a formação de metabolitos secundários como o glicerol (LIMA et al., 2001).

2.5.4 Contaminação bacteriana

De acordo com Viégas (2011) a cana de açúcar constitui um perfeito meio de crescimento não apenas para as leveduras alcoólicas, mas também para bactérias contaminantes do processo, pois apresenta teor relevante de nutrientes, alta atividade de água e pH favorável, e sujidades vindas do campo ou mesmo provenientes do processo de obtenção do caldo da cana. Além do mais, a má assepsia dos equipamentos intensifica ainda mais a contaminação bacteriana no processo de fermentação alcoólica.

A infecção na fermentação alcoólica em níveis superiores a 10⁵ células/mL, pode ocasionar inúmeros danos ao processo industrial, tais como: consumo de açúcar e redução da produção alcoólica, formação de goma refletindo no aumento da viscosidade do caldo e consequentemente ligado ao entupimento nas tubulações, danos aos equipamentos como centrifugas, peneiras e trocadores de calor elevando os custos em manutenção (CHIEPPE JUNIOR, 2012; NOBRE, 2005).

No desenrolar da infecção pode ocorrer a floculação do fermento, com diminuição da velocidade de fermentação, gerando perda de células de leveduras no fundo das dornas, o que dificulta o exercício das centrifugas, além do baixo rendimento alcoólico. Podendo ser várias as causas para a floculação do fermento, todas relacionadas a contaminações: presença de gomas sintetizadas por bactérias, o próprio contato com bactérias indutoras da floculação e ainda pela presença de leveduras selvagens floculantes. Outro ponto de destaque para as contaminações é a presença de toxinas e ácidos orgânicos que ocasionam a inibição e a queda da viabilidade celular. Estes compostos excretados no meio pelos contaminantes, juntamente com todo o processo ocorrido leva a redução no rendimento da fermentação e interfere na eficiência da fermentação industrial (NOBRE, 2005; LUDWING.; OLIVA-NETO; ANGELIS, 2001).

Segundo Naves et al. (2010) no âmbito da fermentação e destilação industrial as bactérias lácticas são as predominantes iniciadoras de fermentações indesejáveis, particularmente as bactérias Gram-positivas do gênero *Lactobacillus* e *Bacillus* com destaque para *L. fermentum*, que predominam nas destilarias brasileiras. Os inconvenientes gerados pela floculação da levedura por contaminação bacteriana são intensificados pelo reciclo de células, que promove a condensação dos agentes de floculação juntamente com as leveduras

e consequentemente decréscimo da produção de etanol (ALCARDE, 2001). Assim, o controle microbiano é extremamente relevante do ponto de vista da produção alcoólica com altos rendimentos.

O ácido sulfúrico é muito utilizado no tratamento do creme de levedura, visto que seus custos são relativamente baixos, o uso de antibióticos tais como tetraciclina, cloranfenicol, penicilina e virginiamicina e a busca por novos métodos de controle devem ser estudados e otimizados, uma vez que podem prevenir a contaminação bacteriana (GOMES, 2009). Apesar de o tratamento com ácido sulfúrico ser amplamente empregado nas destilarias brasileiras, as leveduras são prejudicadas pelo ácido, que provoca extração de nutrientes como nitrogênio, fósforo e potássio, e ocasiona desgaste em sua parede celular prejudicando a produção de etanol (VIÉGAS, 2011; DORTA et al., 2006).

Segundo Bertoletti (2008) a floculação gerada por espécies do gênero *Lactobacillus* estaria relativamente ligada com um mecanismo intracelular, na qual abrange os resíduos de aminoácidos indicados pela presença proteica do grupo indol do triptofano e o grupo hidroxil fenólico da tirosina da superfície celular da bactéria e carboidratos da parede celular da levedura. Além disto a relação intracelular necessita também da presença de íons Ca^{++} , que atuam de modo direto na floculação. O cálcio exerce uma ponte de ligação entre os grupos negativos das fosfomananas que é um complexo de fosfato e mananas situada na parede celular da levedura e os receptores proteicos das células bacterianas. Níveis de pH acima de 3,0 contribui para que estas ligações ocorram, enquanto em pH inferiores a 3,0 e com quantidades elevadas de íons H^+ no meio, estes disputam as ligações com os íons Ca^{++} . Por esse motivo as indústrias fazem uso da metodologia de reciclo de células (processo Melle-Boinoit) com a adição de ácido sulfúrico no tratamento do fermento para manter o pH baixo ocasionando o rompimento dessas pontes de ligação dos íons Ca^{++} , apesar das injúrias que este tratamento pode provocar nas leveduras.

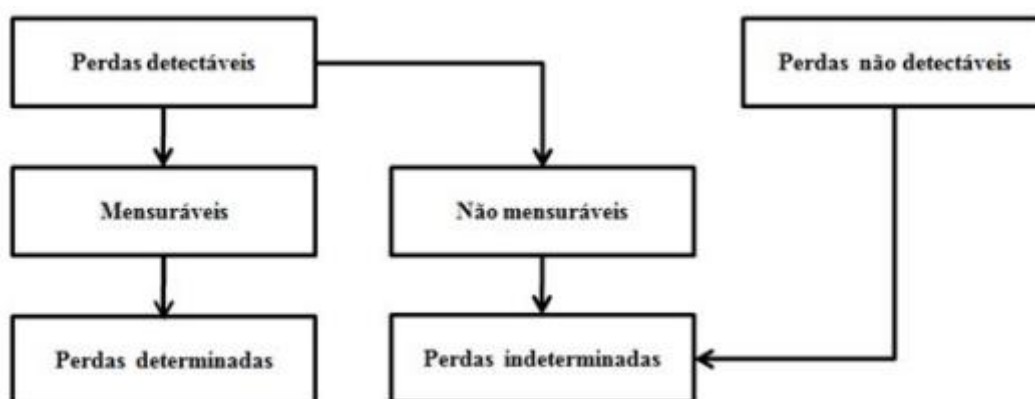
2.6 IDENTIFICAÇÃO DAS PERDAS NO PROCESSO INDUSTRIAL

No processo produtivo da indústria sucroalcooleira as perdas de açúcares são obtidas pela diferença entre os açúcares redutores totais (ART) contido na matéria prima e os açúcares redutores totais (ART) recuperado nos produtos finais, sendo as perdas agrupadas em: perdas físicas; perdas bioquímicas; perdas microbiológicas; perdas econômicas (FERNANDES, 2011).

Ainda segundo Fernandes (2011), no processo produtivo sucroalcooleiro as perdas (Figura 7) são divididas em dois grupos: detectáveis, e não detectáveis.

As perdas detectáveis dividem-se em dois subgrupos, mensuráveis (perdas determinadas) e não mensuráveis (perdas indeterminadas).

Figura 7 - Classificação das perdas industriais



Fonte: FERNANDES (2011)

As perdas detectáveis são conhecidas e possíveis de quantificar, porém, nem sempre é viável a quantificação, assim as perdas detectáveis se dividem em: perdas detectáveis mensuráveis e perdas detectáveis não mensuráveis. Por outro lado, têm-se as perdas não detectáveis que são as perdas não conhecidas. Consequentemente, uma nova classificação é obtida, sendo elas: as perdas determinadas compostas pelas as perdas detectáveis mensuráveis e as perdas indeterminadas formada pelas perdas detectáveis não mensuráveis mais as perdas não detectáveis (FERNANDES, 2011).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para realização deste trabalho foram reunidos dados referentes ao processo fermentativo, relativos a cinco meses da safra de 2020/21 compreendidos de setembro de 2020 a janeiro de 2021, na usina Monte Alegre – Mamanguape – PB.

Os dados foram coletados de forma que se pudesse quantificar e avaliar as perdas no processo produtivo de etanol. Para isso, foram avaliados os dados referentes ao mosto de alimentação e ao mosto fermentado de forma a se obter relações que quantificassem as perdas associadas ao processo. Além do caldo clarificado para análise da acidez láctica.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 RENDIMENTO FERMENTATIVO

O rendimento fermentativo (%) relaciona o produto formado pela fermentação (etanol no vinho) com a quantidade de produto que seria formado se todo o substrato que chega a fermentação fosse transformado em etanol no vinho. Leva em conta as perdas por formação de subprodutos e a perda de açúcar remanescente no vinho final sem ser convertida.

Na Tabela 2, serão apresentadas as médias dos dados obtidos no acompanhamento fermentativo durante dos meses de setembro a janeiro da safra (2020/2021).

Tabela 2 - Média mensal dos dados do processo fermentativo

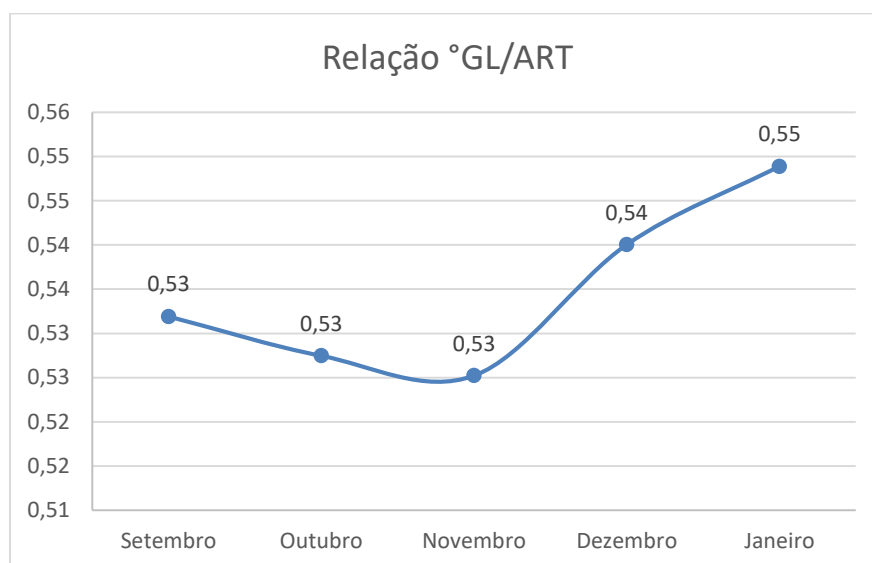
MÉDIA MENSAL DOS DADOS REFERENTES AO ACOMPANHAMENTO FERMENTATIVO					
MESES	Mosto Alimentação ART (%)	Teórico °GL	Mosto fermentado °GL (%)	Conversão %	Relação °GL/ART
Setembro	13,42	8,69	7,13	82,15	0,53
Outubro	13,88	8,99	7,34	81,46	0,53
Novembro	13,68	8,86	7,19	81,12	0,53
Dezembro	12,99	8,41	6,99	83,40	0,54
Janeiro	13,40	8,67	7,33	84,77	0,55

Pela Tabela 2 pode-se perceber a variação percentual de açúcares redutores totais (ART) encaminhados para alimentação das dornas fermentescíveis. A partir desse ART de alimentação que é obtido através das análises laboratoriais, é realizado o cálculo do teor alcóolico teórico ($^{\circ}\text{GL}_{\text{teórico}}$) conforme apresentado na Equação 2. Assim como o ART de alimentação o teor alcóolico do mosto fermentado é obtido mediante as análises realizadas no laboratório.

$$^{\circ}\text{GL} (\text{teórico}) = \text{ART}(\text{mosto de alimentação}) * 0,6475 \quad (2)$$

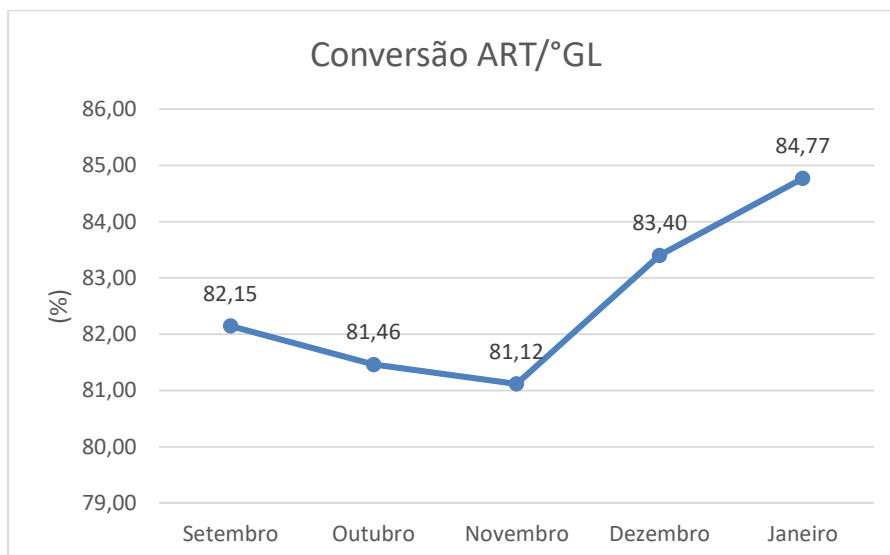
Na Figura 8 é mostrada a relação de conversão do teor alcóolico do mosto fermentado pela quantidade de açúcares redutores totais do mosto de alimentação.

Figura 8 - Relação de conversão do ART (mosto de alimentação) em °GL (mosto fermentado)



O rendimento da fermentação em etanol é mostrado na Figura 9. Para o rendimento da fermentação, Pacheco (2010) sugere que as destilarias operem com 87%. Assim, o rendimento da fermentação encontra-se um pouco baixo quando comparado com a literatura.

Figura 9 - Rendimento da fermentação referente a safra de (2020/2021)

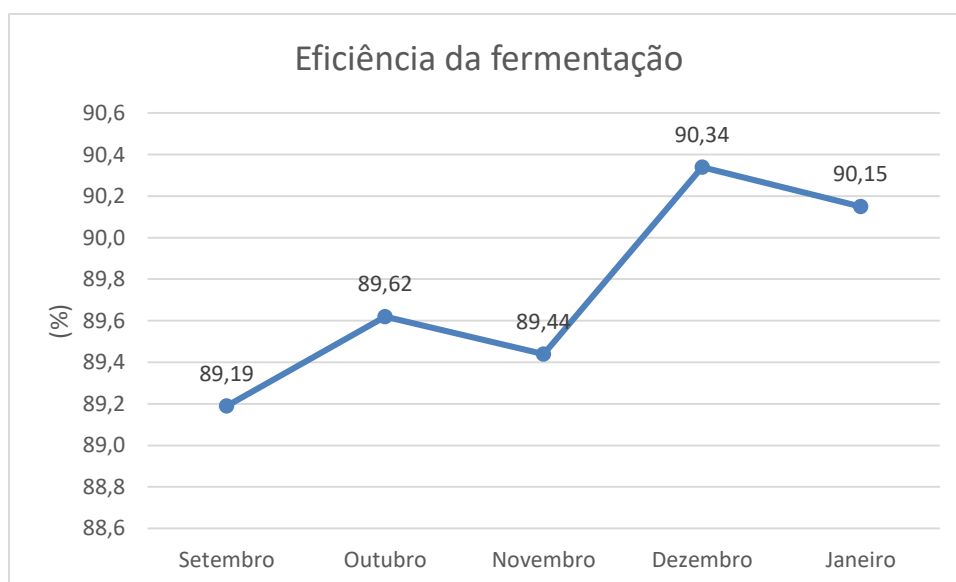


Levando em consideração que o ponto forte da usina não é priorizar a produção do álcool, e sim do açúcar, contribuindo para esse rendimento. A produção do álcool seria um destino dado ao melaço proveniente da fábrica de açúcar.

4.2 EFICIÊNCIA FERMENTATIVA

Na Figura 10 é apresentado a eficiência da fermentação alcoólica no período de setembro a janeiro da safra (2020/2021). Nela é possível perceber uma variação de eficiência entre 89,19% até 90,34%, essa variação é compreendida devido os diversos fatores que interferem no rendimento tais como: controle de pH, temperatura, contaminação bacteriana. Sendo assim, conhecer os fatores interferentes da fermentação alcoólica bem como medidas que melhorem a eficiência de sua obtenção deve ser cada vez mais estudado a fim de contribuir para melhorias do processo industrial.

Figura 10 - Eficiência da fermentação no período de setembro a janeiro da safra (2020/2021)



4.3 ACIDEZ LÁCTICA

Durante o processo produtivo de etanol, podem estar presentes micro-organismos oriundos da cana-de-açúcar no campo que sobrevivem aos tratamentos do caldo e condições como pH, temperatura e produtos inibitórios no meio fermentativo e se estabelecem nas dornas de fermentação. As leveduras da fermentação alcoólica competem pelo substrato com bactérias que normalmente habitam as dornas. Um processo de fermentação considerado relativamente sadio apresenta níveis de bactéria próximos a 10^5 células/mL (ANDRIETTA; STECKELBERG; ANDRIETTA, 2006)

Na Tabela 3 são apresentados os parâmetros teóricos utilizados na empresa para analisar a condição da fermentação com relação os resultados obtidos para o ácido láctico.

Tabela 3 - Parâmetros teóricos para avaliação da acidez láctica

PARÂMETROS TEÓRICOS				
Contagem microscópica (bast./mL)		Teor de ácido láctico (mg/L)		Condição da Fermentação
5,0E+02	5,0E+03	100	200	Excelente
5,0E+03	5,0E+04	201	300	Ótimo
5,0E+05	5,0E+06	301	500	Bom
6,0E+06	5,0E+07	501	1300	Regular
6,0E+07	9,0E+07	1301	1900	Preocupante
>	1,0E+08	≥	2000	Ruim

Na Tabela 4 são apresentados os dados referentes ao acompanhamento do teor do ácido láctico, utilizados para representar a Figura 11, esses dados fazem alusão às análises da acidez láctica para o caldo recebido da fabricação e coletado pós trocador de calor, para o mosto de alimentação e para o mosto fermentado, no período de setembro a janeiro da safra de 2020/2021.

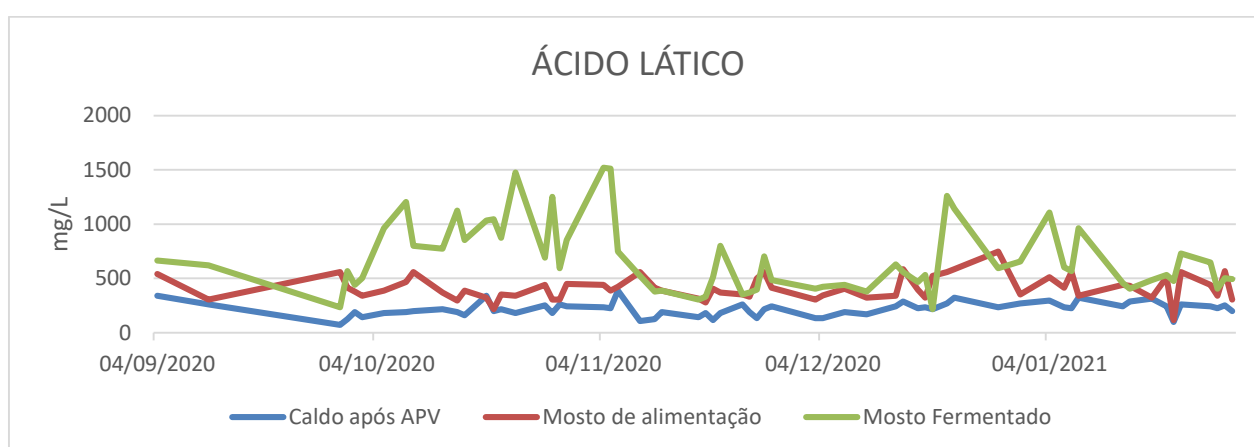
Tabela 4 – Acompanhamento do teor de ácido láctico.

MÊS	DATA	CALDO PÓS APV	MOSTO DE ALIMENTAÇÃO	MOSTO FERMENTADO
		mg/L	mg/L	mg/L
SETEMBRO	04/09/2020	342	540	666
	11/09/2020	261	306	621
	29/09/2020	72	558	234
	30/09/2020	126	414	567
OUTUBRO	01/10/2020	189	378	441
	02/10/2020	144	342	504
	05/10/2020	180	387	963
	08/10/2020	189	468	1206
	09/10/2020	198	558	801
	13/10/2020	216	369	774
	15/10/2020	189	297	1125

	16/10/2020	162	387	855
	19/10/2020	342	324	1035
	20/10/2020	198	216	1044
	21/10/2020	216	351	873
	23/10/2020	180	342	1476
	27/10/2020	252	441	693
	28/10/2020	180	306	1251
	29/10/2020	261	306	594
	30/10/2020	243	450	855
NOVEMBRO	04/11/2020	234	441	1521
	05/11/2020	225	387	1512
	06/11/2020	387	423	747
	09/11/2020	108	558	522
	11/11/2020	126	414	378
	12/11/2020	189	387	387
	17/11/2020	144	315	306
	18/11/2020	180	279	333
	19/11/2020	117	405	513
	20/11/2020	180	369	801
	23/11/2020	261	351	351
	24/11/2020	189	333	369
	25/11/2020	135	500	396
	26/11/2020	216	558	702
	27/11/2020	243	414	486
DEZEMBRO	03/12/2020	135	306	405
	04/12/2020	135	345	423
	07/12/2020	189	405	441
	10/12/2020	171	324	378
	14/12/2020	243	342	630
	15/12/2020	288	585	558
	17/12/2020	225	396	468
	18/12/2020	234	324	531
	19/12/2020	216	522	216
	21/12/2020	270	558	1260
	22/12/2020	324	585	1143
	28/12/2020	234	747	594
	31/12/2020	270	351	657
JANEIRO	04/01/2021	297	513	1107
	06/01/2021	234	414	603
	07/01/2021	225	558	567
	08/01/2021	324	342	963
	14/01/2021	243	441	459
	15/01/2021	288	432	405

18/01/2021	315	324	486
20/01/2021	243	513	531
21/01/2021	100	117	477
22/01/2021	261	558	729
26/01/2021	243	441	648
27/01/2021	225	342	405
28/01/2021	252	567	504
29/01/2021	198	306	495

Figura 11 - Teor de ácido láctico (mg/L)



De acordo com o apresentado na Figura 11 é possível perceber que o mosto fermentado é o que tem apresentado maior vulnerabilidade para ação bacteriana no que corresponde as faixas de outubro a novembro e de dezembro a janeiro, fazendo com que se tenha maior atenção no processo. Isso pode ser justificado pela dimensão do processo, fazendo com que a fermentação industrial não seja conduzida em condições ideais de assepsia, a contaminação bacteriana, principalmente de *Lactobacillus* e *Bacillus*, está sempre presente e dependendo de sua intensidade, compromete o rendimento do processo fermentativo, levando assim a perdas de produção.

Já com relação ao caldo após APV e ao mosto de alimentação, percebe-se uma maior estabilidade e eficiência no controle bacteriano.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A determinação das perdas do processo produtivo mostrou-se de suma importância.

No presente trabalho destacam-se as perdas na etapa de fermentação onde a perda de ART em seu processo de conversão em grau alcóolico. Foi visto também a questão de perdas associadas à contaminação bacteriana devido ao aumento da formação de ácido láctico e, embora não haja uma confirmação definitiva sobre a causa da floculação da levedura, considera-se, na indústria, que essa contaminação é a principal responsável pelos problemas encontrados na fermentação alcoólica. Todavia, como as bactérias são distintas das leveduras, existem alguns antimicrobianos seletivos que são usados para o controle bacteriano, os quais podem minimizar os prejuízos causados por estes contaminantes sobre a fermentação.

O acompanhamento do processo fermentativo é uma importante ferramenta de diagnóstico, pois através dele pode-se determinar o rendimento das etapas do processo como também a eficiência do processo, sinalizando a necessidade de intervenções corretivas.

No mais, conclui-se ainda que as perdas do processo fermentativo para produção de etanol podem ser minimizadas através de melhorias no processo que visem o controle de qualidade, desinfecção dos equipamentos e a eficiência do processo.

REFERÊNCIAS

- ALCARDE, V. E. **Avaliação de parâmetros que afetam a floculação de leveduras e bactérias isoladas de processos industriais de fermentação alcoólica**. 2001. Tese (Doutorado em Ciência em Tecnologia em Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.
- ANCIÕES, A. W. D. F. Avaliação tecnológica do álcool etílico. **In: CNPq- Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico**. 2^a. ed. Brasília: [s.n.], 1980.
- ANDRIETTA, M. G. S., STECKELBERG, C., ANDRIETTA, S. R., Bioetanol - Brasil 30 anos na vanguarda. Multi-Ciência: **Revista Interdisciplinar dos Centros e Núcleos da UNICAMP**, v. 7, p. 1-16, 2006.
- ANP, Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Anuário estatístico**, 2014. Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br>>. Acesso em: 15 Abril 2021.
- AQUINO, A. F.; BIDÔ, E. S.; GALVÃO, M. L. M.; OLIVEIRA, V. N. O Etanol da Cana de Açúcar: Possibilidades Energéticas da Região de Ceará-Mirim-RN. **HOLOS**, [S.l.], v. 1, p. 105-125, 2014. ISSN 1807-1600. Disponível em: <<https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/713>>. Acesso em: 02 dez. 2021.
- ARIAS, M. S.; REVILLA, J. L. G.; CARRECEDO, G. B.; GARLOBO, C. M. S. **Álcool**. In: ABIPTI, A. B. D. I. D. P. T. Manual dos derivados da cana-de-açúcar: diversificação, matérias-primas, derivados do bagaço, derivados do melaço, outros derivados, resíduos, energia Brasília. [s.n.], p. 229-243. 1999.
- AYARZA, J.A.C. **Alternativa para aumentar a produção mundial de etanol anidro combustível no curto prazo: O potencial dos méis da cana**. Dissertação (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.
- BAI, F. W.; ANDERSON, W. A.; MOO-YOUNG, M. **Ethanol fermentation technologies from sugar and starch feedstocks**. Biotechnology Advances, v.26, n.1, p.89-105. 2008.
- BANAT, I. M.; NIGAM, P.; SINGH, P.; MARCHANT, R.; McHALE, A. P. Review: etanol production at elevated temperatures and alcohol concentration: Ppart i – Yeast in general. **World Journal of Microbiologu and Biotechnology**, v.14, n.6, p.809-821, 1998.
- BERTOLETTI, A. C. D. **Ação biocida do Poliquilgerm® derivado do óleo de *Ricinus communis* L. (mamona) sobre bactérias contaminantes da fermentação etanólica**. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2008.
- BRASIL. **Produção Brasileira de Cana de Açúcar, Açúcar e Etanol**. Brasília: MAPA, 2016.
- CANHA, M. A. **Rendimento de fermentação**. Monografia (Especialização em Cadeia Produtiva Sucroalcooleira) - Universidade Estadual de Maringá, Umuarama, 2009.

CASTRO, H. F. D. **Indústria alcooleira**. 2013. Disponível em: <<https://sistemas.eel.usp.br/docentes/arquivos/5840855/LOQ4023/Apostila2IndustriaAlcoolera-2013.pdf>>. Acesso em: 20 Maio 2021.

CBIE. **De onde vem e como é produzido o etanol no Brasil?**, 2019. Disponível em: <<https://cbie.com.br/artigos/de-onde-vem-e-como-e-produzido-o-etanol-no-brasil/>>. Acesso em: 18 Maio 2021.

CHIEPPE JÚNIOR, J. B. **Tecnologia e fabricação do álcool: Rede e-Tec Brasil**. Inhumas: IFG; Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2012.

DEL RIO, D. T. **Biossorção de cádmio por leveduras *Saccharomyces cerevisiae***. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

DORTA, C.; OLIVA-NETO, P.; ABREU-NETO, M. S.; NICOLAUJUNIOR, N.; NAGASHIMA, A. I. Synergism among lactic acid, sulfite, pH and ethanol in alcoholic fermentation of *Saccharomyces cerevisiae* (PE-2 and M-26). **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v.22, p.177-182, 2006.

EISENBERG, P. L. **Modernização sem mudança: a indústria açucareira em Pernambuco : 1840-1910**. [S.l.]: Rio de Janeiro : Paz e Terra ; Campinas, SP : Universidade Estadual de Campinas, v. 15, 1977. 269-294 p.

FERNANDES, A. C. **Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar**. 3. ed. Piracicaba: Stab, 2011.

FURTADO, C. **Formação econômica do Brasil**. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1986.

FURTADO, C. **Formação econômica do Brasil**. 34. ed. São Paulo: Companhia das letras, 2007.

GOMES, F. S. **Antagonismo entre leveduras e bactérias lácticas na fermentação alcoólica**. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) - Escola Superior de Agricultura 'Luiz de Queiroz', Piracicaba, 2009.

JÚNIOR, R. J. D. S. M. **Obtenção do álcool etílico hidratado, com graduação alcoólica para uso automotivo: validação de um processo em batelada**. Dissertação de mestrado. Engenharia de processos. Universidade Federal de Santa. Santa Maria, RS, 2010.

LIMA, R. B. **Processo de clarificação do caldo de cana-de-açúcar aplicando elétrons acelerados**. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

LIMA, L. R.; MARCONDES, A. A. **Álcool Carburante Uma Estratégia Brasileira**. 67. ed. Curitiba: Ed. UFPR, 2002.

LIMA, U. A.; AQUARONE, E.; BORZANI, W.; SCHMIDELL, W. **Biotecnologia industrial: Processos fermentativos e enzimáticos**. São Paulo: Blucher, 2001.

LOPES, C. H.; BORGES, M. T. M. R. **Controle na fabricação de álcool**. São Carlos, SP, Ed. UFSCar, 95 p., 2009.

LUDWING, K. M.; OLIVA-NETO, P.; ANGELIS, D. F. Quantificação da floculação de *S. cerevisiae* por bactérias contaminantes da fermentação alcoólica. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.21, p.63-68, 2001.

MADIGAN, M. T.; MARTINHO, J.; DUNLAP, P. V.; CLARK, D. P. **Microbiologia de Brock**. 12 ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

MAGALHAES, A. C. M. **Fermentação Alcoólica**. 2007. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAPoQAE/unidade-vii-fermentacao-alcoolica-parte-i?part=4>>. Acesso em: 17 Maio 2021.

MARTINS, C. A. P. **Avaliação do efeito do inoculo e do perfil de alimentação do mosto na produção em escala piloto e industrial de etanol**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009.

MONTEIRO, B. M. D. S. **Produção de etanol combustível: efeito da suplementação nitrogenada na fermentação de mosto de caldo de cana com alta concentração de açúcar**. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura 'Luiz de Queiroz', Piracicaba, 2016.

MORAES, M. L. D.; BACCHI, M. R. P. Etanol: do início às fases atuais de produção. **Revista de Política Agrícola**, ano XXIII, n. 4, p. 5-22, 2014.

NAVES, R. F.; FERNANDES, F. S.; PINTO, O. G.; NAVES, P. L. F. Contaminação microbiana nas etapas do processamento e sua influência no rendimento fermentativo em usinas alcooleiras. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.6, n.11, p.1-16, 2010.

NOBRE, T. P. **Viabilidade celular de *Saccharomyces cerevisiae* em associação com bactérias contaminantes da fermentação alcoólica**. Dissertação (Mestrado em Ciência em Tecnologia em Alimentos) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

NOVACANA. **Processos de fabricação do etanol**. 2021. Disponível em: <<https://www.novacana.com/etanol/fabricacao>>. Acesso em: 04 Maio 2021.

PACHECO, F. T. **Fermentação alcoólica com leveduras de características floculantes em reator tipo torre com escoamento ascendente**. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2010.

RODRIGUES, L. D. **A cana-de-açúcar como matéria-prima para a produção de biocombustíveis: impactos ambientais e o zoneamento agroecológico como ferramenta para mitigação**. 64 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Análise Ambiental). Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2010.

SALVATO, F. **Fermentação de mosto industrial por linhagens de *Saccharomyces cerevisiae* com transportador de sacarose e sobre expressão de invertase interna: estudo comparativo com linhagens com alta e baixa atividade de invertase externa**. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2010.

SANTOS, F.; BORÉM, A.; CALDAS, C. **Cana-de-açúcar Bioenergia, Açúcar e Etanol. Tecnologias e Perspectivas**. 2. ed. Viçosa, MG, 2012.

SOUSA, J. L. U.; MONTEIRO, R. A. B. Fatores interferentes na fermentação alcoólica para produção de etanol. **FAZU em Revista**, n.8, p.100-107, 2011.

TORRES, B.B.; MARZZOCO, A. Bioquímica básica. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara, p.360, 1999.

UNICA. **Etanol**, 2021. Disponível em: <<https://unica.com.br/setor-sucroenergetico/etanol/UNICA>>. Acesso em: 12 Maio 2021.

UNICA. **Etanol uma atitude inteligente**, 2008. Disponível em: <<https://unica.com.br/wp-content/uploads/2020/10/cartilha-etanol-uma-atitude-inteligente.pdf>>. Acesso em: 12 Abril 2021.

VENTURINI FILHO, W. G. **Bebidas alcoólicas**: Ciência e tecnologia. São Paulo: Blucher, 2010.

VIÉGAS, E. K. D. **Propriedade antibacteriana da própolis verde sobre bactérias contaminantes da fermentação etanólica**. Dissertação (Mestrado em Ciência em Tecnologia em Alimentos) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

VIEIRA, M. C. A. Setor Sucroalcooleiro Brasileiro: Evolução e Perspectivas. BNDES, 2012.