Ciência & Tecnologia
Fatec-JB
ISSN: 2178-9436

# FERMENTAÇÃO ALCÓOLICA: um estudo de caso sobre as ações adotadas para a otimização deste processo

## *ALCOHOLIC FERMENTATION: a case study on the actions taken to optimize this process*

Claudionor Neves Câmara [I]
Camila Carla Guimarães [II]

**Área: Bicombustíveis**

## RESUMO

O setor sucroenergético vem aumentando seus investimentos tecnológicos do campo agrícola ao industrial. Essa evolução possibilita um incremento na produtividade minimizando as perdas no processo. O controle e a rastreabilidade da fermentação alcóolica são acompanhados periodicamente, pois há diferentes fatores que reduzem o seu rendimento. A alteração da composição do substrato de alimentação das dornas e a contaminação do processo são exemplos de fatores que interferem na eficiência fermentativa das leveduras, tornando muitas das vezes necessária a substituição total destes microrganismos durante a safra. Com isso, há uma redução da produção de etanol, para que as novas leveduras se adaptem ao processo, impactando toda a planta industrial pela necessidade de redução de moagem. Considerando este contexto, este estudo teve como principal objetivo acompanhar e discutir as estratégias adotadas por usina da região de Araraquara, na busca pela superação dos desafios supracitados. A partir de estudo de caso, foi possível identificar que a referida empresa adota sistemas de *blend* de leveduras selecionadas, trabalha com tempo reduzido de fermentação, e com a adaptação de células de leveduras em sistema de multiplicação separada, reduzindo o impacto ocasionado em caso de necessidade de substituição. O sistema de fermentação empregado nesta unidade industrial é de alimentação contínua, e é acompanhado pelo Centro Operações Integradas (COI), sendo a eficiência fermentativa verificada através de análises laboratoriais. Os resultados alcançados incluem melhor adaptação das leveduras no processo, redução no tempo da fermentação e garantia da eficiência fermentativa.

**Palavras-chave:** leveduras; sucroenergético; eficiência; *saccharomyces cerevisiae*; cepas.

## ABSTRACT

The sugar-energy sector has been increasing its technological investments from the agricultural field to the industrial one. This evolution enables productivity gains while minimizing process losses. Control and traceability of alcoholic fermentation are monitored periodically, as various factors can reduce its efficiency. Changes in the composition of the feed substrate for the fermenters and process contamination are examples of factors that interfere with the yeast's fermentative efficiency, often necessitating a complete replacement

[I] Graduado em Tecnologia em Biocombustíveis na Fatec de Jaboticabal. E-mail: claudionorcamara31@gmail.com.
[II] Doutora em Biotecnologia. Professora do Centro Paula Souza – Fatec. E-mail: camila.guimaraes@fatec.sp.gov.br.

Ciência & Tecnologia
Fatec-JB
ISSN: 2178-9436

of these microorganisms during the harvest season. Consequently, there's a reduction in ethanol production to allow new yeast strains to adapt to the process, impacting the entire industrial plant due to the need for reduced milling.
Considering this context, the main objective of this study was to monitor and discuss the strategies adopted by a plant in the Araraquara region to overcome the challenges. Through a case study, it was possible to identify that this company employs a blend system of selected yeast strains, operates with reduced fermentation times, and adapts yeast cells through a separate multiplication system, reducing the impact in case replacement becomes necessary. The fermentation system used in this industrial unit is of continuous feed and is monitored by the Integrated Operations Center (IOC), with fermentative efficiency verified through laboratory analyses. The achieved results include better adaptation of the yeast to the process, reduced fermentation time, and ensured fermentative efficiency.

**Keywords:** Yeast. Sugar-energy. Efficiency. *Saccharomyces cerevisiae*. Strains.

Data de submissão do artigo: 06/12/2023.
Data de aprovação do artigo: 27/05/2024.
DOI: 10.52138/citec.v16i1.333

## 1 INTRODUÇÃO

A procura por alternativas energéticas menos poluentes aumenta a importância e a demanda comercial pelos biocombustíveis, com foco notável para a produção de etanol (Ribeiro, Schirmer, 2017). Isto porque, este combustível é importante aliado na busca por menores emissões de gases de efeito estufa (GEE) no setor de transporte, auxiliando diretamente na mitigação das mudanças climáticas causadas pelo uso extensivo dos combustíveis fósseis (Renewable Fuels Association, 2023).

O etanol é obtido a partir da fermentação alcoólica dos açúcares provenientes de culturas como a cana-de-açúcar, o milho e outros grãos. Os Estados Unidos é o maior produtor mundial deste biocombustível, responsável por 54,3% do volume global, seguido do Brasil, que contribui com 29,5% da produção total (Vidal, 2020; Renewable Fuels Association, 2023).

Em 2022, 26,5 bilhões de litros de etanol foram produzidos no Brasil, empregando cana-de-açúcar como matéria-prima. No entanto, a produção anual de etanol nas usinas brasileiras varia de acordo com a demanda do mercado. Isso significa um aumento na destinação do mix para a fabricação do açúcar quando a remuneração deste produto no mercado internacional é mais vantajosa (Empresa de Pesquisa Energética - EPE, 2023). Assim, para atender a demanda da sociedade torna se necessários estudos que aumentem a eficiência do processo de fermentação alcoólica, garantindo volumes maiores deste combustível de interesse.

Nas plantas industriais, a conversão dos açúcares em etanol é realizada pela ação das leveduras *Saccharomyces cerevisiae*, um processo denominado fermentação alcóolica. Para garantir o máximo rendimento fermentativo das leveduras é necessário manter este processo sob condições específicas de temperatura, acidez, potencial hidrogeniônico (pH), tempo de fermentação, agitação, nível de contaminação e teor alcoólico (Madaleno *et al*., 2016, Santos *et al*., 2020).

Há no mercado uma grande variedade de cepas de *Saccharomyces cerevisiae*, atendendo a necessidade produtiva de cada região. As predominantes em muitas usinas

Ciência & Tecnologia
Fatec-JB
ISSN: 2178-9436

brasileiras foram isoladas de diferentes unidades industriais como a CAT-1 (Usina Catanduva), PE-2 (Usina da Pedra), G-1 (Usina Barra Grande), CR-1(Usina Cresciumal), AS-1 (Usina Santa Adélia) e CL (Usina Clealco), por apresentarem maior resistência e melhor rendimento para a produção de etanol (Souza, 2009).

Embora certas cepas de leveduras sejam predominantes, cada unidade industrial tem suas características únicas, influenciadas pela variação na matéria-prima processada. Uma estratégia importante para lidar com essas diferenças é a seleção de leveduras e ajustes no processo de fermentação. Com essa abordagem, é possível empregar leveduras que suportem condições variáveis, resultando em uma maior eficiência fermentativa.

Considerando a relevância deste tema, este trabalho teve como principal objetivo descrever ações que são adotadas em uma usina de açúcar e etanol da região de Araraquara na busca pela otimização do processo fermentativo.

Assim, esta pesquisa oferece contribuições significativas ao explorar estratégias que visam aprimorar a estabilidade da fermentação alcóolica, contribuindo para maior eficiência na produção de etanol pelas indústrias brasileiras.

## 2 PRODUÇÃO DE ETANOL A PARTIR DA CANA-DE-AÇÚCAR

A cana-de-açúcar chega na usina de forma picada em colmos onde é amostrada pelo laboratório de Pagamento de Cana pelo Teor de Sacarose (PCTS), que tem como principal função avaliar a qualidade da matéria-prima que está chegando ao processo quantificando o teor de sacarose e de impurezas minerais e vegetais presentes. A cana-de-açúcar picada tem os colmos expostos, o que facilita a deterioração e contaminação bacteriana devido aos pontos abertos pelo corte mecanizado, o que explica a importância dessa etapa (Rein, 2013; Castro *et al*., 2019).

Após ter sido amostrada, a cana-de-açúcar é direcionada para os ternos da moenda, onde terá o caldo extraído, utilizando embebição para maior eficiência da extração. O caldo obtido neste processo, passa pela peneira cush-cush, para a retirada de bagacilhos presentes e segue para a peneira rotativa para a remoção de outras impurezas maiores. Posteriormente, esse caldo segue por bombeamento até os aquecedores, tendo a temperatura elevada para 105°C (Chieppe Júnior, 2012, Dias *et al*., 2015).

Após o aquecimento, leite de cal (suspensão de hidróxido de cálcio em água) é adicionado para correção do pH na faixa entre 5,8 e 6,2 antes de seguir para o sistema de decantação. No decantador ocorre a adição de polímeros que aceleram a sedimentação das impurezas causando aglomeração na forma de flocos. Após a decantação, este líquido é destinado ao sistema de filtração, originando o caldo clarificado e a torta de filtro (Nunes; Finzer, 2019; Castro *et al*., 2019).

O caldo clarificado é resfriado em trocadores de calor de placas até alcançar a temperatura de 30°C, para ser combinado com o melaço na etapa de preparação do mosto. Esse processo requer uma concentração de açúcares entre 18% e 22%. O líquido resultante é transferido para as dornas, onde é misturado com a levedura, dando início ao processo de fermentação alcoólica, que geralmente dura de 8 a 12 horas (De Souza *et al*., 2015).

É importante observar que, na prática, a preparação do mosto nem sempre se limita ao uso de caldo de cana e/ou melaço. Vários fatores podem levar à inclusão de xarope ou méis desviados do processo de produção de açúcar, o que pode afetar as características nutricionais da mistura (Vasconcelos, 2012).

Para a produção de etanol, a levedura mais utilizada nas destilarias é do gênero *Saccharomyces cerevisiae*, adaptada ao processo por apresentar resistência às modificações da

Ciência & Tecnologia
Fatec-JB
ISSN: 2178-9436

qualidade da matéria-prima e ao aparecimento de microrganismos contaminantes indesejáveis ao processo (Costa, 2017).

O resultado da fermentação é o vinho levedurado, que possui um teor alcoólico que varia de 7% a 12% em volume e contém, em média, de 10% a 12% de células de levedura. Após ser submetido a centrifugação, o vinho obtido isento ou com baixa concentração de levedura é direcionado ao setor de destilação, cujo objetivo é separar o etanol da mistura hidroalcóolica (Zarpelon, 2020).

O creme de levedura, que possui concentração superior a 65%, passa por tratamento em cubas e retorna ao processo para dar início ao novo ciclo (Pacheco, 2010).

É importante ressaltar que a qualidade da matéria-prima, o preparo adequado do mosto, a manutenção do processo fermentativo sob condições controladas e o tratamento das leveduras são fatores determinantes para maximizar a conversão dos açúcares em energia e etanol.

## 2.1 Fatores que influenciam a eficiência fermentativa das leveduras

Os fatores que influenciam a capacidade fermentativa das leveduras têm sido cada vez mais estudados a fim de evitar a baixa eficiência do processo. Os principais parâmetros analisados são temperatura, pH, contaminação pela presença de outros microrganismos, tempo de fermentação e teor alcoólico (Cruz, 2021). Com todos esses interferentes, o monitoramento e rastreio do processo através de análises laboratoriais e atividades realizadas na operação favorecem a redução de perdas industriais e auxiliam na manutenção da qualidade do processo (Oliveira et al., 2020).

A contaminação da fermentação alcoólica está associada à qualidade da matéria-prima que é admitida na indústria, e que, por sua vez, é influenciada pelas condições climáticas; o tipo de colheita, armazenamento e logística de transporte; as pragas, doenças e impurezas presentes; além do tempo decorrido entre o corte da cana-de-açúcar e o seu processamento na indústria (Campana, 2012, Oliveira *et al.,* 2013).

A utilização de antibióticos tem sido prática comum para controlar a contaminação bacteriana durante a fermentação, mas as leveduras, ao longo do tempo, têm desenvolvido resistência a esses agentes antimicrobianos. Isso resulta em dificuldades na manutenção da pureza do processo fermentativo, comprometendo a eficiência da produção de etanol e gerando preocupações em relação à segurança alimentar e ambiental (Brexó, Sat'Ana, 2017). Portanto, novas alternativas estão sendo exploradas para garantir a viabilidade a longo prazo da indústria de etanol (Madaleno, Armoa, Salaro, 2019; Carvalho *et al*., 2022).

A higienização do processo, ou seja, a assepsia dos equipamentos utilizados no processamento da cana-de-açúcar é de extrema importância para minimizar a presença de microrganismos que utilizam a sacarose em seu metabolismo energético (Prado, 2014) e que interfiram na capacidade fermentativa das leveduras pela produção de ácidos orgânicos e outros produtos tóxicos (Naves *et al*., 2010, De Gées-Favone *et al*., 2018).

A realização de assepsia pode por modo *Clean In Pleace* (CIP) automatizado ou manualmente, adotando o uso da flegmaça. Este produto é oriundo da retificação do etanol e, em decorrência da acidez e temperatura, é empregado para assepsia das tubulações, trocadores de calor e os biorreatores, reduzindo assim, a necessidade de uso de maior dosagem de antibióticos para controle da contaminação. Esta estratégia visa evitar a concorrência de diferentes microrganismos pelo substrato, a floculação das leveduras, e as perdas devido a não conversão total do açúcar presente no mosto (Chieppe Junior, 2012).

Ciência & Tecnologia
Fatec-JB
ISSN: 2178-9436

O processo Melle-Boinot, que consiste na recuperação de células de leveduras para retorno ao processo, é o mais utilizado nas usinas sucroenergéticas devido à redução tempo da produção, atendendo a demanda brasileira de etanol (Ortiz *et al.,* 2019).

Assim, o tratamento do fermento nas cubas é necessário antes de um novo ciclo através da diluição do creme de levedura a uma concentração de 25 a 30% em água, com pH entre 1,8 e 2,5, corrigido com ácido sulfúrico, mantendo-se sob agitação mecânica, por um período de até duas horas antes de retornarem ao processo. A redução do pH pela adição do ácido sulfúrico favorece o controle da floculação e de contaminantes presentes, assim como a presença de leveduras sensíveis (Lopes *et al*., 2016).

As análises microbiológicas são responsáveis por auxiliar na quantificação das células de leveduras e nos níveis de contaminação. Esta quando excede $10^6$ UFC.ml, torna necessário uso de antibióticos, causando impactos para usinas que comercializam o creme de levedura ou levedura seca, limitando o uso de antibióticos sintéticos (Ceccato-Antonini, 2018; Pereira, Vieira, Gimenez, 2020).

O pH usado na fermentação alcoólica tem grande influência no processo. Para a multiplicação das leveduras, o ideal está entre 4,5 e 5,5, enquanto no tratamento este valor é menor, entre 2,0 e 3,0. Como já mencionado, um pH reduzido ajuda a controlar a contaminação e a floculação. Quando a multiplicação das células de levedura é inibida pelo pH mais baixo, a produção de etanol aumenta (Costa, Cerri, Ceccato-Antonini, 2018).

A temperatura é outro fator crucial para a fermentação alcoólica. Para que seja eficiente, o processo deve ser mantido entre 30 e 34ºC (Dias *et al*., 2015). Acima de 35ºC, há um aumento no risco de contaminação microbiana, além de uma redução na viabilidade das leveduras devido ao estresse causado também pela concentração de etanol. Por outro lado, temperaturas abaixo de 28ºC desaceleram o metabolismo da levedura, resultando em uma fermentação mais lenta e com sobras de açúcares não fermentados e, consequentemente, uma menor produção de etanol (Lima; Basso; Amorim, 2001; Pereira, Vieira, Gimenez, 2020).

Nas usinas brasileiras, a temperatura apresenta grande variação devido ao clima tropical existente nos diferentes estados brasileiros. A fim de amenizar perdas no processo em decorrência dessas variações, alguns estudos vêm sendo realizados com as leveduras para torná-las termotolerantes. Manter a temperatura da fermentação estável é um desafio dentro do processo, o mau dimensionamento do sistema de resfriamento, a falta de tratamento das águas de resfriamento pode dificultar a troca térmica nos trocadores de calor e, por conseguinte, impactar negativamente no balanço térmico para boa operação da fermentação (Souza, 2012; Santos, 2016).

Como pode ser observado, as leveduras são altamente sensíveis e se beneficiam da otimização das condições de fermentação. A pesquisa contínua na seleção e adaptação de cepas de levedura é fundamental para atender às necessidades específicas de cada unidade industrial e para o avanço contínuo desse importante setor. Isso não só melhora a eficiência e o rendimento da produção, mas também contribui para a sustentabilidade da indústria de biocombustíveis.

Na fermentação contínua, o mosto e a levedura são alimentados na primeira dorna. O controle da vazão nessa dorna é ajustado para ser proporcional à saída do vinho da última dorna, que é direcionado para as centrífugas. Esse tipo de fermentação tem sido adotado por facilitar a automação, tornando-a mais ágil, aumentando a produção em menos tempo e garantindo uma maior uniformidade do vinho fermentado. Entre as desvantagens da fermentação contínua, estão o maior investimento na infraestrutura, a formação de biofilme nas paredes das dornas e a maior probabilidade de contaminação, o que pode aumentar a necessidade de agentes inibidores (Rodrigues; Dantas; Finzer, 2009).

Ciência & Tecnologia
Fatec-JB
ISSN: 2178-9436

## 3 METODOLOGIA DA PESQUISA

Um estudo de caso foi adotado como procedimento metodológico e consistiu no acompanhamento da fermentação alcóolica de uma usina localizada na região da cidade de Araraquara, São Paulo, Brasil. Assim, essa pesquisa assume caráter exploratório, com abordagem qualitativa e de natureza básica.

### 3.1 Estudo de caso: caracterização da indústria e informações coletadas

Durante a safra 2023/2024, a unidade industrial em estudo teve uma média de moagem de 18.100 toneladas/dia de cana-de-açúcar, com uma produção total de aproximadamente 311.251 toneladas de açúcar e 176.600 $m^3$ de etanol.

Com o objetivo de acompanhar e discutir as estratégias adotadas foi realizado um acompanhamento diário do processo de fermentação alcóolica, coletando informações com os operadores do setor. Os dados monitoradas foram: substrato empregado na produção do mosto (caldo, melaço e/ou mel da fábrica), as linhagens de leveduras utilizadas, o tempo de fermentação alcóolica e as manobras adotadas no processo.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A usina analisada nesse estudo produz etanol hidratado carburante, etanol especial isento de contaminantes respeitando especificações (padrão Coréia) e o etanol anidro. Entre os tipos de açúcar produzidos estão o cristal branco e o *Very High Polarization* (VHP). Notou-se que, conforme as necessidades operacionais, é prática comum nessa unidade industrial desviar méis e melaço oriundo da fabricação de açúcar para a preparação do mosto.

De acordo com a literatura, o melaço derivado da produção de açúcar cristal branco e aquele proveniente da fabricação do tipo VHP apresentam diferenças significativas em termos de composição de açúcares, teor de impurezas, compostos orgânicos e minerais (Machado, 2012; Oliveira; Madaleno, 2023). Essas diferenças podem aumentar o estresse nas leveduras, pois esses microrganismos são sensíveis a variações na composição do substrato que utilizam como alimento (Vasconcelos, 2012).

Para amenizar os impactos ocasionados pela mudança nas características do mosto, uma estratégia adotada pelo setor de fermentação desta usina consiste na utilização de um *blend* de leveduras selecionadas. Há no plano de safra a indicação de realizar a fermentação com as linhagens CAT-1, PE2, FT-858L e FERMEL, pois são as cepas que melhor se adaptaram a realidade desta indústria.

No início da safra, é realizado o preparo do mosto para alimentação nas dornas para um teor final de 5º Brix. Nessa etapa, é priorizada a multiplicação das células para envio às dornas, buscando mantê-las por todo período da safra.

Diante das adversidades no campo industrial, manter as leveduras selecionadas é um grande desafio. Embora todo o processo seja monitorado, microrganismos indesejáveis estão presentes na fermentação alcoólica e competem com as leveduras pelo substrato, causando perda de eficiência e rendimento (Lima; Basso; Amorim, 2001; Oliveira *et al*., 2020). Com o auxílio do laboratório de microbiologia, o acompanhamento de análises de viabilidade celular, contaminação bacteriana e de brotamento auxilia na tomada de decisões, seja para a nutrição das células ou para o uso de agentes bacteriostáticos. Também é necessário recorrer a laboratórios externos para realizar a técnica de cariotipagem e identificar as leveduras presentes.

Ciência & Tecnologia
Fatec-JB
ISSN: 2178-9436

Uma eventual necessidade de substituição da levedura dentro do período da safra é indesejada e causa grandes impactos não só para o setor fermentativo, que reduz a eficiência, mas para toda a planta industrial, uma vez que a redução do consumo de caldo para a fermentação afeta diretamente a etapa da extração, por limitar a vazão de escoamento para o processo.

Para evitar a troca de leveduras, o sistema de controle da fermentação nesta usina tem sido automatizado. No entanto, mesmo com as precauções adotadas, a presença de contaminantes é uma realidade, e esses microrganismos competem com as leveduras, gerando prejuízos e, em alguns casos, assumindo o controle do processo, o que acaba por exigir a substituição das leveduras para manter a fermentação viável.

A estratégia adotada pelo setor consiste na multiplicação e concentração de leveduras separadamente durante o período da safra. Essa abordagem é útil porque a manutenção de leveduras em fase de multiplicação facilita a adaptação do microrganismo ao processo, caso seja necessário injetar mais leveduras na alimentação da fermentação ou substituir completamente os microrganismos existentes.

Assim, a fermentação local possui duas linhas de dornas, a primeira com cinco dornas e a segunda com quatro dornas, podendo, quando necessário, optar em transferir o fermento da dorna de multiplicação para um lado da fermentação e manter em operação de alimentação controlada até que a concentração de células esteja com porcentagem capaz de suprir a demanda do processo. Deste modo, a levedura presente na dorna de multiplicação passará por alimentação e centrifugação, aumentando a concentração de células, podendo ser útil para renovação de células nas dornas principais ou na substituição total das leveduras.

Uma alternativa adotada pela indústria é a compra do creme de levedura de outra unidade, pois este já se encontra em uma concentração ideal de células para ser injetado nas dornas. Além de dificuldades de adaptação ao processo, o principal ponto negativo desta estratégia é que nem sempre este creme de levedura apresenta condições controladas de contaminação.

Recentemente, a usina precisou recorrer a essa estratégia e adquiriu leveduras de três diferentes unidades industriais. No entanto, o nível de contaminação não estava melhor do que o observado no processo atual.

Estas informações confirmam que a estratégia de multiplicação e concentração de leveduras separadas tem se mostrado mais eficaz para atender as necessidades de substituição das leveduras nesta unidade industrial.

Para lidar com o estresse causado nas leveduras por variações na concentração de açúcares do mosto, a estratégia adotada pela usina consiste na redução do tempo de fermentação. O setor consegue realizar a fermentação alcóolica em até 5,2h, deixando assim as leveduras menos tempo expostas as variações de Brix, que se encontra em uma faixa 18 a 22%. O controle do Brix do mosto se faz de acordo com a pureza do melaço estocado. É realizado o acompanhamento nas primeiras dornas e a concentração de açúcares redutores residuais totais (ARRT) ao final da fermentação, podendo haver redução dos sólidos solúveis em caso de baixo estoque de melaço.

As análises laboratoriais referentes ao ano 2022 mostram que a média da eficiência do setor da fermentação desta unidade industrial foi de 89,73%, com valor médio de ARRT de 0,05% para este mesmo ano. Estes dados confirmam que a redução no tempo de fermentação tem permitido a obtenção de resultados positivos para o processo.

Em síntese, o estudo realizado nesta unidade industrial revela uma operação que enfrenta desafios inerentes ao processo de fermentação alcóolica. A manutenção e suprimento das necessidades operacionais da fermentação alcóolica e a seleção de leveduras adaptadas ao

Ciência & Tecnologia
Fatec-JB
ISSN: 2178-9436

processo emergem como prioridades, a fim de evitar a substituição das leveduras durante a safra. Entretanto, como nem sempre isso é possível, a empresa também possui alternativas de multiplicação de leveduras para atender ao processo, o que reduz o tempo necessário para a adaptação dos microrganismos e garante eficiência do setor, assegurando a permanência destes microrganismos, identificados pela técnica de cariotipagem.

Como demonstrado por este estudo, a seleção de cepas de *Saccharomyces cerevisiae* para a produção de etanol tem se revelado alternativa viável diante das condições enfrentadas pelas usinas. Isso ocorre devido à necessidade contínua de adaptação em resposta às mudanças no processo.

Atualmente, existem diversas variedades de leveduras disponíveis no mercado para atender às necessidades operacionais (Souza, 2009). Além disso, novas pesquisas estão em andamento buscando inovações que tornem possível, por exemplo, o processo de fermentação com teores mais elevados de etanol e/ou resultados satisfatórios mesmo diante das constantes mudanças no mix de produção (Walker; Walker, 2018).

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise da unidade industrial em estudo destaca a importância crucial da seleção criteriosa de cepas de *Saccharomyces cerevisiae* para a produção de etanol a partir da cana-de-açúcar.

A implementação de práticas como a utilização de *blend* de leveduras selecionadas, e a proposta de multiplicação e concentração de leveduras separadas se revela como estratégias eficazes para lidar com adversidades, reduzindo o tempo de adaptação das leveduras e assegurando a demanda do processo, sem interferir na redução da moagem, evitando alterações significativas no planejamento industrial.

Dessa forma, este trabalho evidencia que, em meio aos desafios da fermentação alcóolica na indústria canavieira, a seleção e adaptação de leveduras, aliadas a estratégias flexíveis de suprimento, são essenciais para garantir eficiência, maximização da produção e superação das adversidades inerentes ao processo.

## REFERÊNCIAS

BREXÓ, R. P.; SANT'ANA, A. S. Impact and significance of microbial contamination duringfermentation for bioethanol production. **RenewableandSustainable Energy Reviews**, v. 73, p. 423–434, 2017.

CAMPANA, F. B. **Monitoramento temporal e espacial de contaminações bacterianas na produção de bioetanol: caracterização molecular por T-RFLP e detecção quantitativa por qPCR de comunidades formadoras de biofilmes**. 2012. Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, 2012.

CARVALHO, A. J. L. de et al. Antimicrobial potential of Byrsonima intermedia in isolates from the industrial fermentation process. **International Journal of Biological and Natural Sciences**, v. 2, n. 1, 2022.

CASTRO, R. E. N. de et al. **Assessment of sugarcane-based ethanol production**. In: Fuel ethanol production from sugarcane. INTECHopen, 2019. 230 p.

Ciência & Tecnologia
Fatec-JB
ISSN: 2178-9436

CECCATO-ANTONINI, S. R. Conventional and nonconventional strategies for controlling bacterial contamination in fuel ethanol fermentations. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 34, n. 6, p. 80, 2018.

CHIEPPE, J. B. Júnior. **Tecnologia e fabricação do álcool**. Inhumas: IFG, 2016.

COSTA, M. A. S.; CERRI, B. C.; CECCATO - ANTONINI, S. R. Ethanol addition enhances acid treatment to eliminate Lactobacillus fermentum from the fermentation process for fuel ethanol production. **Letters in Public Health Microbiology**, v. 66, n. 1, p. 77-85, 2018.

COSTA, A. C. T. **Resposta a estresses consecutivos em Saccharomyces cerevisiae**. 2017. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) – Programa de Pós-graduação em Biotecnologia, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES.

CRUZ, H. R da. **Avaliação da relação C/N no desempenho da levedura Saccharomyces cerevisiae CAT-1. 2021**. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2021.

DE SOUZA, R. B. et al. Mineral Composition of the Sugarcane Juice and Its Influence on the Ethanol Fermentation. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 175, n. 1, p. 209–222, 2015.

DIAS, M. O. S et al. Sugarcane processing for ethanol and sugar in Brazil. **Environmental Development**, v. 15, p. 35-51, 2015.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Nota Técnica Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis – Ano 2022**. Ministério de Minas e Energia, 2023. Disponível em: https://www.epe.gov.br/pt/ ublicações-dados-abertos/ ublicações/analise-de-conjuntura-dos-biocombustiveis-2022#:~:text=%E2%80%8BA%20d%C3%A9cima%20quarta%20edi%C3%A7%C3%A3o,do%20etanol%20oriundo%20do%20milho. Acesso em 01 de outubro de 2023.

LIMA, U. de A.; BASSO, L. C.; AMORIM, H. V. Produção de etanol. Biotecnologia industrial: processos fermentativos e enzimáticos. São Paulo: Ed. Edgard Blücher Ltda, 2001. 43 p.

LOPES, M. L.; PAULILLO, S. C. DE L.; GODOY, A.; et al. Ethanol production in Brazil: a bridge between science and industry. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 47, p. 64–76, 2016.

MACHADO, Simone Silva. **Tecnologia da fabricação do açúcar**. Inhumas: IFG, 2012.

MADALENO, L. L. et al. Use of antimicrobials for contamination control during ethanolic fermentation Utilização de antimicrobianos para o controle da contaminação durante a fermentação etanólica. **Científica**, v. 44, n. 2, p. 226–234, 2016.

Ciência & Tecnologia
Fatec-JB
ISSN: 2178-9436

MADALENO, L. L.; ARMOA, M. H.; SALARO, MCF. Control of contamination in dilution water used in molasses must preparation. **Ciência & Tecnologia**, v. 11, n. 1, p. 5-14, 2019.

NAVES, R. et al. Contaminação microbiana nas etapas de processamento e sua influência no rendimento fermentativo em usina alcooleira. **Enciclopédia Biosfera**, v. 6, n. 11, 2010.

OLIVEIRA, J. A. et al. Radiação Ultravioleta no controle dos micro-organismos na água de diluição e no mosto de melaço. **STAB: açúcar, álcool e subprodutos**, v. 32, p. 49-53. 2013

OLIVEIRA, M. P.; MADALENO, L. L. Controle do processo de cozimento na produção de açúcar. **Ciência & Tecnologia**, v. 15, n. 1, p. e1512-e1512, 2023.

OLIVEIRA, G. M. de; SILVA, T. F.; NETO, J. I. H. T. Estudo dos impactos provocados por microrganismos no rendimento da fermentação alcoólica. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 30434-30448, 2020.

ORTIZ, P. A. et al. Exergetic, environmental and economic assessment of sugarcane first-generation biorefineries. **Journal of Power Technologies,** v. 99, n. 2, 2019.

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

PEREIRA, D. A.; VIEIRA, R. de C. M.; GIMENEZ, A. Z. Fatores que afetam a fermentação alcoólica. **Ciência & Tecnologia**, v. 12, n. 1, p. 44-55, 2020.

PRADO, J. S. **Uso de antibióticos convencionais e antimicrobianos a base de lúpulo no controle da infecção bacteriana em fermentação alcoólica**. 2014. Dissertação (Mestrado) - Agronomia (Energia na Agricultura). Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp – Campus de Botucatu, 2014.

REIN, P. **Engenharia do açúcar de cana**. Bartens, 2013.

RENEWABLE FUELS ASSOCIATION**. Ethanol industry outlook**. Washington DC: Renwable Fuels Association, 2023

RIBEIRO, C. B.; SCHIRMER, W. N. Panorama dos combustíveis e biocombustíveis no Brasil e as emissões gasosas decorrentes do uso da gasolina/etanol. BIOFIX **Scientific Journal,** v. 2, n. 2, p. 16-22, 2017.

RODRIGUES, L. M.; DANTAS, R.; FINZER, J. R. D. Utilização de produto natural durante a fermentação alcoólica visando uma produção que se enquadre nos parâmetros de atividade sustentável. **FAZU***,* Uberaba, n. 6, p. 53-82, 2009.

SANTOS, F. et al. By-products of the sugarcane industry. In: Sugarcane biorefinery, technology and perspectives. **Academic Press**, 2020. p. 21-48.

Ciência & Tecnologia
Fatec-JB
ISSN: 2178-9436

SANTOS, M. C. dos. **Condução de fermentação etanólica contínua com o uso de antibiótico**. 2016, 62f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Alagoas – UFAL. Rio Largo, 2016.

SOUZA, C. S. **Avaliação da produção de etanol em temperaturas elevadas por uma linhagem de *S. cerevisiae***. Tese (Doutorado em Biotecnologia) – Instituto Butantan, São Paulo, 2009.

VASCONCELOS, J. N. Fermentação Etanólica. In: CALDAS, C.; BORÉM, A.; SANTOS, F. (Ed.). **Cana-de-açúcar: Bioenergia, Açúcar e Etanol**: tecnologias e Perspectivas. 2. ed. Viçosa, MG, 2012.

VIDAL, M. F. Produção e mercado de etanol. **Caderno Setorial** EDENE. 2020.

WALKER, G. M.; WALKER, R. S. Enhancing yeast alcoholic fermentations. **Advances in applied microbiology**, v. 105, p. 87-129, 2018.

ZARPELON, F. **Destilação do etanol**. Piracicaba: STAB - Sociedade dos Técnicos açucareiros e alcooleiros do Brasil, 2020.