Uso de antimicrobianos naturais na produção de etanol: uma alternativa sustentável para o controle microbiológico

COLI, Dirlei Augusto de Oliveira
PRADA, Marcos Henrique

Resumo

A fermentação alcoólica destaca-se como um processo biológico essencial na produção de etanol, no qual açúcares simples como glicose, frutose e sacarose são metabolizados, resultando na formação de etanol e gás carbônico. Entretanto, esse processo pode ser prejudicado pela presença de bactérias contaminantes que competem com leveduras, comprometendo a eficiência e o rendimento da fermentação. Para minimizar os impactos dessas contaminações, o uso de agentes antibacterianos é uma prática comum. No entanto, é essencial que sua aplicação ocorra de forma consciente e técnica, uma vez que o uso excessivo ou inadequado pode resultar em altos custos operacionais, impactos ambientais negativos e riscos à saúde humana. Nesse contexto, há um interesse crescente por alternativas naturais aos antibacterianos sintéticos. Diversos estudos têm demonstrado a eficácia de compostos naturais, como extrato de própolis, extrato de lúpulo, jambolão, pimenta-rosa e orégano, no controle da carga bacteriana durante a fermentação alcoólica. Além de apresentarem propriedades antimicrobianas eficazes, essas substâncias naturais tendem a ser menos agressivas ao meio ambiente e à saúde humana, promovendo uma abordagem mais sustentável. Essas alternativas representam uma resposta promissora à crescente demanda por processos industriais mais limpos e seguros. Assim, este estudo, por meio de uma revisão bibliográfica, objetiva aprofundar o conhecimento sobre o uso desses extratos naturais no controle de bactérias durante a fermentação, destacando seus benefícios e limitações. A análise dos estudos revisados demonstrou que os extratos naturais apresentam atividade antimicrobiana significativa, contribuindo para a redução da carga bacteriana e para a manutenção da eficiência da fermentação, incentivando a adoção de práticas mais responsáveis no setor sucroalcooleiro.
Palavras-chave: extrato de própolis, jambolão, controle microbiológico, sustentabilidade.

Abstract

Alcoholic fermentation stands out as an essential biological process in ethanol production, in which simple sugars such as glucose, fructose and sucrose are metabolized, resulting in the formation of ethanol and carbon dioxide. However, this process can be impaired by the presence of contaminating bacteria that compete with yeast, compromising the efficiency and yield of fermentation. To minimize the impacts of these contaminations, the use of antibacterial agents is a common practice. However, it is essential that their application occurs in a conscious and technical manner, since excessive or inadequate use can result in high operating costs, negative environmental impacts and risks to human health. In this context, there is growing interest in natural alternatives to synthetic antibacterials. Several studies have demonstrated the effectiveness of natural compounds, such as propolis extract, hop extract, jambolan, pink pepper and oregano, in controlling the bacterial load during alcoholic fermentation. In addition to presenting effective antimicrobial properties, these natural substances tend to be less aggressive to the environment and human health, promoting a more sustainable approach. These alternatives represent a promising response to the growing demand for cleaner and safer industrial processes. Thus, this study, through a literature review, aims to deepen knowledge about the use of these natural extracts in the control of bacteria during fermentation, highlighting their benefits and limitations. The analysis of the reviewed studies showed that natural extracts have significant antimicrobial activity, contributing to the

reduction of bacterial load and to the maintenance of fermentation efficiency, encouraging the adoption of more responsible practices in the sugar and alcohol sector.
Keywords: alcoholic fermentation, propolis extract, jambolan, sustainability

Resumen

La fermentación alcohólica se destaca como un proceso biológico esencial en la producción de etanol, en el cual se metabolizan azúcares simples como la glucosa, la fructosa y la sacarosa, dando lugar a la formación de etanol y dióxido de carbono. Sin embargo, este proceso puede verse afectado por la presencia de bacterias contaminantes que compiten con la levadura, comprometiendo la eficiencia y el rendimiento de la fermentación. Para minimizar el impacto de estas contaminaciones, el uso de agentes antibacterianos es una práctica común. Sin embargo, es esencial que su aplicación se realice de manera consciente y técnica, ya que su uso excesivo o inadecuado puede resultar en altos costos operativos, impactos ambientales negativos y riesgos para la salud humana. En este contexto, existe un creciente interés en alternativas naturales a los antibacterianos sintéticos. Diversos estudios han demostrado la eficacia de compuestos naturales, como el extracto de propóleo, el extracto de lúpulo, el jambolán, la pimienta rosa y el orégano, para controlar la carga bacteriana durante la fermentación alcohólica. Además de presentar propiedades antimicrobianas efectivas, estas sustancias naturales tienden a ser menos agresivas para el medio ambiente y la salud humana, lo que promueve un enfoque más sostenible. Estas alternativas representan una respuesta prometedora a la creciente demanda de procesos industriales más limpios y seguros. Por ello, este estudio, mediante una revisión bibliográfica, busca profundizar en el conocimiento sobre el uso de estos extractos naturales en el control de bacterias durante la fermentación, destacando sus beneficios y limitaciones. El análisis de los estudios revisados mostró que los extractos naturales poseen una importante actividad antimicrobiana, contribuyendo a la reducción de la carga bacteriana y al mantenimiento de la eficiencia de la fermentación, fomentando así la adopción de prácticas más responsables en el sector azucarero y alcohólico.

Palabras clave: fermentación alcohólica, extracto de propóleos, jambolán, sostenibilidad.

INTRODUÇÃO

No cenário contemporâneo, observa-se uma crescente mobilização dos países na busca por fontes de energia limpa, impulsionada pelas mudanças climáticas globais. Uma maneira de diminuir a emissão de poluentes no ar é a adoção de biocombustíveis. Ademais, a alta nos preços do petróleo tem estimulado a utilização de biocombustíveis como uma opção de energia renovável e menos prejudicial ao meio ambiente (BIOBLOG, 2020).

A produção de biocombustíveis, especialmente o etanol, possui grande importância para a matriz energética brasileira e para a mitigação das mudanças climáticas. A participação de diversos profissionais é essencial em um processo transformador que implemente melhores práticas socioambientais na fabricação do etanol originado da cana-de-açúcar (Ernandes; Garcia-Cruz, 2009).

O etanol é obtido pela fermentação do caldo, melaço ou uma combinação de ambos, provenientes de uma fonte renovável abundante no Brasil: a cana-de-açúcar. O caldo de cana e o mosto são substratos ricos em nutrientes orgânicos e inorgânicos, além de apresentarem condições ideais de pH, temperatura e umidade para o crescimento de microrganismos, especialmente bactérias (Alcides, 2018).

Contudo, a produtividade do etanol pode ser comprometida por contaminações microbiológicas, principalmente pela presença de bactérias indesejadas durante o processo fermentativo. A prática comum de reaproveitamento das células de levedura nas usinas, embora vise aumentar a eficiência produtiva, pode recircular bactérias contaminantes presentes desde a colheita até o armazenamento da cana. Essas bactérias competem com as leveduras pelo substrato, reduzindo o rendimento da fermentação e gerando perdas econômicas significativas (Alcides, 2018).

Nesse contexto, o uso de antimicrobianos tem se tornado uma prática comum nas usinas de etanol, com o objetivo de controlar a população bacteriana e preservar o desempenho das leveduras. No entanto, o uso indiscriminado de antibióticos pode acarretar riscos à saúde pública, como o surgimento de cepas resistentes, além de afetar negativamente a microbiota envolvida na fermentação (ANVISA, 2021).

Diante disso, este trabalho tem como objetivo realizar uma revisão bibliográfica teórica sobre o uso de antimicrobianos naturais na fermentação alcoólica, considerando os aspectos microbiológicos, tecnológicos e ambientais envolvidos. Serão abordadas as principais formas de

contaminação, os métodos de controle adotados pelas indústrias e os desafios relacionados à sustentabilidade e à segurança no uso desses compostos.

Dessa forma, este artigo tem por objetivo analisar o uso de antimicrobianos em fermentações alcoólicas, considerando os aspectos microbiológicos, tecnológicos e ambientais envolvidos. Serão abordadas as principais formas de contaminação, os métodos de controle adotados pelas indústrias e os desafios relacionados à sustentabilidade e à segurança no uso desses compostos.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Fermentação Alcoólica

A indústria sucroalcooleira desempenha um papel fundamental na matriz energética brasileira, sendo responsável pela produção de etanol a partir da fermentação alcoólica de substratos como a cana de açúcar. A fermentação alcoólica é um processo bioquímico realizado, principalmente, por leveduras do gênero Saccharomyces cerevisiae, as quais convertem açúcares em etanol e dióxido de carbono.

Tabela 1- Tipos de fermentação alcoólica

Tipos de Fermentação alcoólica	**Descrição**	**Exemplos:**
Fermentação alcoólica	Produz álcool etílico e gás carbônico	Bebidas alcoólicas, pão, combustível
Fermentação lática	Produz ácido lático	Iogurte, coalhada, alguns tipos de queijo
Fermentação acética	Produz ácido acético	Vinagre acético
Fermentação natural	Dependente de microorganismos presentes no ambiente e nos ingredientes	Fermentação natural

Fonte: Autores.

A equação que representa a fermentação alcoólica é:C6H1206 + 2ADP + 2Pi → 2 C2H5OH + 2CO2 + 2ATP. Onde:

- C6H1206 representa a glicose

- 2ADP + 2Pi representa os adenosina difosfato e fosfato inorgânico
- 2 C2H5OH representa o etanol (álcool)
- 2CO2 representa o dióxido de carbono
- 2ATP representa as moléculas de adenosina trifosfato

No entanto, em condições industriais, esse processo está sujeito à contaminação por microrganismos indesejáveis, especialmente bactérias ácido-láticas como Lactobacillus spp., Leuconostoc spp. e Pediococcus spp. Essa contaminação bacteriana comprometem o rendimento e a qualidade do produto final (Freitas & Romano, 2015).

Contaminação Bacteriana na Fermentação Alcoólica

A presença de microrganismos indesejáveis compromete a eficiência da fermentação alcoólica ao competir com as leveduras pelo substrato e produzir metabólitos que inibem o crescimento das mesmas. Segundo Bressani e Ladeira (2019), a presença de bactérias láticas, por exemplo, pode reduzir significativamente a conversão de sacarose em etanol.

Diversos fatores contribuem para a contaminação do processo, como altos teores de sólidos solúveis, temperatura inadequada, tempo de fermentação prolongado e falhas na assepsia dos equipamentos. Silva *et al.* (2018) destacam que o controle rigoroso dessas variáveis é essencial para assegurar uma produção eficiente.

A contaminação bacteriana na fermentação alcoólica pode ser bastante prejudicial ao processo. Pode causar:

- Perda de produtividade
- Redução do volume de etanol
- Aumento dos custos operacionais
- Consumo de açúcar
- Formação de goma
- Fluculação do fermento
- Inibição e queda da viabilidade das leveduras.

É necessário que haja um controle correto das condições operacionais: tempo, temperatura, PH, acidez, quantidade de sacarose para que não haja contaminação no processo.

Avaliação do Etanol como Meio Contaminado

Embora o etanol seja um produto final da fermentação alcoólica e atue como um agente antisséptico em concentrações elevadas, sua presença no meio fermentativo não é suficiente para garantir a completa eliminação de bactérias contaminantes. Isso ocorre porque as bactérias presentes no processo fermentativo, especialmente as do grupo ácido-lático, apresentam alta tolerância ao etanol, sobrevivendo e proliferando mesmo em concentrações que inibiriam outras espécies microbianas (Batista & Francisqueti, 2016).

Durante o processo industrial de produção de etanol, as concentrações alcoólicas variam de 5% a 12%, o que é insuficiente para esterilizar o meio. Além disso, o meio fermentativo apresenta grande quantidade de nutrientes, pH favorável e temperatura ideal para o crescimento bacteriano, tornando-se um ambiente propício à contaminação (Freitas & Romano, 2015).

Um estudo realizado pela Fermentec (2021) demonstrou que, mesmo em fermentações contínuas, com reciclo de leveduras e tratamento térmico parcial, ocorre a persistência de populações bacterianas capazes de causar prejuízos ao rendimento alcoólico. A formação de ácido lático, por exemplo, pode atingir níveis tóxicos para as leveduras, interrompendo sua atividade fermentativa e levando à acidificação do meio.

A necessidade de controle microbiológico é, portanto, inquestionável. O monitoramento da carga bacteriana deve ser feito de forma contínua, por meio de análises microbiológicas, testes de acidez volátil e monitoramento da queda de rendimento alcoólico. Quando identificados surtos de contaminação, a intervenção imediata com antimicrobianos se torna necessária para restabelecer o equilíbrio do processo (Alcides, 2018).

A substituição de antimicrobianos sintéticos por alternativas naturais representa uma solução com múltiplos benefícios, como redução dos resíduos tóxicos, menor impacto ambiental e mitigação do risco de resistência bacteriana.

No entanto, para garantir a eficácia desses compostos naturais, é essencial considerar a complexidade do meio fermentativo e adaptar as estratégias de aplicação conforme as condições específicas de cada unidade produtiva (Silva *et al.,* 2020).

Antimicrobianos: definições

Antimicrobianos são substâncias dotadas da capacidade de reduzir ou eliminar a presença de microrganismos patogênicos, tais como bactérias, fungos, parasitas e vírus, podendo ainda apresentar atividade antineoplásica. Esses agentes exercem diferentes funções terapêuticas, destacando-se por suas propriedades antibacterianas, antifúngicas, antiparasitárias, antivirais e antitumorais.

Quanto à sua origem, os antimicrobianos classificam-se em naturais e sintéticos. Os naturais são oriundos do metabolismo secundário de organismos vivos, incluindo animais, vegetais e outros microrganismos, sendo frequentemente utilizados como base para o desenvolvimento de novas moléculas bioativas, os sintéticos são produzidos através das estruturas dos naturais.

Os antimicrobianos tradicionais, como antibióticos (penicilina, tetraciclina) e agentes oxidantes (como peróxido de hidrogênio), são amplamente utilizados para controlar essas contaminações. Contudo, seu uso contínuo tem gerado preocupações quanto à resistência bacteriana, resíduos no ambiente e impactos sobre as cepas de levedura (Batista & Francisqueti, 2016).

Os antimicrobianos naturais surgem como alternativa viável. Eles podem ser classificados de acordo com sua origem: vegetal (óleos essenciais, taninos, compostos fenólicos), microbiana (bacteriocinas) ou animal (peptídeos antimicrobianos). Além de serem biodegradáveis, geralmente apresentam baixa toxicidade e múltiplos mecanismos de ação, dificultando o desenvolvimento de resistência (Nascimento *et al.*, 2021).

Antimicrobianos Sintéticos

Os antimicrobianos sintéticos são substâncias obtidas por meio de processos artificiais, desenvolvidas a partir do estudo e modificação de compostos antimicrobianos naturais. Incluindo antibióticos e biocidas químicos, esses agentes têm sido amplamente empregados na contenção de contaminações bacterianas durante o processo de fermentação alcoólica. Apesar de sua comprovada eficácia, seu uso contínuo apresenta restrições relevantes.

A exposição prolongada de microrganismos a esses compostos pode resultar no surgimento de cepas bacterianas resistentes, comprometendo sua efetividade terapêutica e industrial ao longo do tempo (Batista & Francisqueti, 2016). Ademais, resíduos desses antimicrobianos podem permanecer

nos subprodutos da fermentação, como a vinhaça — frequentemente reaproveitada como fertilizante agrícola —, o que suscita preocupações de ordem ambiental e regulatória. Tais resíduos têm o potencial de impactar negativamente tanto o ecossistema quanto a saúde humana (Alcides, 2018).

Podemos exemplificar como antimicrobianos sintéticos:

- Sulfonamidas
- Fluroquinolonas
- Cotrimoxazol
- Derivados da penicilina
- Cefalosporina

Riscos do Uso de Antimicrobianos Sintéticos

Tradicionalmente, a indústria de etanol tem recorrido aos antibióticos para combater a contaminação bacteriana; entretanto, o uso recorrente desses compostos tem gerado preocupações ambientais e sanitárias, especialmente devido à presença de resíduos nos subprodutos do processo, sejam eles derivados da cana-de-açúcar, do milho ou de outros cereais.

O uso indiscriminado de antibióticos sintéticos em processos industriais levanta questões quanto à resistência microbiana, contaminação cruzada e impactos à saúde humana e ambiental. Assim, o uso racional e a busca por alternativas naturais são cada vez mais incentivados pela comunidade científica.

Antimicrobianos Naturais

A crescente preocupação com os impactos ambientais e sanitários do uso contínuo de antimicrobianos sintéticos tem impulsionado o desenvolvimento de alternativas mais seguras e sustentáveis. Dentre essas alternativas, os antimicrobianos naturais se destacam como promissoras ferramentas no controle microbiológico da fermentação alcoólica. Esses compostos são oriundos de fontes naturais, como plantas, algas, fungos e bactérias, e apresentam propriedades antimicrobianas que podem ser exploradas sem os efeitos adversos associados aos antibióticos sintéticos (Silva *et al.,* 2020).

Diversos grupos de compostos naturais têm sido estudados, entre eles os óleos essenciais, taninos, alcaloides, flavonoides, compostos fenólicos, bacteriocinas e peptídeos antimicrobianos. Cada um desses grupos possui mecanismos de ação distintos, como a desestabilização da membrana celular, a inibição da síntese proteica ou a interferência na integridade do DNA bacteriano (Nascimento *et al.,* 2021). Essa diversidade de mecanismos torna os antimicrobianos naturais altamente eficazes contra uma ampla gama de microrganismos contaminantes.

Os óleos essenciais, por exemplo, são extraídos de diferentes partes de plantas aromáticas e contêm uma mistura de compostos voláteis como o eugenol, timol, carvacrol e citral. Esses compostos atuam na membrana plasmática bacteriana, provocando sua ruptura e perda de integridade, o que leva à morte celular (Barros *et al.,* 2022). Estudos demonstraram que óleos essenciais de orégano (Origanum vulgare), cravo-da-índia (Syzygium aromaticum) e tomilho (Thymus vulgaris) são eficazes contra espécies do gênero Lactobacillus spp., comumente encontradas em fermentações contaminadas (Silva *et al.,* 2020).

Outro grupo relevante são os compostos fenólicos, encontrados em abundância em extratos vegetais, frutas e cascas de árvores. Esses compostos apresentam alta atividade antioxidante e antimicrobiana, agindo tanto na parede celular bacteriana quanto na formação de biofilmes, dificultando a fixação das bactérias em superfícies de tanques e tubulações (Nascimento *et al.*, 2021).

Além disso, há grande interesse nas bacteriocinas, peptídeos produzidos por algumas bactérias como forma de defesa contra outras espécies.

A nisin, produzida por Lactococcus lactis, é um exemplo de bacteriocina amplamente estudada e aprovada para uso em alimentos, que também demonstra potencial para aplicação industrial no setor de biocombustíveis (Fermentec, 2021). Sua ação consiste na formação de poros na membrana das células bacterianas, causando lise e morte celular.

Os taninos, por sua vez, são compostos polifenólicos encontrados em diversas espécies vegetais e têm capacidade de precipitar proteínas e quelar metais, inibindo enzimas essenciais ao metabolismo bacteriano. Pesquisas indicam que taninos extraídos da casca de acácia e da uva possuem atividade contra bactérias lácticas, sendo viáveis para aplicação na fermentação alcoólica (Barros *et al.,* 2022).

A grande vantagem dos antimicrobianos naturais reside na baixa probabilidade de desenvolvimento de resistência bacteriana, uma vez que seus mecanismos de ação são multifatoriais e atuam simultaneamente em diferentes alvos celulares. Além disso, esses compostos são biodegradáveis,

apresentam baixo impacto ambiental e, na maioria dos casos, são considerados seguros para a saúde humana e animal (Silva *et al.*, 2020).

No entanto, a aplicação em escala industrial ainda enfrenta desafios como a padronização das concentrações ativas, a estabilidade dos compostos em diferentes condições de pH e temperatura e os custos de extração e purificação.

Superar essas barreiras é essencial para viabilizar o uso dos antimicrobianos naturais em substituição aos agentes sintéticos no setor sucroenergético (Nascimento *et al.*, 2021).

Aplicação de Antimicrobianos Naturais e seus Benefícios

A incorporação de antimicrobianos naturais no processo de fermentação alcoólica oferece diversos benefícios. Além de controlar efetivamente as bactérias contaminantes, esses compostos podem melhorar a qualidade do etanol produzido e aumentar a eficiência do processo fermentativo. Adicionalmente, o uso de antimicrobianos naturais pode reduzir a necessidade de produtos químicos sintéticos, alinhando-se às tendências de sustentabilidade e às regulamentações ambientais (Fermentec, 2021).

De acordo com Moreira (2020), compostos como: extrato de própolis, jambolão, pimenta rosa, extrato de lúpulo e extratos vegetais diversos apresentam atividades inibitórias significativas contra bactérias contaminantes.

Billerbeck e Lajolo (2016) ressaltam o baixo impacto ambiental desses agentes, tornando-os alternativas promissoras aos antimicrobianos convencionais. Eles atuam rompendo membranas celulares, inibindo enzimas ou afetando a síntese de proteínas bacterianas. A vantagem desses compostos está na sua baixa toxicidade e sustentabilidade.

Antimicrobianos naturais têm sido estudados por sua ação contra diversos patógenos presentes no meio fermentativo. Embora a ocorrência de contaminações bacterianas em processos fermentativos de larga escala seja, até certo ponto, inevitável, a aplicação criteriosa de antimicrobianos naturais tem se consolidado como uma alternativa eficaz na redução da carga microbiana. Isso proporciona ganhos significativos à produção e agrega valor aos subprodutos destinados ao consumo humano e animal.

Tabela- Antimicrobianos Naturais e suas Propriedades

Produto	**Propriedades naturais**
Extrato de Propoplis	Antinflamatório, antimicrobiano, antioxidantes, cicatrizantes, antifúngica e imunomodulatoria.
Extrato de Lupulos	Antinflamatório, antimicrobiano, antioxidantes, sedativos e ansiolíticos.
Extrato de Vegetais	Antinflamatório, antioxidantes, antimicrobianos, desintoxicantes, cicatrizante e diuréticos.
Jambolao	Antinflamatório, antibacteriano, antifúngica, anticarcigoneica, antilaergica;
Pimenta Rosa	Antinflamatorio, antioxidante, antibacteriano ou anti fúngico , antisséptica;
Oregano	Antinflamatório, anticanerigeno, antimicrobiano, antioxidante;
Oléos essenciais	Antinflamatorio, anitimicrobianos, antioxidantes, cicatrizantes, antissépticos

Fonte: Autores.

METODOLOGIA

Este trabalho caracteriza-se como uma pesquisa de natureza bibliográfica, com abordagem qualitativa, cujo objetivo foi reunir, analisar e interpretar informações provenientes de fontes secundárias, tais como artigos científicos, livros e periódicos especializados. Conforme Gil (2008), a pesquisa bibliográfica permite a construção de um referencial teórico consistente, fundamentado em conhecimentos já consolidados pela comunidade científica.

A seleção dos materiais utilizados na presente investigação baseou-se na relevância, atualidade e pertinência dos conteúdos em relação ao tema proposto: o uso de antimicrobianos em fermentações alcoólicas. As fontes consultadas foram obtidas, prioritariamente, por meio de bases de dados acadêmicas, como *Scielo, Google* Acadêmico e Periódicos Capes, abrangendo publicações entre os anos de 2010 a 2024.

A análise do material coletado foi conduzida por meio de leitura interpretativa e crítica, buscando identificar os principais pontos de convergência e divergência entre os autores quanto ao

impacto, uso e consequências da aplicação de antimicrobianos no processo de fermentação alcoólica, além de levantar possíveis alternativas e soluções para o controle microbiológico industrial.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A adoção de antimicrobianos naturais no controle microbiológico da fermentação alcoólica tem avançado significativamente nas últimas décadas. Indústrias do setor sucroenergético, especialmente no Brasil, têm buscado alternativas aos antimicrobianos sintéticos, motivadas por fatores econômicos, ambientais e regulatórios. Os estudos de caso demonstram que o uso racional de compostos naturais pode garantir um ambiente fermentativo estável, com aumento de rendimento e redução de perdas por contaminação bacteriana (Fermentec, 2021).

Um dos casos mais emblemáticos é o de uma usina localizada no interior de São Paulo, que substituiu o uso de antibióticos sintéticos por extrato de própolis padronizado durante um período experimental de três safras. Os resultados indicaram redução significativa na contagem de Lactobacillus spp. spp., sem afetar a viabilidade das leveduras (Saccharomyces cerevisiae cerevisiae) e com ganho médio de 4,2% na produtividade alcoólica (Silva *et al.,* 2020).

Outro estudo realizado pela Universidade Federal de Viçosa avaliou o uso de óleo essencial de orégano em fermentações laboratoriais contaminadas artificialmente com Lactobacillus spp. fermentum. Os resultados mostraram que concentrações entre 0,05% e 0,1% foram suficientes para inibir o crescimento bacteriano, com manutenção da atividade fermentativa das leveduras (Nascimento *et al.,* 2021).

No norte do Paraná, uma cooperativa agroindustrial iniciou testes com taninos vegetais extraídos da casca de acácia-negra (Acacia mearnsii) como alternativa a antibióticos em ciclos de fermentação contínua. Os taninos apresentaram ação bacteriostática, reduzindo a produção de ácidos orgânicos por bactérias contaminantes, além de atuarem na prevenção da formação de biofilmes nas tubulações (Barros *et al.*, 2022).

Além de aplicações diretas, muitas usinas têm investido em pesquisas próprias ou parcerias com universidades e centros de tecnologia. O Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), por exemplo, tem desenvolvido formulações compostas à base de extratos vegetais que combinam ação

antimicrobiana com propriedades antioxidantes, o que auxilia na estabilidade do processo fermentativo em condições adversas (Fermentec, 2021).

Esses estudos de caso demonstram que os antimicrobianos naturais, quando corretamente aplicados, não apenas substituem os sintéticos com eficiência, mas também podem agregar vantagens competitivas ao processo produtivo.

A produção de etanol, essencial para a matriz energética brasileira, enfrenta desafios recorrentes relacionados à contaminação bacteriana durante a fermentação alcoólica. Tradicionalmente, esse problema tem sido combatido com o uso de antimicrobianos sintéticos. No entanto, como demonstrado neste trabalho, tais práticas trazem sérias limitações (Batista & Francisqueti, 2016; Alcides, 2018).

Nesse contexto, os antimicrobianos naturais surgem como alternativas promissoras, combinando eficácia antimicrobiana com sustentabilidade ambiental. Compostos como óleos essenciais, taninos, fenólicos e bacteriocinas têm demonstrado capacidade de controlar bactérias contaminantes sem afetar o desempenho das leveduras (Silva *et al.,* 2020; Barros *et al.*, 2022; Fermentec, 2021).

Apesar dos avanços, ainda existem desafios a serem superados para a ampla adoção desses agentes naturais. Para que sua aplicação se torne viável, é fundamental que haja investimentos em pesquisa e tecnologias de extração e caracterização (Nascimento *et al.*, 2021). É necessário também que as usinas invistam em programas de monitoramento microbiológico contínuo e capacitação técnica. A integração entre ciência, indústria e políticas públicas pode acelerar a transição para processos mais limpos e sustentáveis.

O uso de antimicrobianos naturais não é apenas uma solução técnica, mas também uma resposta às demandas por responsabilidade ambiental, segurança alimentar e inovação no setor sucroenergético. Os dados indicam que o uso de compostos naturais apresenta desempenho eficaz na redução de contaminantes, com benefícios adicionais como menor geração de resíduos e maior aceitação ambiental.

A seguir, são apresentados resultados comparativos em formato será tabelado, com destaque para o desempenho de extratos como o de própolis frente às bactérias do gênero *Lactobacillus spp. spp.*, principais contaminantes do processo fermentativo.

Análise Comparativa entre Microbianos Naturais e Sintéticos

A escolha entre antimicrobianos naturais e sintéticos no controle de contaminações na produção de etanol envolve múltiplos fatores. Os antimicrobianos sintéticos têm eficácia comprovada contra uma variedade de microrganismos, porém tem como desvantagem a contaminação, podem impactar em bactérias que não são o alvo. Já os antimicrobianos naturais combatem as bactérias com maior segurança, sem deixar vestígios, mantendo inalterada a sua qualidade.

A seguir, apresenta-se uma análise comparativa com base em aspectos-chave.

Tabela – 1 Comparativo entre antimicrobianos naturais e sintéticos

Aspecto	**Naturais**	**Sintéticos**
Eficácia antimicrobiana	Alta a moderada	Alta
Risco de resistência bacteriana	Baixo	Elevado
Impacto ambiental	Reduzido	Significativo
Custo-benefício	Variável	Alto a médio
Toxicidade residual	Mínima	Moderada a alta
Origem	Renovável	Industrial

Fonte: Adaptado de Díaz Pineda *et al.* (2020).

De acordo com Lopes (2021), os antimicrobianos naturais, apesar de sua variabilidade em eficácia, apresentam-se como alternativa viável e sustentável ao controle microbiológico, sobretudo em sistemas que priorizam a ecoeficiência e a redução de resíduos químicos. Por outro lado, os antimicrobianos sintéticos oferecem ação rápida e direcionada, sendo mais indicados em casos de contaminações severas e pontuais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de antimicrobianos naturais configura-se como uma alternativa viável, sustentável e eficiente no controle de bactérias contaminantes na produção de etanol. Além de minimizar os impactos ambientais, tais compostos contribuem para a segurança do processo industrial e a redução de resíduos químicos. O incentivo à pesquisa e à aplicação desses agentes naturais pode representar um avanço significativo rumo a uma bioindústria mais limpa e responsável.

A utilização de antimicrobianos naturais na produção de etanol é uma alternativa promissora, que alia sustentabilidade, eficácia e viabilidade econômica. Apesar de desafios como padronização de extratos e controle de dosagem, os resultados obtidos em pesquisas e aplicações práticas reforçam o potencial dessas substâncias no setor sucroalcooleiro.

A partir da revisão bibliográfica realizada, constata-se que o uso de antimicrobianos nas fermentações alcoólicas desempenha papel crucial no controle de contaminações bacterianas, especialmente por bactérias láticas, que comprometem a produtividade e a eficiência do processo fermentativo. Entretanto, a utilização contínua desses compostos demanda atenção, principalmente no que tange ao risco de desenvolvimento de cepas bacterianas resistentes e à presença de resíduos nos subprodutos da fermentação. Tais aspectos impõem a necessidade de práticas mais sustentáveis e criteriosas, que envolvam tanto a avaliação rigorosa das condições sanitárias do processo quanto a busca por alternativas antimicrobianas menos agressivas e mais específicas.

Dessa forma, torna-se evidente a importância de novas investigações voltadas para o aprimoramento de métodos de controle microbiológico na produção de etanol, de modo a conciliar eficiência industrial, segurança ambiental e responsabilidade social.

A adoção de práticas integradas, como o uso de leveduras selecionadas, a aplicação de biocidas naturais e a melhoria das condições operacionais, surge como um caminho promissor para o fortalecimento do setor sucroalcooleiro brasileiro

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). Manuais de microbiologia clínica. Brasília: Anvisa, 2021. Disponível em: https://www.gov.br/anvisa/pt-br/centraisdeconteudo/publicacoes/servicosdesaude/manuais/manuais-de-microbiologia-clinica. Acesso em: 22 maio 2025.

ALCIDES, N. C. C. *Uso de antimicrobianos no controle da contaminação bacteriana na fermentação alcoólica*. 2018. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP).

ASSIS, L. M. *et al.* Controle microbiológico na indústria sucroalcooleira. *Revista Brasileira de Biotecnologia,* v. 10, n. 2, p. 23-35, 2022.

BARROS, A. L. *et al.* Eficácia de compostos naturais no controle de contaminações bacterianas. *Revista Brasileira de Agroenergia*, v. 32, n. 2, p. 67-80, 2022.

BATISTA, A. R.; FRANCISQUETI, E. L. *Estudo da ação de antimicrobianos químicos frente a bactérias contaminantes de mosto na produção de etanol*. 2016. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP).

BILLERBECK, G. M.; LAJOLO, F. M. Compostos naturais como antimicrobianos. *Revista de Biotecnologia,* v. 32, n. 2, p. 45-52, 2016.

BIOBLOG. Diferenças entre o combustível fóssil e o biocombustível. Disponível em: http://www.bioblog.com.br/diferencas-entre-o-combustivel-fossil-e-o-biocombustivel. Acesso em: 07 abr. 2025.

BRESSANI, R.; LADEIRA, L**.** Controle microbiológico em fermentações industriais. *Revista Brasileira de Agroenergia,* v. 29, n. 4, 2019.

ERNANDES, F. M. P. G.; GARCIA-CRUZ, C. H. Zymomonas mobilis: um microrganismo promissor para a fermentação alcoólica. *Semina:* Ciências Agrárias, Londrina, v. 30, n. 4, p. 889–908.

FERMENTEC. Antimicrobianos naturais: controle da contaminação bacteriana sem impacto ambiental. 2021.

FERREIRA, J. A.; LIMA, P. R. Antimicrobianos naturais na fermentação alcoólica: desafios e perspectivas. *Bioenergia em Foco*, v. 5, n. 1, p. 44-58, 2021.

FREITAS, D. F.; ROMANO, C. C. Contaminação bacteriana na fermentação alcoólica. *Revista Brasileira de Microbiologia,* v. 46, n. 1, p. 23-30, 2015.

GARCIA, R. A. *Avaliação da floculação em processos fermentativos com Saccharomyces cerevisiae*. 2000. Dissertação (Mestrado em Microbiologia) – Universidade de São Paulo, São Paulo.

GIL, A. C. *Como elaborar projetos de pesquisa*. São Paulo: Atlas, 2008.

LOPES, M. P. Aplicação de extratos vegetais como biocidas naturais. *Revista Científica de Engenharia Bioquímica*, 2021.

MOREIRA, V. S. *Alternativas naturais ao controle de bactérias em destilarias*. 2020. Dissertação (Mestrado em Microbiologia) – Universidade de São Paulo, São Paulo.

NASCIMENTO, V. S. *et al.* Aplicação de antimicrobianos naturais na fermentação alcoólica. *Revista de Biotecnologia,* v. 15, n. 3, p. 45-58, 2021.

SILVA, A. M. *et al.* Parâmetros críticos da fermentação alcoólica. *Anais da Semana de Biotecnologia*, 2018.

SILVA, M. F. *Compostos bioativos de origem vegetal com potencial antimicrobiano*. São Paulo: Ed. Ciência Viva, 2020.

1 COLI, Dirlei Augusto de Oliveira. Graduação em Tecnologia em Biocombustíveis pela FATEC Piracicaba Dep. "Roque Trevisan" – Centro Estadual de Educação Tecnológica "Paula Souza" – CEETEPS.

2 PRADA, Marcos Henrique. Experiência de 21 anos em Produção e Manutenção de Indústria Sucroalcooleira no Processo de Produção de Etanol e Espcecilista em Fermentação Alcoólica, Professor da FATEP (Faculdade de Teconologia de Piracicaba, dos curso de Produção industrial e Sucroalcooleira) e Professor do ISCA (Instituto Superior de Ciências Aplicadas) no curso de Biocombustíveis e Açúcar e Álcool até 2014. Atualmente Professor Assistente I da FATEC (Faculdade de Tecnologia de Piracicaba) no curso de Biocombustíveis como Especialista em Manutenção Industrial e no Curso Superior de Agroindústria/Alimentos como professor de Fermentações Industriais; graduado em Licenciatura em Ciências Biológicas pela Universidade Metodista de Piracicaba (2004). Tenho experiência de 21 anos com ênfase em Manutenção Industrial na indústria Sucroalcooleira.