POTENCIAL FERMENTATIVO DE MICRORGANISMOS ENDOFÍTICOS EM MATRIZES FRUTADAS: EFICIÊNCIA ALCOÓLICA E SUSTENTABILIDADE NA PRODUÇÃO DE BEBIDAS ALTERNATIVAS

Renato Faria de Abreu Freire, Gustavo Matheus Laureano da Silva, Cristina del Valle Araos Graterol, Vitor Martins de Andrade.

Centro Universitário Internacional - UNINTER, Rua Santa Clara, 417, Vila Adyana - 12243-630 - São José dos Campos - SP, Brasil.
fariafreire.rf@gmail.com, gustavomathlsilva@gmail.com, lic.cristina.araos@gmail.com, vitor.andrade@unifesp.br

Resumo
O presente estudo avaliou a capacidade fermentativa e de produção alcoólica de microrganismos endofíticos nativos presentes em frutas tropicais como jabuticaba e acerola, além do mel. Através da montagem de mostos com diferentes formulações, observou-se que as leveduras selvagens conduziram a fermentação de forma eficiente, alcançando teores alcoólicos entre 10% e 24% após a destilação. Os resultados demonstraram que o controle do pH ácido (entre 3 e 4) foi fundamental para a estabilidade microbiológica, preservação da cor e proteção contra oxidações. Ademais, constatou-se que os destilados preservaram as notas sensoriais de sabor e aroma originais das matérias-primas. Concluímos que o uso de microrganismos endofíticos em frutos subutilizados representa uma alternativa biotecnológica viável e sustentável para a valorização da biodiversidade regional e inovação no setor de bebidas.

Palavras-chave: Microrganismos endofíticos. Fermentação alcoólica. Frutas tropicais. Teor alcoólico. Sustentabilidade.

Área do Conhecimento: Ciências Agrárias – Agroecologia

Introdução

Os microrganismos endofíticos, que são fungos e leveduras que habitam naturalmente e de forma harmoniosa o interior de sementes e frutas, são os agentes biológicos responsáveis pela fermentação alcoólica espontânea, processo historicamente aproveitado por civilizações antigas para a criação de bebidas. Com o avanço da biotecnologia, a indústria padronizou a utilização da levedura *Saccharomyces cerevisiae* devido à sua domesticação, eficiência e previsibilidade (De Freitas Teixeira, 2015). Embora tenha garantido escala comercial, essa padronização acabou marginalizando uma rica biodiversidade de outros organismos endofíticos, como as leveduras não-*Saccharomyces*, que também possuem excelente potencial fermentativo e podem agregar complexidade aromática única às bebidas (Kęsa et al., 2021).

Atualmente, a ciência busca resgatar esses micro-organismos alternativos para trazer inovação e sustentabilidade ao setor. Pesquisas comprovam que a fermentação endofítica permite a criação de vinhos artesanais e industriais a partir de frutas tropicais subutilizadas, como jabuticaba, gabiroba e cupuaçu, promovendo o desenvolvimento regional (Motta, 2019) e evitando o desperdício de safras (Duarte et al., 2010). Além disso, esses organismos nativos demonstram a capacidade de utilizar resíduos agroindustriais como substrato, transformando materiais que seriam descartados em compostos voláteis florais e frutados de alto valor agregado (Leite Neta et al., 2024).

A exploração de microrganismos endofíticos isolados de frutos tropicais, como a acerola e a jabuticaba, desponta como uma estratégia biotecnológica inovadora para a produção de bebidas fermentadas alternativas, como o hidromel. Enquanto a microbiota nativa da jabuticaba já demonstra alto potencial para aportar complexidade aromática e notas sensoriais únicas em processos fermentativos artesanais e industriais (Duarte et al., 2010; Motta, 2019), o isolamento de leveduras selvagens de frutos como a acerola oferece microrganismos adaptados a ambientes ácidos e capazes de biosintetizar compostos voláteis cítricos e frutados de alto valor (Leite Neta et al., 2024). Quando

esses agentes biológicos não convencionais (não-*Saccharomyces*) são aplicados à fermentação do mosto de mel, estes muitas vezes em conjunto com a própria fruta, caracterizando o melomel, eles rompem a padronização das leveduras comerciais tradicionais (De Freitas Teixeira, 2015), conferindo à bebida uma identidade sensorial exclusiva, valorizando a biodiversidade regional e potencializando a funcionalidade bioativa do produto (Keşa et al., 2021).

A capacidade de produção e a tolerância ao etanol por microrganismos endofíticos na elaboração de bebidas tropicais, como hidroméis (meloméis) e vinhos de frutas, demonstram uma viabilidade tecnológica comparável à das cepas industriais tradicionais. Estudos de quantificação físico-química apontam que leveduras selvagens aplicadas a esses mostos conseguem conduzir a fermentação de forma eficiente, atingindo concentrações alcoólicas que variam tipicamente entre 10% e 14% (v/v), dependendo da carga inicial de açúcares. O estudo de referência conduzido por Duarte et al. (2010), ao caracterizar vinhos de cacau, cupuaçu, gabiroba e jabuticaba, comprovou que cepas nativas apresentam alta tolerância ao estresse alcoólico, entregando rendimentos comerciais robustos. Em análises específicas, processos fermentativos utilizando substratos de acerola já registraram teores de álcool próximos a 11,62% (v/v) (UFOPA, 2021), enquanto fermentados e vinhos elaborados a partir da jabuticaba frequentemente apresentam quantificações na faixa de 12,3% a 12,56% de teor alcoólico (Silva, 2020; Soares et al., 2021). Esses índices confirmam que a microbiota endofítica possui plena capacidade de converter os açúcares disponíveis e garantir a estabilidade e o grau alcoólico exigidos pelo mercado de bebidas. No presente trabalho avaliamos a capacidade fermentativa e da produção alcoólica de microrganismos endofíticos das frutas de jabuticaba, acerola e do mel, produzidos no Sítio Andirá, localizado na estrada municipal João Vicente de Faria, 901, bairro do Itapeva, na cidade de Paraibuna, São Paulo, Brasil.

Metodologia

As frutas foram coletadas higienizadas em água corrente, as frutas foram utilizadas inteiras sem processo de maceração, os frascos usados para fermentação foram higienizados com lavagens com água corrente com álcool 70%, os mostos utilizados foram vedados nos frascos e deixados fermentando em temperatura ambiente por 3 meses, os seguintes mostos foram fermentados, mosto 1 (60% de acerola + 40% de açúcar), mosto 2 (80% jabuticaba + 20% de mel), mosto 3 (50% jabuticaba + 50% açúcar). Para o hidromel foram utilizados como starter 50g de gengibre + 50g açúcar mascavo, após uma semana, adicionou-se mais 25g de açúcar mascavo, este starter foi adicionado em uma mistura de 25% de mel + 75% de água purificada, e fermentado por 6 meses em temperatura ambiente. Após o tempo de fermentação as amostras foram destiladas e tiveram seu grau alcoólico e pH determinados, por alcoômetro e fitas de pH, respectivamente.

Resultados

Observando a imagem dos tubos de ensaio, a composição dos mostos e provas sensoriais, podemos avaliar as propriedades visuais e sensoriais das bebidas logo após o término da fermentação. Para M1 (Acerola + Açúcar), observa-se uma coloração amarelo-alaranjada turva e vibrante, sensorialmente, a bebida conota com alta acidez e frescor, notas cítricas intensas características da acerola e um perfil frutado marcante, equilibrado pelo açúcar adicionado. Para M2 (Jabuticaba + Mel), observa-se uma cor vermelho-púrpura translúcida e brilhante, essa mistura (que pode ser classificada como um *melomel*) apresentou grande complexidade, com aromas florais e adocicados provenientes do mel, combinados com a adstringência (taninos da casca) e o frutado escuro da jabuticaba. Já para M3 (Jabuticaba + Açúcar), destaca-se por uma coloração púrpura muito escura, quase negra e densa, devido à maior concentração de açúcar puro e alta carga de jabuticaba, sensorialmente foi sentido um sabor mais encorpado, intensamente frutado, com forte extração de antocianinas (pigmentos) e taninos.

Com relação ao HM (Hidromel com Starter de Gengibre), podemos observar apresenta uma cor âmbar/dourada escurecida, o uso de açúcar mascavo e gengibre no *starter*, somado ao mel, foi capaz de conferir a este hidromel notas terrosas, de melaço/caramelo, e um final levemente picante e condimentado.

Figura 1 – Mostos após fermentação, M1 (Acerola + Açúcar), M2 (Jabuticaba + Mel), M3 (Jabuticaba + Açúcar) e HM (Hidromel com Starter de Gengibre).



Fonte: elaborado pelo próprio autor.

Com relação as características pós-destilação e classificação, as bebidas apresentaram os seguintes perfis, conforme a Tabela 1. Vale ressaltar que, mesmo passando pelo processo de destilação, os destilados mantiveram as notas de sabor e aroma originais das frutas e especiarias utilizadas. Com um teor alcoólico de 24%, 10%, 20% e 10% para as amostras M1, M2, M3 e HC, respectivamente, podemos classificar tecnicamente e legalmente as bebidas obtidas no experimento recorrendo à legislação brasileira que padroniza as bebidas (Decreto nº 6.871/2009 do MAPA). Assim as classificações sugeridas são de Bebida Alcoólica Mista para M1, pois um teor de 24% é alto para um fermentado natural, indicando a concentração da destilação, enquadrando-se como um destilado leve ou licoroso. Para M2 sugerimos o Fermentado de Fruta (Melomel), pois o teor de 10% é brando e típico de vinhos e hidroméis. Como destilado, é considerado de graduação muito baixa. Com relação a M3, destaca-se a classe de Vinho Licoroso, pois atingindo 20%, entra na categoria de bebidas fortificadas ou destilados de entrada. Para o HC, Hidromel tradicional, assim como o M2, 10% é o teor clássico de uma bebida fermentada (hidromel), mantendo-se leve mesmo após o processamento.

Tabela 1 – Relação entre amostras, teor alcoólico e ph das bebidas fermentadas.

Amostra	Fermentado	Teor alcoólico	pH do fermentado	pH do destilado
M1	Acerola + Açucar	24%	4	5
M2	Jabuticaba + Mel	10%	3	4
M3	Jabuticaba + Açucar	20%	4	5
HM	Água + Mel + Starter	10%	4	5

Fonte: elaborado pelo próprio autor.

Outro ponto importante nas bebidas é o parâmetro do pH no mosto fermentado. Nas amostras (com pH variando de 3 a 4), esse ambiente ácido foi essencial durante os 3 a 6 meses de fermentação. Ele inibiu o crescimento de bactérias indesejadas, protegeu a bebida contra a oxidação e, especificamente nas amostras M2 e M3, manteve a estabilidade e a vivacidade da cor púrpura e vermelha das antocianinas da jabuticaba.

Observando a tabela, nota-se que todas as amostras tiveram um aumento de 1 ponto no pH após a destilação (de 4 para 5, e de 3 para 4). Essa alteração ocorre por um motivo físico-químico claro, a destilação é um processo de separação por evaporação. Quando o mosto é aquecido, os compostos voláteis (como o etanol, a água e os ésteres aromáticos) evaporam e são condensados para formar o destilado final. No entanto, os ácidos orgânicos (como o ácido cítrico da acerola e da jabuticaba), que são moléculas pesadas e não voláteis, não evaporam. Eles ficam retidos na "cauda" ou no resíduo.

Como o destilado carrega o álcool e os aromas, mas deixa para trás a maior parte da carga ácida fixa, a bebida resultante torna-se menos ácida, o que reflete diretamente no aumento do valor do pH (tornando-se mais próximo do neutro).

Discussão

Os resultados obtidos demonstram de forma clara a alta eficácia dos microrganismos endofíticos na condução da fermentação alcoólica e na produção de etanol em matrizes tropicais e de mel, alcançando teores alcoólicos de 10% a 24%. Essa capacidade fermentativa robusta corrobora os achados da literatura de que leveduras selvagens nativas de frutas possuem excelente adaptação e tolerância ao estresse alcoólico, entregando rendimentos comparáveis aos de cepas industriais tradicionais (Duarte et al., 2010). A presença desses agentes microbianos nas amostras analisadas reforça o potencial biotecnológico desses endófitos para a valorização de frutos regionais e subutilizados, superando a dependência estrita de linhagens comerciais padronizadas (De Freitas Teixeira, 2015; Keșa et al., 2021).

A variação nos teores alcoólicos entre as amostras, com destaque para o Mosto 1 (acerola + açúcar), que atingiu 24%, e o Mosto 3 (jabuticaba + açúcar), que chegou a 20%, em contraste com os 10% observados no Mosto 2 (jabuticaba + mel) e no Hidromel (HM), pode ser explicada pelas diferentes cargas iniciais de substrato e pela formulação de cada mosto. As amostras M1 e M3 continham adições elevadas de açúcar (40% e 50%, respectivamente), o que forneceu uma disponibilidade massiva de açúcares fermentescíveis para a conversão microbiana e elevou a densidade alcoólica final após a destilação. Em contrapartida, os mostos formulados com mel (M2 e HM) operaram sob concentrações mais brandas ou restritas de açúcares iniciais e maior complexidade de carboidratos, resultando em teores alcoólicos tradicionais de fermentados na faixa de 10%, patamar alinhado ao rendimento clássico de hidroméis e fermentados de frutas leves (Duarte et al., 2010).

Ademais, a eficiência desses microrganismos endofíticos esteve diretamente atrelada ao controle do pH do meio, que oscilou entre 3 e 4 durante a fermentação. Esse ambiente ácido mostrou-se imprescindível não apenas para proteger as bebidas contra a proliferação de micro-organismos deteriorantes e evitar oxidações, mas também para garantir a estabilidade das antocianinas, preservando as características sensoriais e as notas originais de sabor e aroma que se mantiveram mesmo após a destilação. Esses dados consolidam o papel da microbiota endofítica como uma alternativa viável, segura e altamente funcional para o desenvolvimento de novas bebidas fermentadas e destiladas com identidade regional e alto valor agregado.

Conclusão

Este trabalho evidenciou a alta eficácia dos microrganismos endofíticos na fermentação alcoólica natural de frutas tropicais e substratos açucarados, alcançando teores alcoólicos de 10% a 24% com rendimentos comparáveis aos de cepas industriais tradicionais. A manutenção de um pH ácido revelou-se fundamental para a estabilidade microbiológica, a preservação de pigmentos e a fixação das propriedades sensoriais, características que, somadas à retenção de notas aromáticas originais mesmo após a destilação, comprovam que o aproveitamento da microbiota nativa e de frutos subutilizados agrega alto valor comercial, promove a sustentabilidade e valoriza a biodiversidade regional.

Referências

BRASIL. **Decreto nº 6.871, de 4 de junho de 2009**. Regulamenta a Lei nº 8.918, de 14 de julho de 1994, que dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 5 jun. 2009.

DUARTE, W. F. et al. Characterization of different fruit wines made from cacao, cupuassu, gabiroba, jaboticaba and umbu. **LWT - Food Science and Technology**, v. 43, n. 10, p. 1564-1572, 2010.
KEȘA, A.-L. et al. Strategies to improve the potential functionality of fruit-based fermented beverages. **Plants**, v. 10, n. 11, p. 2263, 2021.

LEITE NETA, M. T. S. et al. Potential of endophytic microorganisms in fermentative processes using agro-industrial wastes as substrates. **Fermentation**, v. 10, n. 8, p. 430, 2024.
MOTTA, D. **Vinho artesanal de jabuticaba**: uma alternativa para o desenvolvimento do Noroeste Fluminense. Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ), 2019. Disponível em: https://siteantigo.faperj.br/?id=3742.2.1.

SILVA, Y. M. G. dos S. **Estudo de bioprocessos para o aproveitamento de resíduos agroindustriais**. 2020. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) — Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2020.

SOARES, J. d'Arc et al. Elaboração e caracterização de fermentado alcoólico de jabuticaba (*Plinia jaboticaba*) produzido artesanalmente. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 4, e53210414247, 2021.

TEIXEIRA, J. de F. **A levedura *Saccharomyces cerevisiae***: caracterização do gênero, domesticação e importância na composição de vinhos. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) — Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ (UFOPA). **Anais do XIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UFOPA**. Santarém: UFOPA, 2021.