



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS



REGINA GABRIELA SILVA

PARÂMETROS MICROBIOLÓGICOS, FÍSICO-QUÍMICOS E DE
ACONDICIONAMENTO ENVOLVIDOS NO ENVELHECIMENTO DA CACHAÇA:
UMA REVISÃO

Patos de Minas

2025

REGINA GABRIELA SILVA

PARÂMETROS MICROBIOLÓGICOS, FÍSICO-QUÍMICOS E DE
ACONDICIONAMENTO ENVOLVIDOS NO ENVELHECIMENTO DA CACHAÇA:
UMA REVISÃO

Projeto final de curso apresentado à Faculdade de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Alimentos.

Orientadora: Dra. Carla Zanella Guidini

Patos de Minas

2025

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

S586 Silva, Regina Gabriela, 1990-
2025 Parâmetros microbiológicos, físico-químicos e de
acondicionamento envolvidos no envelhecimento da cachaça: uma
revisão [recurso eletrônico] / Regina Gabriela Silva. - 2025.

Orientador: Carla Zanella Guidini.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade
Federal de Uberlândia, Graduação em Engenharia de Alimentos.

Modo de acesso: Internet.

Inclui bibliografia.

1. Alimentos - Indústria. I. Guidini, Carla Zanella, 1983-, (Orient.).
II. Universidade Federal de Uberlândia. Graduação em Engenharia
de Alimentos. III. Título.

CDU: 664

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091

Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074

DEDICATÓRIA

À minha querida e amada vó Sebastiana, que partiu durante o período da minha graduação, deixo esta dedicatória a ela, como forma de honrar sua presença eterna em meu coração, carregada de amor e saudade, sua memória me acompanhou em cada conquista e sua força continua a ser inspiração para minha vida.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, fonte de força, luz e esperança em cada instante desta caminhada, foi n'Ele que encontrei coragem nos momentos de dúvida, serenidade nas incertezas e inspiração para seguir em frente.

Aos meus pais, que sempre foram meu porto seguro e minha maior inspiração. A vocês, que me ensinaram que a força nasce nos momentos mais difíceis e que os sonhos se constroem com coragem, paciência e fé. Obrigada por cada palavra de incentivo, por cada abraço que curou meu cansaço e por acreditarem em mim quando eu mesma duvidava, esta conquista é tão minha quanto de vocês, pois carrega o amor e o exemplo que me formaram.

À minha família e amigos, deixo meu mais profundo agradecimento pelo amor incondicional, paciência e incentivo em todos os momentos, cada gesto de apoio e cada palavra de carinho.

À professora Carla Guidini, minha orientadora, registro minha sincera gratidão, sua orientação foi mais do que acadêmica: foi também um exemplo de dedicação, paciência e compromisso com o conhecimento, em cada conselho, cada abraço de 40 segundos, em cada correção e em cada palavra de incentivo, encontrei não apenas direcionamento científico, mas também motivação para acreditar no meu próprio potencial, levarei comigo seus ensinamentos e conselhos sobre a vida como guia para além das páginas deste trabalho.

À Natália, um agradecimento especial, caminhamos lado a lado por muito tempo e, mesmo quando nossos caminhos tomaram direções diferentes, ela nunca deixou de acreditar, torcer e vibrar a cada etapa vencida, sua presença, ainda que em outro lugar, sempre foi sinônimo de incentivo e de lembrança do quanto a amizade e o carinho verdadeiro são capazes de atravessar o tempo e a distância, guardarei para sempre minha gratidão por esse apoio tão significativo.

À Denise, agradeço com carinho e reconhecimento, em cada escuta atenta, em cada orientação e em cada palavra de encorajamento, encontrei acolhimento e força para lidar com os desafios desta caminhada, seu trabalho foi essencial para que eu pudesse manter a serenidade e a clareza necessárias até a conclusão desta etapa.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho, este resultado não é apenas meu, mas também reflexo do apoio, incentivo e carinho que recebi ao longo do caminho.

*O valor de um ideal pode ser medido
pela quantidade de sacrifícios que
você é capaz de fazer por ele. (Golsworthy)*

RESUMO

A cachaça é a bebida destilada típica do Brasil, reconhecida por sua relevância cultural, social e econômica. Entre as etapas de sua produção, o envelhecimento exerce papel central na formação do perfil químico e sensorial, agregando complexidade em aroma, sabor, cor e suavidade, além de valorizar comercialmente o produto. Este trabalho teve como objetivo revisar a literatura dos últimos 25 anos acerca dos parâmetros microbiológicos, físico-químicos e de acondicionamento envolvidos no envelhecimento da cachaça. A análise evidenciou que o controle microbiológico durante a maturação é essencial para evitar contaminações e preservar a qualidade, enquanto as transformações físico-químicas, moduladas pelo tipo de madeira, tempo de contato, volume do recipiente e condições ambientais, definem a composição final da bebida. Madeiras nativas brasileiras, como amburana e bálsamo, apresentam grande potencial para diferenciação sensorial e valorização regional, enquanto espécies tradicionais, como o carvalho, mantêm aceitação consolidada no mercado internacional. Observa-se ainda a aplicação de técnicas inovadoras, como fragmentos de madeira, micro-oxigenação e blends, que complementam o envelhecimento convencional e ampliam possibilidades produtivas, desde que respeitadas as normas legais. Conclui-se que a integração entre manejo técnico, pesquisa científica e valorização cultural constitui elemento-chave para assegurar a qualidade e a competitividade da cachaça nos cenários nacional e internacional.

Palavras-chave: *Aguardente de cana; Maturação em madeira; Compostos voláteis; Envelhecimento em barris.*

ABSTRACT

Cachaça is Brazil's signature distilled beverage, recognized for its cultural, social, and economic significance. Among the stages of its production, aging plays a central role in shaping its chemical and sensory profile, adding complexity to its aroma, flavor, color, and smoothness, in addition to enhancing the product's commercial value. This study aimed to review the literature from the last 25 years on the microbiological, physicochemical, and packaging parameters involved in cachaça aging. The analysis demonstrated that microbiological control during maturation is essential to prevent contamination and preserve quality, while physicochemical transformations, modulated by the type of wood, contact time, container volume, and environmental conditions, define the beverage's final composition. Native Brazilian woods, such as amburana and balsam, have great potential for sensory differentiation and regional appreciation, while traditional species, such as oak, maintain established acceptance in the international market. Innovative techniques such as wood fragments, micro-oxygenation, and blends are also being used, complementing conventional aging and expanding production possibilities, as long as legal regulations are respected. The conclusion is that the integration of technical management, scientific research, and cultural appreciation is key to ensuring the quality and competitiveness of cachaça nationally and internationally.

Keywords: Sugarcane spirit; Maturation in wood; Volatile compounds; Aging in barrels.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
2	OBJETIVOS.....	2
2.1	Objetivo geral.....	2
2.2	Objetivos específicos.....	2
3	METODOLOGIA.....	5
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
4.1	Legislação do processamento da cachaça.....	5
4.2	Processo produtivo	6
4.2.1	<i>Upstream process</i>	6
4.2.2	<i>Fermentação</i>	8
4.2.3	<i>Downstream processing</i>	9
4.2.4	<i>Armazenamento</i>	13
4.3	Envelhecimento.....	13
4.3.1	<i>Parâmetros microbiológicos no envelhecimento</i>	26
4.3.2	<i>Parâmetros físico-químicos no envelhecimento</i>	29
4.4	Técnicas e materiais de acondicionamento	34
4.5	Considerações finais da revisão.....	35
5	CONCLUSÃO.....	36
	REFERÊNCIAS	38

1 INTRODUÇÃO

A produção de cachaça é uma atividade difundida em todas as regiões do Brasil e, ao longo dos últimos quatro séculos, consolidou-se como um elemento representativo da cultura nacional. Em especial, o estado de Minas Gerais desempenhou papel central na preservação de saberes tradicionais e técnicas artesanais, influenciando a identidade da bebida. Esse legado cultural inspira os produtores a aperfeiçoar seus processos, conferindo a cada alambique características singulares que resultam em cachaças com perfis sensoriais únicos (Filho; Regina, 2020).

A trajetória da cachaça no Brasil tem início com a introdução da cana-de-açúcar, trazida para o território brasileiro nos primeiros anos da colonização. Desde então, a cultura da cana desempenhou um papel relevante na formação da economia do país, sendo um dos produtos mais expressivos e comercializados durante o período colonial (Rodrigues; Ross, 2020).

Segundo o Instituto Brasileiro de Cachaça – IBRAC, a cachaça desempenha um papel significativo na economia brasileira, contribuindo para a geração de empregos e renda, especialmente entre os pequenos produtores rurais, vale destacar que essa atividade está em constante crescimento no país. Ela é a bebida destilada mais consumida no Brasil apresentando grande potencial de expansão nos mercados internacionais.

Cachaça é a denominação típica e exclusiva da aguardente de cana produzida no Brasil, com graduação alcoólica de 38,0 a 48,0% (v/v), a 20,0°C (trinta e oito a quarenta e oito por cento em volume, a vinte graus Celsius), obtida pela destilação do mosto fermentado do caldo de cana-de-açúcar com características sensoriais peculiares, podendo ser adicionada de açúcares (Brasil, 2022).

Reconhecida não apenas por seu valor econômico, mas também por sua importância cultural, a cachaça passou nas últimas décadas por um processo de valorização que envolve o aprimoramento de suas etapas produtivas, incluindo o envelhecimento (Santos, 2021). Esse processo tem por finalidade desenvolver características sensoriais mais complexas e agradáveis, além de contribuir para a estabilidade e qualidade do produto (Briceno *et al.*, 2025).

No decorrer do envelhecimento, diversas transformações microbiológicas e físico-químicas ocorrem na composição da cachaça, principalmente em grupos de compostos como álcoois superiores, ésteres, fenóis e ácidos orgânicos, os quais afetam diretamente o aroma, sabor e equilíbrio da bebida (Silvello; Alcarde, 2020). Compreender esses aspectos é essencial

para garantir padrões de qualidade e atender às exigências tanto do mercado consumidor quanto da legislação vigente (De Almeida *et al.*, 2025).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo estudar os principais fatores microbiológicos, físico-químicos e de acondicionamento envolvidos no processo de envelhecimento da cachaça, buscando evidenciar suas contribuições para a qualidade e identidade da bebida.

2.2 Objetivos específicos

- Investigar os diferentes métodos de acondicionamento utilizados na maturação da cachaça, com foco nos tipos de madeira, tempo de envelhecimento e condições de armazenamento;
- Relacionar os fatores microbiológicos, físico-químicos e de acondicionamento ao perfil sensorial e à qualidade final da bebida, destacando os principais pontos de influência.

PARÂMETROS MICROBIOLÓGICOS, FÍSICO-QUÍMICOS E DE ACONDICIONAMENTO ENVOLVIDOS NO ENVELHECIMENTO DA CACHAÇA: UMA REVISÃO

Regina Gabriela Silva'

Carla Zanella Guidini''

Introdução

As bebidas destiladas, como uísque, rum, vodka, tequila, gim, conhaque e cachaça, representam uma categoria diversificada e amplamente apreciada no cenário mundial, com identidade própria, resultante de matérias-primas distintas, métodos específicos de fermentação e destilação, bem como características culturais e geográficas. Nos últimos anos, observou-se um crescimento significativo no consumo global de destilados, impulsionado por fatores como a valorização de produtos artesanais, o aumento da renda em países emergentes e as tendências de mixologia e coquetelaria. Dados da *International Wine & Spirit Research* - IWSR (2024) indicam que, entre 2023 e 2028, as vendas de bebidas alcoólicas devem crescer a uma taxa anual composta (CAGR) de 1%, com destaque para mercados como Índia, China e Estados Unidos. Além disso, apesar de uma queda no volume total de bebidas alcoólicas em 2023, categorias como os destilados prontos para beber *Ready to Drink – RTD's* apresentaram crescimento de 8%, evidenciando a adaptação da indústria às preferências dos consumidores (Euromonitor, 2024).

A cachaça é uma bebida destilada tipicamente brasileira, originada no período colonial a partir da fermentação e destilação do caldo de cana-de-açúcar. Em 2023, o Brasil produziu aproximadamente 226 milhões de litros de cachaça, com destaque para a região Sudeste, que respondeu por cerca de 177 milhões de litros. A bebida possui teor alcoólico regulamentado entre 38% e 48% em volume, conforme o padrão de identidade e qualidade estabelecido pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) (Brasil, 2022). No mercado interno, a cachaça é amplamente consumida, sendo a terceira bebida alcoólica mais consumida no país. Em relação às exportações, em 2023, o Brasil exportou 8.618.832 litros de cachaça, representando uma redução de 7,5% no volume em comparação ao ano anterior. No entanto, o valor das exportações aumentou 0,7%, alcançando US\$ 20.242.453. Os principais destinos da cachaça brasileira incluem Estados Unidos, Alemanha, Portugal, França e Japão, que apresentam crescente interesse pela bebida. Estudos científicos também destacam a importância

da cachaça como patrimônio cultural e produto com potencial de valorização econômica, ressaltando a diversidade de processos produtivos e o impacto socioeconômico da cadeia produtiva (Filho *et al.*, 2024).

O principal microrganismo utilizado na produção da cachaça é a levedura *Saccharomyces cerevisiae*, amplamente reconhecida por sua elevada eficiência fermentativa, capacidade de tolerância a altos teores de etanol e contribuição sensorial positiva ao produto final. Para que o processo fermentativo ocorra de forma adequada, é essencial o controle de variáveis ambientais como pH e temperatura. O pH ideal encontra-se entre 4,0 e 5,0, faixa que favorece a atividade da levedura e inibe microrganismos indesejáveis, como bactérias lácticas e acéticas. A temperatura de fermentação deve ser mantida entre 28 °C e 32 °C; desvios significativos podem comprometer o metabolismo celular, o rendimento alcoólico e a formação de compostos indesejáveis (Bortoletto *et al.*, 2015). Após a destilação, a cachaça pode ser envelhecida em tonéis de madeira, como carvalho, amburana, bálsamo ou jequitibá, processo que promove reações químicas e oxidativas, além da migração de compostos da madeira para a bebida. Durante o envelhecimento, ocorre a incorporação de taninos, aldeídos, lactonas e ácidos fenólicos, que suavizam a bebida e enriquecem seu perfil sensorial com notas amadeiradas, cor dourada e maior complexidade aromática (Zacaroni *et al.*, 2014).

O envelhecimento é uma das etapas mais valorizadas na produção da cachaça, sendo determinante para o aprimoramento de suas características sensoriais e para sua diferenciação no mercado. Durante esse processo, que ocorre em tonéis de madeira, a bebida sofre reações físico-químicas e absorve compostos como taninos, fenóis, ácidos e aldeídos, que suavizam a agressividade do etanol e conferem complexidade ao aroma e ao sabor (Castro, 2023). Essas alterações tornam a cachaça envelhecida um produto mais atrativo, especialmente no segmento premium, contribuindo para o aumento de seu valor agregado e destacando-a tanto no mercado interno quanto nas exportações (Jesus; Rocha; Pesente, 2025). Cachaças envelhecidas em madeiras brasileiras, por exemplo, têm conquistado espaço em concursos internacionais, o que reforça a valorização do processo de maturação como diferencial competitivo (Mapa Da Cachaça, 2014). Dessa forma, o objetivo deste artigo foi realizar uma revisão bibliográfica sobre os principais parâmetros microbiológicos, físico-químicos e de acondicionamento envolvidos no envelhecimento da cachaça, analisando de que forma tais fatores impactam na qualidade final e na valorização comercial da bebida.

3 METODOLOGIA

A pesquisa caracterizou-se como descritiva, analisando parâmetros microbiológicos, físico-químicos e de acondicionamento envolvidos no envelhecimento da cachaça. O estudo foi classificado como pesquisa aplicada, visando estabelecer a relação entre os parâmetros de envelhecimento com a qualidade e o perfil e atributos sensoriais da cachaça. A abordagem metodológica adotada foi qualitativa, fundamentada em revisão de literatura de caráter bibliográfico. A base de dados utilizada foi o *ScienceDirect* (<https://www.sciencedirect.com/>), a base de dados *Scielo* (<https://scielo.br>), a base de dados do Portal Capes (<https://www-periodicos-capes-gov-br.ez34.periodicos.capes.gov.br/>) e a base de dados da EMBRAPA (<https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/>). As palavras-chaves usadas para a pesquisa foram: *Sugarcane spirit*; *Maturation in wood*; *Volatile compounds*; *Aging in barrels*.

Foi aplicado filtro para “Artigo” e “Artigos de revisão”. Selecionou-se artigos publicados nos últimos 25 anos, começando em 2000. Nas áreas de pesquisas foram escolhidas: “tecnologia de ciências dos alimentos”, “engenharia”, “química”, “biotecnologia e biologia aplicada”, e “ciência tecnologia outros tópicos”.

Além dos artigos encontrados nos buscadores gerais *ResearchGate* e *Google acadêmico*, foram utilizados também como base para pesquisa, livros na área de química, e ciências para complementar conceitos sobre envelhecimento de cachaça.

Após a seleção, os materiais foram lidos integralmente e organizados conforme os três eixos temáticos centrais do estudo: (i) aspectos microbiológicos, (ii) parâmetros físico-químicos e (iii) práticas de acondicionamento. Os dados obtidos foram analisados de forma crítica e comparativa, permitindo a identificação de tendências, lacunas e contribuições relevantes para a compreensão do tema.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Legislação do processamento da cachaça

A Portaria do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, MAPA, nº 539, de 26 de dezembro de 2022, estabelece os padrões de identidade e qualidade da aguardente de cana e da cachaça. A Cachaça é a denominação típica e exclusiva da aguardente de cana produzida no Brasil, com graduação alcoólica de 38,0 a 48,0% (v/v), a 20,0°C (trinta e oito a quarenta e

oito por cento em volume, a vinte graus Celsius), obtida pela destilação do mosto fermentado do caldo de cana-de-açúcar com características sensoriais peculiares, podendo ser adicionada de açúcares” (Brasil, 2022).

A cachaça é tecnicamente classificada, segundo o método de destilação empregado, como cachaça de alambique, quando elaborada exclusivamente em alambique de cobre a partir da destilação do mosto fermentado do caldo de cana-de-açúcar cru, ou simplesmente como cachaça, quando obtida por outros processos de destilação ou pela combinação de destilados provenientes de diferentes métodos (Brasil, 2022).

Em relação a maturação a cachaça é considerada cachaça envelhecida quando ao menos metade de seu volume é maturada por, no mínimo, um ano em recipientes de madeira com capacidade não superior a 700 litros; é considerada cachaça armazenada, quando acondicionada em recipientes de madeira sem atender aos critérios de envelhecimento; ou, simplesmente, como cachaça, quando não se enquadrar nas condições de envelhecimento ou armazenamento em madeira estabelecidas pelo referido Padrão de Identidade e Qualidade (Brasil, 2022).

A cachaça é classificada como adoçada quando contém adição de açúcares em quantidade superior a 6,0 g/L e inferior a 30,0 g/L, enquanto aquela com adição de até 6,0 g/L permanece classificada simplesmente como cachaça (Brasil, 2022).

4.2 Processo produtivo

4.2.1 Upstream process

A produção de cachaça artesanal demanda rigor técnico em todas as suas etapas, iniciando com a seleção criteriosa da variedade de cana-de-açúcar e os cuidados no seu cultivo, seguida pela moagem, definição dos substratos utilizados na fermentação, controle do tempo de fermentação, escolha do método de destilação e adequação dos recipientes para envelhecimento. Além disso, o processo de envase e rotulagem também assume relevância, uma vez que a apresentação da embalagem pode influenciar na aceitação do produto pelo mercado consumidor (De Oliveira; Ferrarezi, 2022). Tais aspectos, aliados aos parâmetros microbiológicos e físico-químicos durante a produção e envelhecimento da bebida, são determinantes para a qualidade sensorial e a valorização da cachaça no cenário nacional e internacional (Gonçalves *et al.*, 2021). Assim, compreender a influência desses fatores ao longo

da cadeia produtiva é essencial para garantir a padronização, a segurança do consumidor e a competitividade do produto no mercado.

A primeira etapa da produção da cachaça envolve a seleção da matéria-prima, que deve ser a cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) fresca e de boa qualidade, uma vez que suas características influenciam diretamente o rendimento e o perfil sensorial da bebida (Brasil, 2021). A escolha da variedade é igualmente determinante, pois aspectos como teor de açúcares, fibra e estado fitossanitário refletem-se na fermentação e na composição química do destilado. No Brasil, produtores de cachaça utilizam principalmente cultivares amplamente difundidas na canavieira, como pode ser observado na Tabela 1. A adoção dessas cultivares está associada à sua adaptabilidade regional, elevada produtividade e adequação tecnológica, garantindo matéria-prima consistente e de qualidade para a produção artesanal e industrial da bebida (Cruz; Dierig, 2016).

A moagem, responsável pelo rendimento do processo, tem a finalidade de extração eficiente dos açúcares presentes no caldo, armazenados nos tecidos de reserva ou nas células dos colmos da cana-de-açúcar. O caldo extraído da cana-de-açúcar apresenta uma composição variável, geralmente contendo entre 78% e 86% de água, 11% a 18% de sacarose, e menores proporções de açúcares redutores, cinzas e compostos nitrogenados, conforme descrito por Lima et al. (2001). Após é realizado a decantação de partículas sólidas não dissolvidas, favorecendo a clarificação do caldo e este caldo colocado é enviado para dornas, onde é realizado o ajuste do teor de açúcar (grau Brix). Antes do início da fermentação, procede-se à padronização do mosto por meio da diluição com água, de modo a garantir a concentração adequada de açúcares. Essa concentração pode variar em função de diversos fatores, como o estágio de maturação da cana-de-açúcar, a variedade utilizada e as condições climáticas. Em razão dessas variáveis, é comum haver oscilações nos valores de Brix mesmo dentro de uma mesma sequência de moagem (Filho; Regina, 2020). Teores elevados de açúcar no mosto podem comprometer o desempenho fermentativo das leveduras, resultando em fermentações mais lentas, incompletas ou com defeitos, o que pode culminar na morte celular e, conseqüentemente, na alteração da qualidade final da cachaça (Lima; Torres, 2015).

Tabela 1 - Cultivares de cana-de-açúcar e características industriais para a produção de cachaça

Cultivar	Principais características	Referência
RB867515	Alta produtividade; elevado teor de sacarose; ampla adaptação regional; boa longevidade de soqueiras.	Cruz; Dierig, 2016
SP81-3250	Bom teor de açúcar total recuperável - ATR; resistência a doenças; ciclo médio.	EMBRAPA, 2025
PO88-62	Variedade tradicional; bom teor de açúcares; boa adaptação em solos diversos.	EMBRAPA, 2025
RB966928	Teor de sacarose elevado; adaptação a ambientes restritivos; ciclo médio/tardio.	Cruz; Dierig, 2016
RB92579	Alta produtividade agrícola; boa resposta em solos férteis; bom perfil tecnológico.	Cruz; Dierig, 2016
RB72454	Elevada rusticidade; boa resistência a estresses climáticos; longevidade.	Cruz; Dierig, 2016
IACSP93-3046	Desenvolvida pelo IAC; bom teor de sacarose; ciclo precoce.	Cruz; Dierig, 2016
IACSP95-5000	Variedade do IAC; resistência a doenças; ciclo médio.	Cruz; Dierig, 2016

4.2.2 Fermentação

A fermentação é a principal etapa do processo de produção da cachaça. Nesta etapa o açúcar e outros compostos presentes no mosto são transformados em etanol, CO₂ e outros produtos que são responsáveis pela qualidade e defeito do produto (Janzantti, 2004).

A adição de mosto pode ocorrer de forma contínua ou intermitente. A duração média do processo fermentativo é de aproximadamente 24 horas e, geralmente, é conduzido pelo método convencional em batelada, no qual tanto o inóculo quanto todo o meio fermentativo são introduzidos simultaneamente na dorna de fermentação (De Oliveira Filho, 2015).

Durante a fermentação, parte dos açúcares do mosto é transformada em substâncias secundárias que, embora estejam presentes em menor concentração, exercem grande influência na qualidade da cachaça. Entre esses compostos estão álcoois superiores, ésteres, glicerol, aldeídos e diversos ácidos orgânicos (Janzantti, 2004).

Apesar das leveduras serem os principais agentes fermentadores, destacando-se a *Saccharomyces cerevisiae* por sua elevada eficiência na conversão de açúcares em etanol e por contribuir positivamente para o perfil sensorial da cachaça, microrganismos contaminantes podem ser introduzidos acidentalmente no processo fermentativo. Esses contaminantes comprometem o rendimento alcoólico e a qualidade sensorial do produto, provocando alterações como o aumento da acidez e o surgimento de sabores e aromas indesejáveis. Entre os principais microrganismos indesejáveis estão as bactérias lácticas do gênero *Lactobacillus*, que produzem ácido láctico e acidificam o meio, prejudicando o metabolismo das leveduras. As bactérias acéticas, como *Acetobacter* e *Gluconobacter*, oxidam o etanol a ácido acético em ambientes com presença de oxigênio, ocasionando aroma avinagrado. Além disso, bactérias butíricas, como as do gênero *Clostridium*, podem produzir compostos de odor pútrido, e leveduras selvagens como *Brettanomyces*, *Candida* e *Pichia* também podem competir com as leveduras desejáveis, além de originar compostos voláteis que alteram negativamente o perfil sensorial da bebida. A presença desses microrganismos está associada à produção excessiva de ácidos orgânicos, como láctico, acético e succínico, que afetam diretamente o sabor e o aroma da cachaça, comprometendo sua qualidade (Janzantti, 2004; Oliveira; Bortoletto; Alcarde, 2016; Soares; Silva; Schwan, 2011).

4.2.3 Downstream processing

Após a fermentação o mosto é centrifugado e destilado. A destilação representa uma etapa essencial na produção da cachaça, pois permite a separação dos compostos voláteis contidos no vinho fermentado. Na produção artesanal, a destilação é geralmente realizada em alambiques de cobre, cuja condução adequada é essencial para garantir a qualidade e a segurança do destilado final (Corrêa, 2015). Esse processo deve ser conduzido de modo a

preservar os compostos responsáveis pelo aroma e pelo sabor característico, tanto aqueles oriundos da matéria-prima quanto os formados durante a fermentação (Garcia, 2016).

Existem duas abordagens principais para a destilação do vinho fermentado na produção de cachaça: o método descontínuo, comumente realizado em alambiques de cobre, e o método contínuo, que utiliza colunas de destilação, normalmente feitas de aço inox com elementos de cobre. A escolha do método afeta diretamente a composição final da bebida (Canuto, 2013; Vilela, 2005).

Algumas das reações que ocorrem são hidrólise, esterificação, acetilação, produção de furfural e reações com cobre. A esterificação pode ocorrer sobre pratos da coluna de destilação, onde os álcoois e ácidos estão mais concentrados. Além de quebra de moléculas, pode ocorrer o rearranjo das unidades geradas, com formação de monoterpenos (linalol e α -terpineol), cetonas (α - e β -ionona) e outros compostos. Durante a destilação são formados os acetais catalisados por ácido e ocorrem reações de oxi-redução, com a oxidação de aldeídos a ácidos e a redução de alguns ácidos a álcoois (Janzantti, 2004).

Durante a destilação da cachaça, o calor elevado desencadeia diversas reações químicas que não apenas isolam os compostos voláteis, mas também promovem sua formação e transformação (Silva, 2019). Reações tipo Maillard e pirólise geram compostos heterocíclicos, como furfural, que conferem aromas marcantes e por vezes indesejáveis (Silvello, 2019). As estruturas mais pesadas e retidas na biomassa de leveduras também são extraídas, incluindo ésteres de cadeia longa, que ampliam a complexidade aromática do destilado (De Almeida, 2025). Além disso, uma diversidade de compostos aromáticos, entre eles alcoóis superiores, ésteres, aldeídos, cetonas, acetais, ácidos, fenóis voláteis, monoterpenos e norisoprenóides, são formados ou liberados durante a fermentação e intensificados no processo de destilação, contribuindo para a riqueza sensorial da cachaça (Nóbrega, 2003). Na Tabela 2, são descritas as vantagens e desvantagens no uso de alambique de cobre e coluna de aço inoxidável no aspecto sensorial da bebida destilada.

Tabela 2 - Comparação entre alambique de cobre e coluna de aço inoxidável quanto às vantagens e desvantagens no processo de destilação da cachaça e os aspectos sensoriais da bebida destilada.

Sistema de destilação	Vantagens	Desvantagens	Aspectos sensoriais	Referência
Alambique de cobre	Favorece reações químicas que reduzem compostos sulfurosos indesejáveis.	Maior custo de manutenção e necessidade de limpeza frequente para evitar corrosão.	Maior presença de ésteres (como acetato de etila, butanoato de etila), responsáveis por aromas frutados e florais.	Alcarde (2017); Maia (2025); Miranda <i>et al</i> (2007); Dantas <i>et al</i> (2007); Volpe <i>et al</i> (2014)
	Produz cachaças com maior complexidade sensorial (aroma e sabor mais ricos).	Menor rendimento e menor automação, exige mais mão de obra.	Formação de aldeídos aromáticos da lignina (como a vanilina, sinapaldeído e coniferaldeído), que contribuem para as notas adocicadas.	Alcarde (2017); Maia (2025); Miranda <i>et al</i> (2007); Dantas <i>et al</i> (2007); Volpe <i>et al</i> (2014)
	Tradicional e valorizado na produção de cachaças artesanais e premium.	Perdas por arraste de etanol podem ocorrer se o controle for inadequado.	Redução de compostos sulfurosos indesejáveis (H ₂ S, mercaptanos) pelo cobre, evitando aromas desagradáveis de ovo podre e borracha	Alcarde (2017); Serafim <i>et al</i> (2017); Maia (2025); Miranda <i>et al</i> (2007); Dantas <i>et al</i> (2007); Volpe <i>et al</i> (2014)
Coluna de aço inoxidável	Maior eficiência produtiva e padronização do produto final.	Menor complexidade sensorial, com produção de cachaça mais neutra.	Produz destilados mais neutros, com menor teor de ésteres e aldeídos com um perfil sensorial menos complexo.	Alcarde (2017); Serafim <i>et al</i> (2017); Maia (2025); Miranda <i>et al</i> (2007); Dantas <i>et al</i> (2007); Volpe <i>et al</i> (2014)

Menor custo operacional e maior automação do processo.	Menos valorizada no mercado de cachaças artesanais.	Preserva menos compostos secundários, resultando em cachaça com sabor mais “limpo”, porém menos marcante.	Alcarde (2017); Serafim <i>et al</i> (2017); Maia (2025); Miranda <i>et al</i> (2007); Dantas <i>et al</i> (2007); Volpe <i>et al</i> (2014)
Resistência à corrosão e menor necessidade de manutenção em comparação ao cobre.	Não realiza as mesmas reações catalíticas que o cobre proporciona.	Pode manter mais metanol e compostos indesejáveis se a separação de frações não for bem conduzida.	Alcarde (2017); Serafim <i>et al</i> (2017); Maia (2025); Miranda <i>et al</i> (2007); Dantas <i>et al</i> (2007); Volpe <i>et al</i> (2014)

4.2.4 Armazenamento

A cachaça pode ser comercializada sem passar pelo processo de envelhecimento, sendo então denominada cachaça branca ou cachaça prata. Nesse estado, a bebida preserva características sensoriais mais intensas e agressivas, com destaque para a ardência, secura e notas alcoólicas pronunciadas. Essa percepção está relacionada à elevada concentração de etanol e à presença de compostos voláteis ainda não estabilizados, como aldeídos (principalmente acetaldeído e propionaldeído), álcoois superiores (n-propanol, isobutanol e isoamílico), ésteres leves (acetato de etila, butanoato de etila), ácidos orgânicos voláteis (ácido acético e butírico), compostos sulfurados (H_2S e mercaptanos) e pequenas quantidades de furfural e hidroximetilfurfural. Durante o envelhecimento em madeira, parte desses compostos é adsorvida, transformada ou reagida, originando moléculas mais estáveis e equilibradas, o que suaviza o perfil sensorial da bebida (Janzantti, 2004; Duarte *et al.*, 2024; Bortoletto *et al.*, 2015).

Por não passar pelo envelhecimento, essa cachaça deixa de adquirir compostos extraídos da madeira, como flavonoides, taninos, aldeídos e ácidos fenólicos, os quais são responsáveis por conferir complexidade, suavidade e equilíbrio ao perfil sensorial da bebida. Durante o envelhecimento, esses compostos são transferidos dos toneis de madeira para a bebida, juntamente com a ocorrência de reações químicas e oxidativas que promovem melhorias na cor, aroma e sabor da cachaça (Aquino *et al.*, 2006; Zacaroni *et al.*, 2014).

4.3 Envelhecimento

O envelhecimento da cachaça é uma etapa essencial para a melhoria de suas características sensoriais, como aroma, sabor e coloração. Esse processo ocorre por meio da estocagem do destilado em tonéis ou barris de madeira, nos quais ocorrem interações químicas entre a bebida (Maia, 2025).

Durante o envelhecimento, ocorre a redução de compostos agressivos ao paladar e a incorporação de substâncias mais desejáveis, como ésteres e aldeídos, tornando a cachaça mais equilibrada e agradável (Lima; Melo Filho, 2011). Além disso, a oxigenação controlada que ocorre no barril contribui para a complexidade sensorial do produto (Viégas *et al.*, 2015).

A legislação brasileira, por meio da Instrução Normativa nº 13/2005 do MAPA, estabelece critérios para classificação da cachaça envelhecida. De acordo com o tempo e o percentual do volume da bebida que permaneceu em madeira, a cachaça pode ser classificada como armazenada, envelhecida, premium ou extra premium (Brasil, 2005).

O controle de variáveis como tempo de envelhecimento, temperatura, tipo de madeira e vedação dos recipientes é fundamental para garantir a qualidade do produto final e a padronização entre diferentes lotes (Maia, 2025).

O envelhecimento da cachaça tem como principal objetivo suavizar o destilado e valorizar seus atributos sensoriais. Por meio das reações químicas que ocorrem entre a bebida, a madeira e o oxigênio, o processo contribui para a redução da acidez, eliminação de compostos agressivos e formação de novos compostos aromáticos e gustativos, tornando o produto final mais equilibrado e sofisticado (Maia, 2025; Lima; Melo Filho, 2011).

O tipo de recipiente e o volume utilizado exerce influência sobre a intensidade das transformações durante o envelhecimento. Barris de menor volume (como os de 200 litros) tendem a proporcionar maior extração de compostos da madeira devido à maior relação superfície/volume. Além disso, recipientes novos, usados ou requeimados oferecem diferentes perfis sensoriais à bebida, o que permite uma ampla diversidade de estratégias na construção de produtos com identidade própria (Viégas *et al.*, 2015; Zacaroni *et al.*, 2014).

O tempo de permanência da cachaça nos recipientes de madeira é um fator determinante na complexidade e intensidade das características desenvolvidas. Envelhecimentos curtos, de 6 a 12 meses, já promovem mudanças notáveis na coloração e no aroma da bebida. No entanto, períodos superiores a 2 anos resultam em maior concentração de compostos extraídos da madeira, o que torna o produto mais harmonioso e valorizado, especialmente nos segmentos premium e extra-premium (Brasil, 2005; Zacaroni *et al.*, 2014).

Nos últimos anos, o envelhecimento tem desempenhado papel estratégico na valorização da cachaça no mercado nacional e internacional. A busca por bebidas artesanais, com identidade regional e complexidade sensorial, impulsionou produtores a investir em madeiras nativas brasileiras e em processos cuidadosos de envelhecimento. Esse movimento tem contribuído para o reconhecimento da cachaça como uma bebida de alto padrão, vencedora de prêmios e cada vez mais apreciada por consumidores exigentes (Maia, 2025; Viégas *et al.*, 2015).

O perfil sensorial da cachaça é fortemente influenciado pela escolha da madeira utilizada no processo de envelhecimento (Bortoletto, 2016). Na Tabela 3 são apresentadas espécies de madeiras brasileiras, como amburana, bálsamo e jequitibá, e na Tabela 4 são apresentadas espécies estrangeiras, como carvalho europeu e americano, que transferem para a bebida diferentes compostos fenólicos, lactonas, taninos e cumarina, que modulam cor, sabor e aroma. Durante a maturação, ocorre a extração de aldeídos aromáticos (vanilina, sinapaldeído, coniferaldeído), lactonas (como β -metil- γ -octalactona, responsável por notas de coco e

madeira), além de ácidos fenólicos e taninos, que contribuem para adstringência e corpo (Zacaroni *et al.*, 2014). Esses compostos, em equilíbrio com os congêneres formados na fermentação e destilação, promovem a redução de notas agressivas iniciais e a formação de um perfil sensorial mais complexo e harmonizado, com aromas adocicados, frutados e amadeirados, valorizando a bebida no mercado premium (Corrêa, 2020). Assim, os compostos voláteis extraídos da madeira são determinantes para a diferenciação de rótulos e para a percepção de qualidade da cachaça envelhecida, conferindo identidade sensorial única a cada espécie de madeira utilizada (Janzantti, 2004).

Na produção de cachaça, observa-se que algumas espécies de madeira são mais empregadas devido à sua disponibilidade, custo acessível e aceitação consolidada no mercado. O carvalho, americano e europeu, é a madeira mais difundida, especialmente por herança da indústria de destilados internacionais como uísque e conhaque, sendo valorizado pelo consumidor que associa a madeira ao padrão de qualidade global (Corniani, 2017).

No contexto brasileiro, madeiras como amburana, bálsamo, jequitibá e ipê ganham destaque não apenas pelo valor cultural e regional, mas também pela complexidade sensorial que conferem, introduzindo notas de especiarias, baunilha, mel e amêndoas, além de cores marcantes (Catão *et al.*, 2011). Já espécies como o jequitibá, por sua baixa transferência de compostos, são utilizadas quando se deseja apenas a suavização da bebida sem mudanças intensas de aroma e sabor, o que representa uma estratégia de padronização produtiva e redução de custos (Carvalho, 2003).

A classificação da cachaça como Premium ou Extra Premium está vinculada oficialmente ao tempo de envelhecimento estabelecido pela legislação brasileira, mínimo de um ano em madeira para a categoria Premium e de pelo menos três anos para a categoria Extra Premium (Brasil, 2014).

O tipo de madeira utilizada exerce papel fundamental na percepção de sofisticação da bebida, madeiras nobres, como o carvalho europeu, frequentemente associadas a produtos de alto valor agregado, reforçam a identidade de cachaças posicionadas no mercado como extra premium, ainda que o fator determinante legal seja o tempo (Aquino, 2006). Já espécies brasileiras como amburana e bálsamo, quando empregadas em períodos prolongados de envelhecimento, também são capazes de conferir complexidade aromática e sensorial comparável aos padrões internacionais (De Oliveira, 2024). Assim, pode-se dizer que o tempo é o parâmetro regulatório para a classificação, mas a escolha da madeira é decisiva para o diferencial sensorial e mercadológico que justifica o posicionamento de uma cachaça como produto de luxo (Catão *et al.*, 2011).

Tabela 3 - Espécies de madeiras brasileiras empregadas no envelhecimento de cachaça apresentando os principais compostos formados e perfil sensorial da bebida

Madeira (nome popular)	Nome científico	Perfil sensorial	Principais compostos	Fonte
Amburana; Umburana	<i>Amburana cearensis</i>	Aroma marcante, baunilha, canela, adocicado e alcoólico leve	Cumarina, vanilina fenóis e aldeídos	Bortoletto (2016)
Amendoim; Pau amendoim	<i>Pterogyne nitens</i>	Levemente adstringente, preserva o frescor da cana e reduz a acidez	Lactonas e aldeídos aromáticos	Duarte et al (2024)
Angelim	<i>Hymenolobium petraeum</i>	Amadeirado intenso e aromático, mais seco e amargo	Quinonas (especialmente emodina)	Duarte et al (2024)
Angelim vermelho	<i>Dinizia excelsa</i>	Ácido elágico e taninos condensados	Ácido elágico e taninos condensados	EMBRAPA (2010)
Angico	<i>Anadenanthera spp</i>	Buquê herbáceo, terroso e castanha	Taninos condensados, ácido gálico e catequina	EMBRAPA (2010)
Angico branco	<i>Anadenanthera colubrina</i>	Herbal seco, pouco intenso	Taninos hidrolisáveis e compostos fenólicos leves	EMBRAPA (2010)

Araucária	<i>Araucaria angustifolia</i>	Sem alteração perceptível, neutra.	Lignina degradada e fenóis simples (como ácido gálico)	Gonçalves; Lelis; Andrade (2017)
Araribá; Araribinha	<i>Centrolobium robustum</i>	Adiciona viscosidade, buquê floral, frutado, oleoso	Taninos e flavonoides (como quercetina e catequina)	EMBRAPA (2010)
Bálsamo; Bálsamo de Peru	<i>Myroxylon peruiferum</i>	Herbal, picante, adstringente e aroma intenso	Terpenos (especialmente o limoneno e o eugenol)	Duarte et al (2024)
Cabreúva; Cabriúva	<i>Myrocarpus fastigiatus</i>	Sabor seco, com toques de amêndoas, com notas de baunilha, caramelo e hortelã	Terpenos (especialmente o limoneno e o eugenol)	Bortoletto (2016)
Canafistula; Cassia-roxa	<i>Cassia grandis</i>	Sabor amargo, adstringente	Taninos e flavonoides (kaempferol e quercetina)	De Almeida (2024)
Canela-sassafrás; Sassafrás	<i>Ocotea odorífera</i>	Levemente picante, herbal, aroma suave e delicado	Safrol, eugenol	Carvalho (2003)
Cambarú; Cambará; Cambará de Veneza	<i>Vochysia spp</i>	Notas aveludadas, refrescante, leve adstringência	Taninos e aldeídos aromáticos (como vanilina e siringaldeído)	Carvalho (2003)

Castanheira; Castanha do Pará	<i>Bertholletia excelsa</i>	Doce, nozes leves, perfil delicado e equilibrado	Cumarina e fenóis	Duarte et al (2024)
Cedrinho	<i>Cedrela spp</i>	Notas adocicadas, resinosas, cítricas e amadeiradas	Aldeídos aromáticos (especialmente a <i>vanilina</i>) e os terpenos (como o <i>limoneno</i> e o <i>cedrol</i>).	Carvalho (2003)
Cedro; Cedro rosa	<i>Cedrela fissilis</i>	Notas adocicadas, resinosas, cítricas e amadeiradas	Aldeídos aromáticos (especialmente a <i>vanilina</i>) e os terpenos (como o <i>limoneno</i> e o <i>cedrol</i>).	Carvalho (2003)
Cerejeira; Amburana acreana	<i>Amburana acreana</i>	Floral, doce, baunilha, aroma marcante	Cumarina e fenóis	Duarte et al (2024)
Copaíba	<i>Copaifera langsdorffii</i>	Aroma amadeirado, levemente picante e terroso	β -cariofileno e os ácidos resínicos	Duarte et al (2024)
Cumaru ferro; Cumaru	<i>Dipteryx odorata</i>	Perfil mais intenso, adstringente e pouco dulçor.	Cumarina, flavonoides, taninos e óleos essenciais	Christoph; Bauer-Christoph (2007); Imai; et al, (2008)

Eucalipto	<i>Eucalypto spp</i>	Dulçor elevado, equilíbrio entre frutado, castanhas e especiarias, levemente mentolado	Eucaliptol (1,8-cineol), taninos, flavonoides e aldeídos aromáticos	Mapa da Cachaça (2022); Duarte (2024)
Freijó	<i>Cordia goeldiana</i>	Muito neutro, sem aroma, sem transferência	Compostos fenólicos leves (como ácido gálico, ácido ferúlico e siringaldeído e aldeídos aromáticos (como vanilina)	Castro (2015)
Garapa; Garapeira; Grápia	<i>Apuleia leiocarpa</i>	Sabor suave, pouca transferência	Flavonoides (como kaempferol e quercetina e Aldeídos aromáticos derivados da lignina: como vanilina e siringaldeído	Duarte et al (2024); Bortoletto (2016)
Guarucuia; Aroeira-preta	<i>Commiphora leptophloeos</i>	Sabor suave, pouca transferência, pouca adstringência	Flavonoides (quercetina e kaempferol), taninos condensados, compostos fenólicos derivados da lignina: vanilina, siringaldeído	EMBRAPA (2010)

Guanandi	<i>Calophyllum brasiliense</i>	Sabore levemente amargo ou resinoso, aroma balsâmico e oleoso e levemente adstringente	Xantonas e flavonoides (brasiliensina, calofilolida), ácidos resínicos, traços de terpenos, lactonas aromáticas e taninos	França et al. (2017)
Ipê amarelo	<i>Tabebuia spp.</i>	Leve amadeirado, castanha, corpo suave e aroma equilibrado	Naftoquinonas (lapachol, β -lapachona), taninos, ligninas degradadas, flavonoides e compostos fenólicos	EMBRAPA (2010); Pinto et al (2024)
Ipê-roxo; Pau d'arco	<i>Tabebuia impetiginosa</i>	Amadeirado, realça a rusticidade, amargo, adstringência acentuada	Naftoquinonas (lapachol, β -lapachona), taninos, ligninas degradadas, flavonoides e compostos fenólicos	IBAMA (2012); Pinto et al (2024)
Jacarandá; Jacarandá da Bahia	<i>Dalbergia nigra</i>	Doce, notas intensas, adstringente e aromático	Flavonoides (como dalbergina), taninos, compostos e óleos essenciais	Maia (2025)
Jaqueira; Fruta pão	<i>Artocarpus heterophyllus</i>	Duçura intensa com notas de especiarias e frutado suave	Flavonoides (como morina e quercetina), taninos leves, ácidos fenólicos (ácido gálico e ácido ferúlico), traços de lactonas aromáticas	Mapa da Cachaça (2022); Hill et al (2025)

Jatobá; Jatobazeiro	<i>Hymenaea courbaril</i>	Aroma intenso, resinoso, com notas doces-amadeiradas e sabor persistente.	Ácidos resínicos e resinas aromáticas (como o copal), flavonoides (como quercetina e kaempferol), taninos condensados, compostos fenólicos (como ácido ferúlico e ácido gálico), aldeídos aromáticos derivados da lignina	Carvalho (2003)
Jequitibá; Jequitibá rosa	<i>Cariniana legalis</i>	Neutro, pouca transferência	Taninos e fenois	Moraes et al (2022)
Louro; Louro-pardo; Louro-preto	<i>Cordia trichotoma</i>	Aroma suave e amadeirado, com pouca adstringência e boa preservação das notas originais da bebida	Eugenol, safrol	IBAMA (2012); Hill et al (2025)

Maçaranduba; Maçaranduba do Pará	<i>Manilkara huberi</i>	Sabor forte e persistente, com alta complexidade aromática	Taninos, flavonoides (como quercetina), compostos fenólicos derivados da lignina (como vanilina e siringaldeído), traços de lactonas aromáticas	Parazzi et al (2008)
Maracatiara; Araribá-rosa	<i>Centrolobium paraense</i>	Amadeirado, adstringentes e levemente doce, perfil aromático expressivo	Flavonoides (como isoliquiritigenina e pinocembrina), taninos condensados, compostos fenólicos derivados da lignina (vanilina e siringaldeído)	Bortoletto (2016); Mendes (2025)
Morototó; Braúna-branca	<i>Schinopsis brasiliensis</i>	Perfil neutro, com leve toque amadeirado	Taninos e fenois	EMBRAPA (2010); Castro et al (2015)
Mulungu; Corticeira	<i>Erythrina velutina</i>	Notas herbais suaves, pouca adstringência, perfil sensorial delicado	Alcaloides (eritralina e eritravina), flavonoides (orientina e vitexina), taninos leves, compostos fenólicos	Duarte et al (2024); Desmarchis (2009)

Pau ferro; Jucá; Ibirapitanga	<i>Caesalpinia ferrea</i>	Aroma forte, sabor intenso e seco	Taninos condensados, flavonoides (epicatequina e quercetina), ácidos fenólicos (gálico e ferúlico)	EMBRAPA (2010)
Pequiá	<i>Caryocar villosum</i>	Aroma intenso, notas amadeiradas, picante e sabor levemente adstringente	Terpenos sesquiterpênicos (caryophyllene), taninos, flavonoides, compostos fenólicos e compostos voláteis aromáticos	Duarte et al (2024); Maia (2025)
Peroba; Peroba-rosa; Peroba mineira	<i>Aspidosperma polyneuron</i>	Aromas complexos, com notas adstringentes e persistentes	Alcaloides (aspidospermina), taninos, flavonoides, compostos fenólicos, compostos fenólicos derivados da lignina (vanilina)	IBAMA (2012); Parazzi et al (2008)

Sucupira	<i>Pterodon emarginatus</i>	Sabor intenso e persistente, com notas adstringentes e aroma complexo	Furanoquinonas, taninos condensados, flavonoides, compostos fenólicos e compostos voláteis aromáticos	Maia (2025)
Tamarindo	<i>Tamarindus indica</i>	Aroma frutado, sabor suave com toque adstringente e notas amadeiradas discretas	Ácidos fenólicos (ácido gálico e ácido ferúlico), taninos condensados, flavonoides, compostos voláteis	Maia (2025)
Teca	<i>Tectona grandis</i>	Aroma complexo e equilibrado, sabor suave, amadeirado e levemente adstringente	Quinonas (tectonaquinona), taninos, flavonoides, compostos e compostos voláteis aromáticos	IBAMA (2012); Mendes (2025); Aruna Janani et al (2023)

Tabela 4 - Espécies de madeiras estrangeiras empregadas no envelhecimento de cachaça apresentando os principais compostos formados e perfil sensorial da bebida

Madeira (nome popular)	Nome científico	Perfil sensorial	Principais compostos	Fonte
Carvalho Americano	<i>Quercus alba</i>	Baunilha, coco, caramelo, doce	Vanilina e eugenol	Parazzi et al (2008); Maia (2021)
Carvalho Francês	<i>Quercus petraea</i> / <i>Quercus robur</i>	Baunilha, caramelo, coco, amêndoas e especiarias suaves	Vanilina e eugenol	Parazzi et al (2008); Maia (2021)
Castanheira Europeia	<i>Castanea sativa</i>	Notas amadeiradas intensas e taninos mais agressivos, maior adstringência e amargor	Taninos condensados	de Campos Oliveira (2016)
Cerejeira	<i>Prunus avium</i>	Notas frutadas, adocicadas e delicadas, aroma suave e acabamento aveludado	Compostos fenólicos, flavonoides e ésteres frutados	Duarte et al (2024)
Nogueira	<i>Juglans regia</i>	Aromas terrosos, amargos e profundos, rústico e marcante	Taninos condensados	Alcarde; Souza; Belluco (2010)

4.3.1 Parâmetros microbiológicos no envelhecimento

O envelhecimento da cachaça é um processo complexo que envolve interações químicas, físicas e microbiológicas. Durante o armazenamento, geralmente em barris de madeira, ocorre a presença e ação de micro-organismos como leveduras, bactérias lácticas e fungos, que podem influenciar as características sensoriais da bebida. Estes microrganismos podem contribuir para transformações bioquímicas, promovendo a modificação de compostos fenólicos, ácidos orgânicos e açúcares residuais, o que resulta em aromas e sabores mais complexos e harmoniosos (Cardoso, 2014; Ratkovich *et al.*, 2023).

No que tange à acidez volátil das bebidas destiladas, a formação de ácidos ocorre principalmente pela oxidação do etanol em acetaldeído, seguido pela conversão em ácido acético, sendo que o aumento dessa acidez também pode estar relacionado à contaminação bacteriana. Durante o envelhecimento dos destilados, a acidez volátil tende a aumentar progressivamente devido à formação de novos compostos, como ácidos fenólicos derivados da degradação da madeira (Bortoletto e Alcarde, 2013).

A acidez total é outro parâmetro relevante, pois o envelhecimento promove a formação de ácidos orgânicos, como o ácido acético, devido à oxidação de etanol e outros compostos. Esses ácidos contribuem para o equilíbrio sensorial, mas níveis excessivos podem indicar deterioração (Brasil, 2005).

Entretanto, a presença de microrganismos indesejados também pode ocasionar contaminações que comprometem a qualidade e a segurança da cachaça. A formação de biofilmes, a degradação de compostos essenciais e a produção de metabólitos tóxicos são alguns dos riscos associados à atividade microbiana descontrolada durante o envelhecimento (Yan *et al.*, 2024; Marcondes Pereira; Acevedo; Alcarde, 2024).

Assim, o monitoramento microbiológico é fundamental para garantir a integridade do produto, incluindo a identificação e controle da carga microbiana presente nos barris e no ambiente de armazenamento. Manter condições ambientais adequadas, como temperatura, umidade e higiene rigorosa dos barris, é essencial para evitar a proliferação de microrganismos nocivos e assegurar a qualidade final da bebida (Castro *et al.*, 2023).

Além disso, o manejo correto dos barris, que inclui limpeza, secagem e tratamento antes do uso, tem papel crucial na minimização de contaminações microbiológicas e na preservação das características sensoriais da cachaça envelhecida (Rodrigues; Ross, 2020).

O envelhecimento da cachaça em tonéis de madeira não envolve apenas interações físico-químicas entre a bebida e a madeira, mas também pode ser influenciado pela presença de

microrganismos (Viana, 2007). Algumas leveduras, principalmente as não-*Saccharomyces* como *Brettanomyces/Dekkera*, *Pichia* e *Hanseniaspora*, podem permanecer nos poros da madeira e atuar de forma lenta na formação de compostos voláteis. Em baixas concentrações, esses microrganismos são considerados desejáveis, pois produzem ésteres (como acetato de etila e acetato de isoamila), responsáveis por notas frutadas, e fenóis voláteis (como 4-etilfenol e 4-etilguaiaicol), que agregam complexidade com nuances amadeiradas e defumadas (Pina; Cruz; Martelli, 2022).

Por outro lado, microrganismos indesejáveis podem comprometer a qualidade da bebida. As bactérias acéticas (*Acetobacter* e *Gluconobacter*) oxidam o etanol, gerando excesso de ácido acético e aumentando a acidez volátil, o que resulta em aroma avinagrado. Além disso, podem produzir quantidades elevadas de acetato de etila, conferindo características sensoriais de solvente. Já as bactérias lácticas (*Lactobacillus* e *Pediococcus*) fermentam açúcares residuais, originando compostos como ácido láctico, diacetil e acetoína, que podem introduzir sabores azedos e amanteigados indesejáveis (Vilela, 2005). A presença de fungos filamentosos em tonéis mal higienizados também é preocupante, pois além de alterar negativamente o aroma, pode levar à formação de micotoxinas, colocando em risco a segurança do produto (Mafe; Büsselberg, 2024).

Dessa forma, a influência microbiológica no envelhecimento da cachaça deve ser entendida como um fator de duplo impacto. Microrganismos benéficos, quando presentes em equilíbrio, contribuem para a diversidade aromática e complexidade da bebida, enquanto contaminantes em excesso podem comprometer o perfil sensorial e a aceitação do destilado (Santiago et al, 2024). Por isso, práticas adequadas de higienização dos tonéis e controle das condições de armazenamento são fundamentais para garantir a qualidade química, sensorial e microbiológica da cachaça envelhecida (Rodrigues; Ross, 2020).

Na Tabela 5, é descrito os microrganismos os compostos produzidos e os efeitos sensoriais na cachaça envelhecida.

Tabela 5 - Microrganismos associados ao envelhecimento da cachaça, principais compostos produzidos e efeitos sensoriais

Microrganismo (gênero/espécie)	Compostos produzidos principais	Efeito sensorial	Referência
Leveduras não-<i>Saccharomyces</i> (<i>Brettanomyces/Dekkera, Pichia, Hanseniaspora</i>)	Ésteres (acetato de etila, acetato de isoamila); fenóis voláteis (4-etilfenol, 4-etilguaiaicol)	Aromas frutados, notas amadeiradas/defumadas; aumento da complexidade sensorial.	Bortoletto e Alcarde (2013); Santiago et al (2024)
Leveduras residuais <i>Saccharomyces</i>	Álcoois superiores; acetais	Corpo e viscosidade; suavização da percepção alcoólica.	Bortoletto e Alcarde (2013); Santiago et al (2024)
Bactérias acéticas (<i>Acetobacter, Gluconobacter</i>)	Ácido acético; acetato de etila em excesso	Elevação da acidez volátil; aroma avinagrado e de solvente.	Bortoletto e Alcarde (2013); Santiago et al (2024)
Bactérias lácticas (<i>Lactobacillus, Pediococcus</i>)	Ácido láctico; diacetil; acetoína	Notas azedas e amanteigadas fora de equilíbrio; defeito sensorial.	Bortoletto e Alcarde (2013); Santiago et al (2024)
Fungos filamentosos (<i>Cladosporium spp</i>)	Micotoxinas (aflatoxinas, ocratoxina A); metabólitos secundários	Risco toxicológico; odores desagradáveis; perda da qualidade da bebida.	Bortoletto e Alcarde (2013); Santiago et al (2024)

O quadro apresentado sintetiza, de forma clara, a diversidade de microrganismos que podem interagir durante o envelhecimento da cachaça e os principais metabólitos associados a cada grupo. A sistematização permite visualizar como a presença ou ausência desses microrganismos influencia diretamente a qualidade final da bebida, seja agregando complexidade aromática desejada ou comprometendo o perfil sensorial e a segurança do produto. Assim, a organização comparativa evidencia que o envelhecimento em madeira não é apenas um processo químico, mas também um ambiente biológico dinâmico, cujo controle adequado é indispensável para garantir a valorização mercadológica e a inserção da cachaça em categorias superiores de qualidade.

4.3.2 Parâmetros físico-químicos no envelhecimento

Durante o armazenamento em barris de madeira, ocorrem interações complexas entre a bebida, o material do barril e o ambiente, resultando em alterações no perfil químico e sensorial da cachaça. Esses parâmetros incluem compostos voláteis, acidez, teor alcoólico e compostos fenólicos, que são modulados pelo tipo de madeira, tempo de envelhecimento e condições ambientais, como temperatura e umidade (Bortoletto; Alcarde, 2015).

A porosidade da madeira também influencia a oxigenação, promovendo reações de oxidação que suavizam o sabor alcoólico e aumentam a complexidade da bebida (Alcarde, 2017).

O acesso de oxigênio nos barris exerce papel decisivo na oxidação controlada do destilado, barris novos podem permitir a entrada de até 45 mg O₂/L ano, enquanto barris com uso prolongado chegam a valores próximos de 10 mg O₂/L ano, influenciados pela espessura e porosidade da madeira. Esse oxigênio promove reações de oxidação suave, formação de aldeídos aromáticos e polimerização de fenólicos, que conferem complexidade sensorial. Contudo, concentrações excessivas podem gerar compostos indesejáveis, prejudicando a qualidade (Zhang *et al.*, 2025; Duan *et al.*, 2024).

A concentração de compostos fenólicos presentes na cachaça, tais como os elagitaninos, é significativamente influenciada por parâmetros como a idade da madeira, as condições ambientais durante o envelhecimento e a intensidade da tosta aplicada. Os processos térmicos relacionados à queima da madeira promovem a degradação desses compostos, impactando diretamente na eficiência da extração e na transferência dos mesmos para a bebida (Castro *et al.*, 2023; Vivas *et al.*, 2020).

Zacaroni *et al* (2014), estudaram a avaliação multivariada da composição fenólica de cachaças envelhecidas em diferentes barris de madeira, os resultados apresentados demonstraram que a Análise das Componentes Principais (ACP) permitiu evidenciar o efeito da madeira na composição fenólica das cachaças envelhecidas, diferindo daquelas envelhecidas em castanheira (36 meses), carvalho (48 meses) e louro-canela pela presença de ácido gálico, ácido elágico e eugenol, respectivamente, das demais amostras analisadas. Ressalta-se que essa é uma técnica relevante para o conhecimento da química de bebidas envelhecidas juntamente com as técnicas cromatográficas, buscando identificar compostos denominados como marcadores químicos.

Silvello e Alcarde (2020) utilizaram planejamento experimental e técnicas quimiométricas aplicadas à análise eletrônica de aromas de cachaça envelhecida em madeira, evidenciando que o pré-tratamento e a análise dos dados por métodos quimiométricos apresentaram desempenho satisfatório para a aplicação do nariz eletrônico. A preparação ideal da amostra incluiu a diluição do destilado envelhecido para menor teor de etanol (10% v/v), incubação da amostra a 49°C e excluiu os estágios de agitação e equilíbrio, resultando em um protocolo mais simples e menos demorado.

Duarte *et al* (2024), estudaram a química dos *blends* de cachaça em diferentes madeiras que é uma das técnicas usadas para envelhecer cachaça, visando equilíbrio e identidade e aumentar a complexidade sensorial. Nas análises físico-químicas e dos marcadores químicos de envelhecimento dos *blends*, constatou-se diferenças químicas e físicas, com a presença acentuada de siringaldeído, vanilina e cumarina. Essas diferenças químicas confirmam a contribuição dos marcadores de envelhecimento na elaboração de blends de cachaça.

Carvalho *et al* (2020), avaliaram a eficiência de diferentes técnicas espectroscópicas na determinação da concentração de compostos fenólicos totais em amostras de cachaça envelhecida. Para tal, foram utilizadas a fluorescência bidimensional e a espectroscopia no infravermelho médio, com o objetivo de comparar o desempenho analítico de ambas as metodologias. Os autores observaram que a espectroscopia de fluorescência apresentou maior sensibilidade que a espectroscopia no infravermelho, tanto em modelos globais quanto locais, alcançando coeficientes de determinação superiores a 0,979. A aplicação de métodos de seleção de variáveis permitiu reduzir significativamente o número de variáveis originais (de 1.995 para apenas quatro pares de Ex/Em), mantendo a precisão do modelo preditivo. Dessa forma, os resultados indicam que a combinação entre a seleção de variáveis e a espectroscopia de fluorescência apresenta elevado potencial para a quantificação de compostos fenólicos, além de

eliminar a necessidade de preparação prévia das amostras e possibilitar o desenvolvimento de sensores personalizados para uso na indústria alimentícia.

Bortoletto (2013) cita que durante o processo de maturação em contato com a madeira, a lignina desempenha papel fundamental nas bebidas destiladas, uma vez que sua degradação, aliada a reações de oxidação, é responsável pela formação dos principais marcadores do envelhecimento. Também nesse mesmo processo de maturação a presença de aldeídos, como o acetaldeído, resulta da oxidação do etanol, bem como do metabolismo de aminoácidos e ácidos que favorecem a formação desses compostos. Durante o envelhecimento, a interação do destilado com a madeira promove a transferência de aldeídos originados da autólise da lignina, como os aldeídos cinâmicos. Esses compostos, gerados ao longo da maturação, desempenham papel fundamental na construção do perfil sensorial da bebida, conferindo descritores positivos, contudo, a concentração excessiva de aldeídos pode comprometer a qualidade final da cachaça (Conner, Reid e Jack, 2003).

O teor alcoólico da cachaça tende a diminuir ligeiramente durante o envelhecimento devido à evaporação. Esse processo é influenciado pela umidade relativa e pela permeabilidade do barril, impactando a concentração de compostos voláteis, como ésteres e álcoois superiores, que são responsáveis por aromas frutados e florais. A interação entre esses compostos e o ambiente do barril define o bouquet final da cachaça (Castro, 2023).

Outro aspecto importante está relacionado às condições ambientais da sala de envelhecimento. A literatura recomenda faixas de 15 a 20 °C (UR 70–90%) ou 20 a 25 °C (UR 65 a 70%) como adequadas para o armazenamento, a fim de equilibrar a extração de compostos da madeira e as reações de oxidação. Temperaturas elevadas aceleram reações químicas e aumentam a perda de voláteis, enquanto a umidade relativa (UR) determina a direção da alteração no teor alcoólico: em ambientes úmidos há maior evaporação de etanol, reduzindo o grau alcoólico, enquanto em ambientes secos ocorre maior evaporação de água, elevando a graduação (Chen *et al.*, 2025). Em climas tropicais, como o do Brasil, o envelhecimento é mais rápido comparado a regiões temperadas, exigindo controle rigoroso para evitar alterações indesejadas no perfil químico (Mendes *et al.*, 2024).

Durante o processo de envelhecimento da cachaça, o pH é um parâmetro de grande relevância, pois se relaciona com a acidez e a estabilidade química do destilado. Estudos mostram que o pH de cachaças comerciais varia entre 3,7 e 5,3, diminuindo levemente ao longo do armazenamento, principalmente quando envelhecidas em barris de carvalho, devido ao aumento gradual da acidez total e volátil (Santiago *et al.*, 2024; Bortoletto; Correa; Alcarde, 2016). Esse comportamento é desejável até certo limite, visto que a legislação brasileira

estabelece como referência o máximo de 150 mg/100 mL de álcool anidro para acidez volátil, geralmente expressa em ácido acético, sendo esse um dos parâmetros de conformidade que asseguram qualidade e aceitação da bebida (Brasil, 2022).

A perda volumétrica por evaporação através da madeira, é outro parâmetro a ser monitorado. Em climas tropicais, como o brasileiro, essas perdas podem atingir 6 a 10% ao ano, valor consideravelmente superior ao observado em regiões temperadas. Essa variação não só reduz o volume disponível para comercialização como também modifica a composição relativa da bebida, impactando diretamente no seu perfil químico e sensorial (Guerrero-Chanivet *et al.*, 2023).

Portanto, o envelhecimento da cachaça é um processo dinâmico que depende de uma interação sinérgica entre parâmetros físico-químicos e fatores externos. A padronização e o monitoramento desses parâmetros são fundamentais para garantir a qualidade e a autenticidade da bebida, atendendo às normas regulamentadoras e às expectativas do mercado consumidor.

Na Tabela 6 são apresentados os limites máximos e mínimos dos parâmetros físico-químicos para cachaça, conforme estabelecido pela legislação brasileira, com base na Instrução Normativa MAPA nº 13, de 29 de junho de 2005, e complementada pela Portaria MAPA nº 539, de 26 de dezembro de 2022. Os valores são expressos em mg/100 mL de álcool anidro, salvo quando indicado.

Tabela 6 - Limites máximos e mínimos dos parâmetros físico-químicos para a cachaça

Parâmetro	Limite mínimo	Limite máximo	Unidade	Observação
Graduação alcoólica	38	48	% v/v a 20 °C	-
Coefficientes congêneres	200	650	mg/100 mL	Soma dos ácidos, ésteres, furfural e álcoois superiores
Acidez volátil	-	150	mg/100 mL	Contribui para o equilíbrio sensorial
Ésteres	-	200	mg/100 mL	Responsáveis por aromas frutados
Aldeídos	-	30	mg/100 mL	Influenciam no aroma
Furfural + Hidroximetilfurfural	-	5	mg/100 mL	Derivados da degradação de açúcares
Álcoois superiores	-	300	mg/100 mL	Soma de álcool n-propílico, isobutílico e isoamílico
Metanol	-	20	mg/100 mL	Contaminante orgânico, tóxico em altas concentrações
Carbamato de etila	-	0,21	mg/L	Contaminante orgânico
Cobre	-	5	mg/L	Contaminante inorgânico, oriundo de alambiques
Chumbo	-	0,2	mg/L	Contaminante inorgânico
Arsênio	-	0,1	mg/L	Contaminante inorgânico
Sacarose	-	6	g/L	Para cachaça padrão; para cachaça adoçada 30 g/L

Fonte: Adaptado de Brasil (2005) e Brasil (2022)

4.4 Técnicas e materiais de acondicionamento

Diferentemente de destilados como uísques, que são envelhecidos exclusivamente em barris de carvalho, a cachaça é tradicionalmente armazenada em tonéis feitos de diversas madeiras nativas do Brasil (Maia *et al.*, 2022).

A madeira exerce influência decisiva sobre o perfil sensorial da cachaça: a passagem por espécies como bálsamo, jequitibá e outras madeiras tropicais libera fenóis, lactonas, taninos e compostos voláteis, condicionando cor, aroma e sabor da bebida. O grau de tosta e o tempo de contato modulam essas extrações, gerando perfil sensorial singular para cada combinação. Estudos comprovam que madeiras nativas brasileiras, por suas características físicas e químicas, oferecem possibilidades diferenciadas para personalização e valorização sensorial, seja no âmbito artesanal ou industrial (Casto *et al.*, 2015).

Da Silva (2024), estudou sobre chips de resíduos madeireiros termotratados para uso na maturação da cachaça, analisando as características físicas e químicas das três espécies de madeira e os efeitos provocados pelo termotratamento. Os resultados demonstraram que o aumento da temperatura causa a degradação dos compostos da madeira, gerando novos compostos importantes para o setor de maturação de bebidas, como os compostos guaiacil e siringil. Observou-se um aumento na quantidade de compostos fenólicos nas cachaças maturadas com chips submetidos a maiores temperaturas, assim como maior intensidade de cor e compostos fenólicos nas cachaças com maior tempo de maturação. As cachaças maturadas com chips de *Citrus sinensis*, *Psidium guajava* e *Quercus coccínea* apresentaram compostos importantes para o setor de bebidas, como vanilina, siringaldeído e coniferaldeído. Além disso, as cachaças com chips de *P. guajava* e *Q. coccínea* também revelaram a presença de ácido p-cumárico, um composto normalmente encontrado apenas em bebidas destiladas com mais de 25 anos.

Moser (2012), estudou o efeito da micro-oxigenação na qualidade química e sensorial da cachaça não envelhecida e como essa técnica física têm sido aplicadas em cachaça não envelhecida para simular parte dos efeitos do envelhecimento em madeira. Os estudos foram realizados em tanques de 2.000 L que indicaram mudanças significativas em componentes como graduação alcoólica, ácidos voláteis, aldeídos e ésteres; porém, em testes sensoriais, avaliadores não treinados não perceberam diferenças, enquanto avaliadores treinados atribuíram notas mais baixas às amostras micro-oxigenadas.

De Miranda, Horii Alcarde (2006), analisaram o efeito da irradiação gamma (60CO) na qualidade da cachaça e no tonel de envelhecimento, onde a cachaça e os toneis de carvalho de

20 L de capacidade foram submetidos à irradiação gama (150 Gy). Análises físico-químicas e cromatográficas foram realizadas periodicamente ao longo de 390 dias do período de envelhecimento da bebida. A irradiação da cachaça e do tonel não alterou a maioria dos componentes voláteis do coeficiente de congêneres como acidez volátil, ésteres, álcoois superiores e furfural durante os 390 dias. Há evidências, entretanto, de que os parâmetros de alguns componentes como aldeídos, taninos, cor e teor de cobre são de alguma forma influenciados, resultando em aceleração parcial do processo de maturação ou envelhecimento. Ao final do período de envelhecimento, foi feita uma análise sensorial com 30 provadores não treinados. A aceleração do processo de envelhecimento foi confirmada pela avaliação sensorial, e a cachaça e/ou tonel irradiados receberam maior indicação de aprovação em todos os parâmetros analisados (aroma, sabor e aparência).

A legislação brasileira tem evoluído para reconhecer métodos de envelhecimento acelerado. A Portaria MAPA nº 539/2022 autoriza o uso de fragmentos de madeira para conferir características sensoriais à cachaça, desde que isso esteja claramente declarado no rótulo. Apesar da permissão, o uso de expressões sugestivas como “envelhecida” continua proibido, o que reforça a necessidade de transparência e de revisão regulatória sensível ao desenvolvimento tecnológico (Brasil, 2022; Mapa da Cachaça, 2016).

Além dos aspectos sensoriais e legais, há também a dimensão da sustentabilidade e da legitimidade: a variabilidade intrínseca das madeiras nativas exige padronização e certificação, identificação de espécie, tratamento térmico, controle de umidade, rastreabilidade, para assegurar segurança, consistência e adequação ao mercado (Pacheco; Kawanishi; Nascimento, 2019). A certificação da madeira por meio de normas como as da ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, e selos florestais, como o FSC, *Forest Stewardship Council* (Conselho de Manejo Florestal, reforça a confiabilidade e valor comercial, sobretudo em cadeias de sustentabilidade e exportação (Vilela, 2025).

4.5 Considerações finais da revisão

A revisão realizada permitiu observar que o envelhecimento da cachaça é um processo multifatorial, em que aspectos microbiológicos, físico-químicos e de acondicionamento interagem de maneira dinâmica. Os microrganismos, embora muitas vezes negligenciados, podem exercer tanto efeitos positivos, como a geração de ésteres e fenóis voláteis por leveduras não-*Saccharomyces*, quanto efeitos indesejáveis, como a produção de acidez excessiva e defeitos sensoriais oriundos de bactérias acéticas e lácticas. Já os parâmetros físico-químicos,

especialmente a extração de compostos fenólicos e aromáticos da madeira e o controle da oxigenação, mostraram-se determinantes para o equilíbrio sensorial e para a padronização do produto.

O uso de diferentes espécies de madeira evidencia a diversidade cultural e biológica do Brasil, proporcionando bebidas com identidades sensoriais singulares. Além disso, técnicas de acondicionamento inovadoras, como a aplicação de micro-oxigenação e a utilização de fragmentos de madeira, surgem como alternativas para ampliar a complexidade aromática em menor tempo, sem perder de vista os critérios legais e de segurança.

Dessa forma, a literatura demonstra que o envelhecimento da cachaça deve ser entendido como um processo de integração entre ciência, tradição e inovação. O alinhamento entre práticas adequadas de produção, pesquisa aplicada e valorização da biodiversidade nacional é essencial para consolidar a cachaça como um destilado de alto valor agregado e de competitividade crescente no mercado global.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho evidenciou que o envelhecimento da cachaça é um processo determinante para a construção de sua qualidade sensorial e para a valorização comercial da bebida. A análise da literatura demonstrou que fatores microbiológicos, físico-químicos e de acondicionamento atuam de forma integrada, promovendo transformações que influenciam diretamente aroma, sabor, cor e suavidade.

No âmbito microbiológico, observou-se que a presença controlada de determinadas leveduras pode enriquecer o perfil sensorial, enquanto a proliferação de bactérias e fungos indesejáveis representa risco de contaminação e perda de qualidade. Já os parâmetros físico-químicos, como teor alcoólico, acidez, compostos fenólicos e voláteis, mostraram-se altamente dependentes das condições de envelhecimento, da porosidade da madeira e das variáveis ambientais.

Quanto ao acondicionamento, a diversidade de madeiras brasileiras apresenta um diferencial competitivo frente ao uso tradicional do carvalho, oferecendo oportunidades de inovação e identidade regional. Além disso, técnicas modernas, como a micro-oxigenação e o uso de fragmentos de madeira, surgem como alternativas promissoras para otimizar tempo e recursos, desde que aplicadas com rigor técnico e em conformidade com a legislação vigente.

Conclui-se, portanto, que a consolidação da cachaça como destilado premium no cenário nacional e internacional depende da integração entre pesquisa científica, manejo adequado das práticas produtivas e valorização da biodiversidade brasileira. O aprofundamento em estudos aplicados, aliado à difusão de tecnologias sustentáveis e à preservação da tradição cultural, constitui caminho essencial para o fortalecimento da competitividade e do reconhecimento da cachaça como patrimônio nacional e produto de excelência no mercado global.

Referências

- ALCARDE, André Ricardo. **Cachaça: ciência, tecnologia e arte**. 2. ed. São Paulo: Blücher, 2017. 96 p.
- ALCARDE, A. R.; SOUZA, P. A. DE; BELLUCO, A. E. DE S. **Aspectos da composição química e aceitação sensorial da aguardente de cana-de-açúcar envelhecida em tonéis de diferentes madeiras**. Food Science and Technology, v. 30, p. 226–232, 2010.
- AQUINO, F. W. B. et al. **Determinação de marcadores de envelhecimento em cachaças**. Food Science and Technology, v. 26, n. 1, p. 145–149, 2006.
- ARUNA JANANI, V. et al. **Study of mechanical property of treated teak wood and tamarind seed particles in the applications of reinforced composites**. Materials today: proceedings, 2023.
- BORTOLETTO, A. M. **Composição química de cachaça maturada com lascas tostadas de madeira de carvalho proveniente de diferentes florestas francesas**. 2013. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.
- BORTOLETTO, A. M. **Influência da madeira na qualidade química e sensorial da aguardente de cana envelhecida**. 2016. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.
- BORTOLETTO, A. M.; ALCARDE, A. R. **Aging marker profile in cachaça is influenced by toasted oak chips**. *Journal of the Institute of Brewing*, vol. 121, n. 1, p. 70–77, 2015.
- BORTOLETTO, A. M.; ALCARDE, A. R. **Congeners in sugar cane spirits aged in casks of different woods**. Food Chemistry, v. 139, p. 695–701, 2013.
- BORTOLETTO, A. M.; CORREA, A. C.; ALCARDE, A. R. **Aging practices influence chemical and sensory quality of cachaça**. Food research international (Ottawa, Ont.), v. 86, p. 46–53, 2016.
- BORTOLETTO, A. et al. **Perfil sensorial de aguardente de cana envelhecida em barris de madeiras consideradas “inertes” e “ativas”**. Unpublished, 2015.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Cachaça: aspectos técnicos e legais**. Brasília: MAPA, 2014.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Cachaça: produção e qualidade**. Brasília: MAPA, 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/bebidas/cachaca>>. Acesso em: 24 jul. 2025.

BRASIL. Portaria do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento - MAPA nº 539, de 26 de dezembro de 2022. Estabelece os Padrões de Identidade e Qualidade da aguardente de cana e da cachaça. **Diário Oficial da União**, seção 1, Brasília, p. 13, 27 dez. 2022.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Instrução Normativa nº 13, de 29 de junho de 2005. Regulamento técnico para fixação dos padrões de identidade e qualidade para aguardente de cana e cachaça. **Diário Oficial da União**, Brasília, 30 jun. 2005. Seção 1, p. 3–6.

BRASIL TRAVEL NEWS. **A importância da cachaça para a economia do Brasil**. Instituto Brasileiro da Cachaça – IBRAC, 2025. Disponível em: <<https://ibrac.net/noticia-do-setor/101/a-importancia-da-cachaca-para-a-economia-do-brasil-fonte-brasil-travel-news>>. Acesso em: 24 jul. 2025.

BRICENO, J. C. C. et al. **Kinetics of volatile aromatic compound production during the aging of cachaça in different types of wood**. Food Science and Technology, v. 45, 2025.

Cachaça bate recorde de exportações em valor com apoio da ApexBrasil e do IBRAC. Disponível em: <<https://apexbrasil.com.br/br/pt/conteudo/noticias/cachaca-recorde-exportacoes-valor-apoio-apexbrasil-ibrac.html>>. Acesso em: 13 jul. 2025.

CANUTO, M. H. **Influência de alguns parâmetros na produção de cachaça: linhagem de levedura, temperatura de fermentação e corte do destilado**. 2013. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

CARDOSO, K. C. R. **Envelhecimento de cachaça orgânica em barris de diferentes madeiras**. 2014. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.

CARVALHO, D. G. *et al.* **Determination of the concentration of total phenolic compounds in aged cachaça using two-dimensional fluorescence and mid-infrared spectroscopy**. Food chemistry, v. 329, n. 127142, p. 127142, 2020.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies Arbóreas Brasileiras**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 2003. 1039 p. (Coleção Espécies Arbóreas Brasileiras). ISBN 85-7383-167-7.

CASTRO, J. P. et al. **Uso de espécies amazônicas para envelhecimento de bebidas destiladas: análises física e química da madeira**. Cerne, v. 21, n. 2, p. 319–327, 2015.

CASTRO, M. C. de. **Caracterização química e sensorial do grau de maturação de cachaça envelhecida em tonéis de madeiras brasileiras**. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2023.

CASTRO, M. C. et al. **Maturation-related phenolic compounds in cachaça aged in oak barrels: influence of reuses**. Wood science and technology, v. 57, n. 3, p. 781–795, 2023.

CATÃO, Catarina G. *et al.* **Qualidade da madeira de cinco espécies florestais para o envelhecimento da cachaça**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental/Brazilian Journal of Agricultural and Environmental Engineering, v. 15, n. 7, p. 741–747, 2011.

CHEN, Yu *et al.* **Exploring the influence of oak barrel aging on the quality of Cabernet Sauvignon wine with a high ethanol content: Interactions with wood grain and toasting level.** Food chemistry: X, v. 27, n. 102444, p. 102444, 2025.

CHRISTOPH, N.; BAUER-CHRISTOPH, C. **Flavour of spirit drinks: Raw materials, fermentation, distillation, and ageing.** Em: Flavours and Fragrances. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2007. p. 219–239.

CONNER, J.; REID, K.; JACK, F. **Maturation and blending.** In: Whisky. Academic Press, 2003. p. 209-240.

CORNIANI, L.S. **Qualidade química e sensorial de cachaça envelhecida em barris de carvalho de diferentes espécies e quantidades de uso.** Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2017.

CORRÊA, A. C. **Composição química e características sensoriais de cachaças monodestiladas produzidas com leveduras selecionadas e fermento natural.** Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2020.

CORRÊA, A. C. **Qualidade da bebida destilada a partir do mosto combinado de malte de cevada e caldo de cana-de-açúcar.** Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.

CRUZ, Von Mark V.; DIERIG, David A. (ORGS.). **Industrial crops: Breeding for BioEnergy and bioproducts.** Nova Iorque, NY, USA: Springer, 2016.

DA SILVA, K. C. A. **Chips de resíduos madeiros termotratados para uso na maturação da cachaça.** Dissertação (mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2024.

DANTAS, H. J.; VILAR, F.; SILVA, F. L. H.; SILVA, A. S. **Avaliação da influência da velocidade de destilação na análise físico-química de aguardente de cana-de-açúcar.** Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, v. 9, n. 2, p. 101-109, 2007.

DE ALMEIDA, S. G. C. **Valorização da biomassa de cana-de-açúcar em dois cenários: fermentação para produção de biolipídeos e desenvolvimento de biocompósitos.** Tese (Doutorado) – Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2025.

DE ALMEIDA, S. S. M. da S. **Metabólitos secundários: uma análise qualitativa de espécies vegetais.** Macapá: Editora da Universidade Federal do Amapá, 2024.

DE ALMEIDA, V. E. et al. **Quantification of alcohol content and identification of fraud in traditional cachaças using NIR spectroscopy.** Food chemistry, v. 480, n. 143809, p. 143809, 2025.

DE ANDRADE, A. R. **Perfil sensorial e qualidade química de vinho tinto da variedade Merlot maturado em barris de diferentes madeiras.** Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2022.

DE CAMPOS OLIVEIRA, M. **Avaliação da qualidade físico-química e sensorial da cachaça orgânica envelhecida**. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Jaboticabal, 2016.

DE MIRANDA, M. B.; HORII, J.; ALCARDE, A. R. **Estudo do efeito da irradiação gamma (60CO) na qualidade da cachaça e no tonel de envelhecimento**. Food Science and Technology, v. 26, n. 4, p. 772–778, 2006.

DE OLIVEIRA FILHO, J. H. **Qualidade pós-colheita de colmos de cana armazenados e seus reflexos na produção de cachaça**. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.

DE OLIVEIRA, L. DE O.; FERRAREZI JUNIOR, E. **Produção de cachaça artesanal**. Revista Interface Tecnológica, v. 19, n. 2, p. 810–818, 2022.

DE OLIVEIRA, P. H. V. et al. **Cachaças armazenadas em amburana: Análise e avaliação quantitativa dos congêneres por um período de 180 dias**. Research, Society and Development, v. 13, n. 9, p. e3913946754, 2024.

DE SOUZA, E. G. T. et al. **Accelerated aging of Brazilian sugarcane spirit: Impact of wood chips reuse on the phenolic and volatile profile of the beverage**. Food chemistry, v. 476, n. 143163, p. 143163, 2025.

DE SOUZA, P. A. **Produção de aguardente de cana-de-açúcar por dupla destilação em alambique retificador**. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

DESMARCHIS, E. H. S. et al. **Avaliação fitoquímica e farmacológica de espécies do gênero *Erythrina***. Revista Brasileira de Farmacognosia, v. 15, n. 2, p. 93–99, 2005.

DUAN, Bingbing *et al.* **Characterization of volatile compounds and sensory properties of spine grape (*Vitis davidii* Foex) brandies aged with different toasted wood chips**. Food chemistry: X, v. 23, n. 101777, p. 101777, 2024.

DUARTE, N. J. L. et al. **A química dos blends de cachaça em diferentes madeiras**. Research, Society and Development, v. 13, n. 8, p. e11213846631, 2024.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Espécies florestais nativas do Brasil**. Brasília: EMBRAPA Florestas, 2010. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/florestas>>. Acesso em: 31 jul. 2025.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Variedades de cana-de-açúcar**. Agência de Informação Tecnológica, 2025. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana-de-acucar/pre-producao/caracteristicas/variedades>>. Acesso em: 31 jul. 2025.

EUROMONITOR INTERNATIONAL. **Alcoholic drinks market hits total volume decline worldwide for only third time in 15 years**. Euromonitor, 2024. Disponível em: <<https://www.euromonitor.com/press/press-releases/august-2024/alcoholic-drinks-market>>.

hits-total-volume-decline-worldwide-for-only-third-time-in-15-years-euromonitor-international>. Acesso em: 24 jul. 2025.

EXPO CACHAÇA. **Números da cachaça**. 2024. Disponível em: <<https://www.expocachaca.com.br/numeros-da-cachaca/>>. Acesso em: 24 jul. 2025.

FILHO, L. L. et al. **Panorama do setor sucroalcooleiro brasileiro**: da produção ao processamento dos resíduos associados a cadeia de cana-de-açúcar. OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA, v. 22, n. 6, p. e5076, 2024.

FILHO, W. P.; REGINA, S. B. **Produção de cachaça de alambique**. EMATER-MG. Disponível em: <<https://www.emater.mg.gov.br/download.do?id=87537#:~:text=HOMOGENEIZA%C3%87%C3%83O%20DO%20CALDO,atender%20%C3%A0%20capacidade%20do%20alambique.>>. Acesso em: 13 jul. 2025.

FRANÇA, P. H. T. DE et al. **Análise fisiológica em mudas de guanandi (*calophyllum BRASILIENSE* cambess) submetidas ao déficit hídrico**. Agropecuária científica no semiárido, v. 13, n. 4, p. 264, 2017.

GARCIA, Graciany. **Tratamento de caldo e tipos de fermentos sobre os componentes secundários e qualidade da cachaça de alambique**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2016.

GEANKOPLIS, C. J. **Transport processes and separation process principles**: includes unit operations. 4. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2003.

GONÇALVES, C. M. et al. **Produção e análise química de cachaça de alambique a partir de cepa selecionada de *saccharomyces cerevisiae***. Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos, v. 37, n. 2, 2021.

GONÇALVES, F. G.; LELIS, R. C. C.; ANDRADE, W. S. de P. **Engenharia madeireira: pesquisa e produção**. Seropédica, RJ: Editora da UFRRJ, 2017.

GUERRERO-CHANIVET, María *et al.* **Influence of the use of sulfur dioxide, the distillation method, the oak wood type and the aging time on the production of brandies**. Current research in food science, v. 6, n. 100486, p. 100486, 2023.

HILL, L. K. et al. **A comparative review of breadfruit seeds (*Treculia africana*, *Artocarpus nobilis*, and *Artocarpus heterophyllus*)**: Nutritional composition, bioactive compounds, and processing techniques. Suid-Afrikaanse tydskrif vir plantkunde [South African journal of botany], v. 181, p. 290–301, 2025.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Lista de espécies da flora brasileira com potencial madeireiro**. Brasília: IBAMA, 2012. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br>. Acesso em: 31 jul. 2025.

IMAI, Takanori; INOUE, Sousuke; OHDAIRA, Naomi et al. **Heartwood extractives from the amazonian trees *Dipteryx odorata*, *Hymenaea courbaril* and *Astronium lecointei* and**

their antioxidant activities. Journal of Wood Science, v. 54, p. 470–475, 2008. DOI: 10.1007/s10086-008-0975-3.

IWSR – International Wine & Spirit Research. **Global spirits volumes flat in 2023 but set for growth by 2028.** The Spirits Business, 2024. Disponível em: <<https://www.thespiritsbusiness.com/2024/06/iwsr-global-spirits-volumes-flat-in-2023/>>. Acesso em: 24 jul. 2025.

JANZANTTI, N. S. **Avaliação da qualidade sensorial e físico-química de aguardentes comerciais.** 2004. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

JESUS, A. O. DE; ROCHA, A. M.; PESENTE, R. **A Rota da Cachaça:** Navegando pelas Indicações Geográficas da Cachaça no Brasil. Revista de Gestão e Secretariado, v. 16, n. 7, p. e5055, 2025.

LIMA, E. R. A.; TÔRRES, A. R. **Otimização do processo de fermentação alcoólica para produção de etanol hidratado.** Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química. **Anais...**São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2015.

LIMA, L. L. DE A.; MELO FILHO, A. B. DE. **Tecnologia de bebidas.** Coord. institucional: Argelia Maria Araujo Dias Silva. Recife: EDUFRPE, 2011. 126 p. (Técnico em alimentos). ISBN 978-85-7946-089-0.

LIMA, U. A.; AQUARONE, E.; BORZANI, W. (Coord). **Biotecnologia industrial: processos fermentativos e enzimáticos.** São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2001. v. 3. cap. 1, p. 1-40, 2001.

MAIA, A. B. **Cachaça de Alambique: Raízes, Identidade, Valores.** e-book. Belo Horizonte: Visu, 2025. 94 p. ISBN 978-65-280-1568-9.

MAIA, A. B. **Papel da madeira no envelhecimento da cachaça.** Recima21 - Revista Científica Multidisciplinar - ISSN 2675-6218, v. 2, n. 8, p. e28682, 2021.

MAFE, Alice N.; BÜSSELBERG, Dietrich. **Mycotoxins in food:** Cancer risks and strategies for control. Foods (Basel, Switzerland), v. 13, n. 21, p. 3502, 2024.

MAIA, A. B. et al. **Parâmetros para certificação da madeira empregada no armazenamento da cachaça.** Research, Society and Development, v. 11, n. 15, p. e357111535793, 2022.

MALTA, H. L. **Estudos de parâmetros de propagação de fermento (*Saccharomyces cerevisiae*) para produção de cachaça de alambique.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

MAPA DA CACHAÇA. **Entenda as novas diretrizes da Portaria MAPA 539/2022 para produção de cachaça.** Mapa da Cachaça, Belo Horizonte, 30 nov. 2022. Disponível em: <https://mapadacachaca.com.br/artigos/entenda-as-novas-diretrizes-da-portaria-mapa-539-2022-para-producao-de-cachaca/>. Acesso em: 8 ago. 2025.

MAPA DA CACHAÇA. **Madeiras brasileiras para envelhecimento da cachaça**. Mapa da Cachaça, 2014. Disponível em: <https://www.mapadacachaca.com.br>. Acesso em: 24 jul. 2025.

MAPA DA CACHAÇA. **Os principais números da cachaça em 2023**. Disponível em: <https://mapadacachaca.com.br/artigos/os-principais-numeros-da-cachaca-em-2023/>. Acesso em: 24 jul. 2025.

MARCONDES PEREIRA, A. DE A.; ACEVEDO, M. S. M. S. F.; ALCARDE, A. R. **Improvement of the chemical quality of Cachaça**. *Beverages*, v. 10, n. 3, p. 79, 2024.

MENDES, D. DE C. S. et al. **Efeito de diferentes madeiras sobre a cinética no envelhecimento de cachaça**. *Revista Caderno Pedagógico*, v. 21, n. 13, p. e12803, 2024.

MENDES, D. DE C. S. et al. **Perfil químico, antioxidante e cromatográfico de cachaça envelhecida em tonéis de carvalho americano, castanha-do-pará, amburana e bálsamo em 12 meses**. *Observatório de la economía latinoamericana*, v. 23, n. 2, p. e9013, 2025.

MIRANDA, Mariana Branco de *et al.* **Qualidade química de cachaças e de aguardentes brasileiras**. *Food Science and Technology*, v. 27, n. 4, p. 897–901, 2007.

MORAIS, K. C. R. C. et al. **Avaliação química de cachaça envelhecida em madeiras Brasileiras**. Em: *Bebidas Fermentadas e Destiladas: pesquisas e aplicabilidades*. Instituto Multiprofissional de Ensino, 2022, ISBN: 978-65-88884-19-5.

MOSER, A. de S. **Efeito da micro-oxigenação na qualidade química e sensorial da cachaça**. 2012. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

NÓBREGA, I. C. da C. **Análise dos compostos voláteis da aguardente de cana por concentração dinâmica do “headspace” e cromatografia gasosa-espectrometria de massas**. *Food Science and Technology*, v. 23, n. 2, p. 210–216, 2003.

OLIVEIRA FILHO, J. H. DE; BORTOLETTO, A. M.; ALCARDE, A. R. **Qualidade pós-colheita de colmos de cana armazenados e seus reflexos na produção de cachaça**. *Brazilian journal of food technology*, v. 19, n. 0, 2016.

OLIVEIRA, M. De C. **Produção de aguardente de cana-de-açúcar**. Em: *Ciências Agrárias: o avanço da ciência no Brasil - Volume 2*. Editora Científica Digital, 2021. p. 138–158.

PACHECO, J. T. R.; KAWANISHI, J. Y.; NASCIMENTO, R. DO. **Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável 2**. Atena Editora, 2019. ISBN: 978-85-72477-55-0

PARAZZI, C. et al. **Avaliação e caracterização dos principais compostos químicos da aguardente de cana-de-açúcar envelhecida em tonéis de carvalho (*Quercus* sp.)**. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v. 28, n. 1, p. 193–199, jan./mar. 2008.

PIMENTEL, Guilherme Vieira *et al.* **Performance and yield estimation of sugarcane varieties for pot still cachaça production**. *Australian journal of crop science*, n. 18(08):2024, p. 479–485, 2024.

PINA, Ricardo Lavor; CRUZ, Délis Cristina Palheta; MARTELLI, Marlice Cruz. **Avaliação da influência de aromas gerados por leveduras não convencionais utilizadas na produção de cerveja: uma revisão.** Research, Society and Development, v. 11, n. 17, p. e43111738868, 2022.

PINTO, D. et al. **Um método mais eficiente de isolamento do lapachol diretamente da matriz vegetal do ipê.** Quimica nova, 2024.

RATKOVICH, N. et al. **The spirit of cachaça production: An umbrella review of processes, flavour, contaminants and quality improvement.** Foods (Basel, Switzerland), v. 12, n. 17, 2023.

RODRIGUES, G. S. DE S. C.; ROSS, J. L. S. **A trajetória da cana-de-açúcar no Brasil: perspectivas geográfica, histórica e ambiental.** EDUFU, 2020.

SANTIAGO, Marcos Aurélio Araújo *et al.* **Transformações qualitativas e quantitativas dos parâmetros físico-químicos em cachaças envelhecidas.** Research, Society and Development, v. 13, n. 8, p. e10613846629, 2024.

SANTOS, A. B. **O processo produtivo de cachaça artesanal na comunidade rural de sítio- distrito de Brejo do Amparo- Januária (MG) - 2021.** 171f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2021.

SANTOS, M. DE O. et al. **Copaifera langsdorffii Desf.: A chemical and pharmacological review.** Biocatalysis and agricultural biotechnology, v. 39, n. 102262, p. 102262, 2022.

SAKAI, R. H.; DA SILVA, F. C.; DE CARVALHO, M. L. **Cachaça - Portal Embrapa.** Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana/pos-producao/cachaca>>. Acesso em: 13 jul. 2025.

SCHOENINGER, V.; COELHO, S. R. M.; SILOCHI, R. M. H. Q. **Cadeia produtiva da cachaça.** Energia na agricultura, v. 29, n. 4, p. 292, 2014.

SERAFIM, Felipe A. T. *et al.* **Correlation between chemical composition and sensory properties of Brazilian sugarcane spirits (cachaças).** Journal of the Brazilian Chemical Society, 2013.

SILVA, J. H. do N. e. **Incidência do carbamato de etila e do cobre na cachaça, produzidas com diferentes variedades de cana-de-açúcar cultivada sob manejo orgânico, convencional e sem adubação.** 2019. 203 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2019.

SILVELLO, G.C. **Qualidade química e perfil sensorial da cerveja envelhecida em barris de diferentes madeiras.** 219. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2019.

SILVELLO, G. C.; ALCARDE, A. R. **Experimental design and chemometric techniques applied in electronic nose analysis of wood-aged sugar cane spirit (cachaça).** Journal of agriculture and food research, v. 2, n. 100037, p. 100037, 2020.

SOARES, T. L.; SILVA, C. F.; SCHWAN, R. F. **Acompanhamento do processo de fermentação para produção de cachaça através de métodos microbiológicos e físico-químicos com diferentes isolados de *Saccharomyces cerevisiae***. Food Science and Technology, v. 31, n. 1, p. 184–187, 2011.

VIANA, L. F. **Características físico-químicas e sensoriais de aguardente de cana-de-açúcar submetidas à diferentes condições de envelhecimento**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2007.

VIÉGAS, E. K. D. et al. **Avaliação físico-química e sensorial de cachaça envelhecida em barris de eucalipto**. Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química. Anais. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2015.

VILELA, A. F. **Estudo da adequação de critérios de boas práticas de fabricação na avaliação de fábricas de cachaça de alambique**. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Farmácia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

VILELA, C. **Nova acreditação FSC® Manejo Florestal na APCER - APCER**. Disponível em: <<https://apcergroup.com/pt-br/noticias-e-destaques/4602/nova-acreditacao-fsc%C2%AE-manejo-florestal-na-apcer>>. Acesso em: 8 ago. 2025.

VIVAS, N. et al. **Origin and characterisation of the extractable colour of oak heartwood used for ageing spirits**. Journal of Wood Science, v. 66, p. 1-9, 2020.

VOLPE, T. C.; BONA, E.; VITÓRIO, A. C. **Evaluation of physicochemical characteristics from industrial and handcrafted cachaça commercialized in the north central region from Paraná state**. Revista Brasileira de Pesquisa em Alimentos, v. 4, n. 2, p. 55, 2014.

YAN, Y. et al. **The insights into sour flavor and organic acids in alcoholic beverages**. Food chemistry, v. 460, n. Pt 3, p. 140676, 2024.

ZACARONI, L. M. et al. **Avaliação multivariada da composição fenólica de cachaças envelhecidas em diferentes barris de madeira**. Científica, v. 42, n. 2, p. 101, 2014.

ZHANG, Taoxian *et al.* **Revealing the flavor differences of sauvignon blanc wines fermented in different oak barrels and stainless-steel tanks through GC-MS, GC-IMS, electronic, and artificial sensory analyses**. Food chemistry: X, v. 25, n. 102188, p. 102188, 2025.