IMPACTO DO TIPO DE MADEIRA E DAS VARIÁVEIS DE PROCESSO SOBRE A CACHAÇA ENVELHECIDA

Magalhães, J. L. C[1], Martins F. F[1,2], Silva O. J. A.[1,2], Lima M.[3]

[1] José Lucas Cardoso Magalhães, Universidade Federal de Uberlândia- Campus Patos de Minas – MG, Brasil, e-mail: lucascmagalhaes45@gmail.com

[1,2] Flávio Francisco Martins, Universidade Federal de Uberlândia- Campus Patos de Minas – MG, Brasil

[1,2] Ordarlei José Aparecido Silva, Universidade Federal de Uberlândia- Campus Patos de Minas – MG, Brasil

[3] Marieli de Lima, Universidade Federal de Uberlândia- Campus Patos de Minas – MG, Brasil

Resumo: O envelhecimento da cachaça é uma etapa crucial para agregar valor e aprimorar sua complexidade sensorial. Este trabalho revisa as transformações físico-químicas sobre o impacto sensorial no envelhecimento em diferentes espécies de madeira. A Amburana, Jatobá e Cumarurana, apresentam potencial tecnológico equivalente ao do Carvalho (*Quercus* sp.) na modulação aromática. Conclui-se que o uso racional da biodiversidade nacional otimiza a qualidade global da bebida e impulsiona a inovação no setor.

Palavras-chave: Destilados; Envelhecimento; Compostos Fenólicos; Madeiras Nativas; Perfil Sensorial.

INTRODUÇÃO

A cachaça constitui o destilado genuíno, típico e exclusivo do cenário produtivo brasileiro, sendo obtida por meio do processo de fermentação e da subsequente destilação do mosto extraído diretamente da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.), com teor alcoólico regulamentado entre 38% e 48% em volume a 20 °C (Bortoletto et al., 2016a; Da-Silva et al., 2023). Após as etapas de destilação em alambiques de cobre, o produto fresco muitas vezes apresenta características pungentes, adstringentes e uma agressividade alcoólica pronunciada devido à presença de compostos voláteis minoritários e sulfurados (Rota et al., 2013). Para mitigar esses atributos indesejáveis e refinar o perfil sensorial, a bebida pode passar pela etapa de armazenamento ou maturação.

Durante o período em que o destilado permanece confinado nos recipientes lenhosos, ocorre uma rede de reações cinéticas e termodinâmicas, dependentes da velocidade com que ocorrem e da estabilidade dos compostos gerados, dependendo das condições operacionais, como a temperatura de processo, tempo de envelhecimento e tipo de madeira utilizada, que influenciamos processos mecânicos de difusão, hidrólise de macromoléculas da madeira, reações oxidativas lentas devidas à porosidade do material, polimerizações e reações de esterificação (Ratkovich et al., 2023, Alcarde, 2023). Essas interações moleculares alteram profundamente a composição volátil e não volátil da cachaça original, transferindo compostos essenciais da estrutura celular da planta para o meio hidroalcoólico (Colivet et al., 2025).

Embora o carvalho europeu ou americano (*Quercus petraea* e *Quercus alba*) detenha a hegemonia global na tanoaria de destilados e vinhos devido à sua estabilidade física consagrada e à liberação de elagitaninos (Faria et al., 2003), o ecossistema brasileiro oferece uma rica diversidade botânica. Estudos científicos têm sistematicamente validado a aptidão tecnológica de espécies florestais nativas, que promovem perfis aromáticos singulares e conferem ao produto uma forte identidade territorial e sustentabilidade econômica (Catão et al., 2016; Cardoso et al., 2020). Sendo assim, o objetivo deste trabalho consistiu em cruzar dados consolidados da literatura para elucidar os mecanismos de transformação da cachaça ao longo do seu armazenamento em diferentes tipos de madeira.

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho adota uma abordagem de revisão integrativa e analítica, fundamentada na compilação e cruzamento de dados experimentais reportados em pesquisas recentes sobre a físico-química e a análise sensorial da cachaça envelhecida. Avaliaram-se parâmetros cinéticos relativos à degradação da lignina e hemicelulose, a taxa de migração de compostos fenólicos totais e marcadores de maturação (como vanilina, siringaldeído e cumarina), as variações nos teores de acidez volátil e extrato seco, além de dados sobre perfis de aceitabilidade hedônica por consumidores (Simioni et al., 2018; Carvalho et al., 2020). Os dados obtidos a partir dos estudos encontrados foram correlacionados com variáveis de

processo, tais como o tempo de contato e a espécie botânica utilizada no invólucro de armazenamento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dinâmica Bioquímica e Cinética de Maturação

O cruzamento dos dados cinéticos extraídos da literatura indica que as transformações físico-químicas mais intensas e velozes ocorrem predominantemente nos primeiros 12 a 24 meses de confinamento do líquido (Bortoletto et al., 2016a; Santiago et al., 2017; Colivet et al., 2025). Esse fenômeno inicial e generalizado decorre do gradiente de concentração acentuado entre a madeira virgem e o destilado inicialmente isento de extrativos aromáticos. Modelos matemáticos aplicados à tanoaria evidenciam que compostos de baixo peso molecular difundem-se prioritariamente nessas fases iniciais, enquanto reações mais complexas de oxidação, mediadas pelo oxigênio que perpassa as aduelas do barril, demandam tempos mais longos para se consolidarem (Alcarde, 2023).

A composição das frações fenólicas é também intimamente ligada a tratamentos térmicos da madeira (tosta), processo capaz de modificar a estrutura molecular da madeira, hidrolisar polímeros insolúveis e liberar aldeídos aromáticos de alto impacto sensorial. A intensidade e a temperatura desse tratamento modulam diretamente a qualidade final do destilado (Bortoletto et al., 2016a). Em temperaturas de tosta mais baixas (cerca de 80 °C a 100 °C), a madeira preserva uma alta concentração de extrativos voláteis e taninos, o que frequentemente resulta em pronunciada adstringência e amargor na bebida final. À medida que a temperatura do tratamento térmico se aproxima de 150 °C a 200 °C, ocorre a degradação ideal da lignina e da hemicelulose (Bortoletto et al., 2016a). Diante disso, a tosta média (*medium toasting*) é considerada a mais adequada para conferir os melhores atributos fenólicos à cachaça. Esta operação otimiza a liberação de compostos desejáveis, como a vanilina e o siringaldeído, garantindo notas equilibradas de baunilha e caramelo, sem carbonizar excessivamente as fibras da madeira, fenômeno comum em tostas muito pesadas (*heavy toasting*), que podem reduzir a extração aromática delicada e sobrecarregar o destilado com notas excessivamente defumadas (Bortoletto et al., 2016b; Alcarde, 2023). Adicionalmente, reações lentas de esterificação alteram a distribuição de ésteres de cadeia curta e longa, convertendo a acidez pungente em matrizes olfativas associadas a frutas e flores (Rota et al., 2013).

Análise Comparativa e Perfil das Espécies de Madeira

As transformações químicas variam qualitativamente e quantitativamente de acordo com a espécie botânica escolhida para compor o barril ou tanque de estocagem. Espécies como a Amburana (*Amburana cearensis*) exibem uma taxa de transferência cinética extremamente acentuada, saturando o meio fluido com cumarinas em curtos períodos de maturação, tipicamente compreendidos entre 6 e 12 meses (Cardoso et al., 2020; Santiago et al., 2017). Em contrapartida, madeiras como o Jatobá (*Hymenaea courbaril*) demonstram um comportamento equilibrado e gradativo, assemelhando-se à curva de extração característica do Carvalho tradicional (Simioni et al., 2018).

As características da madeira, como a porosidade anatômica e a composição química específica de cada táxon, determinam a intensidade da coloração amarelada, os teores de extrato seco e o *bouquet* de aromas e sabores desenvolvidos na cachaça ao longo do tempo. A Tabela 1 condensa essas correlações de forma detalhada, integrando dados físico-químicos e sensoriais extraídos das referências estudadas.

A análise comparativa dos dados expostos na Tabela 1 revela que as notas gustativas e aromáticas desenvolvidas pelas madeiras nativas variam desde perfis muito semelhantes ao padrão internacional até identidades sensoriais completamente exclusivas. Espécies como o Jatobá e a Castanheira transferem compostos que remetem à baunilha, amêndoas, caramelo e leve dulçor, assemelhando-se fortemente ao perfil clássico e equilibrado do carvalho. Por outro lado, a Amburana e o Bálsamo entregam *bouquets* aromáticos distintos e marcantes, com predominância de notas florais, canela, anis e características herbáceas (Bortoletto et al., 2016b; Santiago et al., 2017).

Adicionalmente, para além do aprimoramento dos atributos sensoriais, o enquadramento da cachaça na classe de bebidas finas e de categoria *premium* é rigorosamente balizado por critérios normativos e legais da legislação brasileira. Conforme revisado por Da-Silva et al. (2023) e Ratkovich et al. (2023), os critérios para essa rotulagem exigem que 100% do volume total do destilado seja envelhecido em recipientes de madeira com capacidade máxima de 700 litros por um período não inferior a 1 ano (para a designação de "Cachaça *Premium*") ou não inferior a a 3 anos (para a classificação de "Cachaça Extra *Premium*"). Diante dessa exigência regulatória, o cruzamento de dados consolida que espécies de perfil cinético equilibrado e alta estabilidade a longo prazo, como o Jatobá e a Castanheira, apresentam a viabilidade técnica necessária para suportar esses extensos períodos de maturação legal (Simioni et al., 2018).

Tabela 1 – Perfil físico-químico, sensorial e cinético da cachaça submetida ao envelhecimento em diferentes espécies de madeira.

ESPÉCIE DE MADEIRA (NOME CIENTÍFICO)	INFLUÊNCIA DO TEMPO DE ENVELHECIMENTO	EVOLUÇÃO QUÍMICA	IMPACTO SENSORIAL	REFERÊNCIAS
CARVALHO *(Quercus sp.)*	**Longo (12 a 36+ meses):** Apresenta extração inicial rápida, mas requer maior tempo para a estabilização completa das reações oxidativas.	Extração acentuada de elagitaninos, siringaldeído, vanilina e furfural. Favorece a esterificação (ex: formação de hexanoato de etila).	Notas clássicas de baunilha, amêndoa, caramelo e coco. Reduz drasticamente a adstringência e a agressividade do álcool.	Alcarde (2023); Bortoletto et al. (2016a); Rota et al. (2013).
AMBURANA *(Amburana cearensis)*	**Curto (6 a 12 meses):** Cinética de extração muito acelerada; tempos prolongados podem saturar a bebida e mascarar o destilado.	Altas taxas de transferência de cumarina, vanilina e compostos fenólicos de baixo peso molecular logo nos primeiros meses.	Confere cor amarelada intensa rapidamente. Aroma doce marcante, floral, com notas proeminentes de baunilha e canela.	Santiago et al. (2017); Bortoletto et al. (2016a); Catão et al. (2016).
BÁLSAMO *(Myroxylon peruiferum)*	**Médio (12 a 24 meses):** Necessita de tempo moderado para que as reações de polimerização suavizem a bebida.	Alta taxa de transferência de eugenol, extrato seco e compostos terpenoides oriundos de óleos essenciais da madeira.	Notas herbáceas, anis e especiarias marcantes. Confere alta complexidade aromática e coloração amarelo-esverdeada a castanha.	Santiago et al. (2017); Faria et al. (2003); Catão et al. (2016).
JATOBÁ *(Hymenaea courbaril)*	**Médio (12 a 24 meses):** Dinâmica de estabilização muito semelhante à do carvalho, suportando bem o envelhecimento prolongado.	Evolução progressiva de taninos e ácidos fenólicos, garantindo estabilidade físico-química à bebida.	Excelente aceitação hedônica cruzada. Traz notas de baunilha, especiarias suaves e adstringência equilibrada, agradando ao paladar brasileiro.	Simioni et al. (2018); Santiago et al. (2017); Catão et al. (2016).
CASTANHEIRA **(***Bertholletia excelsa*)	**Médio a Longo (12 a 36 meses):** Permite envelhecimento prolongado sem sobrecarregar a cachaça com compostos amargos.	Presença marcante de terpenos (como o nerolidol) e extração equilibrada de compostos fenólicos derivados da lignina.	Frequentemente comparada ao carvalho por sua suavidade. Notas amendoadas, frutadas, de caramelo e leve dulçor.	Bortoletto et al. (2016b); Colivet et al. (2025); Torres et al. (2023).
LOURO-VERMELHO **(***Sextonia rubra*)	**Muito Curto:** Exige controle rigoroso da relação superfície/volume e do tempo de contato para evitar degradação sensorial.	Extração rápida de compostos voláteis pungentes e fenóis de alta reatividade química.	Notas amadeiradas muito intensas. O contato prolongado pode gerar *off-flavors* (defeitos sensoriais medicinais ou excessivamente herbáceos).	Simioni et al. (2018).

Fonte: Autor

Esse processo cumpre as exigências analíticas de degradação macromolecular e garante os teores de compostos fenólicos adequados para conferir o alto padrão de qualidade exigido pelo mercado consumidor de destilados finos (Alcarde, 2023; Ratkovich et al., 2023).

Controle Tecnológico de Tempo e Off-Flavors

Conforme evidenciado pelas pesquisas de perfil hedônico e análise por tempo de dominância de atributos, o manejo temporal é uma variável crítica que deve ser estritamente controlada pelas unidades agroindustriais. Espécies dotadas de alta reatividade celular ou elevados teores de resinas e óleos voláteis nativos, como o louro-vermelho, possuem uma cinética de extração muito acelerada (Simioni et al., 2018).

Estudos demonstram que períodos de 12 meses de contato em barris de pequeno volume já se mostram excessivos, causando uma depreciação severa da bebida e desencadeando notas medicinais ou herbáceas acentuadas, descritas como *off-flavors* (Simioni et al., 2018).Portanto, para essas madeiras altamente reativas, o limite ideal de maturação restringe-se a poucos meses, tipicamente entre 3 e 6 meses, exigindo monitoramento sensorial constante ou a destinação do produto estritamente para a formulação de *blends*, a fim de não sobrecarregar o destilado final (Simioni et al., 2018).

Ademais, o número de ciclos de reuso do barril reduz linearmente a capacidade de extração de indicadores de maturação. Estudos apontam que a proporção de extrativos transferidos ao destilado em barris de segundo uso cai pela metade quando comparada à extração em um barril novo. Dessa forma, um ano de estocagem em madeira virgem pode equivaler quimicamente a até cinco anos de confinamento em um tonel já exaurido pelo uso contínuo (Alcarde, 2023). Portanto, sob a ótica da eficiência de transferência de compostos, o primeiro ciclo é inegavelmente o mais eficiente. Contudo, devido ao elevado custo de aquisição da tanoaria, o descarte de barris após poucos usos é economicamente inviável. Para contornar essa barreira, o manejo tecnológico ideal adotado pelas unidades produtoras consiste na revitalização periódica dos barris, processo que envolve a raspagem da camada interna exaurida das aduelas seguida por uma nova tosta. Essa intervenção permite que o barril retome uma capacidade de envelhecimento quase idêntica à de um barril novo. Com a revitalização adequada, o número ideal e economicamente viável de reuso pode chegar a cerca de cinco a sete ciclos operacionais, limite após o qual a espessura da madeira fica demasiadamente comprometida, perdendo a sua estanqueidade e funcionalidade (Alcarde, 2023).

Otimização do Bouquet e Mitigação de Contaminantes

Paralelamente às transformações sensoriais geradas pelos extratos da madeira, o envelhecimento atua de forma secundária como um purificador físico da bebida. A porosidade controlada do material lenhoso propicia taxas discretas de evaporação de água e etanol (perda volátil anual estimada entre 3% e 4%), o que indiretamente concentra congêneres benéficos e estabiliza o extrato seco (Cardoso et al., 2020).

A oxidação catalisada pelos constituintes porosos modera e suaviza os compostos pungentes originados em destilações menos refinadas, promovendo um "arredondamento" molecular que amortece o ardor alcoólico nas papilas gustativas e harmoniza o *bouquet* final da cachaça (Rota et al., 2013; Da-Silva et al., 2023).

CONCLUSÃO

O armazenamento e envelhecimento da cachaça consolidam-se como processos tecnológicos de alta complexidade bioquímica, capazes de transformar profundamente a assinatura química e o perfil senosrial do destilado inicial. O cruzamento de dados científicos valida as madeiras nativas brasileiras como matérias-primas nobres, dotadas de propriedades cinéticas e de transferência molecular perfeitamente compatíveis com as demandas do mercado de bebidas finas e de categoria *premium*.

O domínio minucioso das variáveis operacionais, que envolvem a seleção criteriosa da espécie florestal, o tempo de permanência, o manejo térmico de tosta e os ciclos de uso do barril, desponta como o caminho fundamental para assegurar a reprodutibilidade industrial e maximizar o padrão de qualidade da cachaça da saída do alambique até o consumidor final.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Campus Patos de Minas, e às agências de fomento CAPES e FAPEMIG pelo apoio à realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

Alcarde, A. R. Extraction of phenolic compounds derived from lignin in cachaça aged in oak barrels. **Wood Science and Technology**, v. 57, p. 781–795, 2023.

Bortoletto, A. M.; Corrêa, A. C.; Alcarde, A. R. Aging practices influence chemical and sensory quality of cachaça. **Food Research International**, v. 86, p. 46–53, 2016a.

Bortoletto, A. M.; Corrêa, A. C.; Alcarde, A. R. Fatty acid profile and glycerol concentration in cachaças aged in different wood. **Journal of the Institute of Brewing**, v. 122, n. 4, p. 624–634, 2016b.

Cardoso, M. G.; Viana, E. J.; Tavares, I. M. C.; Rodrigues, L. M. A.; Baffa Junior, J. C.; Gualberto, S. A. Physicochemical profile and determination of volatile compounds in cachaça stored in new oak and native woods. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, e395985544, 2020.

Catão, C. G.; Paes, J. B.; Gomes, J. P.; Araújo, G. T. Qualidade da madeira de cinco espécies florestais para o envelhecimento da cachaça. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 3, p. 226–232, 2016.

Colivet, J. C. B.; Rabelo, P. N.; Belo, L.; Mendes, D.; Caliari, M.; Silva, F.; Morgado, C.; Oliveira, T. F. Kinetics of volatile aromatic compound production during the aging of cachaça in different types of wood. **Food Science and Technology**, v. 45, fst.00455, 2025.

Da Silva, V. P.; Souza, J. B.; Queiroz, A. L. M.; ribeiro-filho, N.; Bezerra, T. K. A. Cachaça production: from sugar cane to spirit. **Journal of the Institute of Brewing**, v. 129, n. 2, p. 259–275, 2023.

Faria, J. B.; Cardello, H. M. A. B.; Boscolo, M.; Isique, W. D.; Odello, L.; Franco, D. W. Evaluation of Brazilian woods as an alternative to oak for cachaças aging. **European Food Research and Technology**, v. 218, p. 83–87, 2003.

Ratkovich, N.; Esser, C.; Machado, A. M. R.; Mendes, B. A.; Cardoso, M. G. The spirit of cachaça production: an umbrella review of processes, flavour, contaminants and quality improvement. **Foods**, v. 12, n. 17, p. 3325, 2023.

Rota, M. B.; Piggott, J. R.; Faria, J. B. Sensory profile and acceptability of traditional and double-distilled cachaça aged in oak casks. **Journal of the Institute of Brewing**, v. 119, n. 4, p. 251–257, 2013.

Santiago, W. D.; Cardoso, M. G.; Nelson, D. L. Cachaça stored in casks newly constructed of oak (*Quercus* sp.), amburana (*Amburana cearensis*), jatoba (*Hymenaeae carbouril*), balsam (*Myroxylon peruiferum*) and peroba (*Paratecoma peroba*): alcohol content, phenol composition, colour intensity and dry extract. **Journal of the Institute of Brewing**, v. 123, n. 2, p. 232–241, 2017.

Simioni, S. C. C.; Tovar, D. M.; Rodrigues, J. F.; Souza, V. R.; Nunes, C. A.; Vietoris, V.; Pinheiro, A. C. M. Cross-cultural comparison of the dynamic profile of the attributes perceived in the cachaças and the hedonic perception of the samples. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 98, n. 11, p. 4312–4321, 2018.

Torres, E.; Galvão, M.; Ribeiro-Filho, N.; Bezerra, T.; Carvalho, L.; Madruga, M. Chemical composition and sensory diversity of colourless cachaças from Paraíba. **Food Chemistry**, v. 410, p. 135–144, 2023.