



Marcel deCampos Oliveira
Instituto Federal de Mato Grosso
do Sul, Câmpus Coxim-MS - MS -
marcel.oliveira@ifms.edu.br

INFLUÊNCIA DE DIFERENTES NUTRIENTES NO DESENVOLVIMENTO DO PROCESSO FERMENTATIVO SOBRE OS REFLEXOS NO ENVELHECIMENTO DA CACHAÇA: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo realizar uma breve revisão bibliográfica, que visa proporcionar a discussão sobre a influência de diferentes nutrientes no desenvolvimento do processo fermentativo sobre os reflexos no envelhecimento da cachaça, sendo esta a segunda bebida alcoólica mais consumida no país. De acordo com a Portaria MAPA nº 539 de 26 de dezembro de 2022, que estabelece os padrões de identidade e qualidade da aguardente de cana e da cachaça, define aguardente de cana como a bebida de graduação alcoólica de 38 a 54% v/v, a 20 °C, obtida de destilado alcoólico simples de cana-de-açúcar ou pela destilação do mosto fermentado do caldo de cana-de-açúcar, podendo ser adicionada de açúcares. A preocupação com o aumento do consumo de cachaça e a possibilidade de exportação são fatos que cada vez mais exigem que produtores busquem a melhoria pela qualidade da bebida. De acordo com algumas pesquisas recentes, buscando sintetizar informações a respeito do processo fermentativo da produção de cachaça, foi relatado que a qualidade do produto final depende do sucesso em todas as etapas de produção, desde a escolha da variedade da cana-de-açúcar até o envelhecimento da cachaça. A fase fermentativa merece atenção especial, pois é nesse momento que ocorre a formação de compostos secundários que afetam diretamente a qualidade do produto final.

Palavras-chaves: gestão ambiental. processo fermentativo. nutrientes. cachaça. envelhecimento.

Recebido: 18/05/2023 **Aprovado:** 22/07/2023



INTRODUÇÃO

A exportação de cachaça cresceu 30% em 2021, segundo dados do governo federal compilados pelo Instituto Brasileiro da Cachaça (Ibrac). A bebida é a segunda mais consumida no Brasil entre aquelas que possuem álcool — atrás apenas da cerveja — e o terceiro destilado produzido localmente mais consumido no mundo, perdendo apenas para a Vodka na Rússia e o Soju, da Coreia do Sul. Entre os principais estados exportadores, em termos de valor, São Paulo e Pernambuco lideram o ranking de 2021, com o total de US\$ 6,09 milhões e US\$ 1,84 milhão exportados, respectivamente. Na 3ª, 4ª e 5ª posição estão o Rio de Janeiro (US\$ 1,30 milhões), Paraná (US\$ 1,23 milhões) e Minas Gerais (US\$ 1 milhão) (Medeiros, 2022).

Há um aumento na produção de aguardente no país e, pelo fato de sua produção ser, em grande parte, artesanal, surgem algumas limitações no âmbito das exportações (Lima et al., 2009). A cachaça nada mais é do que uma bebida fermento-destilada que apresenta graduação alcoólica entre 38 e 48% v/v, obtida por meio da destilação do mosto fermentado do caldo de cana-De-açúcar com características sensoriais peculiares, podendo ser adicionada de açúcares (Brasil, 2022). A matéria-prima para a indústria de aguardente ou de cachaça é caracterizada como colmos de cana-de-açúcar em adequado estágio de maturação. A composição química da cana é muito variável, em função das condições climáticas, das propriedades físicas, químicas e microbiológicas do solo, do tipo de cultivo, da variedade, do estágio de maturação e da idade da planta (Alcarde, 2014).

Para o desenvolvimento do processo fermentativo, os melhores resultados são obtidos com mostos com concentrações entre 14-16 °Brix. A atividade da levedura depende de suas condições vitais que, por sua vez, estão estreitamente correlacionadas com sua nutrição. Tanto o caldo de cana como a própria levedura são fontes de vitaminas. Entretanto, a adição de certas vitaminas ao caldo propicia a aceleração da ação enzimática do microrganismo, interferindo na pureza e velocidade da fermentação (Angelis, 1992).

De acordo com Aravéchia (2013), a fermentação alcoólica ocorre em consequência da necessidade de energia para a sobrevivência das células de levedura, pois essas consomem a matéria orgânica para obter a energia, assim fermentando na presença ou ausência de oxigênio. “As leveduras mais utilizadas no processo fermentativo são do gênero das *Sacharomyces*, tendo como a mais utilizada a *Saccharomyces cerevisiae*” (Aravéchia, 2013). Na fermentação do caldo da cana-de-açúcar ocorre a transformação da sacarose em etanol, catalisada por enzimas produzidas por leveduras que promovem a lise da molécula de sacarose em glicose e frutose e posterior transformação em etanol e gás carbônico (Crispim; Contessi; Vieira, 2000; Lima, 1975).

No seu metabolismo, a *S. cerevisiae* necessita de macro e nutrientes para seu crescimento e consequente produção de etanol. Alguns destes nutrientes são encontrados no mosto, mas existem estudos que sugerem a adição dos mesmos para que atinjam a concentração ideal. Entretanto, a adição em quantidades excessivas pode ser prejudicial à levedura por causar estresse osmótico (Aquarone et al., 2001; Venturini Filho; Nogueira, 2013). Um destes nutrientes é o nitrogênio amoniacal, sendo que em sua ausência o crescimento da levedura é prejudicado e a mesma irá metabolizar outros compostos, como os aminoácidos, podendo causar aumento na produção de substâncias, como álcoois superiores. O fósforo, na forma de fosfato (PO₄-3), também é de extrema importância para que ocorra a formação de etanol durante a fermentação. Vitaminas do complexo B, como vitaminas B1, B6 e ácido pantotênico, também são importantes para o metabolismo das leveduras. Alguns íons metálicos são importantes como nutrientes, pois participam como cofatores em enzimas responsáveis pelo crescimento da levedura e atividade fermentativa (Lima et al., 2001). Entre os íons metálicos, o Zn²⁺, Cu²⁺ e Mn²⁺ são interessantes devido ao efeito positivo na atividade respiratória e na taxa de crescimento da levedura *S. cerevisiae* (Stehlik-Tomas et al., 2004).



A adição de fubá ao mosto, bastante usada por produtores (Lopes, 2007), também tem sido estudada, sendo encontrados benefícios ao processo fermentativo, como auxílio na decantação das células ao final da fermentação (Mutton; Mutton, 2005), e adsorção pelo amido de metabólitos secundários da própria fermentação alcoólica, cuja presença no mosto afeta a via glicolítica (Maia, 1992). Já Cleto (1997) não percebeu alterações significativas na viabilidade celular, entretanto observou um menor teor de acidez no mosto suplementado com fubá, resultando em uma cachaça com menor acidez total. A adição de nutrientes tem sido relatada em diferentes trabalhos, entretanto as quantidades sugeridas para se obter os melhores benefícios apresentam variações em diferentes estudos (Santos, 2008; Malta, 2006; Stupiello; Horii, 1981; Honig, 1969; Delgado; César, 1984).

De acordo com o estudo desenvolvido por Oliveira (2016), sobre a avaliação da qualidade físico-química e sensorial da cachaça orgânica envelhecida, a variação da composição mineral da cachaça pode estar relacionada ao material de construção do alambique utilizado na destilação. Os resultados médios obtidos para as concentrações de teores médios de nutrientes nas amostras de cachaça (mg.L⁻¹), foram coletados nos períodos de 0, 15, 30, 60, 90 e 180 dias de armazenamento. No período de 90 dias de armazenamento da cachaça, o teor médio de fósforo se apresentou como o maior valor percentual na ordem de 25mg.L⁻¹. No início do armazenamento (tempo zero) os valores foram baixos da ordem de 0 a 0,5mg.L⁻¹. A seguir observou-se que aos 15, 30, 60 e 180 dias apresentaram valores de 6, 14 a 13,39 mg.L⁻¹, assim, tendo valores médios de fósforo aproximados nestes períodos de armazenamento.

Dentre os fatores que podem alterar este parâmetro destacam-se o conteúdo de SO₂ no mosto fermentado, o solo onde a cana é plantada, a água utilizada no processo, além de eventuais contaminações durante o engarrafamento e o envelhecimento/armazenamento (Cardoso, 2013). No período de armazenamento ocorrem diversas reações químicas associadas ao processo de envelhecimento de bebidas destiladas, dentre elas as reações entre os compostos secundários provenientes da destilação (álcoois, hidrocarbonetos carbonilados superiores, etc.); da extração direta de componentes da madeira (extrativos); da decomposição de macromoléculas da madeira (celulose, hemicelulose e lignina) e a subsequente incorporação desses compostos na bebida. De acordo com Piggot et al. (1989) e Dias (1997) há também reações entre esses compostos da madeira com os componentes originais do destilado. Neste contexto, o objetivo deste artigo de revisão bibliográfica visa realizar a discussão sobre a influência de diferentes nutrientes no desenvolvimento do processo fermentativo sobre os reflexos no envelhecimento da cachaça.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Gestão ambiental no desenvolvimento da produção de cachaça

Diversos estudos apontam o envolvimento da gestão ambiental por meio de práticas que buscam amenizar a ação degradante do homem sobre o meio ambiente. As organizações, de maneira geral, trabalham reduzindo os impactos ambientais, e estudos apontam melhorias na eficiência energética, reduções no consumo de água, energia, matéria-prima, dentre outros. Especificamente no setor de processamento dos derivados da cana-de-açúcar, conhecido como aguardente, objeto deste estudo, observa-se um aumento dos impactos negativos para as empresas e para toda a sociedade (Morais et al., 2013).

O estado de Minas Gerais honra o título de maior produtor de cachaça de alambique do país por mais um ano. O número de estabelecimentos produtores de cachaça e de aguardente registrados no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) cresceu 4, 14 % no país no último ano. Desses, 397 são registrados em território mineiro, que representa



mais que o triplo do segundo colocado, São Paulo. O estado é o maior produtor de cachaça de alambique do país, com 200 milhões de litros por ano, respondendo pela metade da produção nacional, segundo dados da Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento de Minas Gerais (SEAPA). O estudo, intitulado de "A Cachaça no Brasil - Dados de Registro de Cachaças e Aguardentes - Ano 2021", revelou que Salinas, Região Norte de Minas, Capital Nacional da Cachaça, se manteve na dianteira no Brasil com 23 registros de estabelecimentos produtores de cachaça (Werneck, 2022).

Nesse sentido, desenvolver um Sistema de Gestão Ambiental envolve responsabilidades, práticas, procedimentos, processos e recursos para a sua implementação. Gestão Ambiental é definida como sendo parte de toda a função gerencial de uma organização que desenvolve, implementa, executa, revê e mantém a sua política ambiental. É o principal instrumento para se obter um desenvolvimento industrial sustentável, sendo aplicável em qualquer empresa de qualquer tamanho e setor (Morais et al., 2013). A sustentabilidade é um conceito que surgiu do desenvolvimento sustentável que atende às necessidades das gerações presentes, sem comprometer a possibilidade das gerações futuras de atenderem às suas próprias necessidades. Este conceito envolve responsabilidade coletiva e ações para melhorar o ambiente global, incluindo a adoção de práticas de produção e consumo sustentáveis (Carvalho, 2006).

Nesses termos, a implementação de um Programa de Produção Mais Limpa proporciona à organização um conhecimento preciso em relação ao seu processo industrial através da observação constante para a manutenção e desenvolvimento de um sistema ecoeficiente de produção com a geração de indicadores ambientais e de processo, sendo estes capazes de aperfeiçoar todos os recursos produtivos (CNTL, 2003). A Produção Mais Limpa pode ser aplicada em qualquer setor, desde que a empresa seja flexível quanto ao seu modo de gerir seus processos, pois para sua implementação faz-se necessário o comprometimento de todos da organização, por ser uma prática que deve ser monitorada constantemente e que exige de todos uma consciência ambiental, desenvolvida na própria organização (Fonseca; Martins, 2018).

Vale ressaltar, que o modelo de Produção mais Limpa (PL) vem sendo desenvolvido desde os anos 80 pelo PNUMA e pela Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial - ONUDI, agência que coordena os Centros Nacionais de Produção Mais Limpa que funcionam em dez países: Brasil, Hungria, China México, Índia, República Eslovaca, República Tcheca, Tunísia, Tanzânia e Zimbábue (Barbieri, 2007 apud Gonçalves, 2014).

A fabricação de cachaça lida diretamente com o meio ambiente, pois embora a região se caracteriza por apresentar pequenos e médios produtores, todos realizam o plantio e a colheita para produzir sua cachaça, visto que a produção faz o uso exagerado de água e energia, pois são itens primários no processo de fabricação. Portanto, nota-se que o modelo de Produção mais Limpa é viável para este setor, uma vez que é capaz de proporcionar análise quanto ao uso adequado da água, energia e demais recursos da produção, além de buscar gerenciar os resíduos, vistos como importantes componentes do processo produtivo, tendo como consequência a não degradação ao meio ambiente, a diminuição dos custos e uma maior competitividade no mercado (Fonseca; Martins, 2018).

Cachaça - definição e composição

A cachaça é a bebida mais popular do Brasil, tendo a sua origem no século XVI. Inicialmente, a cachaça foi provavelmente obtida pela fermentação espontânea da espuma da caldeira, denominada cagazza, onde se concentrava o caldo, visando à cristalização do açúcar, e pela destilação artesanal desse fermento em pequenos alambiques de barro. Após a metade do século XVI, a cachaça passou a ser produzida em maiores quantidades, utilizando-se alambiques de cobre e comercialização juntamente com o açúcar (Pereira; Rosa; Faria, 2006).

A Portaria MAPA nº 539 de 26 de dezembro de 2022 que estabelece o Padrão de Identidade e Qualidade da aguardente



de cana e da cachaça, define aguardente de cana como a bebida com graduação alcoólica de trinta e oito a cinquenta e quatro por cento em volume, a vinte graus celsius, obtida de destilado alcoólico simples de cana-de-açúcar ou pela destilação de mosto fermentado de caldo de cana-de-açúcar, podendo ser adicionada de açúcares (Brasil, 2022). Esta mesma Portaria define cachaça como sendo a denominação única e exclusiva da aguardente de cana produzida no Brasil, com graduação alcoólica de 38 a 48 % v/v a 20 °C obtida pela destilação do mosto fermentado do caldo de cana-de-açúcar com características sensoriais peculiares, podendo ser adicionada de açúcares.

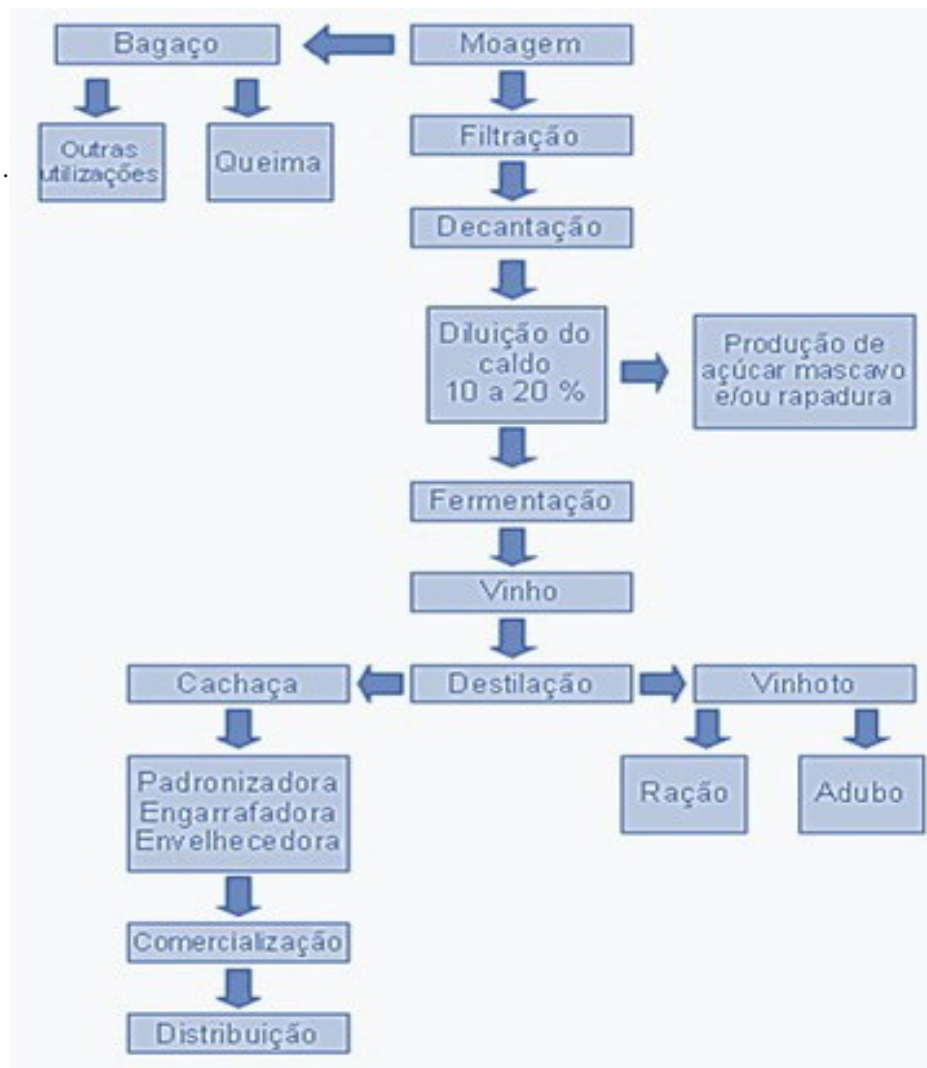
Processo de fabricação da cachaça

O processo de fabricação da cachaça ocorre seguindo basicamente os mesmos processos da fabricação do etanol combustível, como mostra a Figura 1, com diferenças nas etapas a partir de destilação. A cana colhida é levada para a moenda para a extração do caldo, que é filtrado e direcionado para a dorna de decantação com o objetivo de separar impurezas, como bagacilhos, terra e areia. A diluição do caldo é o processo em que se prepara o caldo de cana para atingir o teor de sacarose entre 14 e 16 graus Brix. Isto acontece com a adição de água de boa qualidade na dorna de diluição. Ainda nesta etapa, pode-se adicionar ácido sulfúrico para evitar a contaminação do caldo por bactérias que podem produzir outros compostos prejudiciais à qualidade final da cachaça (Sakai, 2022).

Na fermentação utiliza-se a levedura *Saccharomyces cerevisiae*, comumente encontrada em supermercados e padarias. Nas pequenas fábricas de cachaça, em que não existem geladeiras para guardar o fermento, é utilizado o “fermento caipira”, fabricado pelo próprio produtor com um pouco da garapa misturada com fubá. Pode-se, também, utilizar outros materiais como farelo de arroz, por exemplo. Independentemente do fermento utilizado, esse processo deve ser concluído em aproximadamente 24 horas. O método usual para verificar o fim da fermentação é quando o caldo começa a soltar borbulhas de forma uniforme e com cheiro agradável, com leve aroma de frutas. O fermento depositado no fundo da dorna costuma ser reutilizado na próxima fermentação (Sakai, 2022).



Figura 1. Fluxograma de fabricação da cachaça



Fonte: Sakai, 2022.

O vinho é retirado por gravidade das dornas de fermentação e levado diretamente para a destilação nos alambiques. Na etapa de destilação, não é aproveitado o álcool inicial (cabeça) e final (calda). Utiliza-se para a comercialização somente o álcool extraído da etapa central da destilação (corpo ou coração), 80% do material destilado. Após a retirada do álcool, este é padronizado para que o teor alcoólico fique entre 38 e 54%. A partir disso, a cachaça já pode ser engarrafada ou ir para tonéis de madeira para envelhecimento. A cachaça envelhecida tem sabor e aroma mais agradáveis do que a cachaça recém destilada, o que lhe agrega maior valor (Sakai, 2022).

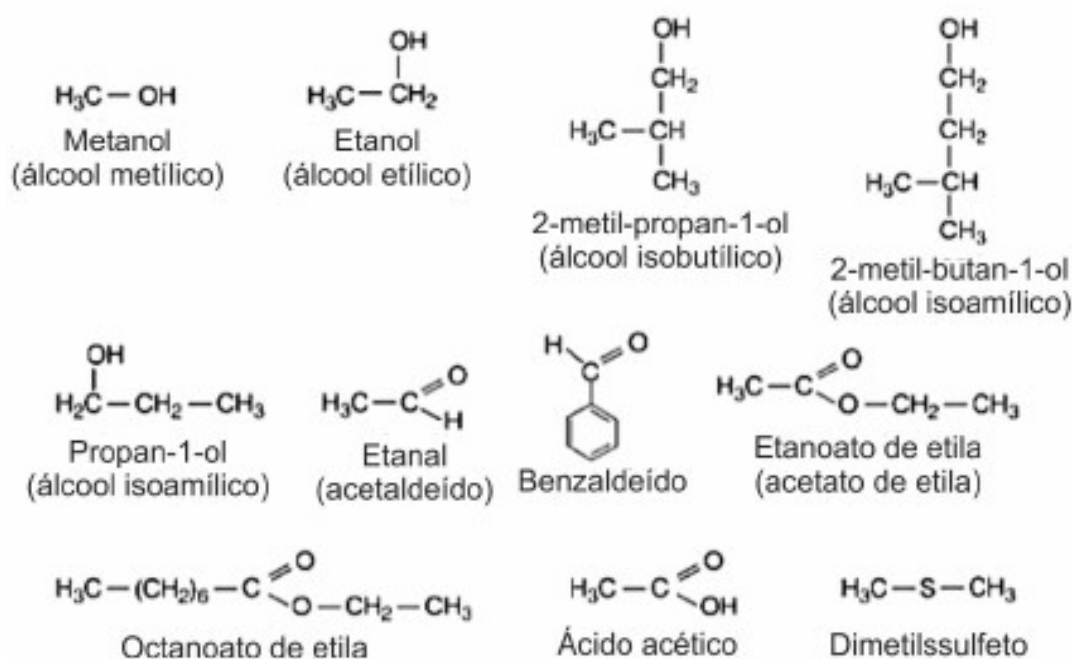
Composição química da cachaça e legislação

A cachaça é uma solução contendo várias substâncias químicas. Sua composição depende da matéria-prima utilizada e do modo como a produção foi conduzida. Além da água e do etanol, estão presentes álcoois, aldeídos, cetonas, ésteres, ácidos carboxílicos, compostos de enxofre e outras substâncias (Nascimento et al., 1998).



A Figura 2 mostra as fórmulas estruturais de alguns componentes majoritários presentes, e a Tabela 1 oferece uma ideia da concentração dos mesmos. Um estudo comparativo de aguardentes obtidas em alambiques de cobre e de aço inox mostrou que as diferenças acentuadas nos teores de acetaldeído, ésteres e álcoois são as prováveis responsáveis pelas diferenças sensoriais entre os dois tipos de bebida (Nascimento et al., 1998).

Figura 2. Fórmulas estruturais de alguns constituintes majoritários presentes na cachaça.



Fonte: Nascimento et al., 1998.

Embora exista a inconveniência de contaminação da cachaça com íons de cobre, alguns pesquisadores consideram importante a presença do metal nos destiladores, atribuindo-lhe o papel de catalisador na desidrogenação de álcoois a aldeídos e agindo na transformação de compostos sulfurados voláteis no destilado, cujo odor e sabor são desagradáveis (o principal composto desta classe é o dimetilssulfeto, que é parcialmente oxidado a sulfato nos alambiques de cobre), contribuindo para as qualidades sensoriais da bebida (Faria, 1995).

Além dos compostos mencionados, uma grande variedade de espécies químicas pode estar presente, como outros álcoois com 3 a 5 átomos de carbono e superiores (Cleto, 1997), outros ácidos carboxílicos e ésteres (Cardoso et al., 2003), outros aldeídos (Nascimento et al., 1997), compostos fenólicos e partículas suspensas (Isique; Franco, 2000), íons de metais de transição (Lima-Neto; Franco, 1994), ureia, íons amônio e aminoácidos (Polastro et al., 2001), carbamato de (Andrade-Sobrinho et al., 2002; Guerra; Simões, 2001).



Tabela 1. Concentrações de algumas substâncias presentes em cachaça obtida em diferentes alambiques.

Substância/mg L ⁻¹	Cobre	Aço inox
Metanol	1,82	1,16
Álcool isoamílico	1095	1546
Isobutanol	203,5	250
Propanol	58,0	78,2
Acetaldeído	19,0	9,00
Acetato de etila	16,3	108
Caprilato de etila	1,60	6,70
Ácido acético	20,7	21,5
Dimetilssulfeto	150	250

Fonte: Nascimento et al., 1998.

Os requisitos de qualidade e composição química para cachaça no Brasil, fixados pela Portaria MAPA nº 539 de 26/12/2022 são: coeficiente de congêneres não inferior a 200 mg em 100 mL de álcool anidro e não superior a 650 mg em 100 mL de álcool anidro. Observando os seguintes limites máximos em 100 mL de álcool anidro: 150 mg para acidez volátil (expressa em ácido acético), 200 mg de ésteres totais (expressos em acetato de etila), 30 mg de aldeídos totais (expressos em acetaldeído), 5 mg de furfural e hidroximetilfurfural e 360 mg de álcoois superiores (expressos pela soma dos álcoois n-propílico, isobutílico e isoamílico), além de uma quantidade não superior a 20 mg de metanol por 100mL de álcool anidro (BRASIL, 2022). Os principais compostos voláteis presentes na cachaça servem de parâmetro de qualidade da mesma e devem estar de acordo com a Portaria mencionada acima (Tabela 2).

De acordo com Yokoya (1995), os álcoois superiores formam-se através da degradação de aminoácidos que ocorrem durante o processo fermentativo, os quais apresentam odores característicos em bebidas fermento-destiladas. Assim como os álcoois superiores, os ésteres também conferem aroma e sabor à bebida destilada, sendo oriundos do metabolismo dos microrganismos presentes. A concentração destes compostos pode ser controlada conhecendo-se o fermento utilizado e suas particularidades, assim como o tempo de fermentação e a realização correta da separação das frações durante a destilação (Vargas, 1995).

No início da fermentação alcoólica é que são formados alguns aldeídos, especialmente o acetaldeído. O metanol é um contaminante, ou defeito da cachaça, e a sua formação também está associada ao início da destilação. O furfural é resultante da decomposição química de carboidratos. Sua formação é evitada pela filtração do vinho antes da destilação, deixando-o livre de substâncias orgânicas em suspensão. Quando as cachaças são envelhecidas, o furfural pode ser oriundo da ação de ácidos sobre as pentoses e seus polímeros (hemiceluloses) (Yokoya, 1995). O glicerol é um triálcool de fórmula molecular C₃H₈O₃, formado durante a fermentação alcoólica. Sua produção está na dependência de vários fatores, tais como a presença de contaminantes e o pH do mosto. Amorim (1977) observou que estes fatores afetam diretamente a produção de biomassa pela levedura, assim como a de glicerol. Relatou ainda que condições de pH básico favoreceram a produção de glicerol, proporcionando o crescimento de contaminantes em detrimento das leveduras que são acidófilas. Constataram ainda que esta condição está relacionada com um menor rendimento fermentativo, uma vez que partes dos açúcares eram desviadas da produção de etanol para outras vias metabólicas. A presença de compostos como o carbamato de etila e os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, podem representar riscos à saúde e à qualidade sensorial da cachaça (Franco, 2008).



Tabela 2: Limites dos componentes secundários e contaminantes orgânicos e inorgânicos da cachaça

Componente	Unidade	Limite	
		Mínimo	Máximo
Graduação alcoólica de aguardente	% em volume de álcool etílico a 20°C	38	54
Graduação alcoólica de cachaça	% em volume de álcool etílico a 20°C	38	48
Sacarose, em açúcar refinado, cristal, invertido ou glicose****	g.L ⁻¹	6,0	30,0
Acidez volátil, em ácido acético anidro	mg.100mL ⁻¹ álcool	-	150
Ésteres, em acetato de etila anidro	mg.100mL ⁻¹ álcool	-	200
Aldeídos, em aldeído acético anidro	mg.100mL ⁻¹ álcool	-	30
Furfural	mg.100mL ⁻¹ álcool anidro	-	5
Álcoois superiores**	mg.100mL ⁻¹ álcool anidro	-	360
Congêneres***	mg.100mL ⁻¹ álcool anidro	200	650
Álcool metílico	mg.100mL ⁻¹ álcool anidro	-	20
Álcool sec-butílico	mg.100mL ⁻¹ álcool anidro	-	10
Álcool n-butílico	mg.100mL ⁻¹ álcool anidro	-	3
Cobre	mg.L ⁻¹	-	5,0
Extrato seco	g.L ⁻¹	-	6,0****
Carbamato de etila*	µ.L ⁻¹	-	210*
Partículas em suspensão (resíduo sólido)	-	Ausentes	Ausentes

**Álcoois superiores = (isobutílico + isoamílico + propílico).

***Congêneres = (Acidez Volátil + Ésteres + Aldeídos + Furfural + Álcoois Superiores).

****Aguardente de cana e cachaça "adoçada" = máximo 30,0g. L⁻¹.

Envelhecimento da cachaça

Segundo Alcarde, Regitano-d'Arce e Spoto (2020), ao final do processo de destilação, obtém-se a cachaça denominada branca. Essa bebida pode ser consumida como está, no entanto, as qualidades sensoriais são aprimoradas se houver armazenamento por, no mínimo, 6 meses em recipiente inerte. A cachaça pode também ser submetida ao envelhecimento, caracterizado por um período dentro de barril de madeira a fim de melhorar o perfil sensorial e a sua qualidade. O processo de envelhecimento de bebidas é um sistema complexo, que envolve numerosas reações fundamentais principalmente na extração de moléculas da madeira e nas interações com o líquido destilado.

A maturação de bebidas destiladas é o principal fator para a sua caracterização, pois aproximadamente 60% dos compostos aromáticos presentes na bebida são oriundos da madeira ou da interação ela com o destilado, sendo o restante oriundo da matéria-prima ou formados durante a fermentação e a destilação. A evolução



de componentes fenólicos, a oxidação da bebida, a estabilização da cor, do sabor e o surgimento do caráter amadeirado contribuem para a riqueza e a complexidade do buquê aromático e, conseqüentemente, resulta em maior valor agregado às bebidas destiladas.

O carvalho é a principal madeira utilizada para o envelhecimento, porque fornece moléculas aromáticas agradáveis às bebidas alcoólicas. No Brasil, além do carvalho importado, madeiras nativas como amendoim, ararúva, Cabreúva (bálsamo), cedro, cerejeira (amburana), freijó, ipê e jequitibá também são usadas para o envelhecimento de cachaça. A produção de barris envolve inicialmente a secagem da madeira e o corte das aduelas. A operação de queima da madeira aplicada durante a produção dos barris tem a finalidade de promover forma às aduelas, auxiliando na sua envergadura e, conseqüentemente, na moldagem do barril. Depois de montado, o barril recebe uma tosta final, que contribui para modificar as estruturas das moléculas da madeira, permitindo o surgimento de novas substâncias que conferem sabor diferenciado ao produto (Alcarde; Regitano-D'arce; Spoto, 2020).

De acordo com a Portaria MAPA nº 539 de 26 de dezembro de 2022, a aguardente de cana ou a cachaça podem ter as seguintes denominações (Brasil, 2022):

Aguardente de cana ou cachaça envelhecida: deve conter no mínimo 50% de aguardente de cana ou de cachaça envelhecidas em recipiente de madeira apropriado, com capacidade máxima de 700 L, por um período não inferior a um ano.

Aguardente de cana ou cachaça premium: deve conter 100% de aguardente de cana ou de cachaça envelhecidas em recipiente de madeira apropriado, com capacidade máxima de 700 L, por um período não inferior a um ano.

Aguardente de cana ou cachaça extra premium: deve conter 100% de aguardente de cana ou de cachaça envelhecidas em recipiente de madeira apropriado, com capacidade máxima de 700 L, por um período não inferior a três anos.

Influência de diferentes nutrientes no processo fermentativo sobre os reflexos no envelhecimento da cachaça

A transformação de açúcar (glicose) em etanol e CO₂ envolve 11 reações em sequência ordenada, cada qual catalisada por uma enzima específica das leveduras produtoras de etanol, como por exemplo, a *Saccharomyces cerevisiae*. Essas leveduras exigem uma fonte de carbono, que pode ser glicose ou outro açúcar, mas também exigem vitaminas e outros nutrientes tais como nitrogênio, fósforo, enxofre, potássio, magnésio, cálcio, zinco, manganês, cobre, ferro, cobalto, iodo e outros elementos em quantidades diminutas. As necessidades nutricionais das leveduras durante o processo de fermentação alcoólica influenciam na multiplicação, crescimento celular e eficiência de transformação do açúcar em álcool (Santos, 2008).

Os micronutrientes (enxofre, magnésio, manganês, zinco, cobre, cobalto, dentre outros.) têm uma função importante no metabolismo celular, principalmente devido aos seus requerimentos como cofatores para várias enzimas (Stehlik-Tomas et al., 2004). A importância dos nutrientes no processo fermentativo pode ser ressaltada através de Novaes et al. (1971) apud Vasconcelos (1987), que afirmam que "os sais minerais tanto sob o ponto de vista qualitativo como quantitativo, devem ser considerados, pois, certas reações enzimáticas da fermentação alcoólica podem ser favorecidas por determinados elementos, tais como: fosfato de amônio, fosfato de cálcio, fluoreto de amônio, sulfato de magnésio, sulfato de manganês e sulfato de cobalto".



Segundo Codistil (1978) apud Vasconcelos (1987), o melaço apresenta uma concentração de nutrientes bem mais elevada do que os mostos de caldo de cana, porém não apresenta o nitrogênio em forma adequada para as leveduras, podendo inclusive comprometer a qualidade do álcool. Devido à importância dos sais minerais no processo fermentativo, alguns autores descreveram as funções de alguns elementos minerais (Amorim, 1977; Suom Alaine; Oura, 1971 Apud Vasconcelos, 1987). O nitrogênio é um elemento essencial para os organismos vivos, pois é um componente para a síntese de proteínas e ácidos nucleicos.

As leveduras utilizam uma ampla variedade de compostos nitrogenados, porém nem todas as fontes propiciam crescimento igualmente eficiente. O Fósforo é essencial para o metabolismo energético e na síntese de ácidos nucleicos. Ele apresenta importância na transformação do açúcar em álcool e na produção de ATP, tanto na glicólise como na cadeia respiratória. Potássio atua como ativador em uma série de reações da glicólise e em outros passos do metabolismo. A quantidade de potássio absorvida pela levedura durante a fermentação é o dobro da quantidade exigida na sua multiplicação e crescimento. Magnésio desempenha um papel importante no crescimento das leveduras como cofator de muitas reações metabólicas. Cobre e ferro são necessários em pequenas quantidades, na fase de multiplicação e crescimento da levedura. Zinco, manganês e cobalto atuam como ativadores enzimáticos na glicólise. Cálcio embora não seja aparentemente necessário para o crescimento de células de leveduras, ele estimula a fermentação (Amorim, 1977; Suom Alaine; Oura, 1971 apud Vasconcelos, 1987; Pereira, 2007; Silva, 2007).

O processo fermentativo pode ser inibido pelos metabólitos primários e/ou secundários produzidos pelos microrganismos, como o etanol, além de outras substâncias que podem estar presentes nos mostos. Assim, a falta ou o excesso de alguns minerais em mostos de melaço ou de caldo de cana pode acarretar efeitos negativos à fermentação. Recentemente, o alumínio foi identificado como elemento estressante da levedura, em condições de fermentação industrial, acarretando queda simultânea da viabilidade e dos teores de trealose da levedura. Melaços com altos teores de sulfito, proveniente da clarificação do caldo também acarretam efeitos tóxicos à levedura, comprometendo a fermentação e aumentando a acidez (Lima et al., 2001). Segundo Vasconcelos (1987), para a complementação de nutrientes nos mostos, deve-se levar em consideração as seguintes variáveis: quantidade de nutrientes na matéria-prima, tipos de nutrientes a serem adicionados ao mosto, dosagem de cada nutriente a ser adicionado no mosto, momento da fermentação em que se deve adicionar os nutrientes ao mosto e fontes dos nutrientes.

As modificações na composição fenólica da cachaça durante o período de envelhecimento vêm sendo objeto de estudo de vários autores como Parazzi et al. (2008) que estudaram os compostos químicos da aguardente de cana-de-açúcar envelhecida em tonéis de carvalho (*Quercus* sp.), reportando aumentos próximos a 45% nos teores dos compostos fenólicos em função do tempo nas aguardentes armazenadas em barris de madeira, porém nas aguardentes armazenadas em recipientes de vidro não houve incorporação desses compostos ao longo do período de envelhecimento. Esse comportamento também foi observado por Dias, Maia e Nelson (1998), Aquino et al. (2006) e Cardoso et al. (2008). O aumento no teor de compostos fenólicos ocorre devido a incorporação progressiva de compostos provenientes da madeira à bebida, tornando-a amarelada e de paladar mais suave, atenuando a sensação desidratante do álcool presente (Mendes; Mori; Trugilho, 2002).

Os resultados do envelhecimento da cachaça orgânica armazenadas em barris de ipê, jatobá e sassafrás durante 12 meses seguiram essas tendências, portanto concordam com os resultados encontrados pelos autores, sugerindo que também ocorreu incorporação de compostos das madeiras em todos os tratamentos, acarretando no aumento do teor de compostos fenólicos da bebida (Cardoso, 2014).



CONCLUSÃO

Tendo em vista a preocupação com o aumento do consumo e das exportações de cachaça, produtores estão em busca de melhorar os seus produtos de forma contínua, a fim de suprir e superar as necessidades do mercado consumidor. De acordo com algumas pesquisas recentes, buscando sintetizar informações a respeito do processo fermentativo da produção de cachaça, foi relatado que a qualidade do produto final depende do sucesso em todas as etapas de produção, desde a escolha da variedade da cana-de-açúcar até o envelhecimento da cachaça. A fase fermentativa merece atenção especial, pois é nesse momento que ocorre a formação de compostos secundários que afetam diretamente a qualidade do produto final. Além disso, todas as etapas devem ser realizadas com o máximo de padronização para que não haja efeitos indesejáveis ao ambiente, buscando continuamente a produção sustentável.

REFERÊNCIAS

ALCARDE, A. R. Cachaça: ciência, tecnologia e arte. São Paulo: Blucher. 2014;

ALCARDE, A. R.; REGITANO-D'ARCE, M. A. B.; SPOTO, M. H. F. Fundamentos de ciência e tecnologia de alimentos. 2ª Edição. Barueri [SP]: Manole. 2020.

ALMEIDA, J. R. Composição, proporção e aplicação da vinhaça; em São Paulo. Boletim do Instituto Zimotécnico, Piracicaba, n 3, p.1-24., 1952.

ALTERTHUM, F.; SCHMIDELL NETTO, W.; LIMA, U. A.; MORAES, I. O. Biotecnologia Industrial: Processos Fermentativos e Enzimáticos. São Paulo -SP: Edgard Blucher. 2001.

AMORIM, H. V. Fermentação alcoólica: princípios e problemas. Piracicaba, 59p. Apostila. 1977.

ANDRADE-SOBRINHO, L. G.; BOSCOLO, M.; LIMA-NETO, B. S.; FRANCO, D. W. Carbamato de etila em bebidas alcoólicas (cachaça, tiquira, uísque e grapa). Química Nova, v. 25, p. 1074-1077, 2002.

ANGELIS, D. F. Agentes físicos, químicos e microbiológicos que afetam a fermentação etanólica. In: MUTTON, M. J. R.; MUTTON, M. A. Aguardente de cana: produção e qualidade. Jaboticabal: Funep, p. 49 – 65. 1992

AQUARONE, E.; BORZANI, W.; SCHMIDELL, W.; LIMA, U. A. Biotecnologia Industrial: Biotecnologia na Produção de Alimentos. São Paulo - SP: Edgard Blucher. 2001.

AQUINO, F. W. B.; NASCIMENTO, R. F.; RODRIGUES, S.; CASEMIRO, A. R. S. Determinação de marcadores de envelhecimento em cachaça. Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, v. 26, n. 1, p. 145-149, 2006.

ARAVÉCHIA P. R. Estudo da Influência da Pureza do Xarope e Mel Final Resultante de Produção de Açúcar na Contaminação do Processo Fermentativo e Seletividade do Meio. IFSP – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Campus Matão. 2013.

BARBIERI, J. C. Gestão ambiental empresarial: conceitos, modelos e instrumentos. São Paulo: Saraiva. 2004.

BRASIL. Decreto nº 6891 de 04/06/2009. Regulamenta a Lei nº 8918 de 14/06/1994 que dispõe sobre a



padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2009.

BRASIL. Portaria nº 539 de 26 de dezembro de 2022. Estabelece os padrões de identidade e qualidade da aguardente de cana e cachaça. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2022.

CARDOSO, D. R. LIMA-NETO, B.S.; FRANCO, D.W.; NASCIMENTO R.F. Influência do material do destilador na composição química das aguardentes de cana. Parte II. Química Nova, v. 26, p. 165-169. 2003.

CARDOSO, D. R.; FREDERIKSEN, A.M.; SILVA, A.A.; FRANCO, D.W.; SKIBSTED, L.H. Sugarcane spirit extracts of oak and Brazilian woods: antioxidant capacity and activity. European Food Research Technology, Berlin, v. 227, n. 1, p. 1109–1116. 2008.

CARDOSO, K. C. R. Envelhecimento de cachaça orgânica em barris de diferentes madeiras. 2014. 85 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 2014.

CARDOSO, M. G. Produção de Aguardente de Cana. 3ª Edição, Lavras: UFLA. 2000.

CARVALHO, D. N. Gestão e sustentabilidade: um estudo multicasos em ONGs ambientalistas em Minas Gerais. 2006. 80 f. Dissertação (Mestrado em Administração) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

CLETO, F. V. G. Influência da adição de ácido sulfúrico e fubá de milho no processo fermentativo, rendimento e composição da aguardente de cana. 109 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal-SP. 1997.

CNTL. Centro Nacional de Tecnologias Limpas. Implementação de Programas de Produção mais Limpa. Porto Alegre: SENAI. 2003.

CODISTIL, Fermentação alcoólica. Piracicaba, Dept. de Engenharia, 1978, apud VASCONCELOS, J. N. de. Influência da complementação de nutrientes nitrogenados e fosfatados sobre o processo de fermentação alcoólica industrial. Brasil Açucareiro, v.4, 5 e 6, n.105, 1987, p.41 – 48.

CRISPIM, J. E.; CONTESSI, A. Z.; VIEIRA, S. A. Manual da Produção de Aguardente de Qualidade. Guaíba-RS: Livraria e Editora Agropecuária. 2000.

DELGADO, A. A.; CESAR, M. A. A. Determinação de fosfatos em caldo e mosto de cana-de-açúcar. STAB - Açúcar e Álcool e Subprodutos, v.2, n.4, p. 42–45. 1984.

DIAS, S. M. B. C. Efeito de diferentes tipos de madeira sobre a composição química da aguardente de cana envelhecida. 1997. 109 f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) – Faculdade de Farmácia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 1997.

DIAS, S.; MAIA, A.; NELSON, D. Efeito de diferentes madeiras sobre a composição da aguardente de cana envelhecida. Ciência Tecnologia de Alimentos, Campinas, v. 18, p. 331-334, 1998.

FARIA, J. B. Sobre a produção de aguardente de cana. Engarrafador Moderno, n. 40, p. 9-16. 1995.

FONSECA, M. A. P.; MARTINS, M. F. Produção mais limpa no setor de cachaça: Estudo em engenho no estado da Paraíba. *Revista Pensamento Contemporâneo em Administração*, Rio de Janeiro, v. 12, n. 1, p.117-130. 2018.

FRANCO, A. C. Redestilação da cachaça. 2008. 52 f. Dissertação (Mestrado em Nutrição) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Araraquara. 2008.

GONÇALVEZ, G. F. Produção Mais Limpa: Um Estudo de Caso em uma Agroindústria de Cachaça. Relatório de estágio (Bacharelado em Administração), Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande. 2014.

GUERRA, J. W. N.; SIMÕES, R. S. (Orgs.) Equipamentos, usos e costumes da casa brasileira. Fichário Ernani Silva Bruno. 5. Equipamentos. São Paulo: Edusp / Imprensa Oficial / Museu da Casa Brasileira. 2001.

HONIG, P. Principios de tecnologia azucarera. México: Continental. 1969.

ISIQUE, W. D.; FRANCO, D. W. Polifenóis em aguardente de cana. *Engarrafador Moderno*, n. 81, p. 38-42. 2000.

LIMA, A. J. B.; CARDOSO, M. G.; GUIMARÃES, L.G.L.; LIMA, J.M.; NELSON, D.L. Efeito de substâncias empregadas para remoção de cobre sobre o teor de compostos secundários da cachaça. *Química Nova*, São Paulo, v. 32, n. 4, p. 845-848. 2009.

LIMA, U. A. Tecnologia das fermentações. São Paulo - SP: Edgard Blucher. 1975

LIMA-NETO, B. S.; FRANCO, D. W. Aguardente e o controle químico de sua qualidade. *Engarrafador Moderno*, n. 33, p. 5-8. 1994.

LOPES, R. L. T. Dossiê Técnico. Processamento de Cachaça de Alambique. Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais, CETEC. 2007. Disponível em: <<http://www.respostatecnica.org.br/dossie-tecnico/downloadsDT/MTc4>>. Acesso em: 03 fev. 2022.

MAIA, A. B. R. A. Fermentação alcoólica de *Saccharomyces cerevisiae*: desenvolvimento de um novo sistema e novas concepções sobre a formulação de meios. 1992. 210 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte - MG. 1992.

MALTA, H. L. Estudos de parâmetros de propagação de fermento (*Saccharomyces cerevisiae*) para produção de cachaça de alambique. 70 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte - MG. 2006.

MARQUES, M. O. Aspectos técnicos e legais da produção, transporte e aplicação de vinhaça. In: SEGATO, S. V. et al. (Org.). Atualização em produção de cana-de-açúcar. Piracicaba: CP 2. p. 369-375. 2006

MEDEIROS, I. Em ritmo de retomada, exportação de cachaça cresce 30% em 2021. *Correio Braziliense*. Disponível em: <<https://www.correiobraziliense.com.br/economia/2022/01/4975990-em-ritmo-de-retomada-exportacao-de-cachaca-cresce-30-em-2021.html>>. Acesso em: 02 fev. 2022.

MENDES, L. M.; MORI, F. A.; TRUGILHO, P. F. Potencial da madeira de agregar valor à cachaça de alambique. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v. 23, n. 213, p. 52-58. 2002.

MORAIS, M. P.; OLIVEIRA, J.M.S; SOUZA, M.F.; SILVA, A.R. Diagnóstico ambiental da produção de aguardente



em uma cooperativa dos produtores de cachaça de alambique na região calcária do centro-oeste de Minas Gerais. *Revista Conexão Ciência – UNIFOR-MG, Formiga*, v. 8, n. 1, p. 103-118, 2013.

MUTTON, M. J. R.; MUTTON, M. A. Aguardente. In: VENTURINI FILHO, W. G. (Org.). *Bebidas alcoólicas*. São Paulo - SP: Edgard Blucher, p. 485-524. 2005.

NASCIMENTO, R. F.; CERRONI, J. L.; CARDOSO, D. R.; LIMA NETO, B. S.; FRANCO, D. W. Aldeídos em bebidas alcoólicas fermento-destiladas. *Engarrafador Moderno*, n. 49, p. 76-78. 1997.

NASCIMENTO, R. F.; CARDOSO, D. R.; LIMA NETO, B. dos S.; FRANCO, D. W.; FARIAS, J. B. Influência do material do alambique na composição das aguardentes de cana-de-açúcar. *Química Nova*, v. 21, p. 735-739. 1998.

NOVAES, F. V. et al. *Tecnologia das aguardentes (apontamentos de aulas)*. Piracicaba, ESALQ, USP, Dept^o. de Tecnologia rural, 138 p. 1971.

OLIVEIRA, M. C. Avaliação da qualidade físico-química e sensorial da cachaça orgânica envelhecida. 2016. 81 f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP/FCAV. Jaboticabal-SP, 2016.

PARAZZI, C. ARTHUR, C. M.; LOPES, J. J. C.; BORGES, M. T. M. R. 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. 2008.

PEREIRA, A. F. Suplementação de nitrogênio sobre a fermentação alcoólica para produção de cachaça, cerveja e vinho. 2007. 99 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2007.

PEREIRA, J. A. M. S.; ROSA, C. A.; FARIA, J. B. *Cachaça de Alambique*. LK Editora, Brasília, 2006, 179 p.
PIGGOTT, J. R.; SHARP, R.; DUCAN, R. E. B. *The science and technology of whiskies*. New York: Longman, 1989. 410 p.

POLASTRO, L. R. et al. Compostos nitrogenados em bebidas destiladas: cachaça e tiquira. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 21, p. 78-81, 2001.

RIBEIRO, M. L. D. Qualidade da cachaça em função do tratamento do caldo e tipo de fermento. 2016. 52 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP/FCAV. Jaboticabal, 2016.

SAKAI, R. H. *Cachaça*, 2022. Disponível em: <<https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONT000fiog1ob502wyiv80z4s473agi63ul.html>>. Acesso em: 26 mar. 2022.

SILVA, C. G. M. Processo Biotecnológico para conversão de algaroba (*Prosopis juliflora* (SW) D.C.) em etanol. 2007. 104 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.

STEHLIK-TOMAS, V. et al. Zn, Cu and Mn Enrichment in *S. Cerevisiae*. *Food Technology. Biotechnology*, v. 42, n. 2, p. 115-120, 2004.

SUOM ALAINE, H.; OURA, E. Yeast nutrition and solute uptake. In: Rose, A. A.; Harrison, J. S. (org.). *The yeasts*.



London: Academic press, 1971, p. 3-60.

VARGAS, E. A. Qualidade da aguardente de cana produzida, engarrafada e/ou comercializada em Minas Gerais. 1995. 81 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Farmácia da UFMG. 1995.

VASCONCELOS, J. N. Influência da complementação de nutrientes nitrogenados e fosfatados sobre o processo de fermentação alcoólica industrial. Brasil Açucareiro, v.4, 5 e 6, n.105, 1987, p.41 – 48.

VENTURINI FILHO, W. G.; NOGUEIRA, A. M. P. Aguardentes e Cachaça, Botucatu, 2013. Disponível em:<<http://www.fca.unesp.br/Home/Instituicao/Departamentos/Horticultura/aguardentes-e-cachaca-2013.pdf>>. Acesso em: 03 fev. 2022.

WERNECK, N. Estado de Minas Gerais (Caderno de Economia), 2022. Minas lidera ranking da produção de cachaça pelo terceiro ano consecutivo. Disponível em: <https://www.em.com.br/app/noticia/economia/2021/07/06/internas_economia,1284053/minas-lidera-ranking-da-producao-de-cachaca-pelo-terceiro-ano-consecutivo.shtml>. Acesso em: 06 fev. 2022.

YOKOYA, F. Fabricação de aguardente de cana. Campinas: Fundação Tropical de Pesquisas e Tecnologia “André Tosello”, 1995. 92 p.