



**SÍNTIA CARLA CORRÊA SIMIONI**

**POTENCIAL DO USO DE MADEIRAS  
AMAZÔNICAS PARA ARMAZENAMENTO DE  
CACHAÇA: ESTUDO SENSORIAL E FÍSICO-  
QUÍMICO**

**LAVRAS – MG  
2018**

**SÍNTIA CARLA CORRÊA SIMIONI**

**POTENCIAL DO USO DE MADEIRAS AMAZÔNICAS PARA  
ARMAZENAMENTO DE CACHAÇA: ESTUDO SENSORIAL E FÍSICO-  
QUÍMICO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, área de concentração em Ciência dos Alimentos, para a obtenção do título de Doutor.

Orientadora

Dra. Ana Carla Marques Pinheiro

Coorientadores

Dra. Vanessa Rios de Souza

Dr. Cleiton Antônio Nunes

**LAVRAS - MG  
2018**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha  
Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com dados  
informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Simioni, Sântia Carla Corrêa.

Potencial do uso de madeiras amazônicas para armazenamento de  
cachaça: estudo sensorial e físico-químico / Sântia Carla Corrêa Simioni.  
- 2018.

87 p.

Orientador(a): Ana Carla Marques Pinheiro.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2018.

Bibliografia.

1. Cachaça. 2. Madeiras amazônicas. 3. Análises físico-químicas. I.  
Pinheiro, Ana Carla Marques. . II. Título.

**SÍNTIA CARLA CORRÊA SIMIONI**

**POTENCIAL DO USO DE MADEIRAS AMAZÔNICAS PARA  
ARMAZENAMENTO DE CACHAÇA: ESTUDO SENSORIAL E FÍSICO-  
QUÍMICO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, área de concentração em Ciência dos Alimentos, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 30 de Julho de 2018.

Dr. Marcio Pozzobon Pedroso      UFLA

Dra. Sabrina Carvalho Bastos      UFLA

Dr. Jaime Vilela de Resende      UFLA

Dra. Flávia Della Lucia      UNIFAL

Dra. Ana Carla Marques Pinheiro  
Orientadora

**LAVRAS - MG  
2018**

## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Ciência dos Alimentos (DCA) pela acolhida e apoio.

Ao CNPQ, pela bolsa de estudo e apoio financeiro ao projeto.

À professora Ana Carla pela orientação, amizade, apoio incondicional e ensinamentos que foram de grande relevância para a realização deste trabalho e meu crescimento pessoal e profissional.

Aos professores Vanessa e Cleiton pela coorientação, atenção disponibilizada e dedicação.

Ao professor Márcio pela paciência e conhecimentos compartilhados.

À professora Maria Lucia pela contribuição na aquisição das amostras de madeira utilizadas no projeto e à professora Maria das Graças pelo apoio na análise das cachaças.

Ao Dr. Vladimir Vietoris e à Universidade de Agricultura da Eslováquia pela parceria e solicitude.

Às servidoras Cidinha e Ana Alice por serem sempre tão prestativas.

À equipe de análise sensorial, especialmente Daniela, Michele e Diego, pela amizade e dedicação.

Aos colegas da pós-graduação, pela enriquecedora troca de conhecimento e experiências acadêmicas.

Aos provadores pela disponibilidade, perseverança e paciência.

Aos meus pais e irmãos pelo incentivo, torcida e carinho. Aos meus sogros, cunhados e enteado pelo apoio e torcida. Ao meu marido José Roberto por fazer seus os meus sonhos, agradeço por todo incentivo, companheirismo e amor dedicado!

A todos aqueles que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a realização deste trabalho.

E um especial agradecimento a Deus pelo amparo, fortalecimento e por ser o meu guia durante todo o caminho percorrido.

## RESUMO GERAL

O estudo de madeiras da Amazônia para o armazenamento de cachaças, uma bebida tipicamente brasileira, pode trazer inovação para este tipo de produto, considerando a grande quantidade de espécies de madeira que podem criar aromas, cores e sabores únicos para esta bebida. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar o potencial do uso de madeiras originárias da Amazônia: cumarurana (CM), jatobá (JT) e louro-vermelho (LV) e compará-las ao carvalho, madeira tradicionalmente utilizada no envelhecimento de cachaça, através do entendimento das características físico-químicas, perfil temporal e aceitabilidade. Cachaça comercial foi armazenada durante seis meses em recipientes de vidro com cubos das madeiras da Amazônia e do carvalho. Foram analisadas as características físico-químicas, coloração, compostos voláteis, bem como a análise descritiva através do teste de dominância temporal de sensações (TDS) e a aceitabilidade. Cachaças armazenadas com CM e JT apresentaram maior aceitabilidade, similar à cachaça armazenada com o carvalho, além de maior potencial de utilização. Essa aceitabilidade pode estar relacionada com a detecção dos atributos sabor da madeira e baunilha que foram identificados na cachaça armazenada com o carvalho e à não identificação do atributo sabor desagradável nas cachaças armazenadas com as amostras CM e JT. Maior teor de acidez volátil, álcoois superiores, extrato seco, ésteres, furfural e aldeídos, além de altas concentrações dos compostos voláteis hexanoato de etila, octanoato de etila e furfural parecem ter contribuído positivamente para a aceitação das cachaças, com destaque para os aromas adocicado e casca. Por outro lado, a cachaça armazenada com LV apresentou menor potencial de utilização e menor aceitabilidade, o que pode estar relacionado à detecção significativa do atributo sabor desagradável no TDS, valores mais altos para o ângulo hue (tom translúcido) e menor teor de acidez volátil, furfural, aldeídos, ésteres, cobre, 2-butanol e compostos secundários em comparação às demais cachaças avaliadas. As madeiras amazônicas CM e JT apresentaram maior potencial de utilização para armazenamento de cachaça do que LV, mas todas elas podem ser usadas para substituir o carvalho.

**Palavras-chave:** Cachaça. Madeiras amazônicas. Análises físico-químicas. Compostos voláteis. TDS. Teste de aceitação.

## GENERAL ABSTRACT

The study of Amazon woods for *cachaça*, a typical Brazilian drink, storage can innovate for this kind of product, considering the large quantity of wood species that can create unique aromas, colors, and flavor for this beverage. Thus, the aim of this study was to evaluate the potential use of wood originating from the Amazon region for storage of *cachaça* —*cumarurana* (CM), *jatobá* (JT), and *louro-vermelho* (LV)— in comparison with oak, the wood traditionally used in the aging of *cachaça*, by understanding the physicochemical characteristics, the temporal profile and the acceptability. The commercial *cachaças* were stored for six months in a glass container with wooden cubes from Amazon woods and oak. The physicochemical characteristics, color, presence of volatile compounds, descriptive analysis by the temporal dominance of sensations (TDS), and acceptability were investigated. *Cachaças* stored with CM and JT presented higher acceptability, similar to the storage with oak, and higher potential of utilization. This acceptability may be related to the detection of the wood flavor and vanilla attributes that were identified in the *cachaça* stored with oak and the non-identification of the off-flavor attribute in *cachaças* stored with CM and JT samples. Higher levels of volatile acidity, higher alcohols, dry extract, esters, furfural, and aldehydes; and high concentrations of volatile compounds such as ethyl hexanoate, ethyl octanoate, and furfural compounds probably contributed positively to the acceptance of the *cachaças*, with an emphasis on the aromas sweetish, and husk. On the contrary, *cachaça* stored with LV presented less potential of utilization and lower acceptability, which may be related to the significant detection of off-flavor attribute in the TDS analysis, higher values for the hue angle (translucent hue), lower concentration of volatile acidity, furfural, aldehydes, esters, copper, 2-butanol, and secondary compounds in comparison to the other *cachaças* evaluated. The Amazon woods CM and JT demonstrated higher potential of utilization for storage of *cachaça* than that of LV, but all of them can be used to replace the oak.

**Keywords:** *Cachaça*. Amazon woods. Physicochemical analysis. Volatile compounds. TDS. Acceptance test.



## LISTA DE FIGURAS

### PRIMEIRA PARTE

- Figura 1 - Principais estados produtores (A) e consumidores (B) de cachaça..15  
Figura 2 - Processo de produção da cachaça de alambique envelhecida. .... 20

### SEGUNDA PARTE – ARTIGO

- Figure 1. Principal component analysis of the physicochemical analysis of *cachaças* stored with oak, *jatobá* (JT), *cumarurana* (CM), and *louro-vermelho* (LV) wood cubes. ....61  
Figure 2. Principal component analysis: scores (2-a) and loadings (2-b e 2-c) for volatile compounds detected in the *cachaças* stored with Amazon woods and oak. Samples: JT: *jatobá*; LV: *louro-vermelho*; CM: *cumarurana*. ....62  
Figure 3. TDS of *cachaças* stored with oak, *louro-vermelho*, *cumarurana*, and *jatobá* and TDS difference curves comparing *cachaças* stored with oak and the other *cachaças*. ....69  
Figure 4. PCA scores and loadings for the maximum dominance rates from *cachaças* TDS curves. Overall liking was considered as a supplementary variable. Samples: JT: *jatobá*; LV: *louro-vermelho*; CM: *cumarurana*. ....74

## LISTA DE TABELAS

### PRIMEIRA PARTE

Tabela 1 - Características químicas estabelecidas pela legislação brasileira para a aguardente de cana-de-açúcar e cachaça.....	29
---	----

### SEGUNDA PARTE – ARTIGO

Table 1. Attributes and descriptions defined for <i>cachaças</i> .....	52
Table 2. Physicochemical analysis recommended by the Brazilian legislation of <i>cachaças</i> stored with oak, <i>jatobá</i> (JT), <i>cumarurana</i> (CM), and <i>louro-vermelho</i> (LV) wood cubes. ....	57
Table 3. Color parameters of <i>cachaças</i> stored with Amazon and oak woods.	58
Table 4. Volatile compounds with high contribution in the differentiation of the <i>cachaças</i> stored with Amazon woods and oak. ....	64
Table 5. Average grades of appearance, taste and overall liking of <i>cachaças</i> stored with Amazon and oak woods. ....	71

## SUMÁRIO

	<b>PRIMEIRA PARTE .....</b>	<b>11</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1</b>	<b>Cachaça.....</b>	<b>15</b>
<b>2.2</b>	<b>Envelhecimento de cachaças.....</b>	<b>20</b>
<b>2.2.1</b>	<b>Madeiras utilizadas no envelhecimento de cachaças .....</b>	<b>24</b>
<b>2.3</b>	<b>Qualidade da Cachaça .....</b>	<b>26</b>
<b>2.3.1</b>	<b>Qualidade Sensorial.....</b>	<b>26</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Qualidade física e química.....</b>	<b>28</b>
<b>2.4</b>	<b>Avaliação sensorial de cachaças .....</b>	<b>29</b>
<b>3</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>34</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>35</b>
	<b>SEGUNDA PARTE – ARTIGO.....</b>	<b>43</b>
	<b>ARTIGO - UTILIZATION POTENTIAL OF AMAZON WOODS FOR STORAGE OF CACHAÇA: A SENSORIAL AND PHYSICOCHEMICAL STUDY .....</b>	<b>43</b>

## PRIMEIRA PARTE

### 1 INTRODUÇÃO

Cachaça é a denominação típica 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 e com características sensoriais peculiares (BRASIL, 2005). É um produto genuinamente brasileiro, sendo a bebida destilada mais consumida no Brasil e a quarta no mundo, após vodka (Rússia), soju (Coreia), e baijiu (China) (FRANCO SUAREZ; SANTOS, 2017; SOUZA, L. M. et al., 2013). Segundo Dornelles et al. (2009), a cachaça, devido às suas características sensoriais peculiares, vem conquistando novos mercados nacionais e internacionais, sendo necessário um esforço cada vez maior para sua melhoria e garantia da qualidade.

Esse produto é muito apreciado por seu sabor e aroma característicos, que são decorrentes principalmente dos processos de fermentação, destilação e envelhecimento em tonéis de madeira (ALCARDE; SOUZA; BELLUCO, 2010). Geralmente, todas as etapas do preparo de bebidas destiladas são determinantes e podem influenciar o desenvolvimento dos aromas, mas as bebidas recém-destiladas possuem gosto picante e odor pungente, sendo necessário o processo de descanso em tonéis de inox ou de madeira para tornar desejável o seu aroma e paladar e, ainda, para desenvolver sua coloração típica (BORTOLETTO; CORREA; ALCARDE, 2016; DE ROSSO et al., 2009a, 2009b; MADRERA et al., 2010).

O processo de envelhecimento ou maturação consiste basicamente em armazenar a bebida destilada em barris de madeira por um tempo determinado e em condições adequadas (BARBOZA et al., 2010; BORTOLETTO; ALCARDE, 2013), sendo que as cachaças serão denominadas armazenadas,

estocadas ou amaciadas quando o período de armazenamento for inferior a um ano (BRASIL, 2005). Durante o envelhecimento, a cachaça tem seu sabor mais suave e agradável, sendo esta etapa a principal responsável por melhorias das qualidades sensoriais da aguardente. É uma etapa indispensável, quando se deseja agregar qualidade e, conseqüentemente, valor a uma bebida destilada (ALCARDE; SOUZA; BELLUCO, 2010; BORTOLETTO; CORREA; ALCARDE, 2016).

Nesta etapa, a cachaça adquire uma série de características sensoriais desejáveis, como a diminuição do sabor alcoólico e da agressividade da bebida, e o aumento da doçura, do sabor de madeira e da coloração amarela (ANJOS et al., 2011; CARDELLO; FARIA, 1998, 1999). A mudança do aroma e do sabor da cachaça envelhecida deve-se a alterações na composição e na concentração dos seus compostos, as quais são causadas basicamente devido à extração dos compostos da madeira, quebra de suas macromoléculas e extração dos seus produtos, e reações entre os compostos do destilado e da madeira (ABREU-LIMA; MAIA; OLIVEIRA, 2005; ANJOS et al., 2011; MOSEDALE; PUECH, 1998).

O carvalho é a madeira tradicionalmente utilizada para envelhecimento de bebidas (AQUINO et al., 2006a; SANTIAGO et al., 2016). Porém, grande parte dos barris de madeira utilizados no envelhecimento de cachaça é proveniente de carvalho europeu ou americano, de difícil aquisição e disponibilidade (BORTOLETTO; ALCARDE, 2013; MORI et al., 2003). Segundo Trindade (2006), a maior parte dos barris de carvalho utilizados no envelhecimento de cachaças provém de barris anteriormente utilizados para o envelhecimento de uísque.

O Brasil é o país com a maior biodiversidade do mundo (MATTIETTO; LOPES; MENEZES, 2010), sendo que a Floresta Amazônica é o berço da maioria dessa biodiversidade, abrigando aproximadamente 2,5 mil espécies de

árvores (PAULA; ALVES, 1997), porém, mesmo com todo esse potencial, limita-se à utilização de poucas espécies nativas para o armazenamento de bebidas. Embora existam estudos sobre o potencial de utilização de algumas madeiras nativas brasileiras no envelhecimento de cachaça (ALCARDE; SOUZA; BELLUCO, 2010; BORTOLETTO; ALCARDE, 2013; DELGADO; MARQUES; ALMEIDA, 1996; FARIA et al., 2003; LORENZI, 1992; SANTIAGO et al., 2016), faltam estudos que avaliem mais criteriosamente a qualidade sensorial da cachaça envelhecida nas madeiras propostas.

A escolha das madeiras amazônicas a serem utilizadas no armazenamento das cachaças do presente estudo foi feita com base no estudo realizado por Castro et al. (2015). Esses autores analisaram os compostos das soluções hidroalcoólicas das madeiras cumarurana (*Dipteryx polyphylla* (Huber) Ducke), jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) e louro-vermelho (*Nectandra rubra* (Mez) C.K. Allen) e constataram que estas madeiras teriam potencial para serem utilizadas no armazenamento de bebidas destiladas.

Além disso, o presente estudo aprofunda-se em relação aos estudos anteriores uma vez que utiliza de uma técnica sensorial e estatística moderna: a análise de Dominância Temporal das Sensações (TDS), técnica esta que visa estudar a sequência de sensações dominantes de um produto durante um determinado período de tempo (PINEAU et al., 2009). Acredita-se que o TDS seja mais apropriado para explicar as respostas dos consumidores do que a análise descritiva estática devido ao seu elemento temporal e pode contribuir para a compreensão dos atributos que direcionam à aceitação (VARELA; PINTOR; FISZMAN, 2014).

Assim, a avaliação do potencial de utilização de madeiras da região Amazônica para armazenamento de cachaça torna-se de grande relevância, uma vez que poderá originar produtos com características sensoriais particulares. Além disso, a agregação da expressão “cachaça armazenada com madeiras

Amazônicas” possibilitará agregar valor à cachaça, estimulando sua comercialização no mercado interno e até mesmo no mercado externo.

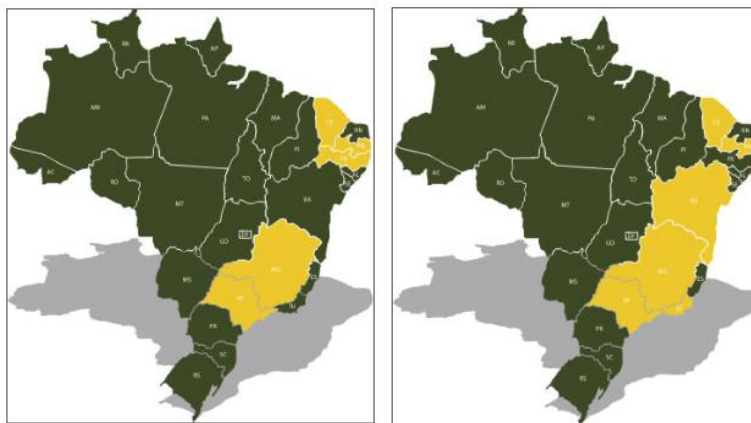
Deste modo, o objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial de uso de diferentes tipos de madeiras originárias da Amazônia para o armazenamento de cachaças: cumarurana (CM), jatobá (JT) e louro-vermelho (LV), comparando-se ao carvalho, madeira tradicionalmente utilizada no envelhecimento de cachaças, através do estudo das características físico-químicas, além do perfil temporal e da aceitabilidade.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Cachaça

Segundo o Instituto Brasileiro de Cachaça - IBRAC (2017), o Brasil possui capacidade instalada de produção de cachaça de aproximadamente 1,2 bilhão de litros, porém anualmente são produzidos menos de 800 milhões de litros. Atualmente, existem menos de 2 mil produtores (4 mil marcas), sendo que as microempresas correspondem a 99% do total de produtores. Os estados brasileiros que mais se destacam na produção da cachaça, em volume, são: São Paulo, Pernambuco, Ceará, Minas Gerais e Paraíba, já os principais estados consumidores são: São Paulo, Pernambuco, Rio de Janeiro, Ceará, Bahia e Minas Gerais (Figura 1).

Figura 1 - Principais estados produtores (A) e consumidores (B) de cachaça.



Fonte: IBRAC (2017).

Mesmo com a grande capacidade instalada, menos de 1% da cachaça produzida anualmente é exportada. Em 2017, a cachaça foi exportada para mais de 60 países e a base de empresas exportadoras foi composta por pouco mais de



50 empresas que exportaram um total 8,74 milhões de litros gerando uma receita de US\$ 15,8 milhões. Esses números representam um crescimento de 13,43% em valor e 4,32% em volume, em comparação a 2016. Dentre os principais mercados de destino estão Paraguai, Alemanha, Estados Unidos, França e Portugal (IBRAC, 2018).

A Instrução Normativa nº 13, de 29 de junho de 2005, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento que aprova o Regulamento Técnico para Fixação dos Padrões de Identidade e Qualidade para Aguardente de Cana e para Cachaça define:

Aguardente de Cana é a bebida com graduação alcoólica de 38% vol (trinta e oito por cento em volume) a 54% vol (cinquenta e quatro por cento em volume) a 20°C (vinte graus Celsius), obtida do destilado alcoólico simples de cana-de-açúcar ou pela destilação do mosto fermentado do caldo de cana-de-açúcar, podendo ser adicionada de açúcares em até 6g/l (seis gramas por litro), expressos em sacarose (BRASIL, 2005).

Cachaça é a denominação típica e exclusiva da Aguardente de Cana produzida no Brasil, com graduação alcoólica de 38 % vol (trinta e oito por cento em volume) a 48% vol (quarenta e oito por cento em volume) a 20°C (vinte graus Celsius), obtida pela destilação do mosto fermentado do caldo de cana-de-açúcar com características sensoriais peculiares, podendo ser adicionada de açúcares em até 6 g L<sup>1</sup> (seis gramas por litro), expressos em sacarose (BRASIL, 2005).

Além dos seus componentes principais, água e etanol, a aguardente apresenta, ainda que em baixas concentrações, componentes secundários formados em sua maior parte durante a fermentação alcoólica e selecionados pelo processo de destilação e pela etapa de maturação do destilado (MIRANDA et al., 2008; ODELO et al., 2009). O processo produtivo da aguardente pode ser

dividido basicamente em quatro etapas: preparação da matéria-prima, fermentação, destilação e envelhecimento (AQUINO et al., 2006a).

A seguir serão descritas brevemente as etapas da fabricação da cachaça envelhecida de alambique, de acordo com Trindade (2006).

- a) *Colheita da cana-de-açúcar*: na produção de cachaça de alambique, a colheita da cana é realizada manualmente. A queima do canavial, para facilitar a colheita, é um procedimento que não deve ser realizado, pois a combustão resulta em compostos indesejáveis no produto final. Após a colheita, a cana deve permanecer em local fresco e ao abrigo de luz e ser moída em até 24 horas. Da moagem resultam dois produtos: o caldo e o bagaço. O caldo, após passar por um decantador para a retirada de impurezas, é levado para recipientes especiais para a correção do brix, a qual é feita pela adição de água. Para um bom processo fermentativo (próxima etapa da produção da cachaça), o valor do brix deve estar entre 14 e 16°.
- b) *Fermentação*: é a etapa do processo em que os açúcares contidos no caldo de cana são convertidos em álcool etílico pela ação das leveduras existentes no caldo de cana. Nesta etapa são formados também os compostos que darão aroma e sabor à bebida. Ao caldo de cana é adicionado o “inóculo” ou “pé de cuba”, um fermento preparado com cuidados especiais para proporcionar os nutrientes necessários à ação de leveduras responsáveis pelo processo fermentativo. O pé de cuba pode ser preparado com as leveduras presentes naturalmente no ambiente ou a partir de leveduras selecionadas. Quando se utiliza “leveduras selecionadas”, o caldo de cana precisa ser esterilizado antes de iniciar o processo fermentativo.

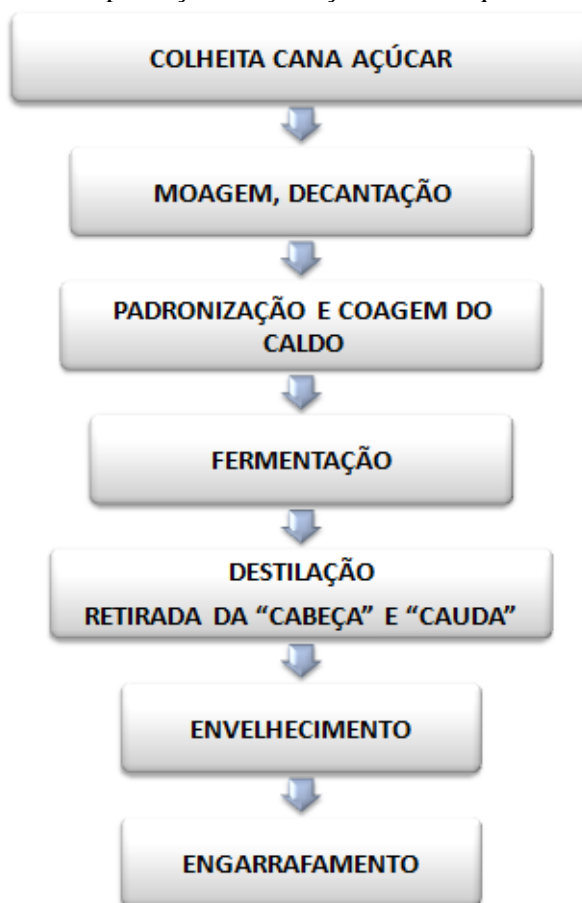
Na produção da cachaça, o pé de cuba é depositado na dorna de fermentação e em seguida é colocado o caldo de cana diluído a 16° Brix. No processo de fermentação ocorre a multiplicação de leveduras e as mesmas, por ação de enzimas, degradam os açúcares existentes no caldo, transformando-os em etanol e CO<sub>2</sub>. Além desses compostos, são formados os compostos secundários, como álcoois superiores, aldeídos e ésteres que contribuem para a formação do sabor e aroma final da cachaça. Ao final da fermentação (16-24hs), o líquido sobrenadante que resulta do processo de decantação das leveduras do mosto fermentado é chamado vinho. O sobrenadante deve ter brix igual a zero.

- c) *Destilação*: é o processo no qual o álcool é separado dos demais componentes que formam o vinho. Após a fermentação, o vinho é levado ao alambique (ou destilador) onde é aquecido até seu ponto de ebulição. Os vapores são condensados após passarem pela coluna e pela longa – cano condutor que é ligado a um sistema de resfriamento, geralmente em formato de serpentina – imersa em um tanque com água corrente. A cachaça constitui parte do líquido que foi condensado. A cabeça é a primeira fração do destilado (5 – 10% do volume total), que contém a maior parte do metanol (altamente tóxico) e dos aldeídos. A segunda fração destilada, chamada de “coração”, é a parte da bebida apropriada ao consumo (80% destilado). A “cauda” é a terceira fração do destilado e apresenta baixo teor alcoólico. Do líquido destilado devem ser retiradas a “cabeça” e a “cauda”, sendo que a precisão com que essas frações são retiradas tem influência direta na qualidade do produto. Geralmente os alambiques são feitos de cobre, isso porque esse material atua como catalisador em importantes reações que ocorrem durante a destilação, contribuindo assim para a qualidade da cachaça. O resíduo da destilação (material praticamente isento de etanol) é conhecido como vinhoto ou vinhaça.

- d) *Envelhecimento*: o processo de envelhecimento natural da cachaça consiste em armazená-la em barris de madeira por um tempo determinado, o que produz alterações na composição química, no aroma, no sabor e na cor da bebida. A cachaça envelhecida sofre influência, principalmente, da oxidação de componentes gerados na fermentação e destilação e também da incorporação de componentes extraídos da própria madeira.
- e) *Engarrafamento*: a cachaça deve ser envasada em recipientes de vidro. Deve-se evitar a utilização de recipientes de plástico, pois alguns compostos da cachaça podem reagir com componentes do material, comprometendo a qualidade sensorial da bebida.

Na Figura 2 tem-se esquematicamente o fluxograma do processo de produção da cachaça de alambique envelhecida.

Figura 2 - Processo de produção da cachaça de alambique envelhecida.



Fonte: Do autor (2018).

## 2.2 Envelhecimento de cachaças

A qualidade das bebidas alcoólicas é julgada pela sua cor, aroma e sabor. Essas características sensoriais, além de dependerem da matéria-prima utilizada e das condições industriais de fermentação e destilação, estão, também, intimamente ligadas ao seu processo de envelhecimento (LEÃO, 2006; SOUZA, L. M. et al., 2013).

Segundo a Instrução Normativa nº 13, de 29 de junho de 2005, cachaça ou aguardente de cana envelhecida é a bebida que contém, no mínimo, 50% (cinquenta por cento) de cachaça ou aguardente de cana envelhecidas em recipiente de madeira apropriado, com capacidade máxima de 700 (setecentos) litros, por um período não inferior a 1 (um) ano. Quando 100% da bebida é envelhecida por um período não inferior a 1 (um) denomina-se cachaça Premium e já quando 100% da bebida é envelhecida por um período não inferior a 3 (três) anos têm-se a cachaça denominada extra Premium. Ainda, cachaças serão denominadas armazenadas, estocadas ou amaciadas quando o período de armazenamento for inferior a um ano (BRASIL, 2005).

O processo de envelhecimento ou (maturação consiste basicamente em armazenar a bebida destilada em barris de madeira por um tempo determinado e em condições adequadas (BARBOZA et al., 2010, BORTOLETTO; ALCARDE, 2013). Essa ação produz mudanças na composição química, no aroma, no sabor e na cor da bebida, interferindo assim na sua qualidade sensorial (SOUZA, L. M. et al., 2013; TRINDADE, 2006). Durante esse processo ocorrem inúmeras transformações, incluindo reações entre os compostos secundários, provenientes da fermentação e destilação, e da madeira, catalisadas ainda pela presença do oxigênio introduzido nos tonéis através dos poros da madeira (PIGGOTT; SHARP; DUNCAN, 1989). O processo de envelhecimento sofre influência de uma série de fatores, são eles: tipo de madeira, idade e tamanho do barril, condições ambientais de armazenamento, tempo de envelhecimento, entre outros (TRINDADE, 2006).

O envelhecimento de vinhos e bebidas destiladas em barris de madeira é um processo usado para estabilizar a cor, a limpidez, melhorar e enriquecer as características sensoriais do produto (DEROSSO et al., 2009a, 2009b; MADRERA et al., 2010).

No Brasil, a etapa de envelhecimento da aguardente é optativa, não sendo realizada sistematicamente devido ao tempo requerido pelo processo e aos custos introduzidos pelo armazenamento da bebida em tonéis por alguns anos. Porém, essa etapa é indispensável quando se deseja agregar qualidade e, conseqüentemente, valor a uma bebida destilada (ALCARDE; SOUZA; BELLUCO, 2010; BORTOLETTO; CORREA; ALCARDE, 2016).

Segundo Nishimura e Matsuyama (1989), Mosedale e Puech (1998) e Piggott e Conner (2003) a mudança do aroma e do sabor da cachaça envelhecida deve-se às alterações na composição e na concentração dos seus compostos, basicamente devido as seguintes reações:

- a) Extração direta de componentes da madeira;
- b) Decomposição de macromoléculas que formam a estrutura da madeira de modo que compostos derivados da lignina, celulose e hemicelulose migrem para o destilado;
- c) Reações dos componentes da madeira com os componentes do destilado;
- d) Reações envolvendo somente os compostos extraídos da madeira;
- e) Reações envolvendo somente os componentes do destilado;
- f) Evaporação dos compostos de baixo peso molecular através da madeira do barril e;
- g) Formação de aglomerados envolvendo moléculas de diferentes componentes, etanol e água.

As bebidas recém-destiladas apresentam sabor seco, ardente e um aroma não muito agradável (BOZA; OETTERER, 1999; CARDELLO; FARIA, 2000). De acordo com Aquino et al. (2006a) e Lima (1992), mesmo que o processo de obtenção do mosto, fermentação e destilação da bebida tenha ocorrido de forma tecnicamente correta, sensorialmente ela pode não alcançar os patamares de qualidade satisfatórios, em vista da presença de substâncias de aroma e sabor

desagradáveis. Para eliminar ou mesmo minimizar a presença desses componentes, ganha importância o período de maturação ou envelhecimento.

Os principais grupos de compostos responsáveis pelo “flavor” das bebidas alcoólicas são: ésteres, álcoois, aldeídos e ácidos orgânicos (PACKOWSKI, 1978; SANTIAGO et al., 2016). Durante o envelhecimento de bebidas destiladas, normalmente ocorre uma diminuição do pH e das concentrações de cobre, de álcool metílico e de álcool etílico, enquanto se observam aumentos da acidez, da cor e das concentrações de ésteres, aldeídos, furfural, álcoois superiores, coeficiente de congêneres e compostos fenólicos (MIRANDA et al., 2008; PARAZZI et al., 2008).

Os principais compostos extraídos da madeira dos barris pelos destilados são: óleos voláteis, substâncias tânicas, açúcares, glicerol, ácidos orgânicos não voláteis e outros compostos classificados como compostos fenólicos de baixo peso molecular, que modificam o aroma, o sabor e a coloração da bebida (NISHIMURA; MATSUYAMA, 1989). Mendes et al. (2001) relatam que durante o envelhecimento em barril de madeira, observa-se um aumento progressivo no teor de extrato seco, dos quais os taninos e os compostos fenólicos provenientes da lignina chegam a representar até 40%. Já foram identificados numerosos aldeídos e ácidos fenólicos, como a vanilina, siringaldeído, coniferaldeído e sinapaldeído, em destilados alcoólicos envelhecidos em barris de carvalho. Estes compostos são responsáveis pelas propriedades organolépticas de bebidas envelhecidas e pela qualidade do produto, podem também ser usados como indicadores do envelhecimento (AQUINO et al., 2006b).



### 2.2.1 Madeiras utilizadas no envelhecimento de cachaças

O carvalho (*Quercus* sp.) é a madeira utilizada mundialmente para a confecção de tonéis para envelhecimento de bebidas destiladas, pois tornam o aroma e sabor da bebida agradável ao paladar (ALCARDE; SOUZA; BELLUCO, 2010; SANTIAGO et al., 2016). Porém, grande parte dos barris de madeira utilizados no envelhecimento de cachaça é proveniente de carvalho europeu e americano, de difícil aquisição e disponibilidade (BORTOLETTO; ALCARDE, 2013; MORI et al., 2003). A maior parte dos barris de carvalho utilizados no envelhecimento de cachaças provém de barris que foram utilizados no envelhecimento de uísque (TRINDADE, 2006).

No Brasil, embora predomine barris de carvalho, madeiras de diferentes espécies florestais como amendoim, cerejeira, cedro, jatobá, ipê e bálsamo podem ser utilizadas para o envelhecimento de aguardente (LORENZI, 1992). Algumas espécies florestais nacionais vêm sendo estudadas como uma alternativa para substituir o carvalho na construção de tonéis para envelhecimento de cachaça. Delgado, Marques e Almeida (1996) observaram que as madeiras ipê-roxo, amendoim, cabreúva, pereira e ararua são apropriadas para o envelhecimento da bebida; Faria et al. (2003) verificaram que as madeiras de amendoim, pereira e jatobá são boas candidatas para substituir o carvalho e Alcarde, Souza e Belluco (2010) verificaram que as madeiras nacionais: ipê-roxo, amendoim, cabreúva, cerejeira e pereira proporcionaram boas características sensoriais, além disso, Souza, L. B. et al. (2013) verificaram que a utilização de extratos de amburana contribui para melhor aceitabilidade da cachaça em relação a cor, sabor, aroma e impressão global.

As espécies amazônicas do presente estudo são utilizadas principalmente na construção civil, são altamente resistentes ao ataque de fungos deterioradores, apresentam textura média e grã reversa, exceto o louro-vermelho, que possui grã

regular. O louro-vermelho caracteriza-se por ter aspectos semelhantes ao mogno e ao cedro e apresenta vasos obstruídos por tilos e óleo-resina. A cumarurana possui uma madeira moderadamente fácil de serrar e difícil de aplinar e é refratária ao tratamento com produtos químicos hidrossolúveis. Já a madeira do jatobá possui um lenho pesado, resistente, muito sólido, durável e moderadamente difícil de ser trabalhada (ÁVILA; SILVA; LEÃO, 2006; BRAGA, 1960; CLAY; SAMPAIO; CLEMENT, 2000; FEDALTO; MENDES; CORADIN, 1989; LOUREIRO; FREITAS; FREITAS, 1999; LOUREIRO; SILVA; ALENCAR, 1979; LOUREIRO; SILVA, 1968; MAINIERI; CHIMELO, 1989; RAMOS, 1992; RIZZINI, 1971; SANTOS, 1987; VASCONCELLOS et al., 2001).

Castro et al. (2015) realizaram um estudo sobre a caracterização de espécies amazônicas por meio de análises físicas e químicas e verificou que cumarurana, jatobá e louro-vermelho apresentaram as densidades de 0,742, 0,789 e 0,535 g.cm<sup>-3</sup>, respectivamente, enquanto Alcarde, Souza e Belluco (2010) verificaram que o carvalho apresentou uma densidade de 1,08 g.cm<sup>-3</sup>. A densidade da madeira está correlacionada à sua permeabilidade, já que madeiras de alta densidade apresentam volume menor de espaços vazios (MENDES et al., 2001). Castro et al. (2015) concluíram que o jatobá seria a madeira mais indicada para fazer o armazenamento de bebidas. Ela possui a maior densidade e, com isso, possibilitaria uma menor perda de volume de líquido durante o armazenamento.

A escolha da madeira para o envelhecimento da cachaça pode ser determinada em função das características desejadas à bebida, além disso, na escolha da madeira para confecção do barril, deve-se levar em consideração uma série de aspectos físicos, como densidade, resistência mecânica e durabilidade (TRINDADE, 2006).

## **2.3 Qualidade da Cachaça**

Qualidade é o conjunto de características que diferenciam as unidades individuais de um produto e que tem importância na determinação do grau de aceitabilidade daquela unidade pelo comprador/consumidor (CHAVES; PÓVOA, 1992). Devido a necessidade de atender às regulamentações vigentes, a qualidade da cachaça muitas vezes é avaliada somente através da composição química (DUARTE et al., 2012), porém segundo Alcarde, Souza e Belluco (2010) o controle de qualidade da cachaça deve ser feito mediante o conhecimento das características físicas e químicas em conjunto com a qualidade sensorial da bebida. Dessa maneira a qualidade da cachaça é ditada pelos seus aspectos físicos, químicos e sensoriais, os quais devem ser avaliados conjuntamente.

### **2.3.1 Qualidade Sensorial**

A qualidade sensorial de um alimento não é uma característica própria deste, mas sim o resultado da interação entre ele e o homem. A qualidade sensorial é função tanto dos estímulos procedentes dos alimentos como também das condições fisiológicas e sociológicas dos indivíduos que os avaliam. Dessa forma, a qualidade sensorial de um alimento é extremamente subjetiva pelo fato de variar de pessoa para pessoa, sendo ditada por uma gama de fatores (MINIM, 2013).

Segundo Miranda, Horii e Alcarde (2006), a qualidade de uma bebida é julgada pelo consumidor pela aparência, aroma e sabor, ou seja, pelas suas propriedades sensoriais. A seguir serão descritos brevemente os atributos sensoriais gerais de uma cachaça de boa qualidade, segundo Cardoso (2013) e Trindade (2006).

*Características Visuais:* a cachaça deve ser transparente, límpida e brilhante e não deve conter qualquer substância sólida. Nas cachaças envelhecidas, o produto adquire uma tonalidade amarelada e, desse modo, a cor se torna um importante atributo na qualidade da cachaça uma vez que indica envelhecimento do produto.

*Características olfativas:* a cachaça deve possuir aroma suave e delicado, sem traços agressivos, ou seja, o aroma alcoólico não pode ser acentuado a ponto de impedir que se percebam os demais aromas. O aroma frutado, proveniente da fermentação, predomina em cachaças novas, já nas cachaças envelhecidas predomina os aromas amadeirados.

*Características gustativas:* o gosto da cachaça depende se a bebida sofreu ou não o envelhecimento e, além disso, depende das características relacionadas com a etapa de envelhecimento. O gosto adocicado é proveniente do envelhecimento, assim como a leve sensação de amargor, que é devido a alguns compostos extraídos da madeira. A sensação de acidez, responsável pela “queimação desagradável” também tende a diminuir com o tempo de envelhecimento.

O envelhecimento da cachaça em tonéis de madeira promove diminuição significativa do sabor alcoólico e da agressividade da bebida, com simultâneo aumento da doçura e do sabor de madeira, proporcionando uma efetiva melhora sensorial do produto (ANJOS et al., 2011; CARDELLO; FARIA, 1999). Na cachaça envelhecida, são atributos sensoriais de qualidade o aroma e sabor de madeira, aroma de baunilha, aroma de fruta, doçura inicial e residual e coloração amarela intensa. Já o aroma alcoólico, agressividade, sabor inicial e residual de álcool, acidez e sabor amargo são atributos, presentes na cachaça sem ou com pouco tempo de envelhecimento, relacionados negativamente com a preferência dos consumidores (CARDELLO; FARIA, 1998; ODELLO; BRASCESHI, 2009).

Segundo Yokota et al. (2005) os atributos sensoriais a serem avaliados em uma cachaça envelhecida são: aroma alcoólico, aroma de madeira, aroma de baunilha, gosto doce, gosto ácido, gosto amargo, sabor alcoólico inicial, sabor alcoólico residual, sabor de madeira inicial, sabor de madeira residual, adstringência, coloração amarela e viscosidade.

### **2.3.2 Qualidade física e química**

A Instrução Normativa nº 13, de 29 de junho de 2005, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento que regulamenta a qualidade física e química da aguardente no Brasil estabelece que o teor alcoólico deva ser de 38 a 48% para a cachaça e de 38 a 54% em volume a 20°C para a aguardente de cana. Define ainda que, a concentração de extrato seco não poderá ser superior a 6,0 g/L e que o coeficiente de congêneres (componentes voláteis "não álcool" ou componentes secundários "não álcool"), que se constitui da soma da acidez volátil, aldeídos, ésteres totais, alcoóis superiores e furfural não poderá ser inferior a 200 mg (duzentos miligramas) por 100 ml e não poderá ser superior a 650 mg (seiscentos e cinquenta miligramas) por 100 ml de álcool anidro. Os componentes do coeficiente de congêneres bem como os contaminantes álcool metílico, 2-butanol, 1-butanol e cobre devem seguir os limites expressos na Tabela 1.

Tabela 1 - Características químicas estabelecidas pela legislação brasileira para a aguardente de cana-de-açúcar e cachaça.

<b>Componente</b>	<b>Limite Máximo</b>
Acidez volátil, em ácido acético <sup>1</sup>	150
Ésteres, em acetato de etila <sup>1</sup>	200
Aldeídos, em aldeído acético <sup>1</sup>	30
Furfural <sup>1</sup>	5
Álcoois superiores* <sup>1</sup>	360
Álcool metílico <sup>1</sup>	20
2-butanol <sup>1</sup>	10
1-butanol <sup>1</sup>	3
Cobre <sup>2</sup>	5

\* Álcoois superiores = (3-metil-1-butanol + 2-metil-1-propanol + 1-propanol)

<sup>1</sup>mg.100 mL<sup>-1</sup> álcool anidro

<sup>2</sup>mg/L

De acordo com Miranda et al. (2007) os padrões estabelecidos com os seus respectivos limites têm a finalidade de moderar a influência de cada um desses componentes na proteção à saúde pública e no padrão de qualidade da bebida, não significando, portanto, que a aguardente que ali se enquadre possa ser considerada produto de qualidade sensorial superior. Desse modo, além da verificação das características físicas e químicas da cachaça, a avaliação sensorial da mesma é de extrema relevância.

#### **2.4 Avaliação sensorial de cachaças**

Análise sensorial compreende um conjunto de técnicas para a medição precisa das respostas humanas (LAWLESS; HEYMANN, 2010), baseando-se na identificação, medição científica, análise e interpretação de propriedades organolépticas de um produto tal como são percebidas pelos órgãos dos sentidos: visão, olfato, sabor, tato e audição (ISO/DIS 5492:1985) (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO, 1985).

Existem diversos métodos sensoriais, os quais são aplicados de acordo com a resposta que se deseja obter, ou seja, deve-se escolher a metodologia mais adequada para obter as respostas às questões de interesse. De acordo com a NBR 12994 de julho de 1993, os métodos sensoriais classificam-se em:

*Discriminativos:* são métodos que estabelecem diferenciação qualitativa e/ou quantitativa entre duas ou mais amostras. Dentre os métodos discriminativos têm-se os testes de diferença, como o teste de comparação pareada, triangular, duo-trio, comparação múltipla, ordenação, A ou Não-A e dois em cinco. Têm-se os testes de sensibilidade, como os de limites, estímulo constante e diluição (DUTCOSKY, 2011).

*Afetivos/Subjetivos:* são métodos que expressam a opinião pessoal do julgador. Entre estes testes têm-se a comparação pareada, ordenação, escala hedônica e escalas de atitude (DUTCOSKY, 2011).

*Descritivos:* são métodos que descrevem qualitativamente e quantitativamente as amostras. Dentre os métodos descritivos, pode-se citar a avaliação de atributos – escalas, perfil de sabor, perfil de textura, análise descritiva quantitativa (ADQ) e tempo-intensidade (DUTCOSKY, 2011) além da análise de dominância temporal das sensações (TDS) (PINEAU et al., 2009).

A utilização da análise sensorial vem ganhando cada vez mais reconhecimento no auxílio da garantia de qualidade de cachaças, isso porque através de testes sensoriais é possível identificar a presença ou ausência de diferenças pouco perceptíveis, definir de forma rápida as características sensoriais mais relevantes de um produto, identificar particularidades dificilmente detectadas por métodos analíticos e, ainda, através de técnicas sensoriais é possível avaliar a aceitação e preferências, pelos consumidores, de diferentes produtos (STONE; SIDEL, 2004).

Existem diversos trabalhos que vêm fazendo uso da análise sensorial na avaliação da cachaça, em especial verificando a influência da madeira e tempo de armazenamento nas características sensoriais e aceitação do produto. Cardello e Faria (2000) verificaram que a cachaça envelhecida possui uma maior aceitação que a cachaça que não sofreu envelhecimento. Alcarde, Souza e Belluco (2010) verificaram que a aguardente envelhecida em carvalho foi a que apresentou a melhor aceitação sensorial e dentre as madeiras nacionais estudadas, o ipê-roxo, amendoim, cabreúva, cerejeira e pereira foram as que apresentaram aceitação sensorial mais semelhante à cachaça envelhecida no tonel de carvalho. Faria et al. (2003) observaram que as madeiras amendoim, pereira e jatobá são boas candidatas para substituir o carvalho e Viégas (2015) verificou que a cachaça armazenada em barris de eucalipto das espécies de *E. maculata* e *E. phaeotricha* tiveram maiores médias de aceitação dentre os quatro atributos avaliados em comparação às outras dez espécies de eucalipto analisadas.

Através dos estudos sensoriais foi possível identificar os principais atributos sensoriais da cachaça envelhecida e correlacioná-los com a aceitação do produto, obtendo-se, deste modo, os parâmetros de qualidade sensorial de cachaça envelhecida. Cardello e Faria (1998), em estudos com aguardentes, envelhecidas durante 12, 24, 36 e 48 meses, verificaram que com o aumento do tempo de armazenamento, aumentou-se a percepção do aroma de madeira, doçura inicial e residual, aroma de baunilha, coloração amarela, gosto inicial e residual de madeira. Já a percepção do aroma alcoólico, agressividade, sabor inicial e residual de álcool diminuiu com o tempo de envelhecimento. Yokota (2005) em um trabalho com cachaças envelhecidas entre 18 e 24 meses e Odello e Brasceschi (2009), em um trabalho com cachaças comerciais envelhecidas e não envelhecidas, verificaram que a preferência está positivamente correlacionada com a intensidade da coloração amarela, sabor inicial e residual de madeira,



doçura inicial e residual, aroma de madeira, baunilha e fruta e viscosidade; em contrapartida a acidez, o sabor e aroma alcoólico e o amargor estão relacionados negativamente com a preferência dos consumidores. Rota, Piggott e Faria (2013) descreveram o perfil sensorial de seis amostras de cachaça, com variações no tipo de destilação (destilação tradicional e bidestilada) e envelhecimento durante 12 e 24 meses em barris de carvalho e observou intensidades superiores de atributos relacionados ao envelhecimento, tais como cor amarela, sabor de baunilha, aroma de banana e aroma de madeira na amostra bidestilada quando comparada com a amostra tradicional durante o mesmo tempo de envelhecimento.

Com relação às alterações no processo de envelhecimento, Lima, Maia e Oliveira (2005) verificaram que é viável a adição de extratos de madeira no aprimoramento do processo de envelhecimento e Miranda, Horii e Alcarde (2006) chegaram à conclusão de que a cachaça que teve aceleração do envelhecimento através da irradiação apresentou maior aceitação do que a cachaça controle.

Por fim, em estudo realizado por Simioni et al. (2018a), brasileiros e eslovacos avaliaram o perfil temporal, através do teste TDS, e a aceitabilidade, através do teste de aceitação segundo escala de 9 pontos, de cachaças armazenadas com as mesmas madeiras que foram utilizadas no presente estudo, com o objetivo de realizar uma comparação transcultural, fornecendo assim informações importantes sobre a percepção deste produto entre diferentes culturas e estimulando sua comercialização.

Observa-se que, de todos os trabalhos avaliados que tentaram encontrar uma alternativa ao uso do carvalho, nenhum deles utilizou de técnicas sensoriais e estatísticas modernas como o TDS, método descritivo multi-atributo rápido que vem aprofundar o entendimento da percepção temporal de diferentes

sensações ao mesmo tempo em que possibilita a identificação dos atributos que direcionam a aceitação dos consumidores (PINEAU et al., 2009).

Além disso, já foi demonstrado em estudos comparativos de produtos que o TDS pode fornecer mais informações do que os métodos de perfis convencionais (LABBE et al., 2009), sendo utilizado para estudo de produtos complexos como por exemplo cervejas (SIMIONI et al., 2018b), vinhos tintos (MEILLON et al., 2010), vodkas flavorizadas (DÉLÉRIS et al., 2011) e cafés (DINNELLA et al., 2013). Fornece, assim, informações suplementares sobre a sequência de sensações e mudanças qualitativas percebidas durante o processo de consumo de bebidas ou alimentos que não são mensuráveis com a análise sensorial convencional (DI MONACO et al., 2014).

### 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O envelhecimento de cachaças, produto genuinamente brasileiro, é uma etapa indispensável quando se deseja agregar qualidade e, conseqüentemente, valor a uma bebida destilada. Nesta etapa, a cachaça adquire uma série de características sensoriais desejáveis, provenientes de alterações na composição e na concentração dos seus compostos. O carvalho é a madeira tradicionalmente utilizada para envelhecimento de bebidas, porém não é uma madeira nativa do Brasil, sendo de difícil aquisição e disponibilidade. O Brasil é o país com a maior biodiversidade do mundo, mas limita-se à utilização de poucas espécies nativas para o armazenamento de bebidas. Embora existam estudos sobre o potencial de utilização de algumas madeiras nativas brasileiras no envelhecimento de cachaça, faltam estudos que avaliem mais criteriosamente a qualidade sensorial da cachaça envelhecida nas madeiras propostas. Neste trabalho, optamos por utilizar madeiras da região Amazônica, que é o berço da maioria da biodiversidade brasileira, uma vez que estudos prévios já haviam constatado que madeiras provenientes dessa região teriam potencial para serem utilizadas no armazenamento de bebidas destiladas. Além disso, o presente trabalho aprofunda-se em relação aos estudos anteriores, uma vez que utiliza uma técnica sensorial e estatística moderna: a análise de Dominância Temporal das Sensações.

## REFERÊNCIAS

ABREU-LIMA, T. L.; MAIA, A. B. R. A.; OLIVEIRA, E. S. Efeitos sensoriais da adição de extratos de diferentes madeiras à cachaça. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, Curitiba, v. 23, p. 347-360, 2005.

ALCARDE, A. R.; SOUZA, P. A.; BELLUCO, A. E. S. Aspectos da composição química e aceitação sensorial da aguardente de cana-de-açúcar envelhecida em tonéis de diferentes madeiras. **Ciência e Tecnologia de alimentos**, Campinas, v. 30, n. 1S, p. 226-232, 2010.

ANJOS, J. P. et al. Identificação do carbamato de etila durante o armazenamento da cachaça em tonel de carvalho (*Quercus* sp.) e recipiente de vidro. **Química Nova**, São Paulo, v. 34, p. 874-878, 2011.

AQUINO, F. W. B. et al. Determinação de marcadores de envelhecimento em cachaças. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 1, p. 145-149, 2006a.

AQUINO, F. W. B. et al. Simultaneous determination of aging markers in sugar cane spirits. **Food Chemistry**, London, v. 98, n. 3, p. 569-574, 2006b.

ÁVILA, F.; SILVA, S.; LEÃO, N. V. M. **Árvores da Amazônia**. São Paulo: Empresa das Artes, 2006. 243 p.

BARBOZA, R. A. B. et al. Efeito do envelhecimento na qualidade da cachaça produzida por pequenos produtores. **Revista Ciência em Extensão**, São Paulo, v. 6, n. 2, p. 46-56, 2010.

BORTOLETTO, A. M.; ALCARDE, A. R. Congeners in sugar cane spirits aged in casks of different woods. **Food Chemistry**, London, 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**, Barking, v. 86, p. 46-53, 2016.

BOZA, Y; OETTERER, M. Envelhecimento de aguardente de cana. **Boletim da SBCTA**, v. 33, n. 1, p. 8-15, 1999.

BRAGA, R. **Plantas do Nordeste**: especialmente do Ceará. 4. ed. Natal: UFRN, 1960. 540 p

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa n. 13, de 29 de junho de 2005. Aprova o regulamento técnico para fixação dos padrões de identidade e qualidade para aguardente de cana e para cachaça. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, DF, 30 jun. 2005.

CARDELLO, H. M. A. B.; FARIA, J. B. Análise descritiva quantitativa da aguardente de cana durante o envelhecimento em tonel de carvalho (*Quercus alba* L.). **Ciência e Tecnologia de alimentos**, Campinas, v. 18, n. 2, p. 169-175, 1998.

CARDELLO, H. M. A. B.; FARIA, J. B. Análise tempo-intensidade de características sensoriais de cachaça de cana durante o envelhecimento em tonel de carvalho (*Quercus* sp). **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 33, n. 1, p. 27-34, 1999.

CARDELLO, H. M. A. B.; FARIA, J. B. Análise da aceitação de aguardentes de cana por testes afetivos e mapa de preferência interno. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 20, n. 1, p. 32-36, 2000.

CARDOSO, M. G. **Produção de aguardente de cana**. 3. ed. Lavras: UFLA, 2013. 340 p.

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

CHAVES, J. B. P.; PÓVOA, M. E. B. A qualidade da aguardente de cana-de-açúcar. In: MUTTON, M. J. R.; MUTTON, M. A. **Aguardente de cana**: produção e qualidade. Jaboticabal: FUNEP, 1992.

CLAY, J. W.; SAMPAIO, P. T. B.; CLEMENT, C. R. **Biodiversidade amazônica**: Exemplos e estratégia de utilização. Manaus: SEBRAE/ INPA, 2000. 409 p.

DÉLÉRIS, I. et al. Impact of swallowing on the dynamics of aroma release and perception during the consumption of alcoholic beverages. **Chemistry Senses**, Oxford, v. 36, p. 701-713, 2011.

DELGADO, A. A.; MARQUES, T. A.; ALMEIDA, C. L. F. Madeiras nacionais para envelhecimento natural de aguardente. **Álcool & Açúcar**, São Paulo, v. 16, n. 83, p. 22-27, 1996.

DE ROSSO, M. et al. Changes in Chemical Composition of a Red Wine Aged in Acacia, Cherry, Chestnut, Mulberry, and Oak Wood Barrels. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Davis, v. 57, n. 5, p. 1915–1920, 2009a.

DE ROSSO, M. et al. Chemical compounds released from five different woods used to make barrels for aging wines and spirits: volatile compounds and polyphenols. **Wood Science and Technology**, Berlin, v. 43, n. 5/6, p. 375-385, 2009b.

DINNELLA, C. et al. A new approach in TDS data analysis: a case study on sweetened coffee. **Food Quality and Preference**, Barking, v. 30, n. 1, p. 33-46, 2013.

DORNELLES, A. S.; RODRIGUES, S.; GARRUTI, D. S. Aceitação e perfil sensorial das cachaças produzidas com Kefir e *Saccharomyces cerevisiae*. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 29, n. 3, p. 518-522, 2009.

DUARTE, F. C. et al. Physicochemical and sensory changes in aged sugarcane spirit submitted to filtering with activated carbon filter. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 32, n. 3, 2012.

DUTCOSKY, S. D. **Análise Sensorial de alimentos**. 3. ed. Curitiba: Champagnat, 2011. 426 p.

FARIA, J. B. et al. Evaluation of Brazilian woods as an alternative to oak for cachaças aging. **European Food Research and Technology**, Berlin, v. 218, n. 1, p. 83-87, 2003.

FEDALTO, L. C.; MENDES, I. C. A.; CORADIN, V. T. R. **Madeiras da Amazônia**: descrição do lenho de 40 espécies ocorrentes na Floresta Nacional do Tapajós. Brasília: IBAMA, 1989. 156 p.

FRANCO, M. O. K.; SUAREZ, W. T.; SANTOS, V. B. Digital image method smartphone-based for furfural determination in sugarcane spirits. **Food Analytical Methods**, Heidelberg, v. 10, n. 2, p. 508–515, 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE CACHAÇA. 2017. Disponível em: <<http://www.ibrac.net>>. Acesso em: 07 jul. 2018.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO/DIS 5492:1985**. Sensory analysis. Vocabulary. Switzerland, 1985.

LABBE, D. et al. Temporal dominance of sensations and sensory profiling: a comparative study. **Food Quality and Preference**, Barking, v. 20, p. 216-221, 2009.

LAWLESS, H. T.; HEYMANN, H. **Sensory evaluation of foods: principles and practices**. Berlin: Springer, 2010. 850 p.

LEÃO, M. M. **Influência do termotratamento na composição química da madeira de (*Amburana cearensis*), bálsamo (*Myroxylon balsamum*) e carvalho (*Quercus sp.*) e o impacto no aroma de uma modelo de cachaça**. 2006. 86 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais com opção em Tecnologia de Produtos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2006.

LIMA, T. L. A.; MAIA, A. B. R.; OLIVEIRA, E. S. O. Efeitos sensoriais da adição de extratos de diferentes madeiras à cachaça. **CEPPA**, Curitiba, v. 23, n. 2, p. 347-360, 2005.

LIMA, U. A. Produção nacional de aguardentes e potencialidades dos mercados internos e externo. In: MUTTON, M. J. R.; MUTTON, M. A. (Ed.). **Aguardente de cana: produção e qualidade**. Jaboticabal: FUNEP, 1992. p. 54-98.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identidade e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa: Platarum, 1992.

LOUREIRO, A. A.; FREITAS, J. A.; FREITAS, C. A. A. de. **Essências madeireiras da Amazônia**. Manaus: MCT/INPA-CPPF, 1997. v. 3.

LOUREIRO, A. A.; SILVA, M. F. da; ALENCAR, J. C. **Essências madeireiras da Amazônia**. Manaus: INPA, 1979. v. 1.

LOUREIRO, A. A.; SILVA, M. F. da. **Catálogo das madeiras da Amazônia**. Belém: SUDAM, 1968. v. 1, 435 p.

MADRERA, R. R. et al. Alternative woods for aging distillates -an Insight into their phenolic profiles and antioxidant activities. **Food Science and Biotechnology**, Berlin, v. 19, n. 4, p. 1129-1134, Aug. 2010.

MAINIERI, C.; CHIMELO, J. P. **Fichas de características das madeiras brasileiras**. 2. ed. São Paulo: IPT, 1989. 420 p.

MATTIETTO, R. A.; LOPES, A. S.; MENEZES, H. C. Caracterização física e físico-química dos frutos da cajazeira (*Spondias mombin* L.) e de duas polpas obtidas por dois tipos de extrator. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 13, p. 156–164, 2010.

MEILLON, S. et al. Impact of partial alcohol reduction in Syrah wine on perceived complexity and temporality of sensations and link with preference. **Food Quality and Preference**, Barking, v. 21, p. 732-740, 2010.

MENDES, L. M. et al. Influência da qualidade da madeira no envelhecimento de aguardentes. In: CARDOSO, M. G. **Produção artesanal de aguardente**. Lavras: UFLA, 2001. p. 191- 227.

MINIM, V. P. R. **Análise sensorial: estudos com consumidores**. 3. ed. Viçosa, MG: UFV, 2013.

MIRANDA, M. B. et al. Qualidade química de cachaças e de aguardentes brasileiras. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, n.04, p. 897-901, 2007.

MIRANDA, M. B. et al. Perfil físico-químico de aguardente durante envelhecimento em tonéis de carvalho. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, p. 84-89, 2008.

MIRANDA, M. B.; HORII, J.; ALCARDE, A. R. Estudo do efeito da irradiação gamma ( $^{60}\text{CO}$ ) no qualidade da cachaça e no tonal tonel de envelhecimento. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 4, p. 772-778, 2006.

MORI, F. A. et al. Utilização de eucaliptos e de madeiras nativas no armazenamento da aguardente de cana-de-açúcar. **Ciência Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 23, n. 3, p. 396-400, set./dez. 2003.

MOSEDALE, J. R.; PUECH, J. L. Wood maturation of distilled beverages. **Trends in Food Science & Technology**, Cambridge, v. 9, n. 3, p. 95-101, 1998.

NISHIMURA, K; MATSUYAMA, R. Maturation and maturation chemistry. In: PIGGOTT, J. R.; SHARP, R.; DUNCAN, R. E. B. (Ed.). **The science and technology of whiskies**. New York: Longman, 1989. Cap. 8, p. 235-264.



ODELLO, L.; BRASCESCHI, G. P. Avaliação sensorial de cachaça. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 7, p. 1839-1844, 2009.

PACKOWSKI, G. W. Beverage spirits, distilled. In: KIR-OTHMER (Ed.). **Encyclopedia of chemical technology**. 3rd ed. New York: J. Wiley & Sons, 1978. v. 3, p. 830-863.

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, 2008.

PAULA, J. E. de; ALVES, J. L. H. de. **Madeiras nativas: anatomia, dendrologia, dendrometria, produção e uso**. Brasília: Fundação Mokiti Okada, 1997. 544 p.

PIGGOTT, J. R.; CONNER, J. M. Whiskies. In: LEA, A. G. H.; PIGGOTT, J. R. (Ed.). **Fermented beverage production**. New York: Klumer, 2003. p. 239–262.

PIGGOTT, J. R.; SHARP, R. C.; DUNCAN, R. E. B. **The science and thechnology of whiskies**. New York: Longman Sccientific & Technical, 1989. 410 p.

PINEAU, N. et al. Temporal dominance of sensations: construction of the TDS curves and comparison with time–intensity. **Food Quality and Preference**, Barking, v. 20, p. 450-455, 2009.

RAMOS, K. B. L. **Estudo anatômico macro e microscópico do lenho de seis espécies do gênero *Dipteryx* Schreber (Fabaceae) da Amazônia brasileira**. 1992. 90 p. Dissertação (Mestrado em Botânica) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/ Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 1992.

RIZZINI, C. T. **Plantas do Brasil: árvores e madeiras úteis do Brasil: manual de dendrologia brasileira**. São Paulo: E. Bluche, 1971. 294 p.

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**, London, v. 119, p. 251-257, 2013.

SANTIAGO, W. D. et al. Physicochemical profile and determination of volatile compounds in cachaça stored in new oak (*Quercus* sp.), amburana (*Amburana cearensis*), jatoba (*Hymenaea caribouril*), balsam (*Myroxylon peruiferum*) and peroba (*Paratecoma peroba*) casks by SPME-GC-MS. **Journal of the Institute of Brewing**, London, v. 122, n. 4, p. 624-634, 2016 .

SANTOS, E. **Nossas madeiras**. Belo Horizonte: Itatiaia, 1987. 313 p.

SIMIONI, S. C. C. et al. Temporal dominance of sensations and preferences of Brazilians and Slovaks: a cross-cultural study of *cachaças* stored with woods from the Amazon rainforest. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Berlin, v. 98, n. 11, 2018a.

SIMIONI, S. C. C. et al. Multiple-sip temporal dominance of sensations associated with acceptance test: a study on special beers. **Journal of Food Science and Technology**, Berlin, v. 55, n. 3, p. 1164-1174, 2018b.

SOUZA, L. B. et al. Uso de extrato da madeira Amburana (*Amburana cearensis*) na produção de aguardente: análise sensorial. **Revista Thema**, Pelotas, v. 10, n. 1, p. 138-149, 2013.

SOUZA, L. M. et al. **Produção de cachaça de qualidade**. Piracicaba: ESALQ, 2013.

STONE, H.; SIDEL, J. **Sensory evaluation practices**. 3. ed. Amsterdam: Academic, 2004. 408 p.

TRINDADE, A. G. **Cachaça um amor brasileiro**. São Paulo: Melhoramentos, 2006. 159 p.

VARELA, P.; PINTOR, A.; FISZMAN, S. How hydrocolloids affect the temporal oral perception of ice cream. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 36, p. 220-228, 2014.

VASCONCELLOS, F. J. de et al. **Madeiras tropicais de uso industrial do Maranhão: características tecnológicas**. Manaus: INPA/UFMA, 2001. 96 p.

VIÉGAS, E. K. D. **Potencialidade de eucaliptos para o armazenamento ou envelhecimento de cachaça**. 2015. 121 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2015.

**YOKOTA, S. R. C. Avaliação sensorial descritiva de cachaça envelhecida entre 18 e 24 meses por 4 painéis de julgadores.** 2005. 116 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de alimentos) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2005.

**SEGUNDA PARTE – ARTIGO****ARTIGO****UTILIZATION POTENTIAL OF AMAZON WOODS FOR STORAGE OF  
CACHAÇA: A SENSORIAL AND PHYSICOCHEMICAL STUDY**

SÍNTIA CARLA CORRÊA SIMIONI<sup>a</sup>, DANIELA MARIA RODRIGUES<sup>a</sup>,  
VANESSA RIOS DE SOUZA<sup>a</sup>, CLEITON ANTÔNIO NUNES<sup>a</sup>, MARCIO  
POZZOBON PEDROSO<sup>b</sup>, MARIA DAS GRAÇAS CARDOSO<sup>b</sup>, MARIA  
LUCIA BIANCHI<sup>b</sup>, ANA CARLA MARQUES PINHEIRO<sup>a\*</sup>

<sup>a</sup>Department of Food Science, Federal University of Lavras, 37200-000, Lavras,  
MG, Brazil

<sup>b</sup>Department of Chemistry, Federal University of Lavras, 37200-000, Lavras,  
MG, Brazil

\*Corresponding author: Phone: +55 35 38291391. Fax: +55 35 38291401.

E-mail: anacarlamp@dca.ufla.br

This manuscript will be submitted to **British Food Journal - ISSN: 0007-070X**,  
being presented according to the rules of publication of this Journal.

**ABSTRACT:** . The aim of this study was to evaluate the potential use of wood originating from the Amazon region for storage of *cachaça* —*cumarurana* (CM), *jatobá* (JT), and *louro-vermelho* (LV)— in comparison with oak, the wood traditionally used in the aging of *cachaça*, by understanding the physicochemical characteristics, the temporal profile and the acceptability. The commercial *cachaças* were stored for six months in a glass container with wooden cubes from Amazon woods and oak. The physicochemical characteristics, color, presence of volatile compounds, descriptive analysis by the temporal dominance of sensations (TDS), and acceptability were investigated. *Cachaças* stored with CM and JT presented higher acceptability, similar to the storage with oak, and higher potential of utilization. This acceptability may be related to the detection of the wood flavor and vanilla attributes that were identified in the *cachaça* stored with oak and the non-identification of the off-flavor attribute in *cachaças* stored with CM and JT samples.. Higher levels of volatile acidity, higher alcohols, dry extract, esters, furfural, and aldehydes; and high concentrations of volatile compounds such as ethyl hexanoate, ethyl octanoate, and furfural compounds probably contributed positively to the acceptance of the *cachaças*, with an emphasis on the aromas sweetish, and husk. On the contrary, *cachaça* stored with LV presented less potential of utilization and lower acceptability, which may be related to the significant detection of off-flavor attribute in the TDS analysis, higher values for the hue angle (translucent hue), lower concentration of volatile acidity, furfural, aldehydes, esters, copper, 2-butanol, and secondary compounds in comparison to the other *cachaças* evaluated. The Amazon woods CM and JT demonstrated higher potential of utilization for storage of *cachaça* than that of LV, but all of them can be used to replace the oak.

Key-words: *cachaça*, Amazon woods, physicochemical analysis, volatile compounds, TDS, acceptance test.

## INTRODUCTION

*Cachaça* is the typical and exclusive denomination of sugarcane beverage produced in Brazil, with an alcoholic strength of 38 to 48% (v/v) at 20 °C, obtained by the distillation of the fermented must from the sugarcane juice and with particular sensorial characteristics (Brazil, 2005a). It is a genuinely Brazilian product that is well appreciated for its characteristic flavor and aroma resulting mainly from fermentation, distillation, and aging processes in wooden barrels (Alcarde *et al.* 2010), and is the most consumed distilled beverage in Brazil and the fourth in the world after vodka (Russia), soju (Korea), and baijiu (China) (Franco *et al.*, 2017; Souza *et al.*, 2013).

During the elaboration stages of the *cachaça* there are several chemical and biochemical reactions that produce numerous chemical compounds, which are responsible for the sensorial characteristics of *cachaça* (Cardello and Faria, 1998; Souza *et al.*, 2013). All the stages of preparation of distilled beverages are determinant and may influence the development of flavor and aroma, but aging is fundamentally important in attenuating the aggressive sensory characteristics of freshly distilled beverages, such as spicy taste, pungent odor, and strong alcoholic flavor; making its aroma and taste palate desirable (Bortoletto *et al.*, 2016; DeRosso *et al.*, 2009a, 2009b; Madrera *et al.*, 2010).

The process of aging or maturation basically consists of storing the distilled beverage in wooden casks for a determined period of time and in suitable conditions (Barbosa *et al.*, 2010; Bortoletto and Alcarde, 2013). Thus, *cachaça* acquires a series of sensorial characteristics such as increased sweetness, wood flavor, and yellow coloration (Anjos *et al.*, 2011; Cardello and Faria, 1998; Cardello and Faria, 1999), which is an indispensable in adding quality and consequently, value to a distilled beverage (Alcarde *et al.*, 2010; Bortoletto *et al.*, 2016).

Oak is the wood traditionally used for the aging of distilled beverages worldwide that renders flavor to the beverages by the extraction of aromatic molecules from the wood (Aquino *et al.*, 2006; Santiago *et al.*, 2016). This is not a Brazilian native wood, and most of the wood casks used in the aging of *cachaça* are European or American oak, difficult to acquire and availability is scarce (Bortoletto and Alcarde, 2013; Mori *et al.*, 2003). Thus, Brazilian woods can be a viable option for *cachaça* producers as they are easily available and the peculiar compounds of each type of wood can be transferred to the distilled beverage (Bortoletto and Alcarde, 2013).

The Amazon rainforest is the cradle for Brazilian biodiversity, sheltering more than 2.5 thousand species of trees (Paula and Alves, 1997); however, even with all this potential, only a few limited native species have been used for storing beverages. Although there are studies about the potential of utilization of some native Brazilian woods in the aging of *cachaça* (Alcarde *et al.*, 2010; Delgado *et al.*, 1996; Faria *et al.*, 2003; Lorenzi, 1992; Viégas, 2015), there is a lack of in-depth studies that more accurately assess the sensorial quality of aged *cachaça* in the proposed woods.

In the present study a more detailed characterization was performed using Temporal Dominance of Sensations analysis (TDS), a modern, sensory and statistical technique, which aims to study the sequence of dominant sensations of a product during a certain time period (Pineau *et al.*, 2009). TDS is believed to be more appropriate in explaining consumer responses than static descriptive analysis due to its temporal element and may contribute to the understanding of drivers of liking (Varela *et al.*, 2014).

Thus, the evaluation of the utilization potential of wood from the Amazon region for storage of *cachaça*, a genuinely Brazilian product, is highly relevant. It may produce a product with particular sensorial characteristics with the addition of the expression "*cachaça* stored with Amazon wood", which

allows the greater aggregation of value to the *cachaça* stimulating its commercialization.

The aim of this study was to evaluate the potential use of wood originating from the Amazon region for storage of *cachaça* —*cumarurana* (CM), *jatobá* (JT), and *louro-vermelho* (LV)— in comparison with oak, the wood traditionally used in the aging of *cachaça*, by understanding the physicochemical characteristics, the temporal profile and the acceptability.

## MATERIALS AND METHODS

### Obtaining *cachaça* stored with different Amazon woods

The Amazon species studied were CM [*Dipteryx polyphylla* (Huber) Ducke], JT [*Hymenaea courbaril* L], and LV [*Nectandra rubra* (Mez) C.K. Allen], which were collected in the management area in Silves, Amazonas State, Brazil, at Monte Verde farm of Precious Woods Amazon Company, which is a company certified by FSC® (Forest Stewardship Council®). Oak (*Quercus* sp) wood was collected from wooden casks in a cooperage of Brodowski, São Paulo State, Brazil.

The commercial and freshly distilled *cachaça* with an alcohol content of 44 g/L was used. The wooden cubes with a nominal dimension of  $2 \times 2 \times 2$  cm made from the Amazon and oak woods were obtained. These cubes were subjected to heat treatment in an oven with a constant temperature of 200 °C for 120 min and were stored in glass containers containing *cachaça*, for over a period of six months at room temperature, without light exposure, in the ratio of one wooden cube for 250 mL of *cachaça*. These conditions were based on a study conducted by Castro *et al.* (2015) who stored cubes in hydroalcoholic solutions to obtain physicochemical information on Brazilian woods. After this



period, the wooden cubes were removed, and the *cachaça* was subjected to physicochemical and sensory evaluation.

Further information about the *cachaça* without aging, obtaining of the wooden cubes and heat treatment is described in a previous study (Simioni *et al.*, 2018).

### **Physicochemical analyses**

The physicochemical analyses recommended by Brazilian legislation were carried out in *cachaças* stored with the Amazon woods and oak. The concentrations of dry extract, furfural, copper, methanol, ethanol, higher alcohols, aldehydes, esters, volatile acidity, and secondary compounds were determined by analyzing the physicochemical characteristics according to the Official Methods of Analysis of Distilled Beverages, Normative Instruction No. 24 of 08/09/2005 (Brazil, 2005b).

The color and volatile compound analysis was also carried out in the *cachaças* stored with the Amazon woods and oak.

#### *Color measurement*

The color parameters were measured with samples inside the glass containers using the Konica Minolta Spectrophotometer, model CR CM-5, with illuminant D65 in SCE reading mode at 10 ° angle, and CIE L \* C \* h color system, which was previously calibrated. The data were presented as the averages of the three measurements.

*Identification of Volatile compounds in aged cachaças by GC-MS*

The identification of volatile compounds from aged *cachaças* was performed by solid phase microextraction (SPME) and gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) at the Center for Analysis and Chemical Prospecting (CAPQ/Department of Chemistry/UFLA). Each *cachaça* was separated in portions of 5 mL and was placed in a 20 mL screw cap SPME tube (Sigma-Aldrich, Bellefonte, PA, USA) and volatile compounds were extracted via headspace solid-phase microextraction (SPME) (Arthur and Pawliszyn, 1990) using a DVB/CAR/PDMS (Divinylbenzene, Carboxen, and Polydimethylsiloxane) fiber. The temperature and extraction time was 60 °C and 40 min, respectively. A GC-MS QP 2010 Ultra (Shimadzu, Japan) gas chromatograph coupled to a mass spectrometer equipped with a AOC-5000 (Shimadzu, Japan) automatic injector for liquids and gas, and a HP-5 (5% phenyl-95% dimethyl siloxane) 30 m × 0.25 mm × 0.25 µm column was used in the separation step. The injector, interface, and ion detector temperatures were 250 °C, 240 °C, and 200 °C, respectively. The fiber was exposed into the injector for 1 min, which was operated in the splitless mode or split mode (1:20), based on the sample peak intensity. The carrier gas used was grade 5.0 helium with a flow rate of 1.0 ml min<sup>-1</sup>. The GC oven temperature was set at 35 °C (5 min) and then it was heated at a rate of 3 °C min<sup>-1</sup> to 130 °C, and then at 10 °C min<sup>-1</sup> to 260 °C. To identify the volatile compounds, the mass spectrum of each peak was obtained via the Automated Mass Spectral Deconvolution and Identification System (AMDIS) v.2.63 software. The volatile organic compounds (VOCs) were identified by comparing the mass spectra to those in the NIST library using the Mass Spectral Search Program v.1.7 (NIST, Washington DC, USA) software and the experimentally obtained retention indexes (RI Exp.) to those reported in the literature (RI Lit.) (Adams, 2007;

NIST, 2013). For the mass spectra comparison, only spectra with a similarity greater than 80% were considered. The experimental retention indices were obtained by injecting a homologous series of alkanes.

### **Sensory evaluation**

The temporal profile and acceptance tests were performed at the Sensory Analysis Laboratory of the Department of Food Science – Federal University of Lavras. The tests were carried out in individual cabins under white light, standard temperature and with adequate ventilation. Tasters were instructed about how sensory analysis should be carried out and enough water was offered during analysis. To limit the consumption of alcoholic beverages in 20 mL, only one session of sensory analysis was performed per day (4 samples of 5 mL each).

This project was approved by the Ethics and Research with Humans Committee of the Federal University of Lavras, with protocol number: 32991814.7.0000.5148. As a requirement for tasters, they should be interested in evaluating this beverage, have available time, be frequent consumers of aged *cachaças* (at list once a week), be over 18 years old, and not have aversions or any type of allergy to the product.

#### *Temporal Dominance of Sensations analysis*

Selection of tasters was conducted using the sequential method proposed by Wald (1945). In this test, two commercial *cachaças* of different brands (*Cachaça 51*® and *Cachaça João Mendes* ®) chosen from a preliminary test were used. Samples used in this test presented a significant difference ( $p < 0.05$ ) in a preliminary triangular tests.

Twenty-two consumers of *cachaça* who were interested in evaluating this beverage were recruited. Then, their sample discrimination ability was evaluated through the application of a series of triangular tests (Meilgaard *et al.*, 2006).

To determine Wald's sequential analysis, the following values:  $P = 0.30$  (maximum incapability acceptable),  $P1 = 0.70$  (minimum acceptable skill), and the risks  $a = 0.10$  (probability of accepting a candidate without sensory acuity) and  $b = 0.10$  (probability of rejecting an applicant with sensory acuity) were used.

The Wald graph was constructed from defined parameters and tasters were selected or rejected according to the number of correct tests and the number of total tests. With eight triangular tests, 12 judges were selected, who remained in the acceptance region of the graph. The selected tasters were between 24 and 50 years of age and included 2 females and 10 males.

Samples of *cachaça* stored with Amazon woods and oak were provided to the tasters to define an attribute list. Tasters were required to taste the samples and make notes of all the perceived sensations by Kelly's repertory grid (Moskowitz, 1983). After that, answers of assessors were collected and compared under guidance of a leader in group discussions, during which irrelevant descriptors were eliminated, and synonyms were combined. Finally, only the most frequently cited attributes were selected and kept for further TDS analysis. Thus, the attributes (vanilla, alcoholic flavor, sweet, pungent, wood flavor, spicy, and off-flavor) were defined and the descriptions of each of the attribute were given after a consensus among consumers (Table 1). In this session, the tasters defined the total duration of the sensory analysis (30 s) and the amount to be ingested for each sample (5mL).

Table 1. Attributes and descriptions defined for *cachaças*.

Attributes	Description
vanilla	vanilla flavor
alcoholic flavor	flavor sensation of alcohol (medicinal, solvent, ethanol)
sweet	primary taste
pungent	perception of a burning sensation in the throat
wood flavor	flavor sensation resembling wood
spicy	perception of a burning sensation on the tongue
off-flavor	any different flavor that causes an unpleasant taste sensation

After definition and description of attributes, the tasters also participated in two sessions, according to description given by Albert *et al.* (2012). In the first session, the tasters were introduced to the TDS method and SensoMaker software (version 1.91), which was used for data acquisition and analysis (Nunes and Pinheiros, 2012). In the second session, the tasters participated in a TDS analysis simulation with different samples of aged *cachaça*. Tasters were instructed that the dominant taste is the one perceived to have the greatest clarity and predominance, i.e., the most striking perception at a given time (Pineau *et al.*, 2009).

Finally, 12 tasters evaluated *cachaça* stored with Amazon woods, CM, LV, and JT, in comparison with oak. Samples were evaluated in three replicates, in a total of three sessions (three consecutive days) and four samples by session. Samples at room temperature were presented in monadic order (Macfie *et al.*, 1989) in glass cups with capacity of 45 mL covered with a glass lid to prevent ethanol evaporation and coded with three-digit numbers. Each taster was required to drink a *cachaça* sample (5 mL), wait for 2 s (delay time) before swallowing the sample, and subsequently evaluate the sample for a 30 s period soon after swallowing. Then, they were required to select the dominant attributes that were presented in the form of buttons in a non-randomized manner. The

dominant attribute was perceived as being the most dominant during the 30 s evaluation, when it was possible to select one or more attributes.

#### *Acceptance test*

Acceptance tests were performed by 60 consumers, age between 18 and 60 years old and included 29% females and 71% males. Consumers evaluated the samples based on the appearance, taste, and overall liking using a hedonic 9-point scale (1 = dislike extremely to 9 = like extremely) (Stone and Sidel, 2004). Each sample (5 mL) was served in a glass cup labeled with three digits following balance order according to the Williams Latin Square design (Macfie *et al.*, 1989).

#### **Statistical analysis**

##### *Physicochemical data*

The experimental design was completely randomized (CRD) with four samples and four replicates. The samples included *cachaça* stored with oak, CM, JT, and LV.

For each of the components recommended by the Brazilian legislation (dry extract, furfural, methanol, ethanol, higher alcohols, aldehydes, esters, volatile acidity, copper, secondary compounds), the general average of all the values obtained was calculated. These values were used for comparison with the quality standards established by the legislation to verify if samples of *cachaça* fit in it. The color parameters were analyzed through ANOVA followed by Tukey test, and the significance was considered if  $p < 0.05$ .

The averages of the components recommended by the legislation, with a possible relation with the acceptance and significant color parameters were autoscaled and analyzed by principal component analysis (PCA), through a matrix with samples arranged in rows and variables arranged in columns.

In relation to volatile compounds, the average chromatogram signal for each sample prepared by SPME and analyzed by CG-MS were cut until 3.296 min, treated by the alignment methods and then normalized to the maximum value and centered on the mean. These data were organized in a matrix with samples arranged in rows and variables arranged in columns and used to build a PCA.

In both PCA cited above, scores and loadings were plotted from the two first components to verify the differences and/or similarities among the samples.

#### *Sensorial data*

To evaluate the dynamic profile of the attributes perceived in the *cachaças*, the dominance rates were computed and plotted against time, obtaining the TDS curves according to the methodology proposed by Pineau *et al.* (2009). Dominance rates were calculated by dividing the number of citations of an attribute (all replications) by the number of runs (judge x replication). The graphs show attributes perceived during evaluation time, chance line, and significance line. Chance line is the dominance value which an attribute can obtain purely by chance; and significance line is the minimum dominance value that can be considered significant at 95% confidence level and it was calculated using the confidence interval of a binomial proportion based on a normal approximation (Pineau *et al.*, 2009). TDS sensory data was explored by TDS curves taking into account the dominance rate of the significant sensations, i.e., attributes that reach the significance level from the curves (Pineau *et al.*, 2009).

TDS difference curves were also drawn for *cachaça* sample comparisons. Those curves were drawn by subtracting the dominance rates of two samples for each attribute at each point of time. The difference in dominance rate was only plotted when it was considered significantly different from zero. The significance of the difference was calculated as described by Pineau and Schlich (2015).

ANOVA was conducted to examine the effects of different types of *cachaças* on appearance, taste, and overall liking data. When a significant effect ( $p < 0.05$ ) was found, Tukey's Test was applied.

The TDS parameter, maximum dominance rate (DR), was also computed from the TDS curves, and then, the DR obtained just for significant attributes for each *cachaça* sample were analyzed by PCA with the average of overall liking as a supplementary variable. Therefore, the maximum dominance rate was arranged in a matrix of  $i$  lines (samples) and  $j$  columns (sensations and overall liking). The data were converted to a correlation matrix, and PCA was carried out using the R software (R Core Team, 2015). Plots of scores and loadings were built from the first two main components.

In all physical-chemical and sensory analyses, SensoMaker software, version 1.91 was used (Nunes and Pinheiros, 2012).

## **RESULTS AND DISCUSSION**

### **Physicochemical analysis recommended by the Brazilian legislation**

The utilization potential of woods from the Amazon rainforest was evaluated through the use of wooden cubes stored in glass containers containing *cachaça*. In this way, the use of the wooden cubes storage with *cachaças* aimed at the incorporation of important compounds from the woods. The evaluation of



the potential of these woods for the storage of *cachaças* over a period of six months was sufficient to verify alteration in the physicochemical and sensorial characterization.

Accordingly, the results of the physicochemical analyses (Table 2) of *cachaças* aging with all woods evaluated fitted into the standards established by Brazilian legislation, Normative instruction No. 13 (Brazil, 2005a), with the exception of the aldehyde as acetaldehyde component of the *cachaças* stored with oak (36.33 mg.100 mL<sup>-1</sup>) and CM (40.52 mg.100 mL<sup>-1</sup>), where the maximum value allowed by Brazilian legislation is 30 mg.100 mL<sup>-1</sup>, as well as the furfural component of the *cachaça* stored with oak (5.72 mg.100 mL<sup>-1</sup>) where the maximum value allowed by Brazilian legislation is 5 mg.100 mL<sup>-1</sup>.

Higher levels of aldehydes could have occurred through the oxidation of the alcohols present in the *cachaça* or through the incorporation of new aldehydes derived from the woods (Cardoso, 2013).

Studies carried out by Caruso *et al.* (2008) showed that from 60 evaluated samples of *cachaças*, 31 presented aldehyde values above the established maximum limit of 30 mg.100 mL<sup>-1</sup>. Aldehyde concentrations fluctuated in the non-quantified range (<5) at 120 mg.100 mL<sup>-1</sup>, presenting higher levels of aldehydes than the values found in the present study.

Table 2. Physicochemical analysis recommended by the Brazilian legislation of *cachaças* stored with oak, *jatobá* (JT), *cumarurana* (CM), and *louro-vermelho* (LV) wood cubes.

Analysis	Oak	JT	LV	CM
ethanol <sup>1</sup>	38.85±0.02	38.05±0.01	38.41±0.06	41.31±0.07
dry extract <sup>2</sup>	0.88	0.60	0.33	0.70
volatile acidity <sup>3</sup>	65.83±0.03	67.38±0.02	50.91±0.08	56.43±1.71
higher alcohols <sup>3*</sup>	202.24±2.27	196.71±4.4	194.17±1.68	195.85±2.72
furfural <sup>3</sup>	5.72±0.14	2.53±0.06	1.13±0.01	3.66±0.04
aldehydes <sup>3</sup>	36.33±0.30	29.98±0.01	18.80±0.03	40.52±0.19
esters <sup>3</sup>	35.49±1.16	21.39±0.29	13.89±0.02	26.91±1.03
copper <sup>4</sup>	3.93±0.05	2.66±0.03	1.51±0.02	2.30±0.06
methanol <sup>3</sup>	0.75±0.01	0.58±0.02	0.79±0.04	0.69±0.04
2-butanol <sup>3</sup>	5.02±0.02	5.10±0.07	3.54±0.02	3.45±0.02
1-butanol <sup>3</sup>	2.05±0.01	2.15±0.03	1.73±0.01	1.71±0.00
secondary compounds <sup>3</sup>	345.62±3.91	317.70±4.85	278.95±1.46	323.37±5.70

<sup>1</sup>% v/v; <sup>2</sup>g/L; <sup>3</sup> mg.100 mL<sup>-1</sup> anhydrous alcohol; <sup>4</sup>mg/L;  
\*3-methyl-1-butanol + 2-methyl-1-propanol + 1-propanol

In relation to furfural, *cachaças* stored with oak, CM, JT, and LV presented furfural values corresponding to 5.72, 3.66, 2.53, and 1.13 mg.100 mL<sup>-1</sup>, respectively, and only *cachaça* stored with oak showed values above the established maximum limit of 5 mg.100 mL<sup>-1</sup>.

Zacaroni *et al.* (2011) identified furfural concentrations ranging from 4.28 to 39.78 mg.100 mL<sup>-1</sup> and 83.33% of *cachaças* evaluated were not in agreement with the Brazilian legislation because of high concentration of this component.

Furfural can be considered as a marker of aging of the sugar cane spirits because it is an aromatic compound that increases during aging probably due to the degradation of pentoses and hexoses from woods that are extracted and incorporated into the beverage (Aquino *et al.*, 2006).

In general, *cachaça* stored with LV showed lower volatile acidity, furfural, aldehydes, esters, copper, 2-butanol, and secondary compounds in comparison to the other *cachaças* evaluated.

### Color analysis

The color analysis of the samples was performed to compare the color of *cachaças* stored in Amazon woods with the color of *cachaça* stored with oak. Thus, the colorimetric parameter lightness (L \*), indicating the luminosity, showed that there was no significant difference between the samples (Table 3). The same occurred with Chroma that measures the color saturation or intensity, with no difference between the samples. However, with respect to the hue colorimetric parameter (hue angle), which consists of an indicative tone, it was observed that *cachaça* stored with oak did not differ from *cachaças* stored with CM and JT, differing only from LV. Still, *cachaça* stored with JT differed from CM because it had a darker coloring. Thus, we observed that *cachaças* stored with oak, CM, and JT presented a yellowish/orange color, while the *cachaça* stored with LV sample differed from the other *cachaças*, presenting a translucent hue. Images of the samples are presented as Appendix A.

Table 3. Color parameters of *cachaças* stored with Amazon and oak woods.

	L	Chroma	Hue
Oak	10,69±0,49 a	1,17±0,85 a	91,20±10,35 ab
LV	10,43±0,16 a	0,73±0,01 a	244,95±2,76 c
CM	10,40±0,55 a	0,74±0,50 a	109,41±9,04 b
JT	11,06±0,93 a	1,34±0,67 a	85,57±0,63 a

\*Different vertical letters indicate significant difference between the samples according to Tukey test. JT: *jatobá*; LV: *louro-vermelho*; CM: *cumarurana*.

According to Singleton (1995) and Miranda *et al.* (2008), the color of *cachaças* during the aging process is generally yellowish due to the extraction of

compounds, mainly tannins, and their oxidation reactions, responsible for the progressive darkening or intensification of the yellow-orange color in beverages under wood maturation.

Castro *et al.* (2015) characterized the extract obtained through hydroalcoholic solution and cubes of JT, CM, and LV wood, observed that JT wood has higher tannin contents, differing significantly from other woods. The LV wood has the lowest tannin content, which may have influenced the coloration of the *cachaças* obtained in the present study, once the *cachaça* stored with this wood presented lighter coloration. On the contrary, JT presented darker coloration, differing even from the *cachaça* stored with CM, whose coloration was also more intense than the *cachaça* stored with LV.

Therefore, the aging of *cachaças* favors the development of the yellowish/orange color, whose intensity is often positively associated with the average preference (Odelo *et al.*, 2009; Rota *et al.*, 2013). Thus, *cachaças* stored with CM and JT woods whose coloration was similar to the *cachaça* stored with oak, presented great potential to be used in the *cachaça*'s aging as an alternative for oak.

### **Principal component analysis: physicochemical analysis**

To investigate the similarities/differences between the physicochemical profile of *cachaças* stored with Amazon woods and oak, an exploratory analysis was carried out through principal component analysis (PCA) (Figure 1). The PCA plot was constructed only on the basis of physicochemical analysis with an important role in the sensorial profile the (dry extract, furfural, ethanol, higher alcohols, aldehydes, esters, volatile acidity, and the color parameter hue angle). In this analysis, the scores represent *cachaças* stored in different woods and loadings represent the physicochemical analyses. The two main components

accounted for 92.01% of the total data variation, 72.14% of PC1 and 19.87% of PC2 contribution.

According to PC1, *cachaças* stored with oak presented higher concentration of volatile acidity, higher alcohols, dry extract, esters, furfural, and aldehydes. Besides, LV displayed higher values for the hue angle, in agreement with the data presented in Table 1, which shows that LV differed from the other samples by presenting a translucent hue.

In PC2, the *cachaça* stored with CM displayed higher ethanol levels while *cachaça* stored with JT showed higher concentration of volatile acidity similar to oak.

From the above mentioned compounds analyzed in the PCA, the increase of the dry extract in oak can be related to the higher degradation of the hemicellulose and lignin of woods during the aging of *cachaças*, with extraction of volatile oils, phenols, sugars, glycerol, non-volatile organic acids, and tannic substances. These compounds are related to the modification of the flavor, aroma, and color of this beverage (Anjos *et al.*, 2011).

Esters, higher alcohols, aldehydes, and organic acids are the secondary compounds of *cachaças*, responsible for the typical aroma and flavor of beverages and have an important role in the sensorial profile of the distillates (Cardoso, 2013). Besides, furfural contributes to the characteristic color of the aged spirits and is a furan compound with a pleasant aroma, formed from the degradation of hemicellulose during toasting (Singleton, 1995).

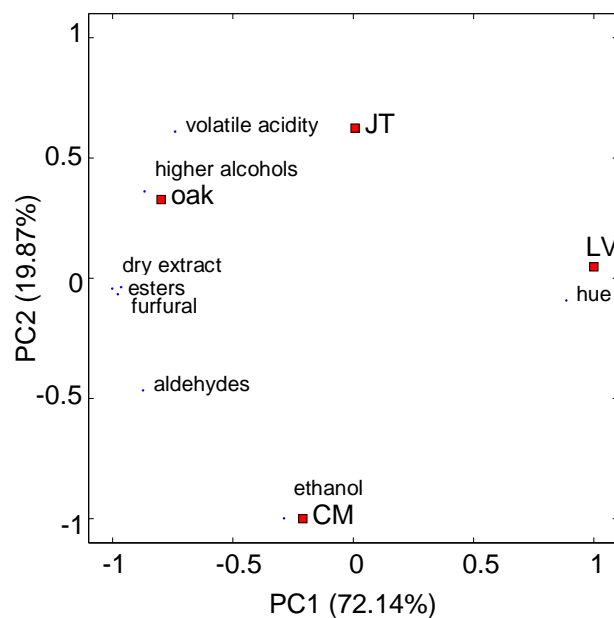


Figure 1. Principal component analysis of the physicochemical analysis of *cachaças* stored with oak, *jatobá* (JT), *cumarurana* (CM), and *louro-vermelho* (LV) wood cubes.

### Volatile compounds

Figure 2 shows the principal component analysis for volatile compounds detected in the *cachaças* stored with Amazon woods and oak by GC-MS analysis. The figure 2-a corresponds to the score plot representing the new space of variables defined by the first main component (PC1) versus the second main component (PC2) where the four samples of *cachaça* were projected through the average chromatogram of the three replicates obtained. The figures 2-b and 2-c represents the principal components 1 and 2, respectively, constructed through the chromatogram, which together account for 87.76% of the total data variance.

According to the PCA, only 12 compounds presented a high contribution in the differentiation of the samples. This way, these volatile

compounds, detected in the samples by GC-MS analysis, and their odor characterizations are shown in Table 4. The principal volatiles detected were: 1,1-diethoxyethane, 3-methyl-1 butanol, 2-methyl-1 butanol, ethyl hexanoate, phenyl ethyl alcohol, ethyl octanoate, ethyl decanoate, ethyl dodecanoate, ethyl tetradecanoate, nonanal, furfural, and diethyl succinate.

Among the alcohols detected in this study, it was identified that 2-methyl-1-propanol, 1-propanol, 3-methyl-1-butanol, 2-methyl-1-butanol, and phenyl ethyl alcohol could be originated from alcoholic fermentation by yeast (Nicol, 2003; Nykänen and Nykänen, 1991).

2-a

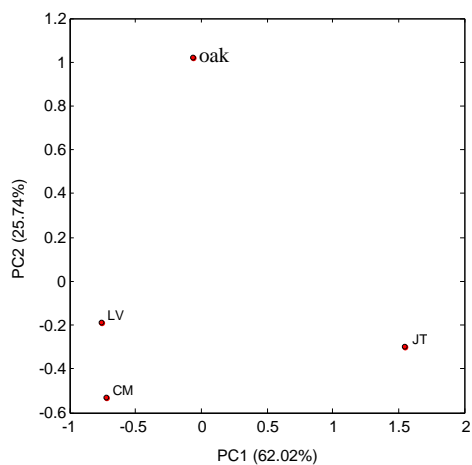


Figure 2. Principal component analysis: scores (2-a) and loadings (2-b e 2-c) for volatile compounds detected in the *cachaças* stored with Amazon woods and oak. Samples: JT: *jatobá*; LV: *louro-vermelho*; CM: *cumarurana*. (Continue)

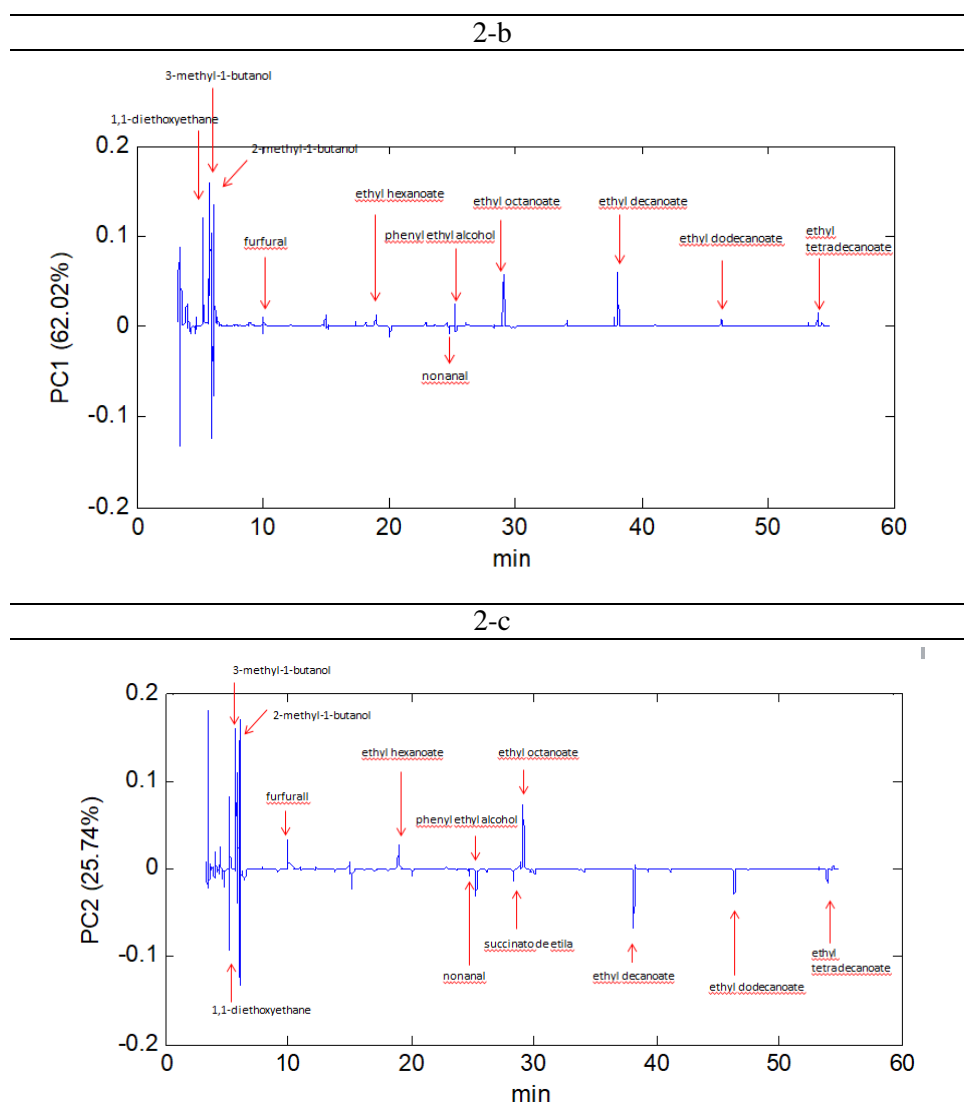


Figure 2. Principal component analysis: scores (2-a) and loadings (2-b e 2-c) for volatile compounds detected in the *cachaças* stored with Amazon woods and oak. Samples: JT: *jatobá*; LV: *louro-vermelho*; CM: *cumarurana*. (Conclusion)

About esters, their concentration is dependent upon several factors, mainly sugar molasses composition, fermentation temperature, yeast strains, and aeration degree (Nicol, 2003; Nykänen and Nykänen, 1991). *Cachaças* acquire



special characteristics with aging mainly by the formation of esters that occurs in a slow and continuous way (Booth *et al.*, 1989; Barboza *et al.*, 2010). In this study, the identified esters were ethyl acetate, ethyl hexanoate, ethyl octanoate, ethyl decanoate, ethyl dodecanoate, ethyl tetradecanoate, and diethyl succinate.

Table 4. Volatile compounds with high contribution in the differentiation of the *cachaças* stored with Amazon woods and oak.

Volatile compounds	Odor
3-methyl-1-butanol	whiskey (B), alcohol, banana, doce (C)
2-methyl-1-butanol	alcohol, banana, medicinal, solvente (A)
ethyl hexanoate	green apple (A, D) fruity, sweet (E)
phenyl ethyl alcohol	floral (F)
ethyl octanoate	apple, sweetish, fruity (A), sweet (D), green frutal, lemon (E)
ethyl decanoate	grape (B), pleasant, soap (D), brandy (G)
ethyl dodecanoate	herbal leaf (B), soapy (D)
ethyl tetradecanoate	-
nonanal	citrus-like, soapy (H)
furfural	husk (A), sweet fruit, flower (E)
diethyl succinate	-
1,1-diethoxyethane	refreshing, fruity, green (I)

(A) Meilgaard (1975); (B) Acree and Heinrich (1997); (C) Angelino (1991); (D) Siebert *et al.* (2005); (E) Janzanti (2004); (F) Souza *et al.*, 2006; (G) Pino *et al.*, 2012; (H) Czerny *et al.*, 2008; (I) Willians (1974).

Another class of compounds present in the *cachaça* is the acetal, especially, 1,1-diethoxyethane in this study. This kind of compounds are formed when saturated and unsaturated aldehydes react with ethanol to produce acetals and their formation reduces the content of free aldehydes in distillates and consequently the acetals formed can smooth down the pungent odor caused by the aldehydes (Nykänen and Nykänen, 1991).

Aldehydes can be produced during the alcoholic fermentation process by the action of the yeasts in the preliminary stages. The main aldehyde formed is acetaldehyde and they are present mainly in the more volatile fraction of spirits (Nykänen and Suomalainen, 1983, Cardoso, 2013). In this study, the following

aldehydes have been identified: acetaldehyde, nonanal and furfural which gives pleasant aromas of burnt wood and almonds, in low concentrations (Chatonnet and Boidron, 1988).

It is important to emphasize that in PCA (Figure 2), the peak of the 3-methyl-butanol and 2-methyl-butanol compounds in PC1 and PC2, as well as the peak of the 1,1-diethoxyethane compound in PC2 were discarded since the peaks of the same compound showed variation in retention time even after alignment. Thus, with the exception of 1,1-diethoxyethane in PC1, these compounds were not considered for PCA discussion.

The PC1 (Figure 2-b), which accounts for approximately 62% of the data variance mainly includes volatile compounds such as 1,1-diethoxyethane, furfural, ethyl hexanoate, phenylethylalcohol, ethyl octanoate, ethyl decanoate, ethyl dodecanoate, and ethyl tetradecanoate. The sample having the greatest abundance of these compounds is located in the IV quadrants of the score plot that includes data from only JT. Therefore, *cachaças* stored with JT was characterized with refreshing aromas, aromas that resemble green such as herbal leaf, green apple, green frutal, and lemon; aromas that resemble fruits such as fruity and grapes; and other beneficial characteristics of the acceptance of *cachaças* such as floral, sweetish, pleasant, and husk wood, besides brandy, and soap.

PC2 (Figure 2-c), which accounts for 25.74% of the data variance, is mainly related to the volatile compounds nonanal, phenylethyl alcohol, diethyl succinate, ethyl decanoate, ethyl dodecanoate, and ethyl tetradecanoate. The samples with the highest abundance of these compounds are located in quadrants III and IV of the score plot, i.e., *cachaças* stored with LV, CM, and JT. We observed, therefore, that these samples are distinguished by the presence of citrus-like, herbal leaf, floral, grape, pleasant, brandy, and soapy characteristics.

The PC2 component also has volatile compounds such as furfural, ethyl hexanoate, and ethyl octanoate related. The sample which presented higher abundance of these compounds is located in the quadrant II of the score plot that only includes oak. Thus, this sample was distinguished by the presence of aromatic characteristics similar to those observed in the *cachaça* stored with JT, such as green apple and green frutal, lemon, fruity, flower, sweetish, and husk.

As in the present study, Cardeal *et al.* (2008) identified the compounds 3-methyl-1-butanol, 2-methyl-1-butanol, ethyl octanoate, and ethyl hexanoate in both the *cachaças*; not aged and aged in oak. Pino *et al.* (2012), working with aged rum, identified similar compounds to those displayed by the samples in this study, such as 1,1-diethoxyethane, 3-methyl-1-butanol, ethyl hexanoate, ethyl octanoate, ethyl decanoate, and ethyl dodecanoate. Besides, some of the studies on *cachaça*, although not focused on aged *cachaças*, have identified several volatile components that comprise some of the compounds identified in the present study, such as 3-methyl-1-butanol, 2-methyl-1-butanol, ethyl hexanoate, ethyl octanoate, and furfural identified by GC-FID analysis (Duarte, 2011, Duarte, 2013) and the nonanal and ethyl decanoate identified by GCxGC/TOFMS (Cardeal and Marriott, 2010).

Santiago (2016) determined volatile compounds by SPME-GC-MS analyses on *cachaças* stored in newly made barrels of oak and some Brazilian native woods, including the *jatobá*. The compounds such as 1,1-diethoxyethane, 3-methyl-1-butanol, 2-methyl-1-butanol, ethyl decanoate, ethyl dodecanoate, and ethyl octanoate were identified in both these woods. However, the volatile compound phenylethyl alcohol was only present in the *cachaça* stored with JT, while the ethyl tetradecanoate compound was identified only in the *cachaça* stored with oak. In comparison with the present study, we can observe that the phenylethyl alcohol and ethyl tetradecanoate were both identified with higher intensity in the *cachaça* stored with JT, followed by LV and CM, as showed by

PC1 and PC2. These compounds were not identified in the *cachaça* stored with oak, which corroborates in parts with the findings of Santiago (2016).

In total, the GC-MS detected 31 compounds in the *cachaças*. The evaluation and the complete table with information about the RI literature, RI experimental and the match are presented as Appendix B.

### **Sensory analysis**

TDS curves of all the *cachaças* were illustrated in Figure 3 and both dominant and non-dominant attributes were reported for each of the *cachaça* sample. This figure, also showed the TDS difference curves comparing *cachaça* stored with oak and *cachaças* stored with Amazon woods. TDS showed that there was a variation in the sensory profile in all types of *cachaças*.

The sensorial profile of *cachaça* stored with oak was characterized by the predominance of alcoholic and wood flavor attributes, which were perceived to be significant after 17 s and 20 s, respectively. It is noteworthy that, although perceived in a significant way, alcoholic flavor presented higher dominance rates when compared to wood flavor. Besides, the vanilla attribute was also perceived as significant at the end of the analysis time.

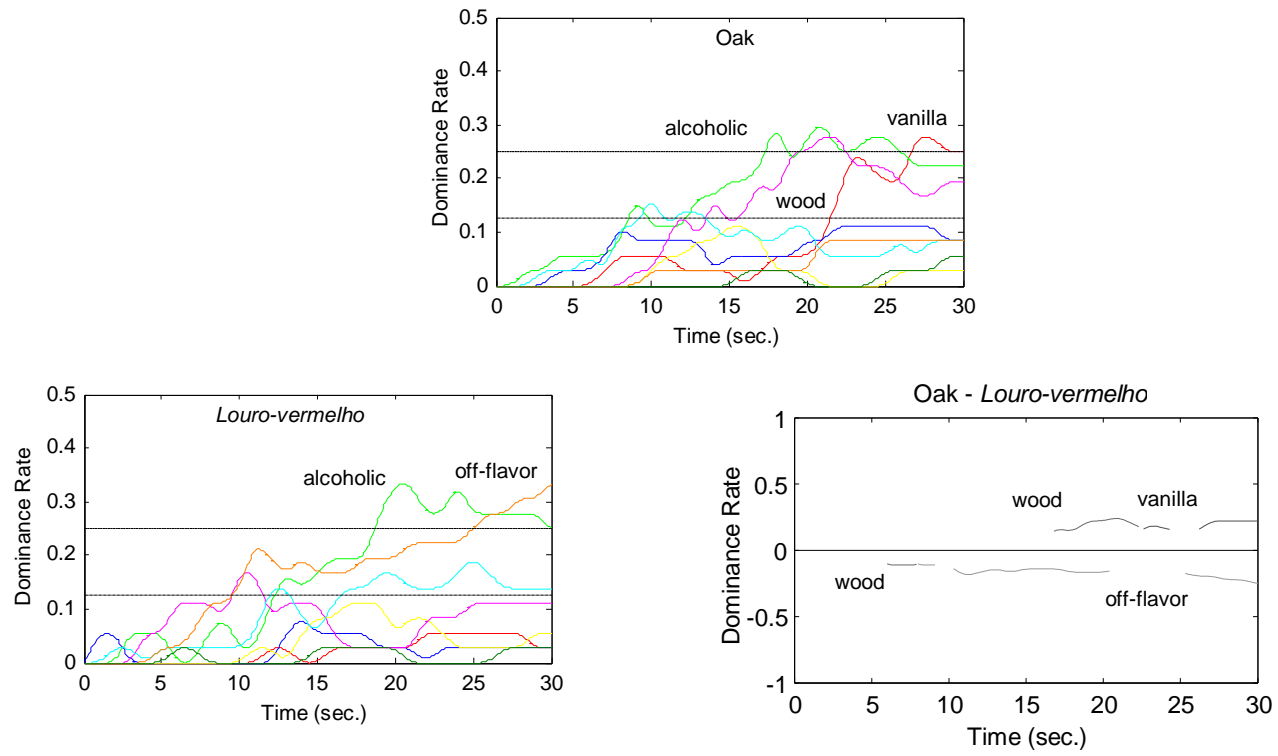


Figure 3. TDS of *caçaças* stored with oak, *louro-vermelho*, *cumarurana*, and *jatobá* and TDS difference curves comparing *caçaças* stored with oak and the other *caçaças*. (Continue)

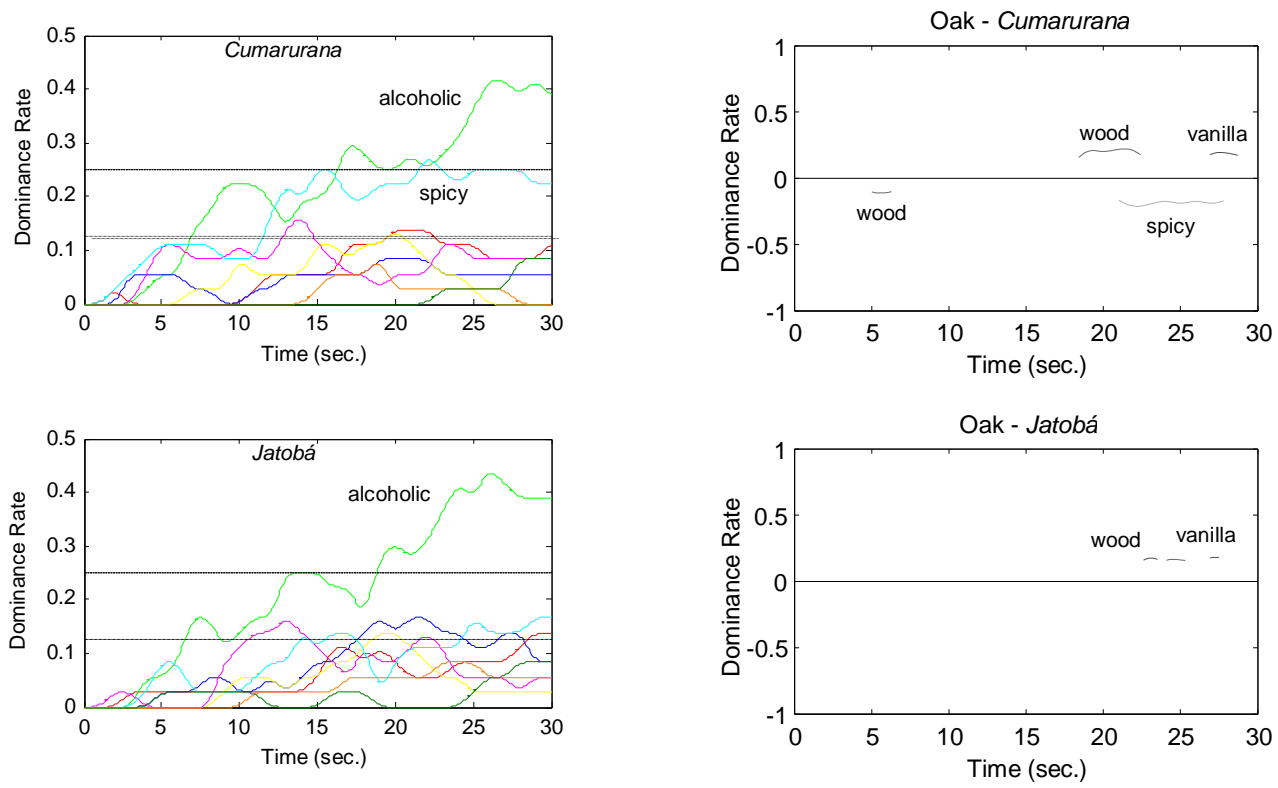


Figure 3. TDS of *cachaças* stored with oak, *louro-vermelho*, *cumarurana*, and *jatobá* and TDS difference curves comparing *cachaças* stored with oak and the other *cachaças*. (Conclusion)

In relation to *cachaças* stored with Amazon woods, LV was described with a significant dominance rate from approximately 18 s for the alcoholic flavor and, at the end of the ingestion time, for off-flavor. For *cachaça* stored with CM, alcoholic flavor and spicy attributes were perceived significantly from 15 and 20 s of analysis, respectively, and dominance rates of alcoholic flavor stood out in relation to the spicy attribute. About *cachaça* stored with JT, the perception of alcoholic flavor predominated after approximately 20 s.

Comparing the differences among TDS curves of *cachaça* stored with oak and the Amazon woods, sensorial perception differed significantly among samples. For *cachaça* stored with oak, wood flavor and vanilla attributes presented higher dominance rates at the end of the time of ingestion (17 s–30 s) in comparing with *cachaças* stored with all Amazon woods. These are the attributes often positively associated with the acceptance of aged *cachaças* (Yokota, 2005; Odello and Brasceschi, 2009; Rota *et al.*, 2013).

For *cachaça* stored with LV, there was a predominance of the wood flavor attribute at the beginning of the evaluation time (~ 6 s) and predominance of the off-flavor attribute from 11 s, in comparison with *cachaça* stored with oak. For *cachaça* stored with CM, the wood flavor attribute appeared to be predominant at the beginning of the evaluation time (~ 5 s) besides spicy attribute was perceived with higher dominance rates between 22 and 28 s, in comparison with *cachaça* stored with oak. *Cachaça* stored with JT did not present any attribute with higher dominance rate than *cachaça* stored with oak.

For all woods analyzed, alcoholic flavor attribute was identified as dominant. The perception of this attribute in all samples may be due to the fact that there was no *cachaça* aging in wooden casks, once those samples were stored in glass containers containing wooden cubes. Thus, the full alcoholic volatilization possibly did not occur and cause the perception of this attribute (Simioni *et al.*, 2018). Some oxidation reactions also have been less intense

because there was no permeation of O<sub>2</sub> through the glass containers. Besides, *cachaça* is a beverage with high alcohol content and the alcoholic flavor is naturally perceived, even in the *cachaça* going through the aging process.

Regarding the acceptance test (Table 5), *cachaças* displayed average scores for the appearance attribute that ranged from 7 to 8 (“like moderately” and “like very much”), except for the *cachaça* stored with LV that displayed a mean score ranging from 6 to 7 (“like slightly” and “like moderately”), and it was confirmed to be the least accepted sample according to Tukey test. The lower grades for *cachaça* stored with LV may have occurred because this sample presented translucent hue while the other samples presented yellowish/orange color. According to Odello and Brasceshi (2009) and Yokota (2005), the intensity of yellow color has a positive influence on the acceptance of aged *cachaças*.

According to the taste and overall liking attributes (Table 5), the averages of all samples remained between the scores 6 and 7 (“like slightly” and “like moderately”), except for *cachaça* stored with LV, which presented an average of 5.60 and 5.81, respectively for taste and overall liking (the scores 5 and 6 means “neither like or dislike” and “like slightly”). Further, the Tukey test, also confirmed that it was the least accepted sample, similar to the result presented for the appearance attribute.

Table 5. Average grades of appearance, taste and overall liking of *cachaças* stored with Amazon and oak woods.

Samples	Appearance	Taste	Overall liking
CM	7.45±1.42 b	6.03±2.03 ab	6.38±1.67 ab
oak	7.58±1.41 b	6.69±1.91 b	6.74±1.71 b
LV	6.57±2.03 a	5.60±2.44 a	5.81±2.24 a
JT	7.45±1.59 b	6.34±2.08 ab	6.58±1.99 ab

\* Different letters vertically indicate the significant difference between the samples according to Tukey test.



Serafim *et al.* (2013) found that *cachaças* aged in oak had grades of appearance ranging from 7 to 8 (“like moderately” and “like very much”) and *cachaças* aged in *oliveira* (*olea europaea* L), oak, and *louro-canela* (*Lauraceae*) woods had grades of taste and overall liking ranged from 6 to 7 (“like slightly” and “like moderately”). Therefore, the behavior of the *cachaças* in this study agreed with the results presented by *cachaças* stored with oak, JT, and CM. Besides, the study performed by Faria *et al.* (2003) showed that *amendoim*, *pereiro* followed by *jatobá* presented good grades for aroma and flavor attributes and were considered good alternatives to replace oak. This way, we can observe that JT already was considered for *cachaça* aging, with good acceptability, even without the study of their temporal profile.

Thus, we can observe that *cachaças* stored with CM and JT presented higher acceptability and higher potential of utilization similar to the *cachaça* stored with oak. This acceptability may be related to the detection of the wood flavor and vanilla attributes that were identified in *cachaça* stored with oak and the non-identification of the off-flavor attribute in *cachaças* stored with CM and JT samples. Thus, the alcoholic flavor attribute, which was significantly perceived in all samples through the TDS test, presented low weight in the acceptance of the samples since this attribute was similar in all the *cachaças* analyzed.

Therefore, *cachaça* stored with LV presented less potential of utilization and lower acceptability, which may be related to the significant detection of the off-flavor attribute in the TDS analysis. Besides, wood flavor attribute, which presented predominance at the beginning of the evaluation of the *cachaça* stored with LV compared to the *cachaça* stored with oak, according to the TDS difference curves, did not positively influence the acceptability of this sample, which is similar to the study by Simioni *et al.* (2018).

To establish the drivers of liking for the samples, principal component analysis (PCA) were performed with the data of maximum dominance rates of each significant attribute and data of overall liking as a supplementary variable.

The PCA scores and loading plots (Figure 4) agrees with the acceptability of the samples (Table 5). The acceptance of *cachaça* stored with oak is highlighted possibly due to the high dominance rate of the vanilla and wood flavor attributes. *Cachaças* stored with CM and JT also displayed higher acceptance possibly due to the high dominance rate of the spicy and alcoholic flavor attributes. In TDS curves, the alcoholic flavor attribute was perceived as significant in all the samples, and could be considered as a neutral attribute, that is, an attribute with no influence on the acceptance. Janzanti (2004) identified that the attribute "initial burning" positively influences the acceptance of aged *cachaças*. This attribute presents some similarity to the spicy attribute of the present study, whose description means "burning sensation on the tongue" and that also had a positive influence on the acceptance of *cachaças* stored with JT and CM.

Odello and Brasceshi (2009), and Yokota (2005) found that the preference for aged *cachaça* was positively correlated with the intensity of yellow color, initial taste and after taste of wood, initial and residual sweetness, aroma of wood, vanilla, fruit, and viscosity. Although the present study have not evaluated the same attributes of the above mentioned works, it was noted that the coincidentally highlighted attributes between all of them was wood flavor and vanilla attributes, which were both positively correlated with the acceptance of aged *cachaça*.

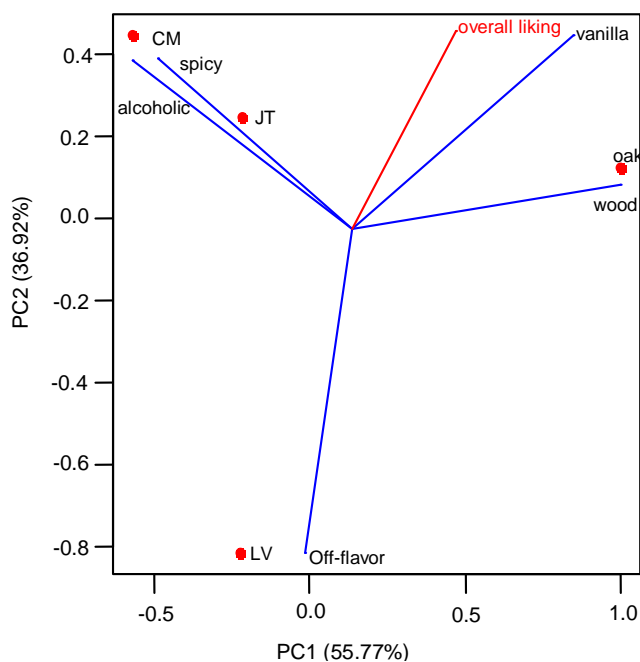


Figure 4. PCA scores and loadings for the maximum dominance rates from *cachaças* TDS curves. Overall liking was considered as a supplementary variable. Samples: JT: *jatobá*; LV: *louro-vermelho*; CM: *cumarurana*.

In relation to the physicochemical analysis, higher concentration of volatile acidity, higher alcohols, dry extract, esters, furfural, and aldehydes appeared to have contributed positively to the acceptance of the *cachaça* stored with oak, as showed in the Figure 1. Of these ones, volatile acidity seems to have also contributed to the acceptance of *cachaça* stored in JT. Among the volatile compounds, the esters ethyl hexanoate and ethyl octanoate besides the aromatic aldehyde furfural also presented positive influence on the acceptance of *cachaças* stored with JT and oak, based on the positive weights in PC1 and PC2 (Figure 2), respectively.

In this way, *cachaças* stored with JT and oak presented aromas that resemble green fruits such as green apple, green frutal, lemon, and fruity; and

aromas resembling alcoholic aged beverages such as husk, besides flower, and sweet (Table 4). We can now infer that wood flavor and vanilla attributes identified in the TDS of *cachaça* stored with oak can be related to the aromas husk and sweetish, respectively, once this sample showed high concentrations of furfural and esters.

In relation to the less acceptable samples, we observed that the *cachaça* stored with LV presented lower acceptance and it was characterized by the off-flavor attribute (Figure 4). With regard to the physicochemical analysis, it was observed that this sample presented higher values for the hue angle, i.e., a translucent hue and lower concentration of volatile acidity, furfural, aldehydes, esters, copper, 2-butanol, and secondary compounds in comparison to the other *cachaças* evaluated. This way, this sample provided an off-flavor that was not correlated with the physicochemical analyses evaluated in this work.

About the identified volatile compounds (Table 4), ethyl decanoate, ethyl dodecanoate, and nonanal presented influence on the acceptance of *cachaças* stored with LV, JT, and CM. These samples presented negative weights in PC2 (Figure 2), with aromas resembling herbal leaf, grape, floral, pleasant, brandy, soapy, and citrus-like. Thus, the volatiles failed to explain the acceptance of these samples, and there must have non-volatile compounds that influenced the acceptance of the samples.

It is important to emphasize that the *cachaça* stored with CM presented higher concentrations of ethanol levels (Figure 1), which probably had no negative influence on the acceptance since this sample exhibited similar taste and overall liking grades compared to JT and oak (Table 5).

Thus, the evaluated *cachaças* resulted in products with particular sensorial characteristics and can be marketed with the expression "*cachaça* stored with Amazon wood", which adds value to *cachaça* and encourages its commercialization in the domestic market and even in the foreign market. It also

makes it possible to add value to *cachaça* through the development of a differentiated *cachaça*, which can satisfy the new demands of consumers.

## CONCLUSIONS

*Cachaças* stored with CM and JT presented higher acceptability and higher potential of utilization similar to the *cachaça* stored with oak. This acceptability may be related to the detection of the wood flavor and vanilla attributes that were identified in the *cachaça* stored with oak and the not-identified off-flavor attribute in the *cachaças* stored with CM and JT. The off-flavor attribute was only detected in LV and can be correlated negatively to acceptance. Higher levels of volatile acidity, higher alcohols, dry extract, esters, furfural, and aldehydes besides the volatile compounds ethyl hexanoate, ethyl octanoate, and furfural compounds at high concentrations probably contributed positively to the acceptance of the *cachaças*, with emphasis on the aromas sweetish and husk. On the contrary, *cachaça* stored with LV exhibited less potential of utilization and lower acceptability, which may be related to the significant detection of the off-flavor attribute in the TDS analysis, such as higher values for the hue angle (a translucent hue), lower concentration of volatile acidity, furfural, aldehydes, esters, copper, 2-butanol, and secondary compounds in comparison to the other *cachaças* evaluated. The Amazon woods CM and JT displayed higher potential of utilization for storage of *cachaça* than LV, but all of them can be used to replace the oak.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank the Federal University of Lavras and the development agencies FAPEMIG, CAPES, and CNPq for their financial support.

## REFERENCES

Acree, T. and Heinrich, A. (1997), “Gas chromatography – olfactometry (GCO) of natural products. Kovats Retention indices sorted by DB5”, Cornell University, available at: <http://nysaes.cornell.edu/flavornet> (accessed 25 April 2018).

Angelino, S.A.G.F. (1991), In: Maarse, H. (Ed). *Volatile Compounds in foods and beverages*, Marcel Dekker, New York, NY, pp. 581-615.

Adams RP. (2007), *Identification of Essential Oil Components by Gas Chromatography/Mass Spectrometry*, Allured Publishing Corporation, Carol Stream, Illinois.

Albert, A., Salvador, A., Schlich, P. and Fiszman, S. (2012), “Comparison between temporal dominance of sensations (TDS) and key-attribute sensory profiling for evaluating solid food with contrasting textural layers: Fish sticks”, *Food Quality and Preference*, Vol. 24, pp. 111-118.

Alcarde, A.R.; Souza, P.A. and Belluco, A.E.S. (2010), “Aspectos da composição química e aceitação sensorial da aguardente de cana-de-açúcar envelhecida em tonéis de diferentes madeiras”, *Ciência e Tecnologia de alimentos*, Vol. 30, No. 1S, pp. 226-232.

Anjos, J. P. et al. (2011), “Identificação do carbamato de etila durante o armazenamento da cachaça em tonel de carvalho (*Quercus* sp.) e recipiente de vidro”, *Química Nova*, Vol. 34, pp. 874-878.

Aquino, F. W. B. et al. (2006), “Simultaneous determination of aging markers in sugar cane spirits”, *Food Chemistry*, Vol. 98, No. 3, pp. 569-574.

Arthur, C.L. and Pawliszin, J. (1990), “Solid phase microextraction with thermal desorption using fused silica optical fibers”, *Analytical Chemistry*, Vol. 62 No. 19, pp. 2145–2148.

Barboza, R A.B., Meneghin, M.C., Santos, V.R., Fonseca, S.A. and Faria, J.B. (2010), “Efeito do envelhecimento na qualidade da cachaça produzida por pequenos produtores”, *Revista Ciência em Extensão*, Vol.6, No. 2, pp.46-56.

Booth, M., Shaw, W. and Morhalo, L. (1989), “Blending and bottling”, in: Piggott, J.R., Sharp, R. and Duncan, R.E.B. (Ed.), *The science and technology of whiskies*, Longman Scientific and Technical.

Bortoletto, A.M. and Alcarde, A.R. (2013), “Congeners in sugar cane spirits aged in casks of different woods”, *Food Chemistry*, Vol. 139, pp. 695–701.

Bortoletto, A.M., Correa A.C. and Alcarde, A.R. (2016), “Aging practices influence chemical and sensory quality of cachaça”, *Food Research International*, Vol. 86, pp. 46-53.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa n. 13, de 29 de junho de 2005. Aprova o regulamento técnico para fixação dos padrões de identidade e qualidade para aguardente de cana e para cachaça. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 30 jun. 2005a.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e do Abastecimento. Instrução Normativa n. 24, de 8 de setembro de 2005. Padrões oficiais para análise físico-química de bebidas e vinagre. Diário Oficial da União, Brasília, 20 set. 2005b.

Cardeal, Z.L., de Souza, P.P., Gomes da Silva, M.D.R. and Marriott, P.J. (2008), “Comprehensive two-dimensional gas chromatography for fingerprint pattern recognition in cachaça production”, *Talanta*, Vol. 74, pp; 793–799.

Cardeal, Z. L. and Marriott, P. J. (2010), “Caracterização das Etapas de Produção de Cachaça por meio de Perfis Cromatográficos Obtidos por Cromatografia Gasosa Bidimensional Abrangente”, *Scientia Chromatographica*, Vol.2, No. 3, pp; 69-80.

Cardello, H.M.A.B. and Faria, J.B. (1998), “Análise descritiva quantitativa da aguardente de cana durante o envelhecimento em tonel de carvalho (*Quercus alba l.*)”, *Ciência e Tecnologia de alimentos*, Vol. 18, No.2.

Cardello, H.M.A.B. and Faria, J. B. (1999), “Análise tempo-intensidade de características sensoriais de cachaça de cana durante o envelhecimento em tonel de carvalho (*Quercus sp*)”. *Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Vol. 33, No. 1, pp. 27-34.

Cardoso, M. G. Produção de aguardente de cana. 3. ed. Lavras : Ed. UFLA, 2013, 340 p.

Caruso, M.SF., Nagato, L.A.F., Alaburda, J. (2008), “Avaliação do teor alcoólico e componentes secundários de cachaças”, *Revista do Instituto Adolfo Lutz*, Vol. 67, No. 1, pp. 28-33.



Castro, J.P., Perígolo, D.M., Bianchi, M.L., Mori, F.A., Fonseca, A.S., Alves, I.C.N. and Vasconcellos, F.J. (2015), “Uso de espécies amazônicas para envelhecimento de bebidas destiladas: análises física e química da madeira”, *CERNE*, Vol. 21, No. 2, pp. 319-327.

Czerny, M., Christlbauer, M., Christlbauer, M., Fischer, A., Granvogl, M., Hammer, M. et al (2008), “Re-investigation on odour thresholds of key food aroma compounds and development of an aroma language based on odour qualities of defined aqueous odorant solutions”, *European Food Research Technology*, Vol. 228, pp. 265–273.

Delgado, A.A., Marques, T.A. and Almeida, C.L.F. (1996), “Madeiras nacionais para envelhecimento natural de aguardente”, *Álcool & Açúcar*, Vol. 16, No. 83, pp. 22-27.

De Rosso, M. et al. (2009a), “Chemical compounds released from five different woods used to make barrels for aging wines and spirits: volatile compounds and polyphenols”, *Wood Science and Technology*, Vol. 43 No. 5-6, pp. 375-385.

De Rosso, M. et al. (2009b), “Changes in Chemical Composition of a Red Wine Aged in Acacia, Cherry, Chestnut, Mulberry, and Oak Wood Barrels”, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Vol. 57 No. 5, pp.1915–1920;

Duarte, W.F., de Sousa, M.V.F., Dias, D. R. and Schwan, R. F.(2011), “Effect of Co-Inoculation of *Saccharomyces cerevisiae* and *Lactobacillus fermentum* on the Quality of the Distilled Sugar Cane Beverage Cachaça”, *Journal of Food Science* Vol. 76 No. 9.

Duarte, W.F., Amorim, J.C. and Schwan, R.F. (2013), “The effects of co-culturing non-Saccharomyces yeasts with *S. cerevisiae* on the sugar cane spirit (cachaça) fermentation process”, *Antonie van Leeuwenhoek*, Vol. 103, pp. 175–194.

Faria, J.B., Cardello, H.M.A.B., Boscolo, M., Isique, W.D., Odello, L., Franco, D.W. (2003), “Evaluation of Brazilian woods as an alternative to oak for cachaças aging”, *European Food Research and Technology*, Vol. 218, No. 1, pp. 83-87.

Franco, M.O.K., Suarez, W.T. and Santos, V.B. (2017), “Digital Image Method Smartphone-Based for Furfural Determination in Sugarcane Spirits”, *Food Analytical Methods*, Vol. 10, No. 2, pp. 508–515.

Janzanti, N.S. (2004), “Compostos Voláteis e Qualidade de Sabor da Cachaça”, *Thesis Ph.D.*, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brazil, 193 p.

Lorenzi, H. (1992), *Árvores Brasileiras: Manual de Identidade e Cultivo de Plantas Arbóreas Nativas do Brasi*, Platarum, Nova Odessa-SP.

Macfie, H.J., Bratchell, N., Greenhoff, K. and Vallis, L.V. (1989), “Designs to balance the effect of order of presentation and first-order carry-over effects in hall tests”, *Journal of Sensory Studies*, Vol. 4, pp. 129-148.

Madrera, R. R. et al. (2010), “Alternative Woods for Aging Distillates -An Insight into Their Phenolic Profiles and Antioxidant Activities”, *Food Science and Biotechnology*, Vol. 19 No. 4, pp. 1129-1134.

Meilgaard, M.C. (1975), “Flavor chemistry of beer: Part II: Flavor and threshold of 239 aroma volatiles”, *MBAA Technical Quarterly*, Vol. 12, pp. 151–168.

Meilgaard, M.C., Civille, G.V. and Carr, B.T. (2006), *Sensory evaluation techniques*, CRC Press, Boca Raton, FL.

Miranda, M.B., Martins, N.G.S., Belluco, A.E.S., Horii, J. and Alcarde, A.R. (2008), “Chemical profile of aguardente - Brazilian sugar cane alcoholic drink - aged in oak casks”, *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Vol. 28, pp. 84-89.

Mori, F. A. et al. (2003), “Utilização de eucaliptos e de madeiras nativas no armazenamento da aguardente de cana-de-açúcar”, *Ciência Tecnologia de Alimentos*, Vol. 23 No. 3.

Moskowitz H.R. (1983), *Product testing and sensory evaluation of foods: marketing and R & D approaches*. Food & Nutrition Press, Westport.

Nicol, D.A. (2003), “Rum”. In Lea, A.G.H. and Piggott, J.R., *Fermented beverage production*, Kluwer Academic, New York.

NIST (2013), “NIST Chemistry Webook-National Institute of Standards and Technology”. available at: <http://webbook.nist.gov/chemistry/> (accessed 25 April 2018).

Nunes, C.A. and Pinheiro, A.C.M. (2012), “SensoMaker Version 1.9”, software, UFPA, Lavras.

Nykänen, L. and Suomalainen, H. (1983), *Aroma of beer, wine and distilled alcoholic beverages*, Akademic-Verlag, Berlin.

Nykänen, L. and Nykänen, I. (1991), “Distilled beverages”. In Maarse, H. (Ed.), *Volatile compounds in foods and beverages*, Marcel Dekker Inc., New York, NY.

Odello, L., Braceschi, G.P., Fortunato Seixas, F.R., da Silva, A.A., Galinaro, C.A. and Franco, D.W. (2009), “Avaliação sensorial de cachaça”, *Quimica Nova*, Vol. 32, pp. 1839-1844.

Paula, J.E. de and Alves, J.L.H. de. (1997), *Madeiras Nativas: anatomia, dendrologia, dendrometria, produção e uso*, Fundação MCViti CVada, Brasília, DF.

Pino, J. A., Tolle, S., Gök, R. and Winterhalter, P. (2012), “Characterisation of odour-active compounds in aged rum”, *Food Chemistry*, Vol. 132, pp. 1436–1441.

Pineau, N., Schlich, P., Cordelle, S., Mathonnière, C., Issanchou, S., Imbert, A., Rogeaux, M., Etiévant, P. and Koster, E. (2009), “Temporal Dominance of Sensations: Construction of the TDS curves and comparison with time–intensity”, *Food Quality and Preference*, Vol. 20, pp. 450-455.

Pineau, N. and Schlich, P. (2015), “Temporal dominance of sensation (TDS) as a sensory profiling technique” in Delarue, J., Lawlor, J.B. and Rogeaux, M. (Eds), *Rapid Sensory Profiling Techniques and Related Methods*, Woodhead Publishing, Cambridge.

Rota, M.B., Piggott, J.R. and Faria, J.B. (2013), “Sensory profile and acceptability of traditional and double-distilled cachaça aged in oak casks”, *Journal of the Institute of Brewing*, Vol. 119, pp. 251–257.

Santiago, W.D. et al. (2016), “Physicochemical profile and determination of volatile compounds in cachaça stored in new oak (*Quercus* sp.), amburana (*Amburana cearensis*), jatoba (*Hymenaea caribouril*), balsam (*Myroxylon peruiferum*) and peroba (*Paratecoma peroba*) casks by SPME-GC-MS”, *Journal of the Institute of Brewing*, Vol. 122, No. 4, pp. 624-634.

Serafim, F.A.T., Seixas, F.R.F., Silva, A.A., Galinaro, C.A., Nascimento, E.S.P., Buchviser, S.F., Odello, L. and Franco, D.W. (2013), “Correlation between chemical composition and sensory properties of Brazilian sugarcane spirits (cachaças)”, *Journal of the Brazilian Chemical Society*, Vol. 24, pp. 973-982.

Siebert, T.E., Smyth, H.E., Capone, D.L., Neuwohner, C., Pardon, K.H. and Skouromounis, G.K. et al (2005), “Stable isotope dilution analysis of wine fermentation products by HS-SPME-GCMS”, *Analytical Bioanalytical Chemistry*, Vol. 381, pp. 937–947.

Simioni, S.C.C., Tovar, D.M., Rodrigues J. F., Souza, V.R., Nunes, C.N., Vietoris, V. and Pinheiro, A.C.M. (2018), “Temporal dominance of sensations and preferences of Brazilians and Slovaks: A cross-cultural study of cachaças stored with woods from the Amazon rainforest”, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, DOI 10.1002/jsfa.8922.

Singleton, V.L. (1995), “Maturation of wines and spirits: comparison, facts and hypotheses”, *American Journal of Enology and Viticulture*, Vol. 46 No. 1, p. 98-115.

Souza, M.D.C.A., Vásquez, P., Del Mastro, N.L., Acree, T.E. and Lavin, E.H. (2006), “Characterization of Cachaça and Rum Aroma”, *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, Vol. 54, pp. 485-488.

Souza, L.M., Alcarde, A.R., Lima, F.V. and Bortoletto, A.M. (2013), *Produção de cachaça de qualidade*, ESALQ, Piracicaba.

Stone, H. and Sidel, J. (2004), *Sensory evaluation practices*, Elsevier Academic Press.

Varela, P., Pintor, A. and Fiszman, S. (2014), “How hydrocolloids affect the temporal oral perception of ice cream”, *Food Hydrocolloids*, Vol. 36, pp. 220-228.

Viégas, E.K.D. (2015), “Potencialidade de eucaliptos para o armazenamento ou envelhecimento de cachaça”, *Thesis Ph.D.*, Universidade de São Paulo, Piracicaba, Brazil, 121 p.

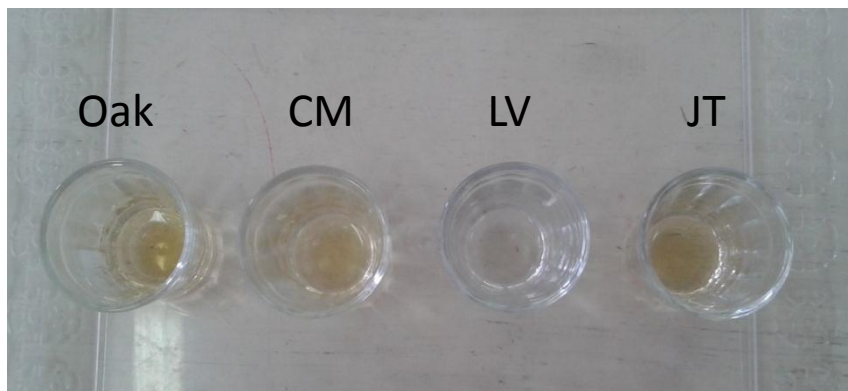
Zacaroni, L.M., Cardoso, M.G., Saczk, A.A., Santiago, W.D., dos Anjos, J.P., Masson, J., Duarte F.C. and Nelson, D.L. (2011), “Caracterização e quantificação de contaminantes em aguardentes de cana”, *Química Nova*, Vol. 34, No. 2, pp. 320-324.

Yokota, S.R.C. (2005), “Avaliação Sensorial descritiva de cachaça envelhecida entre 18 e 24 meses por 4 painéis de julgadores”, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brazil, 116 p.

Wald, A. (1945), “Sequential tests of statistical hypotheses”, *The Annals of Mathematical Statistics*, Vol. 16, pp. 117–186.

Williams, A. A. (1974), “Flavour research and the cider industry”, *Journal of the Institute of Brewing*, No. 80, p.455-470.

Appendix A - *Cachaças* stored with oak and the Amazon woods *jatobá* (JT), *cumarurana* (CM), and *louro-vermelho* (LV).



Appendix B - Chemical composition of the main volatile compounds in *cachaças* stored with oak and the Amazon woods *jatobá* (JT), *cumarurana* (CM), and *louro-vermelho* (LV).

<b>Volatile compounds</b>	<b>RI Exp.</b>	<b>RI Lit.</b>	<b>Match (%)</b>
acetaldehyde	-	-	97.6
ethanol	-	-	92.2
1-propanol	-	-	92.3
ethyl acetate	610	-	96.5
2-methyl-1-propanol	623	622	96.1
1,1,-dietoxi-etano	724	730	94.4
3-methyl-1-butanol	735	734	94.8
2-methyl-1-butanol	738	738	91.0
2-methyl-ethyl	756	751	85.7
propanoate			
furfural	836	834	94.4
3-methyl-butyl acetate	879	876	94.3
2-heptanol	908	-	93.7
ethyl hexanoate	999	997	98.2
octanal	1004	998	86.4
p-methoxytoluene	1019	1019	94.5
limonene	1028	1026	93.4
2-methoxy-phenol (guaiacol)	1085	1087	91.0
ethyl heptanoate	1098	1097	84.1
nonanal	1104	1100	87.1
phenyl ethyl alcohol	1113	1106	95.3
ethyl benzoate	1169	1169	85.9
diethyl succinate	1179	1181	95.3
ethyl octanoate	1196	1196	93.4
decanal	1205	1201	91.7
ethyl nonanoate	1291	1292	-
ethyl decanoate	1391	1393	94.1
isoamyl octanoate	1442	1446	81.2
ethyl undecanoate	1492	-	-
ethyl dodecanoate	1591	1594	90.7
isoamyl decanoate	1642	1643	-
ethyl tetradecanoate	1791	-	91.4