



**Politécnico  
Castelo Branco**

Escola Superior Agrária



**Instituto Nacional de  
Investigação Agrária e  
Veterinária, I.P.**

# **Caraterização Físico-Química e Sensorial da Aguardente de Cana-de-açúcar (Grogue) de Cabo Verde**

Cláudio David Lopes de Pina

## **Orientadores**

Ilda Maria Justino Caldeira

Ofélia Maria Serralha dos Anjos

Relatório de Estágio apresentado à Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Castelo Branco para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Inovação e Qualidade na Produção Alimentar, realizada sob a orientação científica da Doutora Ilda Maria Justino Caldeira do Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária (INIAV) | EVN- Estação Nacional e da Professora Doutora com Agregação, Ofélia Maria Serralha dos Anjos, do Instituto Politécnico de Castelo Branco.

**Agosto de 2025**



## **Dedicatória**

Quero dedicar este trabalho ao meu querido pai, que partiu antes de eu concluir este caminho, mas que permanece vivo em cada conquista da minha vida. A sua força, valores e amor incondicional continuam a ser a minha inspiração diária. Esta tese é, acima de tudo, uma homenagem à sua memória e ao legado que deixou em mim.

UM ETERNO DESCANSO  
MEU AMADO PAI MARIO DE PINA

## **Agradecimentos**

Quero começar por agradecer às minhas orientadoras: Doutora Ilda Caldeira e a Professora Doutora Ofélia Anjos

À Prof.<sup>a</sup> Doutora Ofélia dos Anjos gostaria de expressar a minha mais profunda gratidão por tudo o que representa, mais de que uma professora exemplar a senhora sempre foi amiga, alguém que inspira pelo profissionalismo, dedicação e pelo carinho com que conduz cada momento. Obrigado por proporcionar não apenas conhecimento, mas também tantos instantes de lazer e descontração, que tornaram a caminhada, mais leve e especial. É importante frisar que a sua capacidade de fazer as coisas acontecerem é admirável e inesquecível.

Engenheira Ilda, não tenho palavras para agradecer tudo o que fez por mim. Um obrigado é pouco para agradecer toda a ajuda, dedicação, preocupação, amizade e hospitalidade durante este processo, especialmente, na minha passagem por Dois Portos. Muito obrigada!

Agradeço à Escola Superior Agrária, pelo ambiente académico que proporcionou e pelos recursos disponibilizados, que foram fundamentais para a concretização deste estudo.

De igual modo queria endereçar minha palavra de gratidão a cada colaborador do INIAV- Dois Portos pela oportunidade de efetuar uma parte do meu estágio, onde me foi garantido o máximo de comodidade.

Um especial agradecimento ao Diogo Lopes e Bruno Soares pelas vossas amizades, conselhos, pela diversão, pela companhia no laboratório, mesmo até altas horas da noite tornando cada momento mais leve e divertido, pelo nosso momento de Masterchef nas confeções de refeições. Vão permanecer para sempre na minha vida. Obrigado, irmãos.

Agradeço também a Doutora Soraia Pedro pela ajuda na parte de espectroscopia, pelos conselhos e partilha de conhecimentos.

Agradeço de todo o meu coração a Engenheira Salomé Peralta, pela amizade companheirismo, por inúmeros momentos de lazer e diversão que colecionamos ao longo desta desafiadora jornada e por acreditares em mim desde o primeiro dia que nos conhecemos.

Expresso a minha profunda gratidão aos meus pais e familiares, pelo apoio incondicional, estímulo constante e compreensão nos momentos desafiantes. Cada palavra de encorajamento foi um farol a iluminar o caminho.

Agradeço aos amigos com especial destaque Maria do Carmo, Andreia Semedo, Alex Gonçalves, Jorge Guaby, Luvania Varela, e Eloisa Silva que, de uma forma ou de outra, contribuíram com apoio emocional, tornando esta etapa mais significativa.

Um agradecimento especial ao Eng Pedro Daniel por se manter fiel ao meu lado, por estar sempre disposto a ajudar e por sempre acreditar em mim. Obrigado meu caro amigo.

Quero agradecer a minha querida irmã por seres uma pessoa incrível, por estares sempre ao meu lado e acreditar em mim, mesmo nos momentos mais difíceis. Obrigado também por me ceder o computador quando preciso

Por fim, um agradecimento especial a todos os participantes deste trabalho, cuja colaboração foi essencial para a elaboração deste estudo.

A todos, o meu mais sincero agradecimento. Este trabalho é fruto do esforço coletivo e do apoio generoso que recebi ao longo deste percurso académico. Obrigado por fazerem parte desta conquista.

Obrigado!!!!

## **Resumo**

A aguardente de cana-de-açúcar é uma bebida tradicional de extrema importância cultural, social e económica para Cabo Verde. O consumo da bebida tem vindo a crescer em todas as classes sociais, e existe a ambição de conquistar o mercado internacional. No entanto, isso tem gerado dificuldades para os produtores, que frequentemente enfrentam barreiras à entrada em mercados externos, sobretudo devido à variabilidade na qualidade do produto e à ausência de padronização. O objetivo do presente trabalho consiste na caracterização físico-química do grogue (com especial enfoque na sua composição volátil) e sensorial da aguardente de Cabo Verde e de alguns rums produzidos em diferentes países. Os resultados da caracterização físico-químicos evidenciaram variação de teor alcoólico entre as amostras (34,49 a 49,97%v/v) mas dentro do limite estabelecido pela legislação vigente. As amostras apresentaram valores de pH entre 3,59 e 4,28, excetuando uma amostra de rum de Portugal que apresentou um pH 8,5 e consequentemente teve menor valor da Acidez total 0,02 g/L. Nos compostos voláteis maioritários verificou-se a ausência de metanol nas aguardentes, sendo os álcoois isoamílicos (2-metil-1-butanol e 3-metil-1-butanol) e o isobutanol os compostos mais representativos. Os compostos voláteis minoritários identificados compreenderam 13 ésteres, 9 ácidos, 11 álcoois, 5 fenóis, 4 terpenos, 3 aldeídos, 2 cetonas. Na análise sensorial, os resultados sugerem a possibilidade de diferenciação organoléptica das aguardentes de cana de Cabo Verde dos rums de outras proveniências.

## **Palavras chave**

Aguardente de cana-de-açúcar, análise físico-química, compostos voláteis, espectroscopia, análise sensorial

## **Abstract**

Sugarcane rum is a traditional beverage of extreme cultural, social, and economic importance to Cape Verde. Consumption of the beverage has been growing across all social classes, and there are ambitions to conquer the international market. However, this has created difficulties for producers, who often face barriers to entry into foreign markets, mainly due to variability in product quality and the lack of standardization. The objective of this study is to characterize the physical-chemical (with a special focus on its volatile composition) and sensory properties of Cape Verdean rum and some rums produced in different countries. The results of the physical-chemical characterization showed variation in alcohol content between samples (34.49 to 49.97% v/v) but within the limits established by current legislation. The samples had pH values between 3,59 and 4,28 except for a rum sample from Portugal, which had a pH of 8.5 and consequently had a lower total acidity value of 0.02 g/L. Among the major volatile compounds, methanol was absent from the spirits, with isoamyl alcohols (2-methyl-1-butanol and 3-methyl-1-butanol) and isobutanol being the most representative compounds. The minor volatile compounds identified included 13 esters, 9 acids, 11 alcohols, 5 phenols, 4 terpenes, 3 aldehydes, and 2 ketones. In the sensory analysis, the results suggest the possibility of organoleptic differentiation between Cape Verde cane spirits and rums from other sources.

## **Keywords**

Sugarcane spirit, physical-chemical analysis, volatile compounds, spectroscopy, sensory analysis

## Índice geral

1. Introdução .....	1
2. Revisão Bibliográfica .....	3
2.1. Caracterização da cana-de-açúcar.....	3
2.1.1. Variedades de cana-de-açúcar .....	5
2.1.2. Composição química de cana-de-açúcar .....	6
2.1.3. Produção de cana-de-açúcar .....	6
2.2. Aguardente de cana-de-açúcar .....	8
2.2.1. Produção de aguardente cana-de-açúcar em Cabo Verde (Grogue)9	
2.2.2. Descrição do processo produtivo de aguardente de cana em Cabo Verde.....	11
2.3. Uso de técnicas cromatográficos nas análises de alimentos.....	15
2.4. Uso de técnicas espectroscópicas na análise de alimentos .....	16
2.5. Análise Sensorial .....	17
3. Material e Métodos.....	18
3.1. Amostragem .....	18
3.2. Determinação dos parâmetros Físico-químicos.....	18
3.3. Determinação da composição volátil por cromatografia gasosa.....	19
3.3.1. Compostos voláteis maioritários .....	19
3.3.2. Compostos voláteis minoritários .....	20
3.3.2.1 Extração prévia dos compostos voláteis .....	20
3.3.2.2 Análise de compostos minoritários por GC-FID .....	21
3.3.3 Análise por Cromatografia de Gases acoplada a Espectrometria de Massa (GC-MS) .....	22
3.4. Espectroscopia Vibracional.....	23
3.4.1. NIR.....	23
3.4.2. FTIR-ATR.....	23
3.4.3. FT-RAMAN.....	23
3.5. Análise Sensorial .....	24
3.6. Análise Estatística .....	25
4. Resultados e Discussão.....	26
4.1. Caracterização físico-química das amostras .....	26

4.2. Compostos voláteis maioritários .....	27
4.2.1. Acetaldeído, acetato de etilo .....	27
4.2.1. Álcoois Superiores .....	29
4.3. Compostos voláteis minoritários .....	31
4.4. Espectroscopia vibracional .....	40
4.4.1. FT-NIR .....	40
4.4.2. FTIR-ATR.....	44
4.4.3. FT-RAMAN.....	47
4.5. Análise Sensorial .....	50
4.5.1. Semelhança de aroma .....	50
4.5.2. Semelhanças de sabor.....	51
5. Conclusões .....	52
6. Referências bibliográficas .....	54
7. Anexo .....	63

## Índice de Figuras

<b>Figura 1:</b> Difusão da produção da cana-de-açúcar ao longo do tempo (da pré-história à idade moderna). Fonte: (Azevedo, 1947). .....	3
<b>Figura 2:</b> a- Constituição morfológica da planta de cana-de-açúcar: Fonte: (Xavier, 2021); b- cultivo da cana-de-açúcar: Fonte: <a href="https://www.agrolink.com.br/culturas/cana-de-acucar/informacoes-da-cultura">https://www.agrolink.com.br/culturas/cana-de-acucar/informacoes-da-cultura</a> . ....	4
<b>Figura 3:</b> Países com maior produção da cana-de-açúcar: Fonte: adaptada de YARA, (2023). .....	7
<b>Figura 4:</b> Esquema ilustrativo de várias etapas para produção de aguardente de cana-de-açúcar de Cabo Verde .....	11
<b>Figura 5:</b> a) - Moenda tradicional- trapiche de Cabo Verde. Fonte: Jornal Expresso das Ilhas (19-01-2025); (b)- Moenda motorizada. Fonte: <a href="https://ranipierotti.com.br/">https://ranipierotti.com.br/</a> . .....	12
<b>Figura 6:</b> Cromatografia de gases com detetor de ionização por chama (GC-FID) utilizada para a quantificação dos compostos voláteis majoritários. ....	20
<b>Figura 7:</b> Etapas da extração e concentração dos compostos voláteis: (a) Separação em ampola de decantação; (b) Banho de ultrassons; (c) Evaporador Rotativo .....	21
<b>Figura 8:</b> Cromatografia de gases (GC-FID) utilizada para a quantificação dos compostos voláteis minoritários. ....	22
<b>Figura 9:</b> Comatógrafo de gases acoplado a espectrómetro de massa (Thermoscientific, TRACE 1600-ISQ7610) .....	23
<b>Figura 10:</b> Sala de prova do Polo de Inovação de Dois Portos - INIAV.....	25
<b>Figura 11:</b> Análise do componente principal para parâmetro físico-químico e compostos voláteis majoritários em aguardente de cana-de-açúcar (grogue e rum) .....	31
<b>Figura 12:</b> Cromatograma do extrato de aguardente de cana-de-açúcar:.....	32
<b>Figura 13:</b> Análise dos componentes principais para compostos voláteis minoritários das aguardentes analisadas .....	38
<b>Figura 14:</b> Espectros de absorção NIR de todas as amostras de aguardentes .....	41
<b>Figura 15:</b> Análise dos componentes principais (PCA) com representação dos aspectos obtidos na espectroscopia NIR para amostras em estudos 42	
<b>Figura 16:</b> Espectro obtido em FTIR-ATR para as aguardentes analisadas ..	44
<b>Figura 17:</b> Análise dos componentes principais (scores) a partir dos dados espectrais da espectroscopia FTIR-ATR para amostras de aguardente de cana-de-açúcar das deferentes origenas .....	46
<b>Figura 18:</b> Análise dos componentes principais (scores) a partir dos dados espectrais adquiridos da espectroscopia FT-Raman para amostras de aguardente de cana-de-açúcar das deferentes origens .....	49
<b>Figura 19:</b> Análise de correspondência para atributos dos aromas para aguardente da cana-de-açúcar analisado .....	51
<b>Figura 20:</b> Análise de correspondência para atributos do sabor para aguardente da cana-de-açúcar analisado .....	52

## Lista de Tabelas

<b>Tabela 1:</b> Características morfológicas e agronômicas das variedades de cana-de-açúcar. ....	6
<b>Tabela 2:</b> Unidades de produção de aguardente de cana-de-açúcar distribuídas pelas ilhas de Cabo Verde. ....	10
<b>Tabela 3:</b> Lista das amostras analisadas e as suas origens e os códigos adotados na presente tese .....	18
<b>Tabela 4:</b> Valores médios e desvio padrão relativo ao parâmetro físico-químico e concentrações de acetaldeídos, acetato de etilo e metanol das amostras analisadas. ....	26
<b>Tabela 5:</b> Teores (mg/L) dos compostos voláteis majoritários (álcoois superiores) das amostras (média $\pm$ desvio padrão). ....	29
<b>Tabela 6:</b> Valores médios e desvio padrão dos compostos voláteis minoritários (organizados por famílias) das amostras de aguardente de cana-de-açúcar. ....	33

## **Lista de abreviaturas, siglas e acrónimos**

a.C. - Antes de cristo

d.C. -Depois de Cristo

DOP - Denominação de Origem Protegida

CAE-CV - Classificação das Atividades Económicas de Cabo Verde

INE - Instituto Nacional da Estatística

GC-FID - Cromatografia Gás Líquido-Detetor de Ionização de Chama

GC-MS - Cromatografia Gás Líquido- Espectroscopia de Massa

FTIR\_ATR - Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier com reflexão total atenuada

## 1. INTRODUÇÃO

A produção de bebidas destiladas é muito antiga, pois há mais de 2000 anos a.C. já se conhecia a técnica de fabrico dessas bebidas, a qual se foi expandindo ao longo do tempo. No que diz respeito ao processo produtivo de bebidas espirituosas, nas últimas décadas vários estudos têm-se centrado na otimização dos processos de fermentação e destilação (Vicente et al., 2006).

Historicamente, atribuem-se aos egípcios os primeiros indícios da produção de bebidas alcoólicas, que eram fabricadas e utilizadas para fins medicinais (Gomes et al., 2002). Os primeiros a registar o processo de obtenção da “Ácqua ardens” (aguardente) foram os gregos, entre os anos 23 e 79 d.C., embora tenham sido os árabes os principais responsáveis pela disseminação da técnica de destilação (Dantas, 2013).

Segundo Vicente et al. (2006) e Gomes et al. (2002), durante a produção de açúcar, na época colonial, "cachaça" era o nome dado à primeira espuma que subia à superfície do caldo de cana fervente. Esta era fornecida aos animais ou descartada.

A aguardente de cana-de-açúcar (com teor alcoólico de 38 e 54% em volume, a 20 °C) e a cachaça (com teor alcoólica entre 38 e 48% em volume, a 20 °C) são bebidas alcoólicas obtidas pela destilação de mosto de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) resultante de uma fermentação (Dantas, 2013; Caruso et al., 2008).

Segundo as anotações de Mendes (2023) a produção de aguardente de cana-de-açúcar em Cabo Verde, mais conhecida como “grogue de Cabo Verde”, existe há mais de 500 anos.

O grogue, bebida emblemática de Cabo Verde, é uma aguardente de cana-de-açúcar tradicionalmente produzida de forma artesanal, representando não apenas uma herança cultural, mas também um símbolo de resistência e identidade do povo cabo-verdiano (Mendes, 2023). Com um sabor intenso e aroma característico, este destilado é obtido através da fermentação do melaço ou do caldo de cana, seguida de destilação em alambiques de cobre, técnica que remonta ao período colonial.

Para além do seu valor histórico e social, o grogue desempenha um papel fundamental na economia local, especialmente nas zonas rurais, onde a sua produção sustenta muitas famílias. Nos últimos anos, tem ganho crescente reconhecimento internacional, impulsionado pelo turismo e pela valorização dos produtos tradicionais. Contudo, a sua produção enfrenta vários desafios, desde a concorrência com bebidas industrializadas até à necessidade de uma modernização controlada, que preserve a autenticidade do processo.

O grogue é uma bebida de grande importância económica para Cabo Verde, nomeadamente para as ilhas de Santiago, Brava, São Nicolau e Santo Antão, que apresentam boas condições climáticas para a produção de cana. Durante o período colonial, a aguardente chegou a assumir o papel de moeda, sendo utilizada como meio de pagamento, inclusive na compra de escravos.

O consumo da bebida, em Cabo Verde, tem vindo a crescer em todas as classes sociais, e existe a pretensão de conquistar o mercado internacional. No entanto, isso tem gerado dificuldades para os produtores, que frequentemente enfrentam barreiras à entrada em mercados externos, sobretudo devido à variabilidade na qualidade do produto e à ausência de padronização. Além disso, o setor não tem sido alvo de grande atenção ao longo do tempo, quer em termos de regulamentação, quer no que diz respeito ao controlo de qualidade e ao cumprimento de práticas adequadas na produção a nível artesanal.

Em Cabo Verde, a aguardente de cana-de-açúcar (grogue) é produzida de forma tradicional (um saber que é transmitido de geração em geração) e é comercializada em pequenas quantidades, também de forma tradicional.

O presente trabalho tem como objetivo a caracterização físico-química do grogue, com especial enfoque na sua composição volátil, de modo a estabelecer padrões de qualidade, bem como realizar a sua avaliação sensorial de modo a permitir definir critérios de apreciação. Pretende-se, assim, garantir um produto de qualidade para os mercados nacional e internacional.

Através deste estudo, ambiciona-se transferir conhecimento para os produtores locais, permitindo a expansão para novos mercados e a implementação de melhorias tecnológicas, preservando, contudo, as características organolépticas distintivas associadas à região produtora.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Caraterização da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) é uma monocotiledónia, alógama e semiperene que pertence à filo Magnoliophyta, classe Liliopsida, suclasse Commiliniidae, ordem Cyperales, família Poaceae, tribo Andropogonae, subtribo Saccharinae e género *Saccharum* (Canuto & Silva, 2004). É amplamente cultivada em regiões tropicais e subtropicais devido ao seu elevado teor de sacarose, que a torna a principal matéria-prima para a produção de açúcar, etanol e bebidas espirituosas, como o grogue de Cabo Verde.

A cana-de-açúcar teve a sua origem e diversificação na Nova Guiné, onde ainda hoje são encontradas as variedades silvestres mais primitivas da espécie. A partir desta região, disseminou-se para outras áreas do Sudeste Asiático, incluindo as Filipinas, Indonésia, Malásia e Índia (Cantarella et al., 2012). Nestas regiões, a espécie foi submetida a um intenso processo de seleção e melhoramento ao longo de séculos, desenvolvendo características mais adequadas ao cultivo. Na Figura 1 encontra-se a evolução do cultivo da cana-de-açúcar ao longo do tempo (desde da pré-história à idade moderna) de acordo com Azevedo (1947). O desembarque da cana-de-açúcar na Europa Oriental aconteceu no século IV a.C., como consequência das viagens de generais de Alexandre Magno, desde a Macedónia até à Ásia, (Azevedo, 1947), e admite-se que nas épocas das campanhas de Alexandre da Macedónia, a cana-de-açúcar saiu das fronteiras da sua naturalidade e difundiu-se para países vizinhos. Segundo Silveira (1967), o Infante Dom Henrique mandou vir da Sicília as canas e mestres hábeis na preparação do açúcar com destino à Madeira e Açores, sendo a ilha da Madeira o ponto de irradiação da cana de açúcar para o Mundo Português; Açores, Cabo Verde, S. Tomé, Costa de Angola e Brasil, onde encontrou condições mais ou menos favoráveis.

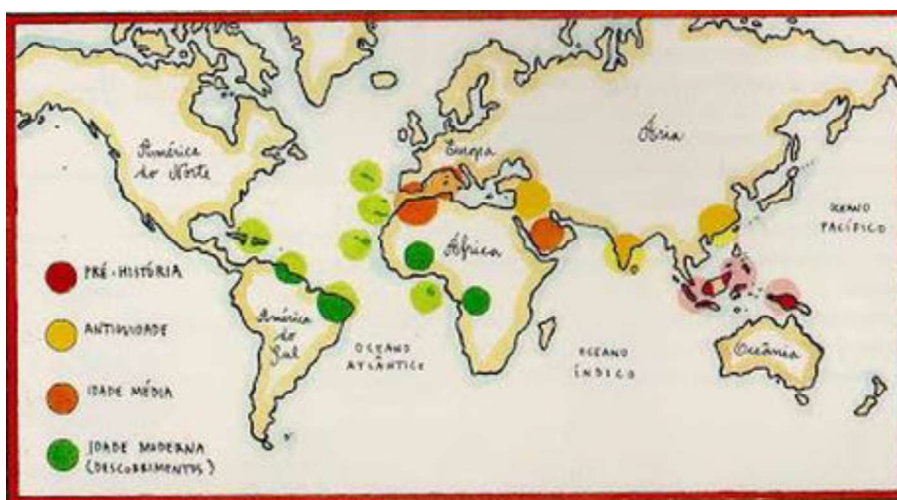
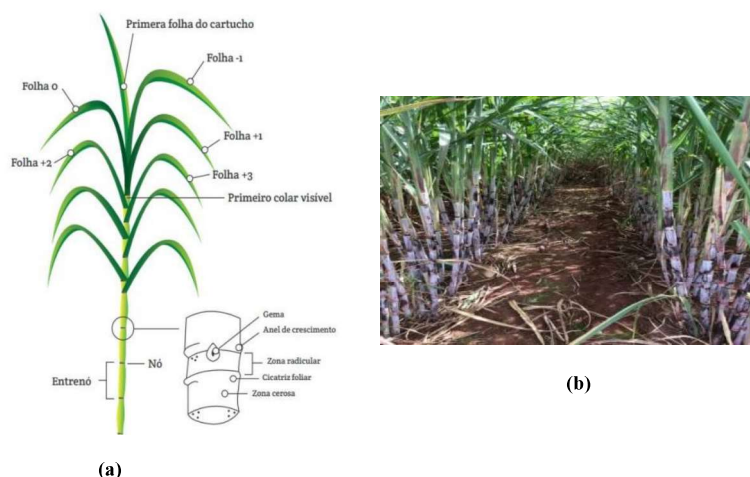


Figura 1: Difusão da produção da cana-de-açúcar ao longo do tempo (da pré-história à idade moderna). Fonte: (Azevedo, 1947).

É uma planta cultivada atualmente em toda a faixa tropical e em algumas áreas subtropicais, em mais de 90 países e está difundida numa faixa de latitude de 35° N a 30° S, adaptando-se a diversas condições climáticas e de solo, exigindo precipitações em torno de 1500 a 2500 mm por ano (Goldemberg et al., 2008; Morais et al., 2015). É uma planta de grande porte que forma rizomas e touceiras, produz caules suculentos divididos em nós e entrenós, com folhas alternas e bainha abertas e longas (cobrem completamente o talo, prolongando-se sobre pelo menos um entrenó completo), inflorescência do tipo panícula, com flores hermafroditas e fruto do tipo cariopse oblonga e pontiaguda ((Gallo et al., 2002; Goldemberg et al., 2008).

De acordo com Nogueira & Filho (2005), a cana-de-açúcar apresenta quatro estádios de desenvolvimento que são os seguintes:

- Germinação - inicia-se de 20 a 30 dias após o plantio, quando o broto rompe as folhas da gema e se desenvolve em direcção à superfície do solo. Aparecimento das primeiras raízes do caule;
- Perfilhamento - regulado por hormonas, consiste na formação de novos brotos de 40 a 60 dias após o plantio e resulta na formação da touceira;
- Crescimento dos colmos - começa a partir de 120 dias, atinge o máximo de perfilhamento, os colmos passam a ganhar altura e a acumular açúcares;
- Maturação - a parte mais importante para o fabrico da aguardente, ocorre da base para o ápice do colmo e caracteriza-se pelo intenso armazenamento de açúcares.



**Figura 2:** a- Constituição morfológica da planta de cana-de-açúcar: Fonte: (Xavier, 2021); b- cultivo da cana-de-açúcar: Fonte: <https://www.agrolink.com.br/culturas/cana-de-acucar/informacoes-da-cultura>.

### 2.1.1. Variedades de cana-de-açúcar

Atualmente, as diversas variedades de cana-de-açúcar são resultado de cruzamentos complexos, obtidos por meio de um processo rigoroso e detalhado de seleção.

Segundo Cantarella et al, (2012) e Rodolfo et al, (2016), esse processo é contínuo e nunca se encerra completamente, pois as variedades disponíveis comercialmente possuem uma vida útil limitada, geralmente de cerca de 10 anos. Visto que com o tempo as plantas perdem o seu vigor e a produtividade, essas perdas podem ser atribuídas a diversos fatores, como a redução da fertilidade do solo, a formação de condições físicas inadequadas no ambiente subterrâneo, o aumento da incidência das pragas e doenças ao longo do tempo, a presença de enfermidades visíveis ou ainda não detetadas, condições biológicas desfavoráveis e até a ação de toxinas ou microrganismos que afetam exclusivamente aquela variedade específica, mas que não impactam novas variedades que venham a ser plantadas no mesmo local (Trevisan & Moschini, 2018).

As novas variedades desenvolvidas em diferentes centros de pesquisa recebem uma sigla e um número identificador. A sigla representa o nome da estação experimental, do país ou da região onde a variedade foi criada. Já o número pode indicar o ano em que foi desenvolvida, o código do ensaio, ou ambos (Lima et al., 2022; Vicente et al., 2006).

As siglas mais comuns na indústria canaveira são:

- **RB** - variedades desenvolvidas pela Rede de Melhoramento Genético da Cana-de-Açúcar do Brasil;
- **Co** - Sugarcane Breeding Institute de Coimbatore, Índia;
- **POJ** - Proefstation Oost Java, estação experimental da Indonésia (do período colonial);
- **SP** - Instituto Agronómico de Campinas;
- **H**- Havaí

Na Tabela 1, encontram-se ilustradas algumas das variedades de cana-de-açúcar mais cultivadas no mundo (Trevisan & Moschini, 2018). Segundo Gomes et al., (2002) não existem variedades de cana específicas para a produção de aguardente, uma vez que as pequenas diferenças na sua composição físico-química provavelmente não influenciam a qualidade final da bebida.

**Tabela 1:** Caraterísticas morfológicas e agronómicas das variedades de cana-de-açúcar: Fonte: Adaptada de Lima et al., (2022); Morais et al., (2015) e Vicente et al., (2006).

<b>Variedades</b>	<b>Descrição</b>
RB72454	É mais plantada no mundo, adaptabilidade às diferentes climas e solos. Os colmos possuem internódios cilíndricos, de diâmetro e comprimento médios, de cor amarelo esverdeada;
RB855156	Tem uma maturação precoce, com ótima brotação e não muita exigência em ambientes. O colmo é de crescimento ereto, diâmetro médio e fino e de cor verde-clara.
RB867515	Apresenta crescimento ereto, o perfilhamento é médio com colmos de diâmetro médio e alta uniformidade. Os colmos possuem entrenós cilíndricos, e as gemas são de tamanho médio do tipo pentagonal.
SP 80-1842	Maturação precoce, alto teor de sacarose, média exigência em fertilidade do solo, pouco florescimento, médio perfilhamento, ótima brotação soqueira, resistência ao carvão e ferrugem.
RB966928	Adaptada à colheita mecanizada, com boa resistência a doenças.
Co0238	Possui alto teor de sacarose, e é resistente a frio o que a torne adequada para regiões com temperaturas mais baixas.

### **2.1.2. Composição química de cana-de-açúcar**

A composição química da cana-de-açúcar depende da interação de vários fatores: variedade, clima, solo (propriedades físicas e químicas), adubação, irrigação, florescimento, sistema de despalha (manual ou por fogo), tempo decorrido desde a última colheita, bem como das condições e do tempo de armazenamento (Vicentini-Polette et al., 2019).

Segundo Gomes et al. (2002) e Morais et al. (2015), o colmo é o principal componente de interesse industrial (é constituído pelos nós, entrenós e gemas). Na sua composição, apresenta entre 65 e 75% de água, 12 a 18% de açúcares, 7,0 a 17,0% de fibras (celulose, hemicelulose e lenhina), 0,3 a 0,6% de compostos azotados, 0,15 a 0,25% de lípidos (gorduras e ceras), 0,1 a 0,15% de ácidos orgânicos, 0,15 a 0,25% de substâncias pécicas e gomas, e 0,3 a 0,8% de cinzas (Gomes et al., 2002; Morais et al., 2015; Vicentini-Polette et al., 2019).

### **2.1.3. Produção de cana-de-açúcar**

Segundo Morais et al. (2015), a cana-de-açúcar apresenta grande importância económica, sendo cultivada em diversos países de clima tropical e subtropical. Os seus principais produtos são o açúcar, o etanol e, mais recentemente, a cogeração de energia elétrica. A nível mundial, destaca-se

como a principal cultura açucareira, ocupando cerca de 27 milhões de hectares plantados em mais de 130 países (Trevisan & Moschini, 2018). O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, seguido pela Índia, China, Tailândia e Paquistão (Figura 3).

De acordo com dados publicados em julho de 2023 pela revista *Knowledge Grows* (YARA, 2023), o Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com uma produção anual superior a 768 milhões de toneladas.

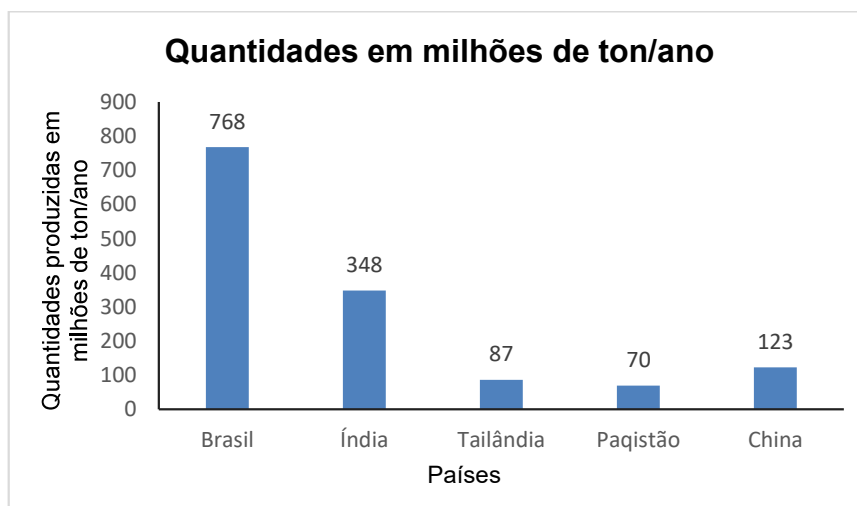


Figura 3: Países com maior produção da cana-de-açúcar. Fonte: adaptada de YARA, (2023).

De acordo com Trevisan e Moschini (2018), o cultivo da cana-de-açúcar em Cabo Verde teve início por volta do ano de 1490, impulsionado pelo sistema de plantações, à semelhança do que se verificou noutras colónias sob domínio português. A produção de açúcar tornou-se, deste modo, uma atividade económica de alguma relevância. Contudo, segundo Torrão (2012), essa produção nunca adquiriu as características de uma monocultura, nem se verificou uma exploração intensiva da cana-de-açúcar. Tratava-se, antes, de uma cultura de pequena escala, de carácter doméstico e de subsistência, voltada essencialmente para satisfazer as necessidades dos próprios produtores (Trevisan & Moschini, 2018).

Presume-se que a cana-de-açúcar tenha sido uma das primeiras espécies vegetais introduzidas em Cabo Verde, particularmente na ilha de Santiago, aquando da sua descoberta e posterior povoamento. A partir do século XVII, ou eventualmente no início do século XVIII, o seu cultivo disseminou-se por outras ilhas do arquipélago, nomeadamente Santo Antão, São Nicolau e Brava. Nos primeiros tempos de colonização, a cana sacarina demonstrou uma boa adaptação aos solos e às condições climáticas locais, sendo, com o passar do tempo, considerada uma planta "da terra" (Torrão, 2012).

Tradicionalmente, a plantação da cana-de-açúcar é realizada entre meses de fevereiro e março, nas ilhas de Santo Antão e Santiago, sendo a colheita efetuada nos meses de janeiro e fevereiro (Vieira, 2007).

Atualmente, a produção destina-se maioritariamente ao consumo interno, com especial destaque para a fabricação de grogue. De acordo com dados recentes divulgados, a produção anual mantém-se abaixo das 40 toneladas Inforpress (2024).

De acordo com Ramos (2015), a variedade de cana-de-açúcar mais utilizada em Cabo Verde é híbrido de cana sacarina *S. violacum* Tussac, visto que é a espécie que melhor se adapta aos terrenos poucos férteis.

## 2.2. Aguardente de cana-de-açúcar

No Brasil, em Cabo Verde e na ilha da Madeira, o aparecimento desta bebida destilada esteve associado à colonização e à expansão marítima portuguesa. Com a conquista de Ceuta, em 1415, os portugueses lançaram-se ao oceano Atlântico em busca de novas terras. Como era habitual em territórios recém-descobertos, os colonos procuraram introduzir culturas agrícolas a que estavam habituados, como, por exemplo, a cana-de-açúcar, destinada à produção de açúcar e outros derivados (Gomes et al., 2002; Lima et al., 2022).

De acordo com a legislação cabo-verdiana (Decreto-Lei n.º 11/2015), a aguardente de cana-de-açúcar é definida como uma “bebida espirituosa com graduação alcoólica de 38° a 54° GL (trinta e oito a cinquenta e quatro graus na escala Gay-Lussac), a 20 °C (vinte graus Celsius), obtida através da destilação do mosto fermentado exclusivamente da cana-de-açúcar”.

A partir de um relato histórico, foi possível conhecer o surgimento acidental da aguardente de cana-de-açúcar no território brasileiro após a sua colonização, conforme referem Miranda et al. (2007): “Para ter melaço de cana, os escravos colocavam o caldo de cana-de-açúcar num tacho e levavam-no ao fogo. Porém, um dia, cansados de tanto mexer e com serviços ainda por terminar, os escravos simplesmente pararam, e o melado estragou (...). No dia seguinte, encontraram o melado já fermentado, aproveitaram-no e misturaram-no com o novo, levando ambos ao fogo. O melado antigo era álcool, que aos poucos foi evaporando e formaram-se, no teto do engenho, umas gotículas que pingavam constantemente, que era a cachaça já formada. Quando a pinga batia nas suas costas marcadas pelas chibatadas dos feitores, ardia muito, por isso deram-lhe o nome de ‘água-ardente’”.

A partir da segunda metade do século XVI, a cachaça passou a ser produzida em maiores quantidades, utilizando alambiques de cobre, sendo comercializada juntamente com o açúcar. No Brasil, a designação típica da aguardente de cana é “cachaça”. “Cachaça é a denominação própria e exclusiva da aguardente de cana produzida no Brasil, com graduação alcoólica de 38 a 48% em volume, a

20 °C, obtida pela destilação do mosto fermentado da cana-de-açúcar, com características sensoriais peculiares, podendo ser adicionada de açúcares até 6 gramas por litro (g/L), expressos em sacarose” (Vicente et al., 2006; Gomes et al., 2002).

De acordo com dados publicados pelo IBRAC – Instituto Brasileiro da Cachaça, atualizados a 7 de abril de 2023, a capacidade produtiva do Brasil é de 1,2 mil milhões de litros anuais de cachaça, sendo que a produção efetiva atual é de 800 milhões de litros. Existem dois modelos de produção da cachaça no país: o industrial (por coluna) e o artesanal (em alambique). Cerca de 75% do total de cachaça provém da produção industrial, realizada por empresas de grande e média dimensão, enquanto os restantes 25% são produzidos de forma artesanal (Ramos, 2015).

A produção de aguardente na ilha da Madeira constitui uma parte significativa da economia agrícola local, particularmente associada ao fabrico do rum de cana-de-açúcar, conhecido como “Aguardente de Cana da Madeira” ou “Rum da Madeira”. Esta produção é regulamentada e protegida com Denominação de Origem Protegida (DOP) (Granel, 2018). O “Rum da Madeira” é um rum produzido na Região Autónoma da Madeira, obtido exclusivamente por fermentação alcoólica e destilação do sumo da cana-de-açúcar, apresentando um título alcoométrico volúmico mínimo de 37,5% vol., um teor de substâncias voláteis igual ou superior a 225 g/hL (gramas por hectolitro) de álcool a 100% vol., e um extrato seco total igual ou inferior a 5.0 g/L (gramas por litro) no caso do rum natural, e 20 g/L no caso do rum envelhecido (Regulamento (UE) 2019/787).

Segundo dados publicados, a produção média anual de rum agrícola na Madeira situa-se entre 500.000 e 600.000 litros, tendo gerado, no ano de 2023, uma receita de exportação no valor de 4.9 milhões de euros (€) (IVBAM, 2023).

### **2.2.1. Produção de aguardente cana-de-açúcar em Cabo Verde (Grogue)**

A aguardente de cana-de-açúcar constitui uma das bebidas tradicionais mais emblemáticas de Cabo Verde, sendo designada por *grogue*, *grog* ou *grogu*, consoante a ilha de produção e a variante linguística do crioulo utilizada. De acordo com o disposto no Decreto-Lei n.º 11/2015, a aguardente produzida exclusivamente em território cabo-verdiano pode ser rotulada com as denominações “Grogue de cana-de-açúcar”, “Grog de cana-de-açúcar”, “Grogue-de-cana-de-açúcar” ou, simplesmente, “Aguardente de cana-de-açúcar”, podendo a expressão “cana-de-açúcar” ser substituída por “cana”.

A origem do termo *grogue* remonta ao século XVIII, estando associada ao almirante britânico Edward Vernon, conhecido como *Old Grog*. Em 1740, Vernon ordenou a diluição do rum com água na ração fornecida aos marinheiros, mantendo, no entanto, a dos oficiais, inalterada (Azevedo, 1947). A mistura

composta por rum, água e açúcar viria, assim, a dar origem à bebida que hoje se conhece como grogue.

A produção de aguardente de cana-de-açúcar em Cabo Verde possui uma longa tradição histórica, com mais de 500 anos de existência (Carreira, 1982). O seu início está intimamente ligado à introdução da cana sacarina pelos primeiros colonizadores. Em 1460, terão chegado ao arquipélago especialistas no cultivo da cana-de-açúcar (Azevedo, 1947), facto que contribuiu para a instalação dos primeiros engenhos.

Um documento relevante que atesta esta prática remonta a 25 de junho de 1540: a carta régia de instituição do Morgadio de Fernão de Lugo, na qual se faz referência à existência de dois engenhos do tipo trapiche na ilha de Santiago, incluindo todo o equipamento necessário à sua operação, nomeadamente cobre e utensílios afins (Mendes, 2023).

Já no século XX, os dados constantes dos Anuários Estatísticos revelam que, em 1919, o arquipélago contava com um número considerável de equipamentos utilizados na produção de açúcar e aguardente, existindo, à época, 77 trapiches movidos por tração animal. Este número viria a aumentar significativamente ao longo da década seguinte, atingindo 203 trapiches em 1929 (Azevedo, 1947).

De acordo com a Classificação das Atividades Económicas de Cabo Verde (CAE-CV), a indústria de aguardente de cana-de-açúcar é enquadrada como uma atividade de transformação de bebidas alcoólicas destiladas (INE, 2008). Esta indústria é composta por um número considerável de unidades de produção situadas em zonas rurais. Segundo o Plano de Implementação do Quadro Legal relativo à Produção de Grogue em Cabo Verde, existem aproximadamente 424 unidades de produção registadas na base de dados da indústria nacional, conforme apresentado na Tabela 2 (VAGROG, 2021)

O Decreto-Lei n.º 11/2015 define as unidades de produção de aguardente como o conjunto de elementos materiais distintos, nomeadamente o trapiche, o alambique, a sala de fermentação, as áreas de armazenagem e de embalagem, onde se desenvolve esta atividade.

**Tabela 2:** Unidades de produção de aguardente de cana-de-açúcar distribuídas pelas ilhas de Cabo Verde: Fonte: adaptado de (VAGROG, 2021).

<b>Ilha</b>	<b>Unidade de Produção</b>
Santo Antão	195
São Nicolau	8
Santiago	218
Maio	3

### 2.2.2. Descrição do processo produtivo de aguardente de cana em Cabo Verde

O processo produtivo da aguardente de cana-de-açúcar passa, nomeadamente, pelas várias etapas (Figura 5).

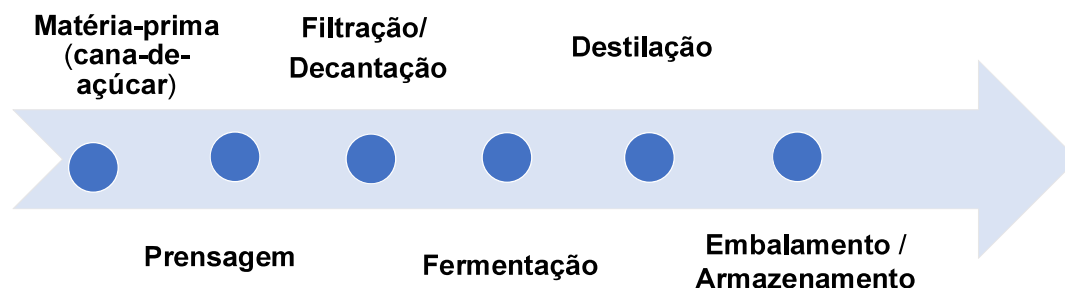


Figura 4: Esquema ilustrativo de várias etapas para produção de aguardente de cana-de-açúcar de Cabo Verde

- Matéria-prima

A cana-de-açúcar, ou o mosto da cana-de-açúcar, constitui a matéria-prima principal para o fabrico do grogue. A escolha da variedade da cana, o momento do corte (fase de maturação do colmo) e um transporte adequado são os primeiros passos para a obtenção de um grogue de qualidade. A cana deve ser cortada na fase de maturação, quando se encontra devidamente madura (com um teor mínimo de sólidos solúveis de 14° Brix), devendo-se assegurar a sua higienização (ARFA, 2015). De acordo com o Decreto-Lei n.º 11/2015, não é aconselhável que a cana permaneça mais de 48 horas após o corte sem ser moída, uma vez que, após esse período, começa a perder a qualidade de cana-de-açúcar devido a deterioração do açúcar via contaminação biológica.

- Prensagem de cana-de-açúcar

A prensagem consiste no processo de separação destinado à extração da calda da cana-de-açúcar, podendo ser realizada por meio da moenda tradicional, designada por “trapiche” (Figura 5a), ou através da moenda motorizada (figura 5b) (Ramos, 2015).

Tradicionalmente, o “trapiche” é uma máquina na qual o suco (ou calda) é extraído da cana-de-açúcar por ação de uma prensa movida por bois ou mulas, os quais caminham em círculos, acionando assim o mecanismo da máquina. Os indivíduos responsáveis por conduzir os animais eram denominados “faladores de bois” (Azevedo, 1947).

Antes de se iniciar o processo de prensagem, a cana deve encontrar-se devidamente limpa, ou seja, isenta de raízes, folhas e flores. Adicionalmente, é necessário remover os ponteiros da cana, uma vez que apresentam baixo teor de açúcar e elevado teor de resinas (Melo et al., 2021).



**Figura 5:** a) - Moenda tradicional- trapiche de Cabo Verde. Fonte: Jornal Expresso das Ilhas (19-01-2025); (b)- Moenda motorizada. Fonte: <https://ranipierotti.com.br/>.

- Filtração/ Decantação

Segundo ARFA (2015), a filtração deve ser realizada de forma a reter os “bagacilhos” e as impurezas presentes no mosto da cana-de-açúcar. Quanto mais limpa for a calda, menor será a probabilidade de contaminações e melhor será a qualidade do processo de fermentação. Para além disso, uma calda limpa aumenta a eficiência do processo da filtração e também facilita as operações de limpeza dos alambiques (Souza *et al.*, 2013; Melo *et al.*, 2021).

De acordo com Forlin (2005), a decantação é um processo que requer instalações simples, sendo de fácil execução e supervisão. É recomendável realizar a decantação do caldo após a filtração, num intervalo de 20 a 30 minutos, com o objetivo de separar partículas mais finas e mais densas, que acabam por sedimentar no fundo do recipiente.

Conforme referido por Souza *et al.* (2013) e Melo *et al.* (2021), a filtração e a decantação são etapas de grande importância, uma vez que o caldo pode conter pequenos bagaços (fragmentos pedaços de fibras de cana), que, ao chegarem ao processo de fermentação, originam o composto furfural que é uma substância indesejável, bem como podem provocar um aumento do teor de metanol.

- Diluição do caldo

De acordo com Vieira (2007) e Souza *et al.* (2013), quando a cana-de-açúcar é colhida no ponto ideal de maturação, o seu caldo apresenta um teor de sólidos solúveis (°Brix) compreendido entre 16 e 24. Este pode ser diluído para valores entre 14 e 16 °Brix com vista à fermentação, conforme estipulado no Decreto-Lei n.º 11/2015. A água utilizada para esta diluição deve ser limpa, inodora, incolor, isenta de microrganismos patogénicos e cumprir os critérios estabelecidos para a potabilidade (Decreto-Lei n.º 11/2015; Souza *et al.*, 2013).

Um caldo com elevada concentração de açúcares pode resultar num teor alcoólico excessivamente alto, o que prejudica a actividade fermentativa das leveduras. Tal situação pode originar uma fermentação lenta e incompleta, conduzindo à perda de açúcares e à formação de incrustações nos equipamentos (Ramos, 2015). Por outro lado, um caldo excessivamente diluído pode acelerar em demasia o processo fermentativo, fazendo com que o fermentado permaneça por longos períodos no recipiente o que favorece a produção excessiva de álcoois superiores e aumenta o risco de contaminação bacteriana (Souza *et al.*, 2013).

- Fermentação

O termo fermentação tem origem no latim *fermentare*, que significa “ferver”, devido ao aspecto do mosto em fermentação vigorosa. No caso da produção de aguardente, a fermentação deve-se à ação de leveduras das espécies *Saccharomyces cerevisiae*, *S. carlsbergensis*, *Pichia membranaefaciens*, *Candida krusei*, entre outras (Vicente *et al.*, 2006).

Os açúcares do caldo de cana, consumidos pelas leveduras, são transformados principalmente em álcool etílico (etanol) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), que forma bolhas à superfície dos tanques de fermentação (Souza *et al.*, 2013; Miranda *et al.*, 2007; Vicentini-Polette *et al.*, 2019).

Açúcar → Álcool Etilico + Dióxido de Carbono

A fermentação malolática (decorrente da presença de bactérias do género *Staphylococcus* e *Lactobacillus*) é a etapa que sucede à fermentação alcoólica e deve ser evitada, pois, além de promover reações secundárias com aumento da formação de compostos voláteis e libertação de CO<sub>2</sub>, o ácido málico transforma-se em ácido láctico, o que reduz a acidez total (Gomes *et al.*, 2002).

Por se tratar de uma etapa bastante delicada, é fundamental implementar medidas que evitem a presença de bactérias responsáveis pela formação de compostos secundários que contribuem para a deterioração do sabor, bem como assegurar um controlo eficiente da temperatura, do pH e do teor do açúcar (Carvalho, 2015; Ramos, 2015; Silva *et al.*, 2020).

De acordo com o Decreto-Lei n.º 11/2015, a temperatura ideal para a fermentação do mosto deve situar-se entre 25 °C e 30 °C, nunca ultrapassando os 34 °C. A sala de fermentação deve ser ventilada, iluminada e as cubas devem estar protegidas contra contaminações; o piso deve ser íntegro, impermeável e de fácil higienização.

O pH do meio deve manter-se no intervalo de 4,5 a 5,5 que é o intervalo em que as enzimas atuam com maior eficiência sobre os microrganismos, catalisando-os para um maior número de reações na presença dos nutrientes que constituem os mostos (Vicentini-Polette *et al.*, 2019).

A acidez do mosto não deve ser maior que 0,6 g/100 mL (em ácido acético) (Ramos, 2015).

Fermentações bem conduzidas podem ser identificadas pela formação de uma espuma fina e por um aroma agradável, resultante dos compostos secundários produzidos durante o processo fermentativo (Souza *et al.*, 2013; ARFA, 2015).

O método visual para verificar se a calda se transformou em mosto pronto para destilação é a ausência de bolhas (ou seja, cessação da libertação de dióxido de carbono), o que indica que o grau Brix se encontra próximo de zero, concluindo-se, assim, que a fermentação terminou.

De acordo com o Decreto Lei nº 11/2025, a aguardente de Cabo Verde são oriundas de uma fermentação natural e demora entre 2 a 3 dias.

- Destilação

O caldo de cana, após o seu preparo e durante a fermentação, é denominado mosto. A aguardente é produzida a partir do mosto pela operação de destilação, que se baseia na diferença do grau de volatilização dos seus componentes (Mendes, 2017). Esta operação é realizada por meio do aquecimento do mosto em recipientes denominados destiladores ou alambiques (Melo *et al.*, 2021).

Os alambiques podem ser de inox, em colunas (produção industrial), ou de cobre (produções artesanais). Os alambiques são sistemas constituídos por caldeira, capacete ou capitel, bico ou colo de cisne e um sistema de refrigeração (condensador e serpentina) (Melo *et al.*, 2021).

De acordo com Mendes (2023), o destilado é separado em três porções: a primeira é a cabeça (5% a 10% do destilado total), a segunda é o coração (80% do destilado) e a terceira é a cauda. A cabeça é a fração inicial, constituída principalmente por substâncias mais voláteis, designadamente metanol, ésteres e aldeídos, que têm um aroma muito intenso e desagradável, sendo caracterizada por um aroma acético (Silva *et al.*, 2020).

A fração de coração tem um teor alcoólico entre 57% e 38% v/v (Decreto-Lei n.º 11/2015). Esta fração apresenta substâncias de volatilidade semelhante à do etanol, das quais advêm aromas frutados e agradáveis (Zanghelini *et al.*, 2024), sendo esta a fração mais importante e a que corresponde à aguardente.

As caudas aparecem na fase final da destilação, quando o teor de etanol está entre 38% e 14% v/v (Decreto-Lei n.º 11/2015). Essa fração apresenta concentrações elevadas de ácido acético e furfural, e apresenta aroma desagradável nos destilados vínicos (Faísca *et al.*, 2016), e, se não forem separadas adequadamente, podem contribuir negativamente para a qualidade da aguardente.

- Embalagem e armazenamento

A aguardente deve então ser armazenada em recipientes fabricados em madeira, aço inoxidável ou aço-carbono com revestimento interno de madeira, capazes de reduzir as perdas por evaporação. A aguardente de cana-de-açúcar deve ser armazenada num local limpo, livre de odores estranhos e à temperatura ambiente, evitando-se ambientes muito quentes ou com pouca humidade (Souza et al., 2013; ARFA, 2015).

### **2.3. Uso de técnicas cromatográficos nas análises de alimentos**

A cromatografia abrange uma gama de técnicas de análise química que são utilizadas para separar, identificar e purificar os componentes de uma mistura por uma série de operações que resultam na separação dos constituintes de uma mistura, permitindo a análise qualitativa e quantitativa (Savchuk et al., 2001).

A técnica de cromatografia de gases (GC) desenvolvida no início dos anos 50 do século XX, tem sido então amplamente utilizada para quantificar compostos voláteis, e identificá-los combinando para o efeito a técnica de cromatografia de gases com a espectrometria de massa (Savchuk et al., 2020).

A cromatografia gasosa é uma técnica de separação de compostos voláteis ou passíveis de volatilização, desde que sejam termicamente estáveis à temperatura de operação, na qual os constituintes da amostra são particionados entre uma fase estacionária e uma fase móvel gasosa, que atravessa esta última (Savchuk et al., 2001). A deteção de ionização em chama consiste na medição da corrente gerada numa chama de azoto, hidrogénio e oxigénio pela qual passa um campo elétrico, devido à queima e posterior ionização – pela ação do campo elétrico – dos compostos orgânicos provenientes das amostras (Pu et al., 2025; Savchuk et al., 2020).

De acordo com Pu et al, (2025) e Saychuk et al, (2020), a eficiência da técnica do GC baseia-se em dois princípios:

- As substâncias a analisar devem ser voláteis o suficiente para poderem ser eluídas e detetadas à temperatura operacional;
- A fase estacionária deve ser estável do ponto de vista térmico, e razoavelmente não volátil, de modo a poder funcionar como suporte onde as substâncias são separadas.

Vários autores (Frantza et al., 2016; Pino et al., 2012; Silva et al., 2020; Caruso et al., 2008) recorrerem à técnica de GC-FID e GC-MS para quantificar e identificar compostos voláteis em diferentes bebidas alcoólicas.

## 2.4. Uso de técnicas espectroscópicas na análise de alimentos

As técnicas espectroscópicas, como a Espectroscopia no Infravermelho Próximo (NIR — Near Infrared Spectroscopy), Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR - Fourier Transform Infrared Spectroscopy) e Espectroscopia Raman, têm demonstrado resultados promissores no estudo e autenticação de produtos alimentares e bebidas alcoólicas (Anjos et al., 2020a; Anjos et al., 2020b)

Estas técnicas revelam-se particularmente úteis na avaliação da qualidade de alimentos e bebidas, uma vez que requerem pouca ou nenhuma preparação da amostra, dispensando procedimentos como extração, reação com outras espécies químicas, tratamento com agentes quelantes, subamostragem ou qualquer outro tipo de manipulação. Além disso, são métodos rápidos e não destrutivos (Anjos et al., 2020c; Rodriguez-Saona et al., 2001; Vicentini-Polette et al., 2019).

Importa ainda referir que se têm verificado avanços significativos na aplicação da espectroscopia vibracional aliada à análise multivariada, o que tem permitido a quantificação rápida de compostos em diversas matrizes, bem como a discriminação entre diferentes grupos de amostras (Anjos et al., 2020a; Ferreira et al., 2021; Rodriguez-Saona et al., 2001).

A espectroscopia estuda a interações de radiações electromagnéticas com as moléculas que constituem uma substância (Anjos et al., 2021). De acordo com Yadav & Sharma, (2019), as técnicas mais utilizados são NIR (Espectrometria de Infravermelho Próximo), FTIR-ATR (infravermelho por transformada de Fourier com reflexão total atenuada) e FT-Raman.

A espectroscopia FTIR-ATR tem sido amplamente utilizada na avaliação de diversos parâmetros em bebidas alcoólicas, nomeadamente na determinação de importantes indicadores de qualidade em cervejas e na quantificação do teor de etanol em licores (Yadav & Sharma, 2019).

De acordo com o estudo realizado por Anjos et al. (2020d), concluiu-se que a espectroscopia FT-Raman constitui uma ferramenta promissora na monitorização da qualidade da aguardente de mel.

O FT-Raman permite distinguir aguardentes vínicas com base nas diferentes espécies de madeira utilizadas no envelhecimento e no respetivo tempo de maturação (Anjos et al., 2020b), também foi usado com sucesso ao estudo do efeito do tempo e de tipo de tempero na elaboração de barricas de jerez utilizado no envelhecimento de Brandy de Jerez (Guerrero-Chanivet et al., 2023).

## 2.5. Análise Sensorial

A análise sensorial desempenha um papel fundamental na indústria de bebidas espirituosa, permitindo que produtores e conhecedores avaliem a qualidade, complexidade das bebidas alcoólicas. Essa abordagem científica avalia aparência, aroma, sabor, sensação na boca e qualidade global, garantindo consistência e excelência em bebidas alcoólicas que variam desde uísque, aguardente e rum entre outras.

A caraterização sensorial das bebidas espirituosas destiladas é importante para a sua qualidade e autenticidade (Anjos et al., 2017; Van Bommel et al., 2019; Vicentini-Polette et al., 2019).

Diversos estudos indicam que um teor alcoólico elevado pode atenuar ou mascarar sabores mais intensos (Caldeira et al., 2017; Schwarz et al., 2020), o que torna essencial a avaliação sensorial por parte de um painel treinado. Estes painéis recorrem a métodos consolidados, como a análise descritiva, para caracterizar o perfil sensorial de uma bebida, enquanto os testes discriminativos são utilizados para identificar diferenças entre lotes (Djekic et al., 2023; Meilgaard et al., 2016).

Tendo em consideração a necessidade de aferir a aceitabilidade de um produto ou a preferência dos consumidores, a análise sensorial tornou-se uma ferramenta indispensável na avaliação da qualidade das aguardentes. Esta técnica é aplicada com múltiplos propósitos, entre os quais se destacam a análise do impacto de alterações nos processos de produção, a seleção de matérias-primas ou de ingredientes diferenciados no desenvolvimento de novos produtos, bem como a avaliação da qualidade de atributos como o sabor, o aroma e a cor, assim como a sua estabilidade ao longo do armazenamento (Caldeira et al., 2002; Sidel & Stone, 1993).

Segundo Caldeira et al. (2002), a análise sensorial baseia-se na avaliação das características organolépticas, ou seja, nas percepções percebidas através dos sentidos humanos. Estes dividem-se em duas categorias: os sentidos químicos, relacionados com o gosto e o olfato, e os sentidos físicos, associados à visão, ao tacto e à audição.

De acordo com Manfugás (2007), existem distintos métodos de análise sensorial: análises afetivas, discriminativas e descritivas. As análises afetivas são conduzidas por indivíduos não treinados e destinam-se à avaliação da preferência dos consumidores relativamente a determinados produtos. Por sua vez, as análises discriminativas têm como finalidade a comparação e a detecção de diferenças sensoriais entre dois ou mais produtos, sendo frequentemente utilizadas na seleção e formação de provadores (ISO 8586, 2012). As análises descritivas permitem a identificação, descrição e quantificação das características sensoriais dos produtos, efetuadas por painéis de provadores treinados, com base na caracterização de atributos visuais, de aroma, sabor e textura (Sidel & Stone, 1993).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Amostragem

Foram selecionadas e analisadas nove amostras de aguardentes de cana-de-açúcar, adquiridas em estabelecimentos comerciais e junto a produtores artesanais (Tabela 3). Seis dessas amostras são originárias de diferentes regiões das ilhas de Cabo Verde, nomeadamente Santiago e Santo Antão. As demais amostras incluem duas amostras de rum provenientes de Portugal e uma amostra oriunda da República Dominicana, que por questões de ética não se referem os nomes dos produtores.

Cada uma das amostras foi identificada de acordo com a codificação apresentada na Tabela 3.

**Tabela 3:** Lista das amostras analisadas e as suas origens e os códigos adotados na presente tese

Tipo	País (local da origem)	Códigos	Artesanal/ Industrial
Grogue	Santiago (Cabo Verde)	G1	Artesanal
	Santiago (Cabo Verde)	G2	Artesanal
	Santiago (Cabo Verde)	G3	Artesanal
	Santiago (Cabo Verde)	G4	Industrial
	Santiago (Cabo Verde)	G5	Industrial
	Santo Antão (Cabo Verde)	G6	Industrial
Rum comercial	Anadia (Portugal)	R1	Industrial
	República Dominicana	R2	Industrial
	Madeira (Portugal)	R3	Industrial

#### 3.2. Determinação dos parâmetros Físico-químicos

Os parâmetros físico-químicos analisados foram o teor alcoólico volúmico, a acidez total e o pH.

O teor alcoólico foi determinado por destilação e densimetria eletrónica (OIV, 2019), utilizando-se um densímetro portátil (modelo 30PX da marca Mettler Toledo). As medições foram feitas em duplicado, e os resultados são expressos em percentagem volúmica de etanol na bebida.

A acidez total determinada pelo método proposto por Belchior & Carvalho (1984). A amostra foi titulada com hidróxido de sódio (0,1 M) na presença do indicador vermelho de fenol. As análises foram realizadas em duplicado. Os resultados são expressos em g de ácido acético por litro da aguardente.

O pH foi determinado por potenciometria (OIV, 2019). A amostra foi colocada em contato direto com o potenciômetro digital (modelo micro pH 2002 da marca CRISON), equipado com eletrodo de vidro e calibrado com solução padrão a pH 4 e pH 7, à temperatura de 20 °C. A medição do pH também foi efetuada em duplicado.

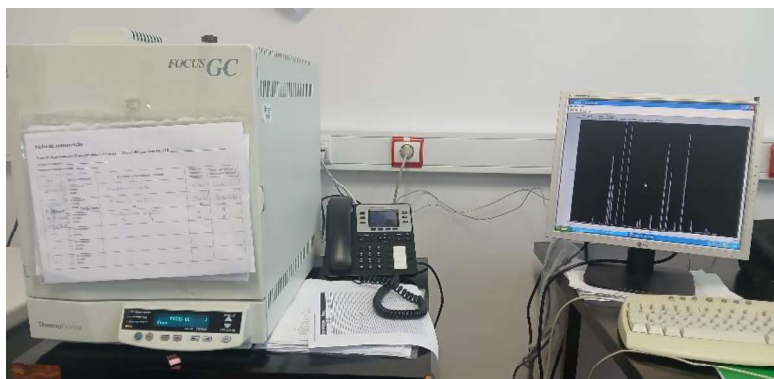
### **3.3. Determinação da composição volátil por cromatografia gasosa**

#### **3.3.1. Compostos voláteis maioritários**

O acetato de etilo, etanal, metanol e álcoois superiores são compostos voláteis também designados por maioritários, por existirem em teores que permitem a sua análise direta. A quantificação dos compostos voláteis (metanol, acetaldeído, acetato de etilo e álcoois superiores: 2-butanol, propanol, 2-metil-1-propanol, 1-butanol e 2+3 metil-1-butanol) foi realizada por cromatografia de gases com detetor de ionização de chama (GC-FID), Figura 6. Para a preparação das amostras, procedeu-se à mistura de 10 mL do destilado com 1 mL de padrão interno (4-metil-2-pentanol), sendo a solução obtida submetida a análise cromatográfica.

A análise por GC-FID foi conduzida nas seguintes condições: cromatógrafo Focus GC (Thermo Finnigan, Milão, Itália), equipado com detetor de ionização por chama (FID) a 250 °C, e com uma coluna capilar de sílica fundida revestida com polietilenoglicol (DB-WAX, JW Scientific, Folsom, CA, EUA), com 60 metros de comprimento, 0,32 mm de diâmetro interno e 0,25 µm de espessura de película. Utilizou-se hidrogénio como gás de arraste, com um caudal de 3,40 mL/min. As amostras foram injetadas (~1 µL) no injetor, mantido a 200 °C, em modo split, com uma razão de divisão de 1:6. O programa de aquecimento do forno iniciou-se a 35 °C (mantido durante 8 minutos), sendo posteriormente aumentado à razão de 10 °C por minuto até atingir os 200 °C.

A concentração de cada composto foi determinada por comparação com o padrão interno, utilizando os fatores de resposta obtidos previamente durante a calibração com soluções padrão. Os resultados das concentrações foram expressos em miligramas por litro (mg/L) ou em gramas por hectolitro de álcool puro (g/hL A.P.), com base nos dados do título alcoométrico, para efeitos de verificação dos requisitos regulamentares aplicáveis.



**Figura 6:** Cromatografia de gases com detetor de ionização por chama (GC-FID) utilizada para a quantificação dos compostos voláteis maioritários.

A identificação dos compostos foi realizada por GC-MS tendo-se realizado a injeções diretas das amostras, utilizando as condições de trabalho descritas no ponto 3.3.3.

### 3.3.2. Compostos voláteis minoritários

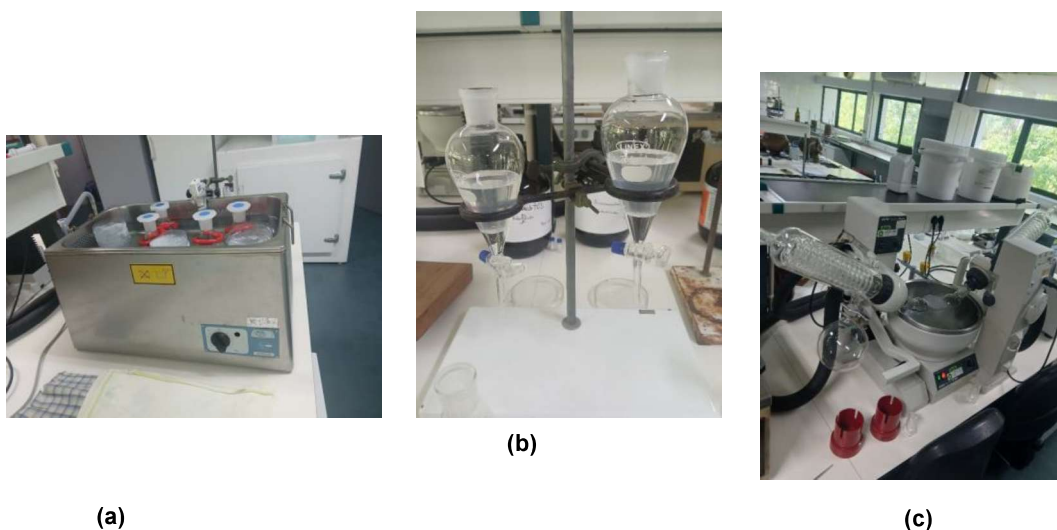
#### 3.3.2.1 Extração prévia dos compostos voláteis

Para a análise dos compostos voláteis, seguiu-se o método validado por (Caldeira et al., 2004) com as modificações introduzidas por (Caldeira et al., 2010). As amostras de aguardente foram diluídas até uma concentração de 20% (v/v) com água ultrapura. A cada 100 mL de aguardente diluída adicionaram-se 1,6 mL do padrão interno 5-metil-2-hexanol, 0,5 mL de 3,4-dimetilfenol, 30 mL de diclorometano, sendo a mistura colocada num banho de ultrassons durante 10 minutos, à temperatura de 20 °C (Figura 7a). Após este período, a mistura foi separada em ampola de decantação durante 5 minutos e, de seguida, a fase orgânica foi recolhida para um balão volumétrico de 100 mL (Figura 7b). Para a segunda extração, adicionaram-se mais 10 mL de diclorometano à amostra, repetindo-se o processo de banho de ultrassons (10 min, 20 °C). Seguiu-se nova decantação durante 5 min e a fase orgânica obtida foi adicionada ao balão contendo o extrato da primeira extração. A terceira extração foi realizada de forma idêntica à segunda.

Para a desidratação das fases orgânicas recolhidas, foi adicionado sulfato de sódio anidro, durante 5 min. As amostras foram posteriormente filtradas com lã de vidro durante igual período.

As fases orgânicas obtidas foram concentradas num evaporador rotativo (Figura 7c), a 42,5 °C, até se atingir um volume aproximado de 0,25 mL, obtendo-se assim os extratos de compostos voláteis. Estes extratos foram armazenados a -20 °C até à sua análise, que foi realizada por cromatografia de gases acoplada a um detetor de ionização de chama (GC-FID) para quantificação, e por cromatografia de gases acoplada a um espectrómetro de massas (GC-MS) para a identificação dos compostos voláteis.

Cada amostra foi extraída em duplicado.



**Figura 7:** Etapas da extração e concentração dos compostos voláteis: (a) Banho de ultrassons; (b) Separação em ampola de decantação; (c) Evaporador Rotativo

### 3.3.2.2 Análise de compostos minoritários por GC-FID

Os extratos obtidos em duplicado para cada amostra foram analisados por GC-FID, de acordo com as condições cromatográficas descritas por Granja-Soares et al. (2020), utilizando o cromatógrafo *Agilent Technologies 6890N Network GC System* (versão N.04.08, DE, EUA) (Figura 8). Este equipamento estava equipado com detetor de ionização de chama (FID) e com uma coluna capilar de polietilenoglicol fundida em sílica (HP-INNOWAX :19091N-113, Agilent J&W GC Columns, 30 m de comprimento, diâmetro 0,32 mm e 0,25  $\mu\text{m}$  de espessura), que operou com as seguintes condições de trabalho: injetor e detetor: 260  $^{\circ}\text{C}$ ; gás de arraste: hidrogénio (2,4 mL/min e razão de divisão 1:25); programa de temperatura do forno: 3,5  $^{\circ}\text{C min}^{-1}$  de 35  $^{\circ}\text{C}$  (6 min isotérmica) até 55  $^{\circ}\text{C}$ , 7,5  $^{\circ}\text{C min}^{-1}$  até 130  $^{\circ}\text{C}$ , 5  $^{\circ}\text{C min}^{-1}$  até 210  $^{\circ}\text{C}$  e mantida essa temperatura por 30min. O volume injetado foi aproximadamente 0,5  $\mu\text{L}$ .

Aplicou-se o método semi-quantitativo e os resultados serão expressos em mg/L de padrão interno (5-metil-2-hexanol ou 3,4-dimetilfenol).

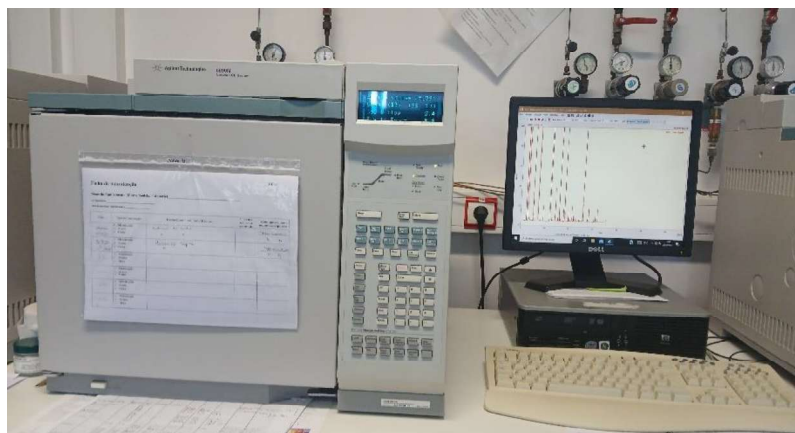


Figura 8: Cromatografia de gases (GC-FID) utilizada para a quantificação dos compostos voláteis minoritários.

### 3.3.3 Análise por Cromatografia de Gases acoplada a Espectrometria de Massa (GC-MS)

A análise dos compostos foi realizada por cromatografia de gases acoplada a espectrometria de massa (GC-MS), utilizando um cromatógrafo (TRACE 1600, Thermo Scientific) acoplado a um espectrómetro de massas (ISQ 7610, Thermo Scientific) (figura 9), com injetor automático (Thermo Scientific AI/AS 1610) e com uma coluna capilar de sílica fundida em polietilenoglicol (TG-WAXMS, USA, 30 m 0,25 mm, 0,25  $\mu\text{m}$  de espessura). As condições de trabalho foram as seguintes: 250  $^{\circ}\text{C}$  no injetor e na linha de transferência, utilizando o hélio como gás de arraste com o fluxo de 1 mL/min, programa de temperatura do forno: 3,5  $^{\circ}\text{C min}^{-1}$  de 35  $^{\circ}\text{C}$  (6min isotérmica) até 55 $^{\circ}\text{C}$ , 7,5  $^{\circ}\text{C min}^{-1}$  até 130  $^{\circ}\text{C}$ , 5 $^{\circ}\text{C min}^{-1}$  até 210  $^{\circ}\text{C}$  e mantida essa temperatura por 30min. O volume injetado foi cerca de 0,4  $\mu\text{L}$ . O espectrómetro de massa funcionou no modo de impacto de eletrões a 70 eletrão Volts (eV), com aquisição em modo de varrimento total numa gama m/z 20-350.

Através da comparação dos tempos de retenção e dos espectros de massa obtidos com os dos compostos padrão puros, sempre que possível, procedeu-se à identificação dos compostos voláteis. Todos os espectros de massa obtidos foram confrontados com os das bibliotecas NIST e WILEY do sistema de dados.



Figura 9: Comatógrafo de gases acoplado a espectrómetro de massa (Thermoscientific, TRACE 1600-ISQ7610)

### 3.4. Espectroscopia Vibracional

#### 3.4.1. NIR

Os espectros NIR foram obtidos de acordo com a metodologia proposta em Anjos et al. (2020a), usando uma luz de transmissão numa célula de quartzo com 1 mm, de espaço ótico, a uma temperatura de 25 °C durante 2 minutos no instrumento da marca MPA Bruker. As amostras foram medidas com uma resolução espectral de 8 cm<sup>-1</sup> e 32 varreduras num intervalo de 12 500 a 4000 cm<sup>-1</sup>. Foi usado o ar como linha de base. Realizaram-se cinco medições por amostras. A recolha dos espectros foi efetuada em sala climatizada a uma temperatura constante de 22 °C.

#### 3.4.2. FTIR-ATR

Os espectros FTIR-ATR foram obtidos de acordo com a metodologia proposta em (Anjos et al., 2020c e Yadav & Sharma, 2019). Utilizando um espectrómetro Bruker (Alpha, Bruker Optic GmbH, Ettlingen, Alemanha) com cristal de diamante. Para cada amostra, foram recolhidos quatro espectros, com 128 varreduras por espectro, a uma resolução espectral de 8 cm<sup>-1</sup>, na gama de 4000 a 400 cm<sup>-1</sup>. O equipamento FTIR-ATR estava equipado com uma célula de fluxo contínuo com controlo de temperatura. A limpeza da célula foi realizada através da injeção de água na célula de fluxo, e a medição da linha de base foi efetuada com água destilada. A recolha dos espectros foi efetuada em sala climatizada a uma temperatura constante de 22 °C.

#### 3.4.3. FT-RAMAN

Os espectros FT-RAMAN foram obtidos de acordo com a metodologia descrita em Anjos et al. (2020b), utilizando uma lente coletora de alto rendimento de 180°, um detetor de germânio (Ge) tipo díodo de alta sensibilidade, refrigerado a azoto líquido, um detetor integrado de 1064 nm e um laser Nd:YAG com uma potência

de saída de 500 mW. Os espectros foram recolhidos com uma resolução de 8  $\text{cm}^{-1}$ , utilizando 100 varrimentos, num intervalo de 3500 a 70  $\text{cm}^{-1}$ . Realizaram-se seis medições por amostra, numa célula de quartzo com 5 mm de espaço ótico e face oposta espelhada. A recolha dos espectros foi efetuada em sala climatizada a uma temperatura constante de 22 °C, para cada amostra foram recolhidos 6 espectros.

### 3.5. Análise Sensorial

Para a avaliação sensorial das amostras de aguardente, recorreu-se à técnica *Sorting*, que consiste na classificação de produtos através de grupos, baseando-se nas diferenças ou nas semelhanças da amostra em análise (Llobell & Cariou, 2024). Todas as amostras são apresentadas em simultâneo aos provadores, os quais tem liberdade para formar o número de grupos que considerem adequado (Capitani, 2023; Liu et al., 2016). Esta técnica apresenta diversas vantagens, como o reduzido tempo necessário para a sua execução (Liu et al., 2016) e a possibilidade de avaliação de um número elevado de amostras numa única sessão. No entanto, entre as suas limitações destaca-se o risco de fadiga sensorial devido ao elevado número de amostras, pelo que se recomenda um máximo de 12 amostras por sessão (Capitani, 2023).

A análise sensorial no âmbito deste estudo foi realizada nas instalações do INIAV – Dois Portos. A prova teve lugar na sala de análise sensorial do INIAV, a qual dispõe de cabines individuais equipadas com torneiras de água e iluminação artificial (Figura 10). As amostras foram avaliadas à temperatura ambiente (aproximadamente 20 °C), em copos normalizados para prova de vinhos (ISO 3591).

As amostras foram apresentadas numa ordem balanceada (Macfie et al., 1989) a 8 provadores com experiência na avaliação sensorial de bebidas destiladas (aguardentes vínicas com e sem envelhecimento, aguardentes bagaceiras, aguardentes de medronho e aguardentes de mel). Cada provador recebeu nove copos, correspondentes às nove amostras de aguardentes de cana-de-açúcar.

Na primeira fase, foi solicitado aos provadores que agrupassem as amostras com base nas semelhanças de aroma, avaliado exclusivamente pela via ortonasal. Cada provador tinha liberdade para formar o número de grupos que considerassem adequado, podendo variar entre 1 (caso considerassem todas as amostras iguais) e 9 (se as considerassem todas diferentes). Após concluírem esta tarefa de agrupamento, foi-lhes pedido que realizassem uma classificação semelhante, desta vez com base no sabor, considerando as sensações percecionadas na boca e no nariz (pela via retronasal).

A sessão de prova decorreu por volta das 11 horas, com o intuito de minimizar os efeitos da saciedade ou da eventual diminuição da acuidade sensorial dos provadores.



Figura 10: Sala de prova do Polo de Inovação de Dois Portos - INIAV

### 3.6. Análise Estatística

A análise de variância (ANOVA) foi realizada para os parâmetros químicos avaliados. Foi utilizado o teste de Fisher (LSD) a 95% de confiança para o teste de comparação de médias. Nos resultados, uma letra igual (a) é atribuída a valores médios que não são estatisticamente diferentes para as diferentes modalidades. De modo a perceber como se posicionam as diferentes aguardentes em relação aos parâmetros analíticos realizados, foi efetuada uma análise de componentes principais (PCA).

Todos os cálculos foram realizados utilizando o programa Statistica®, versão 7.0 - Statsoft Inc.

Com a informação espectral foi realizada uma PCA através dos programas Unscrambler® X, versão: 10.5.46461.632 (CAMO Software AS, Oslo, Noruega) e OPUS®, versão: 7.5.18 (Bruker Optik, Alemanha).

Para a análise estatística dos resultados sensoriais das aguardentes de cana-de-açúcar (grogue de Cabo Verde e Rums) realizou-se uma Análise de Correspondência (AC) à matriz de coocorrências, conforme proposto por Valentin et al. (2016). Para cada provador, os resultados das tarefas de classificação foram organizados em matrizes de distâncias, nas quais as linhas e colunas correspondiam às diferentes amostras avaliadas. Em cada matriz individual, um valor de 0 indicava que as duas amostras pertenciam ao mesmo grupo, e um valor de 1 indicava que pertenciam a grupos distintos. As matrizes individuais foram depois somadas, originando uma matriz de co-ocorrências que representava a semelhança global entre as amostras.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos na caracterização físico-química e dos compostos voláteis foram submetidos à análise de variância (ANOVA), com o objectivo de avaliar a influência do factor em estudo (amostra de aguardente) e verificar a existência de eventuais diferenças significativas entre os resultados das determinações analíticas nas diferentes amostras. Para as variáveis em que se detectou influência significativa do factor amostra, procedeu-se à realização do teste de comparação de médias, conforme descrito na secção de Materiais e Métodos.

### 4.1. Caracterização físico-química das amostras

Neste subcapítulo, serão analisados os parâmetros físico-químicos das amostras.

Na Tabela 4, estão apresentados os valores de pH, acidez total e teor alcoólico volúmico, assim como as concentrações de acetaldeído, acetato de etilo e metanol.

**Tabela 4:** Valores médios e desvio padrão relativo ao parâmetro físico-químico e concentrações de acetaldeído, acetato de etilo e metanol das amostras analisadas.

	pH	AT (g/L)	TAV (%v/v)	Acetaldeído (mg/L)	Acetato de Etilo (mg/L)	Metanol
<b>G1</b>	3,97±0,00 <sup>e</sup>	0,77±0,02 <sup>g</sup>	42,70	40,05±11,65 <sup>cd</sup>	331,69±6,89 <sup>g</sup>	n.d.
<b>G2</b>	4,05±0,01 <sup>f</sup>	0,62±0,02 <sup>f</sup>	44,90	45,85±5,83 <sup>h</sup>	297,92±10,50 <sup>e</sup>	n.d.
<b>G3</b>	4,07±0,01 <sup>g</sup>	0,56±0,00 <sup>e</sup>	42,30	41,77±0,05 <sup>de</sup>	266,45±0,61 <sup>d</sup>	n.d.
<b>G4</b>	3,76±0,00 <sup>b</sup>	1,11±0,01 <sup>i</sup>	37,20	45,64±0,26 <sup>g</sup>	355,50±0,799 <sup>h</sup>	n.d.
<b>G5</b>	3,83±0,00 <sup>c</sup>	0,79±0,02 <sup>h</sup>	45,00	24,69±0,59 <sup>b</sup>	631,26±2,14 <sup>i</sup>	n.d.
<b>G6</b>	3,86±0,00 <sup>d</sup>	0,54±0,00 <sup>d</sup>	43,10	32,48±3,82 <sup>bc</sup>	313,63±13,97 <sup>f</sup>	n.d.
<b>R1</b>	8,54±0,01 <sup>i</sup>	0,02±0,00 <sup>a</sup>	39,70	3,11±4,39 <sup>a</sup>	6,12±0,034 <sup>a</sup>	n.d.
<b>R2</b>	4,28±0,01 <sup>h</sup>	0,08±0,00 <sup>b</sup>	34,49	45,03±5,27 <sup>f</sup>	40,81±0,16 <sup>b</sup>	n.d.
<b>R3</b>	3,59±0,01 <sup>a</sup>	0,17±0,00 <sup>c</sup>	49,97	45,03±5,27 <sup>f</sup>	115,00±0,13 <sup>c</sup>	n.d.

AT - acidez total; TAV - teor alcoólico volúmico; Letras iguais na mesma coluna indicam que não há diferença significativa para um nível de significância de  $p < 0,05$ ; n.d.- não detectado

A determinação do TAV nas amostras de aguardente de cana-de-açúcar revelou valores entre 34,49% e 49,97% (v/v).

Note-se que as amostras de grogue de Cabo Verde (G1, G2, G3, G4, G5 e G6) apresentam um título alcoométrico acima do valor mínimo de 38% vol., exigido pela regulamentação específica para aguardente de cana-de-açúcar de Cabo Verde (Decreto-Lei n.º 11/2015). Observa-se também que, nas amostras

de rum (R1 e R3), os valores de TAV encontrados estão acima do valor mínimo de 37,5% vol., tal como exigido pelo Regulamento (UE) n.º 787/2019, enquanto que, na amostra R2, o valor de TAV foi inferior ao estabelecido pelo mesmo regulamento.

Com base nos valores apresentados na Tabela 4, observou-se variação no pH das amostras analisadas, evidenciando diferenças estatisticamente significativas entre elas. A amostra R3 apresentou o pH mais baixo (3,59), enquanto a amostra R1 exibiu o pH mais elevado (8,54).

Segundo a literatura, o pH ideal para a aguardente de cana-de-açúcar situa-se no intervalo de 3,5 a 4,0 (Ramos, 2015 e Pereira, 2011). Os resultados obtidos neste estudo (com exceção da amostra R1), estão em conformidade com os valores encontrados pelos referidos autores.

Conforme referem Leite et al. (2017), a manutenção do pH na faixa entre 3,5 e 4,0 favorece a formação de compostos voláteis agradáveis, como a maioria dos ésteres, responsáveis por aromas frutados e doces, equilibrando o perfil sensorial da aguardente.

Verifica-se que os valores de acidez total variam entre 0,02 g/L e 1,11 g/L, observando-se diferenças significativas entre as amostras analisadas (Tabela 4).

Segundo os dados apresentados no Anexo 1, as amostras de aguardente de Cabo Verde (G1 a G6) apresentam uma acidez total inferior ao limite máximo de 150 g/hL AP, conforme estabelecido pelo Decreto-Lei n.º 11/2015, que regula a produção de aguardente de cana-de-açúcar no país.

No que respeita às amostras R1, R2 e R3, estas apresentam igualmente valores muito abaixo dos 150 g/hL AP, embora o regulamento europeu em vigor (Regulamento (UE) 2019/787) não estabeleça qualquer limite à acidez total.

De acordo com Lima et al. (2022), o aumento da acidez na aguardente de cana-de-açúcar pode estar relacionado com a contaminação da matéria-prima ou do mosto por bactérias acéticas, o que leva ao consumo do etanol produzido pelas leveduras e à sua conversão em ácido acético.

De acordo com Cardoso *et al.* (2003) e Lima et al. (2022), pequenas quantidades de ácidos na aguardente de cana são benéficas para a sua qualidade global, pois reagem com os álcoois, formando ésteres que são responsáveis pela criação do aroma característico das bebidas destiladas.

## **4.2. Compostos voláteis maioritários**

### **4.2.1. Acetaldeído, acetato de etilo e metanol**

Os aldeídos são de grande importância na composição das aguardentes, sendo, os principais o acetaldeído, furfural e hidroximetilfurfural, os quais apresentam odores penetrantes geralmente enjoativos quando estão em altas concentrações (Silva et al., 2020a).

O acetaldeído quando presente em baixa concentração contribui para um aroma frutado (Lima et al. 2022).

A concentração de acetaldeído nas amostras varia entre 3,11 e 45,85 mg/L, sendo que, as amostras de aguardente de Cabo Verde variam entre 24,69 a 45,85 mg/L. Estes valores são ligeiramente superiores aos encontrados por Pereira (2011), que analisou 20 amostras de aguardente provenientes de diferentes pontos de Cabo Verde, tendo observado concentração de acetaldeído entre 4,71 e 42,02 mg/L.

As amostras de grogue G2, G4 e G5 apresentam diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) na concentração de acetaldeído (Tabela 4).

Na Tabela 1 do Anexo A, é importante realçar que as amostras de aguardente de Cabo Verde (G1, G2, G3, G4 e G6) mantiveram-se dentro do limite máximo de acetaldeído de 30 g/hL A.P. estabelecido na legislação cabo-verdiana relativa à aguardente de cana-de-açúcar.

De acordo com Corbion et al. (2023), o acetaldeído deriva da descarboxilação do piruvato ou da oxidação do etanol. Para limitar a sua formação, o arejamento deve ser evitado no final da fermentação e a destilação deve ocorrer o mais rapidamente possível. Este composto intermediário da fermentação alcoólica tem um ponto de ebulição inferior ao do etanol e acumula-se na fração da cabeça durante a destilação (Zanghelini et al., 2024).

Os ésteres correspondem à maioria dos compostos aromáticos das bebidas alcoólicas. A sua produção está associada ao metabolismo lipídico da levedura (alcoólise dos compostos acil-CoA) ou, em menor grau, à reação de esterificação entre ácidos gordos e álcoois (Lima et al., 2022), sendo o acetato de etilo, em termos quantitativos, o composto que existe em teor mais elevados destilados (Aguiar et al., 2021).

Observa-se que a concentração de acetato de etilo varia entre 266,45 e 631,26 mg/L para grogue de Cabo Verde, e entre 6,12 e 115 mg/L para as amostras rum de diferentes origens (Tabela 4), observando-se diferenças significativas entre os valores de concentração das amostras.

Na Tabela 1 do Anexo A, pode verificar-se que os valores de concentração de acetato de etilo encontrados para amostras de rum variam entre 1,54 e 23,01 g/hL A.P., sendo inferiores aos valores encontrados por Gonçalves et al. (2016), que variam entre 37,8 e 38,9 g/hL A.P. Ainda na Tabela 1 do Anexo A, confirma-se que os valores de concentração de acetato de etilo para amostras de grogue de Cabo Verde estão dentro do limite máximo legislado (200 g/hL A.P.).

O metanol apesar de não afetar diretamente o sabor do destilado, é sujeito a controlo devido ao seu elevado nível de toxicidade. A ingestão deste álcool, mesmo em quantidades reduzidas e por longos períodos, pode causar cegueira ou mesmo morte (Aguiar et al., 2021; Leite et al., 2017). Durante a fermentação, a sua origem está associada à degradação de substâncias pécticas presentes

naturalmente nas plantas e nos frutos, por ação de enzimas também naturais (Lea, 1995).

Relativamente ao metanol pode constatar-se, na Tabela 4, que não se detectou a sua presença nas amostras analisadas. Este resultado está em concordância com os obtidos por Pereira (2011).

#### 4.2.1. Álcoois Superiores

Na Tabela 5 estão representados os resultados da análise dos álcoois superiores identificados e quantificados por GC-FID, bem como resultado do teste de comparação de médias e desvio padrão.

**Tabela 5:** Teores (mg/L) dos compostos voláteis maioritários (álcoois superiores) das amostras (média  $\pm$  desvio padrão).

	2-butanol	Propanol	2-metil-1-propanol	2-propeno-1-ol	1-butanol	2+3-metil-1-butanol
<b>G1</b>	n.d.	273,79 $\pm$ 0,05 <sup>e</sup>	167,44 $\pm$ 0,14 <sup>d</sup>	n.d.	4,33 $\pm$ 0,014 <sup>d</sup>	442,26 $\pm$ 0,67 <sup>d</sup>
<b>G2</b>	n.d.	246,01 $\pm$ 3,27 <sup>d</sup>	195,59 $\pm$ 9,30 <sup>f</sup>	n.d.	2,50 $\pm$ 1,49 <sup>bc</sup>	612,29 $\pm$ 4,88 <sup>b</sup>
<b>G3</b>	n.d.	257,05 $\pm$ 0,06 <sup>d</sup>	153,47 $\pm$ 0,43 <sup>c</sup>	n.d.	2,01 $\pm$ 0,81 <sup>bc</sup>	534,20 $\pm$ 1,40 <sup>f</sup>
<b>G4</b>	n.d.	323,80 $\pm$ 0,11 <sup>f</sup>	178,24 $\pm$ 0,01 <sup>e</sup>	n.d.	2,94 $\pm$ 0,014 <sup>cd</sup>	223,91 $\pm$ 0,76 <sup>b</sup>
<b>G5</b>	n.d.	130,93 $\pm$ 0,65 <sup>c</sup>	102,47 $\pm$ 0,40 <sup>b</sup>	n.d.	1,35 $\pm$ 0,64 <sup>ab</sup>	272,16 $\pm$ 0,29 <sup>c</sup>
<b>G6</b>	n.d.	110,52 $\pm$ 4,64 <sup>b</sup>	175,90 $\pm$ 6,77 <sup>de</sup>	0,93 $\pm$ 0,11 <sup>b</sup>	1,47 $\pm$ 0,04 <sup>ab</sup>	510,0 $\pm$ 17,4 <sup>e</sup>
<b>R1</b>	n.d.	106,9 $\pm$ 16,5 <sup>b</sup>	5,34 $\pm$ 0,09 <sup>a</sup>	n.d.	0,80 $\pm$ 1,13 <sup>a</sup>	7,14 $\pm$ 0,71 <sup>a</sup>
<b>R2</b>	n.d.	4,58 $\pm$ 2,23 <sup>a</sup>	1,32 $\pm$ 0,06 <sup>a</sup>	n.d.	n.d.	5,93 $\pm$ 0,01 <sup>a</sup>
<b>R3</b>	4,16 $\pm$ 0,11	723,07 $\pm$ 1,77 <sup>g</sup>	244,89 $\pm$ 1,07 <sup>g</sup>	0,34 $\pm$ 0,24 <sup>a</sup>	3,51 $\pm$ 0,09 <sup>cd</sup>	595,61 $\pm$ 2,26 <sup>g</sup>

Letras iguais na mesma coluna indicam que não há diferença significativa para um nível de significância de  $p < 0,05$  entre as diferentes amostras; n.d.-não detectado

Os álcoois superiores constituem, quantitativamente, o maior grupo de compostos voláteis responsáveis pelo aroma em destilados, estando positivamente envolvidos no perfil sensorial da bebida, desde que não se apresentem em concentrações demasiado elevadas (Christoph & Bauer-Christoph, 2007). Os álcoois superiores considerados como principais responsáveis pelo aroma dos destilados são o propanol, o 2-metil-1-propanol, o 2-butanol e o 2+3-metil-1-butanol.

A concentração de propanol apresenta valores entre 4 e 723,07 mg/L, verificando-se que nas amostras de grogue de Cabo verde os valores variam entre 110 a 323,8 mg/L (Tabela 5). Dentre as amostras analisadas a amostra R3 foi a que apresentou o valor mais alto, sendo superior aos valores sumarizados por Bortoletto (2023), que apresenta um intervalo de valores de 7,5 a 420 mg/L.

Os álcoois isoamílicos (2-metil-1-butanol e 3-metil-1-butanol) e isobutanol, são álcoois superiores presentes em teores mais elevados. O teor de álcoois

isoamílicos está relacionado com a assimilação de azoto pelas leveduras (Balcerek et al., 2017).

Os resultados da análise estatística mostraram diferença significativas no teor de 2-metil-1-propanol das amostras, sendo a amostra G2, a amostra de grogue que apresenta o teor significativamente mais elevado.

Na Tabela 5, observa-se ainda que as concentrações de 1-butanol e 2-butanol são significativamente inferiores comparativamente aos outros álcoois (propanol, 2+3-metil-1-butanol e 2-metil-1-propanol), resultado que está de acordo com os dados sumarizados por Bortoletto (2023), onde os valores apresentados são inferiores a 10 mg/L. Este resultado pode ser justificado pelo facto de não ter ocorrido desenvolvimento bacteriano nas matérias-primas utilizadas na produção da bebida, conforme referido por Bortoletto (2023).

Somando todos os álcoois superiores (consultar a Tabela 1 do Anexo B), pode constatar-se que as amostras de aguardente tradicional (G1, G2 e G3) apresentaram teores médios superiores às amostras de aguardente industrial (G4, G5 e G6). Este aumento pode ser explicado por comportamentos individuais de cada produtor artesanal, dado que os álcoois superiores resultam do metabolismo de aminoácidos e proteínas presentes no mosto, ou como produtos secundários do metabolismo dos hidratos de carbono. Assim, o tipo de leveduras utilizado pode reduzir os aldeídos a álcoois superiores, aumentando a sua presença durante a fermentação (Balcerek et al., 2017; Gonçalves et al., 2016; Lima et al., 2022).

Na Tabela 1 do Anexo B, verifica-se que os valores das amostras de aguardente de Cabo Verde estão dentro dos limites máximos permitido pela legislação cabo-verdiana (Decreto Lei n1/2025), que é de 360 g/hL A.P. para a soma dos álcoois isobutílico (2-metil-1-propanol), isoamílicos e n-propílico (1-propanol), é de 3 g/hL A.P para o 1-butanol. O Regulamento (UE) 2019/787 estabelece o limite mínimo de álcoois superiores na aguardente em 225 g/hL A.P para poder usar a menção tradicional. Neste contexto, verifica-se que a amostra R2 não cumpre esse limite estabelecido no referido regulamento.

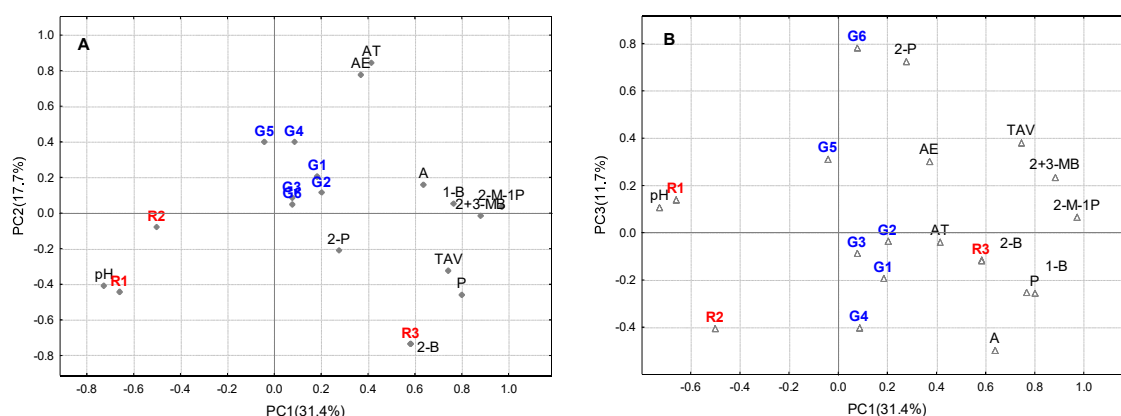
Na Figura 11 são apresentados os resultados da Análise de Componentes Principais (PCA) das amostras de aguardente de cana-de-açúcar (grogues e rums), analisadas neste estudo em relação aos parâmetros físico-químicos (pH, acidez total e teor alcoólico volúmico) e compostos voláteis maioritários (acetaldeído, acetato de etilo e álcoois superiores). Importa frisar que o metanol não foi incluído na PCA, dado que, não foi detectado em todas as amostras.

Na Figura 11a, que representa o plano formado pelo primeiro componente principal (PC1) versus o segundo componente principal (PC2), os quais explicam respectivamente 31,4% e 17,7%. A projecção das amostras nesse plano evidencia uma separação nítida das amostras de Grogue em relação as amostras de rum, verificando-se que estas se separam ao longo do componente

1, com a amostra R3 claramente separada das amostras R1 e R2. Estas últimas amostras aparecem associadas às baixas concentrações 1-butanol, 2+3-metil-1-butanol e 2-metil-1-propanol.

O propanol, o acetaldeído, o teor alcoólico volúmico e o 2+3-metil-1-butanol são variáveis com bastante contributo para o PC1. A amostra R3 aparece associada a um maior teor alcoólico e maior concentração dos compostos voláteis maioritários, enquanto as outras amostras de rums apresentaram pH mais elevado, por isso as amostras R1 e R2 posicionaram no lado negativo do gráfico.

Ao analisar a Figura 11b, que representa o plano formado pelo primeiro componente principal (PC1) versus o terceiro componente principal (PC3), o qual explica 11,7%. A distribuição das amostras neste plano evidencia a separação da amostra G6 em relação às outras amostras de aguardente de Cabo Verde, a qual aparece associada ao maior teor da variável 2-propeno-1-ol.



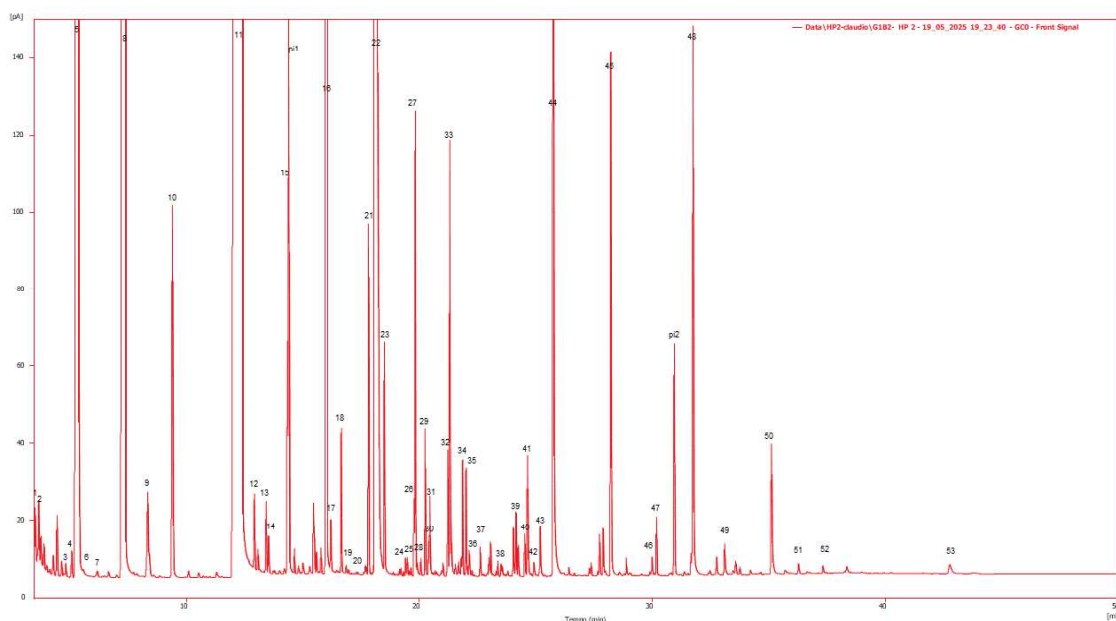
**Figura 11:** Análise do componente principal para parâmetro físico-químico e compostos voláteis maioritários em aguardente de cana-de-açúcar (grogue e rum): A- PC1 vs PC2 e B- PC1 vs PC3; A-acetaldeídos; AE- acetato de etilo; 2-B- 2-butanol; P-propanol; 2-M1P- 2-metil-1-propanol; 2-P- 2-propeno-1-ol; 1-B- 1-butanol; 2+3-MB-2+3-metil-1-butanol; AT-acidez total; TAV- teor alcoólico volúmico.

### 4.3. Compostos voláteis minoritários

A análise cromatográfica (GC-FID e GC-MS) permitiu identificar nos extractos de compostos voláteis das aguardentes vários compostos, nomeadamente 54 compostos (Figura 12), tendo sido quantificados apenas 46 (Tabela 6), dado que alguns deles já tinham sido doseados em análises anteriores e dois destes compostos apresentaram-se co-eluídos nas condições de trabalho utilizadas. Os compostos analisados (Tabela 6) pertencem a diferentes famílias químicas, incluindo 11 álcoois, 8 ácidos, 13 ésteres, 2 cetonas, 4 terpenos, 3 aldeídos e 5 fenóis. A maioria destes compostos é resultante do metabolismo das leveduras, durante o processo de fermentação.

A Figura 12 mostra um cromatograma da amostra da aguardente de cana-de-açúcar que é representativa de todas as amostras, uma vez que, em geral,

todas as variedades apresentaram um perfil cromatográfico semelhante, diferindo apenas na quantidade de cada composto.



**Figura 12:** Cromatograma do extrato de aguardente de cana-de-açúcar: **Listagem:** 1-Isobutirato de etilo; 2-Diacetil (2,3-Butanedione); 3-2-Butanol\*; 4-Butanoato de etilo; 5-1-Propanol\*; 6-2-Metilbutanoato de etilo; 7-Isovalerato de etilo (3-metilbutanoato de etilo); 8-Isobutanol (2-metil-1-propanol)\*; 9-Acetato de isoamilo; 10-1-Butanol\*; 11-2-metil-1-butanol+3-metil-1-butanol (álcoois isoamílicos)\*; 12-Hexanoato de etilo; 13-3-Metil-3-buteno-1ol; 14-1-Pentanol; 15-Acetoína (2-Hidroxi-3-butanona); pi1-5-metil-2-hexanol (padrão interno); 16-Lactato de etilo; 17-1-Hexanol; 18-3-Etoxi-1-propanol; 19-cis-3-Hexenol; 20-trans-2-Hexenol; 21-Octanoato de etilo; 22-Ácido acético<sup>†</sup>; 23-Furfural (2-Furanocarboxaldeído); 24-3-Hidroxi-3-butanona; 25-Benzaldeído; 26-Ácido propanoico; 27-levo 2,3-Butanodiol; 28-Linalol; 29-Ácido isobutanóico; 30-5-Metilfurfural; 31-meso 2,3-Butanodiol; 32-Butirolactona+Ácido butanóico; 33-Decanoato de etilo; 34-Ácido isovalérico (Ácido 3-metilbutanoico); 35-Succinato de dietilo; 36-Terpenol; 37-Metionol; 38-Citronelol; 39-Acetato de 2-feniletilo; 40-Dodecanoato de etilo; 41-Ácido hexanóico; 42-Guaiacol; 43-Álcool benzílico; 44-2-Feniletanol; 45-Ácido octanóico; 46-Eugenol; 47-4-Etilfenol; pi2-3,4-Dimetilfenol (padrão interno); 48-Ácido decanóico; 49-Farnesol; 50-Ácido dodecanóico; 51-Vanilina; 52-Vanilato de etilo; 53-Ácido hexadecanóico

É importante frisar que os compostos assinalados com asterisco correspondem aos que foram quantificados pela análise directa do destilado, por cromatografia de gases e no caso do ácido acético não se procedeu a sua quantificação por este método, dado que ele é o ácido maioritário da acidez total das aguardentes.

Tabela 6: Valores médios e desvio padrão dos compostos voláteis minoritários (organizados por famílias) das amostras de aguardente de cana-de-açúcar.

Composto	Amostras									
	G1	G2	G3	G4	G5	G6	R1	R2	R3	
<b>Álcoois</b>										
1-pentanol	0,19±0,01 <sup>d</sup>	0,30±0,00 <sup>f</sup>	0,06±0,01 <sup>b</sup>	0,07±0,01 <sup>b</sup>	0,07±0,00 <sup>b</sup>	0,24±0,00 <sup>e</sup>	n.d.	0,12±0,00 <sup>a</sup>	0,59±0,01 <sup>g</sup>	
1-hexanol	0,29±0,02 <sup>d</sup>	0,36±0,02 <sup>e</sup>	0,22±0,01 <sup>b</sup>	0,28±0,02 <sup>d</sup>	0,25±0,02 <sup>bc</sup>	0,36±0,03 <sup>f</sup>	0,02±0,00 <sup>a</sup>	0,01±0,00 <sup>a</sup>	1,08±0,02 <sup>g</sup>	
cis-3-hexenol	0,03±0,00 <sup>b</sup>	0,04±0,01 <sup>bc</sup>	0,01±0,0 <sup>a</sup>	0,02±0,01 <sup>b</sup>	0,01±0,01 <sup>a</sup>	0,05±0,0 <sup>c</sup>	n.d.	n.d.	0,14±0,0 <sup>d</sup>	
trans-2-hexenol	0,01±0,0 <sup>a</sup>	0,01±0,0 <sup>a</sup>	n.d.	n.d.	n.d.	0,01±0,0	n.d.	n.d.	n.d.	
álcool benzílico	0,21±0,02 <sup>d</sup>	0,17±0,01 <sup>c</sup>	0,13±0,01 <sup>b</sup>	0,03±0,00 <sup>a</sup>	0,03±0,00 <sup>a</sup>	0,28±0,01 <sup>e</sup>	n.d.	n.d.	0,15±0,01 <sup>c</sup>	
3-metil-3-buteno-1-ol	0,36±0,01 <sup>e</sup>	0,29±0,00 <sup>d</sup>	0,22±0,01 <sup>c</sup>	0,07±0,01 <sup>b</sup>	0,28±0,00 <sup>d</sup>	0,40±0,00 <sup>f</sup>	n.d.	n.d.	0,61±0,01 <sup>g</sup>	
3-etoxi-1-propanol	0,56±0,02 <sup>e</sup>	0,31±0,00 <sup>d</sup>	0,84±0,04 <sup>f</sup>	0,80±0,03 <sup>f</sup>	0,16±0,00 <sup>c</sup>	0,18±0,00 <sup>c</sup>	n.d.	n.d.	0,10±0,00 <sup>b</sup>	
levo-2,3-butanodiol	1,56±0,01 <sup>e</sup>	1,02±0,08 <sup>c</sup>	1,77±0,17 <sup>f</sup>	3,33±0,02 <sup>g</sup>	0,97±0,01 <sup>d</sup>	0,73±0,00 <sup>c</sup>	n.d.	0,02±0,01 <sup>a</sup>	0,15±0,00 <sup>b</sup>	
meso-2,3-butanodiol	0,31±0,00 <sup>e</sup>	0,19±0,01 <sup>d</sup>	0,30±0,04 <sup>e</sup>	0,58±0,03 <sup>f</sup>	0,15±0,01 <sup>c</sup>	0,06±0,00 <sup>b</sup>	n.d.	0,01±0,00 <sup>a</sup>	0,05 ±0,01 <sup>b</sup>	
2-feniletanol	16,38±0,05 <sup>e</sup>	22,78±1,06 <sup>d</sup>	46,63±2,02 <sup>e</sup>	15,06±0,05 <sup>e</sup>	20,98±1,46 <sup>d</sup>	16,77±0,01 <sup>c</sup>	0,26±0,11 <sup>a</sup>	0,06±0,01 <sup>a</sup>	3,71±0,02 <sup>b</sup>	
Metionol	0,12±0,01 <sup>c</sup>	0,30±0,01 <sup>d</sup>	0,31±0,03 <sup>de</sup>	0,07±0,02 <sup>b</sup>	0,11±0,00 <sup>c</sup>	0,33±0,0 <sup>e</sup>	n.d.	n.d.	0,04±0,01 <sup>a</sup>	
<b>Ácidos</b>										
ácido propanoico	0,27±0,01 <sup>d</sup>	0,12±0,00 <sup>b</sup>	0,60±0,03 <sup>f</sup>	0,64±0,02 <sup>f</sup>	0,32±0,00 <sup>e</sup>	0,15±0,00 <sup>c</sup>	n.d.	n.d.	0,07±0,00 <sup>a</sup>	
ácido Isovalérico	0,44±0,01 <sup>ab</sup>	0,56±0,02 <sup>b</sup>	2,2±0,15 <sup>d</sup>	0,69±0,12 <sup>b</sup>	2,68±0,09 <sup>e</sup>	0,95±0,02 <sup>c</sup>	n.d.	n.d.	0,28±0,01 <sup>a</sup>	
ácido hexanóico	0,85±0,00 <sup>c</sup>	0,89±0,00 <sup>e</sup>	0,84±0,00 <sup>b</sup>	0,74±0,00 <sup>b</sup>	0,89±0,00 <sup>f</sup>	0,85±0,00 <sup>d</sup>	n.d.	n.d.	0,99±0,0 <sup>g</sup>	
ácido octanóico	2,28±0,07 <sup>d</sup>	1,87±0,13 <sup>c</sup>	3,20±0,12 <sup>e</sup>	3,63±0,12 <sup>f</sup>	4,79±0,08 <sup>g</sup>	1,3±0,06 <sup>b</sup>	0,02±0,0 <sup>a</sup>	0,02±0,0 <sup>a</sup>	3,1±0,03 <sup>e</sup>	
ácido decanóico	2,82±0,00 <sup>c</sup>	2,41±0,46 <sup>bc</sup>	3,40±0,46 <sup>d</sup>	2,16±0,20 <sup>b</sup>	5,13±0,23 <sup>f</sup>	2,14±0,23 <sup>b</sup>	0,10±0,02 <sup>a</sup>	0,03±0,00 <sup>a</sup>	4,00±0,03 <sup>e</sup>	
ácido dodecanóico	0,82±0,02 <sup>bc</sup>	0,69±0,23 <sup>b</sup>	0,95±0,16 <sup>cd</sup>	0,32±0,06 <sup>ab</sup>	1,10±0,10 <sup>d</sup>	0,69±0,07 <sup>b</sup>	0,03±0,0 <sup>a</sup>	0,04±0,04 <sup>a</sup>	1,0±0,02 <sup>cd</sup>	
ácido hexadecanóico	0,28±0,11 <sup>b</sup>	0,22±0,16 <sup>ab</sup>	0,29±0,04 <sup>b</sup>	0,25±0,10 <sup>b</sup>	0,17±0,01 <sup>ab</sup>	0,20±0,01 <sup>ab</sup>	n.d.	0,10±0,01 <sup>a</sup>	0,27±0,0 <sup>ab</sup>	
ácido isobutanóico	0,59±0,03 <sup>c</sup>	0,63±0,0 <sup>c</sup>	2,34±0,01 <sup>f</sup>	1,84±0,01 <sup>e</sup>	3,22±0,01 <sup>g</sup>	1,16±0,01 <sup>d</sup>	0,01±0,01 <sup>a</sup>	0,01±0,00 <sup>a</sup>	0,31±0,01 <sup>b</sup>	
<b>Ésteres</b>										

isobutanoato de etilo	0,17±0,01 <sup>bc</sup>	0,11±0,01 <sup>b</sup>	0,47±0,05 <sup>d</sup>	0,14±0,02 <sup>b</sup>	0,86±0,06 <sup>c</sup>	0,22±0,00 <sup>c</sup>	0,01±0,01 <sup>a</sup>	n.d.	0,41±0,05 <sup>d</sup>
butanoato de etilo	0,15±0,01 <sup>d</sup>	0,10±0,01 <sup>c</sup>	0,29±0,02 <sup>f</sup>	0,18±0,01 <sup>e</sup>	0,15±0,01 <sup>d</sup>	0,06±0,00 <sup>b</sup>	0,08±0,00 <sup>bc</sup>	n.d.	0,14±0,01 <sup>d</sup>
2-metil butanoato de etilo	0,12±0,02 <sup>c</sup>	0,06±0,02 <sup>ab</sup>	0,08±0,01 <sup>b</sup>	n.d.	0,05±0,02 <sup>ab</sup>	0,05±0,00 <sup>a</sup>	n.d.	n.d.	0,23±0,00 <sup>d</sup>
isovalerato etilo	0,05±0,00 <sup>b</sup>	0,04±0,00 <sup>a</sup>	0,13±0,00 <sup>e</sup>	0,12±0,00 <sup>e</sup>	0,19±0,01 <sup>f</sup>	0,07±0,00 <sup>c</sup>	n.d.	n.d.	0,10±0,00 <sup>d</sup>
acetato isoamilo	0,68±0,05 <sup>d</sup>	0,86±0,00 <sup>e</sup>	0,70±0,01 <sup>d</sup>	0,32±0,01 <sup>b</sup>	0,48±0,00 <sup>c</sup>	0,66±0,01 <sup>d</sup>	0,06±0,05 <sup>a</sup>	n.d.	0,34±0,00 <sup>b</sup>
hexanoato de etilo	0,42±0,04 <sup>de</sup>	0,30±0,01 <sup>c</sup>	0,41±0,01 <sup>d</sup>	0,44±0,01 <sup>e</sup>	0,45±0,00 <sup>e</sup>	0,22±0,00 <sup>b</sup>	0,02±0,00 <sup>a</sup>	n.d.	0,78±0,01 <sup>f</sup>
lactato etilo	23,5±0,30 <sup>d</sup>	22,2±0,27 <sup>c</sup>	24,17±0,53 <sup>e</sup>	46,04±0,28 <sup>g</sup>	52,56±0,30 <sup>h</sup>	33,7±0,22 <sup>f</sup>	0,25±0,21 <sup>a</sup>	0,32±0,03 <sup>a</sup>	8,40±0,03 <sup>b</sup>
octanoato de etilo	1,37±0,03 <sup>f</sup>	1,22±0,02 <sup>e</sup>	1,01±0,08 <sup>c</sup>	0,85±0,05 <sup>b</sup>	1,22±0,04 <sup>e</sup>	1,13±0,02 <sup>d</sup>	0,08±0,02 <sup>a</sup>	n.d.	3,46±0,04 <sup>g</sup>
3-hidroxibutanoato de etilo	0,07±0,00 <sup>d</sup>	0,04±0,00 <sup>b</sup>	0,07±0,00 <sup>d</sup>	0,10±0,00 <sup>d</sup>	0,03±0,00 <sup>a</sup>	0,04±0,00 <sup>b</sup>	n.d.	n.d.	0,05±0,00 <sup>c</sup>
decanoato de etilo	1,50±0,07 <sup>c</sup>	1,75±0,19 <sup>d</sup>	1,04±0,12 <sup>b</sup>	0,57±0,11 <sup>a</sup>	1,34±0,11 <sup>c</sup>	1,52±0,02 <sup>c</sup>	n.d.	n.d.	2,46±0,04 <sup>e</sup>
acetato de 2-feniletilo	0,27±0,00 <sup>d</sup>	0,25±0,01 <sup>d</sup>	0,45±0,03 <sup>e</sup>	0,12±0,02 <sup>b</sup>	0,11±0,01 <sup>b</sup>	0,20±0,01 <sup>c</sup>	n.d.	n.d.	0,08±0,0 <sup>a</sup>
dodecanoato de etilo	0,18±0,00 <sup>b</sup>	0,30±0,04 <sup>e</sup>	0,26±0,00 <sup>d</sup>	0,11±0,00 <sup>a</sup>	0,23±0,00 <sup>c</sup>	0,21±0,00 <sup>bc</sup>	n.d.	n.d.	0,27±0,00 <sup>d</sup>
sucinato de etilo	0,35±0,00 <sup>b</sup>	0,77±0,04 <sup>d</sup>	1,78±0,12 <sup>e</sup>	0,82±0,05 <sup>d</sup>	3,24±0,03 <sup>f</sup>	0,62±0,00 <sup>c</sup>	n.d.	0,03±0,05 <sup>a</sup>	0,23±0,1 <sup>b</sup>
<b>Cetonas</b>									
Diacetil	0,17±0,12 <sup>b</sup>	0,09±0,02 <sup>ab</sup>	0,07±0,04 <sup>b</sup>	0,17±0,05 <sup>b</sup>	0,08±0,01 <sup>ab</sup>	0,04±0,00 <sup>a</sup>	0,00	0,08±0,08 <sup>ab</sup>	0,06±0,02 <sup>ab</sup>
Acetoina	1,03±0,06 <sup>c</sup>	0,51±0,00 <sup>a</sup>	0,95±0,05 <sup>b</sup>	6,89±0,06 <sup>d</sup>	0,45±0,01 <sup>a</sup>	1,04±0,01 <sup>c</sup>	0,00	0,00	0,00
<b>Terpénos</b>									
Linalol	0,05±0,0 <sup>d</sup>	0,04±0,0 <sup>c</sup>	0,03±0,0 <sup>d</sup>	n.d.	0,05±0,00 <sup>c</sup>	0,04±0,01 <sup>b</sup>	n.d.	n.d.	0,04±0,0 <sup>a</sup>
Farnesol	0,19±0,01 <sup>b</sup>	0,20±0,00 <sup>b</sup>	0,23±0,06 <sup>b</sup>	0,06±0,03 <sup>a</sup>	0,18±0,01 <sup>b</sup>	0,34±0,01 <sup>c</sup>	n.d.	n.d.	0,18±0,01 <sup>b</sup>
Citronelol	0,06±0,00 <sup>d</sup>	0,06±0,00 <sup>d</sup>	0,04±0,00 <sup>a</sup>	0,04±0,00 <sup>a</sup>	0,05±0,00 <sup>b</sup>	0,06±0,00 <sup>c</sup>	n.d.	n.d.	0,14±0,00 <sup>e</sup>
α-terpeniol	0,03±0,0 <sup>b</sup>	0,02±0,0 <sup>b</sup>	0,10±0,01 <sup>e</sup>	0,04±0,02 <sup>c</sup>	0,04±0,00 <sup>c</sup>	0,01±0,00 <sup>a</sup>	0,01±0,00 <sup>a</sup>	n.d.	0,08±0,01 <sup>d</sup>
<b>Aldeídos</b>									
benzaldeído	0,10±0,01 <sup>c</sup>	0,11±0,01 <sup>c</sup>	0,10±0,00 <sup>c</sup>	0,04±0,01 <sup>a</sup>	0,05±0,00 <sup>a</sup>	0,08±0,00 <sup>b</sup>	0,04±0,00 <sup>a</sup>	n.d.	0,31±0,02 <sup>d</sup>
furfural	2,57±0,03 <sup>d</sup>	1,91±0,24 <sup>c</sup>	2,79±0,42 <sup>d</sup>	4,80±0,38 <sup>e</sup>	1,96±0,08 <sup>c</sup>	0,64±0,0 <sup>b</sup>	n.d.	0,08±0,04 <sup>a</sup>	0,19±0,01 <sup>a</sup>
5-metil furfural	0,12±0,01 <sup>d</sup>	0,07±0,01 <sup>c</sup>	0,31±0,01 <sup>e</sup>	0,37±0,01 <sup>f</sup>	0,30±0,00 <sup>e</sup>	0,04±0,0 <sup>b</sup>	n.d.	n.d.	0,03±0,02 <sup>a</sup>
<b>Fenóis</b>									
vanilina	0,06±0,00 <sup>c</sup>	0,03±0,00 <sup>b</sup>	0,02±0,00 <sup>b</sup>	0,01±0,00 <sup>a</sup>	0,01±0,00 <sup>a</sup>	0,02±0,0 <sup>b</sup>	0,07±0,00 <sup>d</sup>	0,02±0,00 <sup>a</sup>	0,03±0,00 <sup>b</sup>

eugenol	0,09±0,0 <sup>d</sup>	0,06±0,01 <sup>c</sup>	0,05±0,02 <sup>c</sup>	0,02±0,01 <sup>b</sup>	0,02±0,00 <sup>b</sup>	0,12±0,0 <sup>e</sup>	n.d.	0,01±0,0 <sup>a</sup>	0,14±0,02 <sup>f</sup>
vanilato de etilo	0,05±0,0 <sup>d</sup>	0,05±0,01 <sup>d</sup>	0,01±0,0 <sup>b</sup>	0,03±0,00 <sup>c</sup>	n.d.	0,04±0,00 <sup>d</sup>	n.d.	n.d.	n.d.
guaiacol	0,06±0,00 <sup>c</sup>	0,05±0,01 <sup>c</sup>	0,05±0,00 <sup>b</sup>	0,02±0,00 <sup>a</sup>	0,02±0,00 <sup>a</sup>	0,11±0,00 <sup>d</sup>	n.d.	n.d.	0,04±0,1 <sup>b</sup>
4-etilfenol	0,28±0,00 <sup>e</sup>	0,34±0,01 <sup>g</sup>	0,53±0,00 <sup>h</sup>	0,02±0,00 <sup>b</sup>	0,13±0,00 <sup>c</sup>	0,30±0,00 <sup>f</sup>	n.d.	n.d.	0,17±0,00 <sup>d</sup>

Letras iguais na mesma linha indicam que não há diferença significativas para um nível de significância de  $p < 0,05$  entre as diferentes amostras.

n.d. – Não Detetado

Os ésteres constituem o grupo predominante, sendo o lactato de etilo o composto que apresentou a maior concentração nas amostras de aguardente de Cabo Verde, com valores a variarem entre 22,2 e 52,56 mg/L (Tabela 6). Esta concentração poderá estar relacionada com o processo de destilação em alambique. Segundo Silva et al. (2020b), a destilação em alambique contribui normalmente para uma maior concentração de ésteres, dado que as reações de esterificação são catalisadas pelo cobre e, ambiente aquecido.

No que diz respeito às amostras de rum, a concentração do mesmo composto variou entre 0,25 e 8,4 mg/L. Alguns desses valores são aproximados aos valores sumarizados por Bortoletto (2023), que indicam um valor próximo de 10 mg/L. De acordo com os mesmos autores, este composto tem um limiar de deteção aproximado de 14 mg/L e está associado a aromas frutados (morango artificial e framboesa) e aroma amanteigado.

Relativamente aos ésteres (Tabela 6), os valores de concentração de decanoato de etilo e octanoato de etilo também apresentam concentrações elevadas, sendo que o valor de decanoato de etilo é ligeiramente superior ao de octanoato de etilo em todas as amostras, resultado semelhante ao reportado por Mulye (2019).

Pela análise da Tabela 6, no que se refere ao grupo dos álcoois, o composto com maior concentração foi o 2-feniletanol, com valores que variam entre 15,06 e 46,63 mg/L para amostras da aguardente de Cabo Verde, sendo que para as amostras de rum analisados os valores variam entre 0,06 a 3,71 mg/L. Observa-se uma diferença significativa entre os valores obtidos nas amostras de Cabo Verde e nas amostras de rum. De acordo com os resultados apresentados por Mulye (2019) e Bortoletto (2023), o valor médio de concentração deste composto nos runs é de aproximadamente 10,4 mg/L. O 2-feniletanol possui um limiar de deteção de 2,6 mg/L e está associado a um aroma floral.

No grupo dos aldeídos, o furfural foi o composto que se destacou (Tabela 6). As amostras da aguardente tradicional (G1, G2 e G3) apresentaram concentrações ligeiramente superiores às das demais amostras, o que poderá estar relacionado com as técnicas de colheita da cana-de-açúcar e com o modo como o processo de destilação é conduzido. Durante a destilação, a queima do mosto de cana pode provocar a degradação da matéria orgânica presente, nomeadamente hexoses e cetoses (Silva et al., 2020b). De acordo com os estudos realizados por Lima et al. (2022b), verificou-se que o aumento da concentração de furfural não está associado ao processo de fermentação. Os autores sugerem, ainda, que a sua concentração pode ser minimizada através da redução do teor de sólidos presentes no mosto de cana-de-açúcar.

Os ácidos que se destacaram nas diferentes amostras analisadas, foram o ácido octanóico e o ácido decanóico, com valores a variar entre 0,02 e 3,2 mg/L

e entre 0,03 e 5,13 mg/L, respetivamente, resultados inferiores aos publicados por Lima et al. (2022) e por Bortoletto (2023). Segundo Bortoletto (2023), o limiar de deteção do ácido octanoico situa-se entre 13 e 15 mg/L, sendo este associado ao aroma de óleo vegetal e cão molhado. Os ácidos gordos podem surgir da auto-oxidação de lípidos saturados presentes na cana-de-açúcar, cuja produção é intensificada pelo tratamento térmico (Pino et al., 2012).

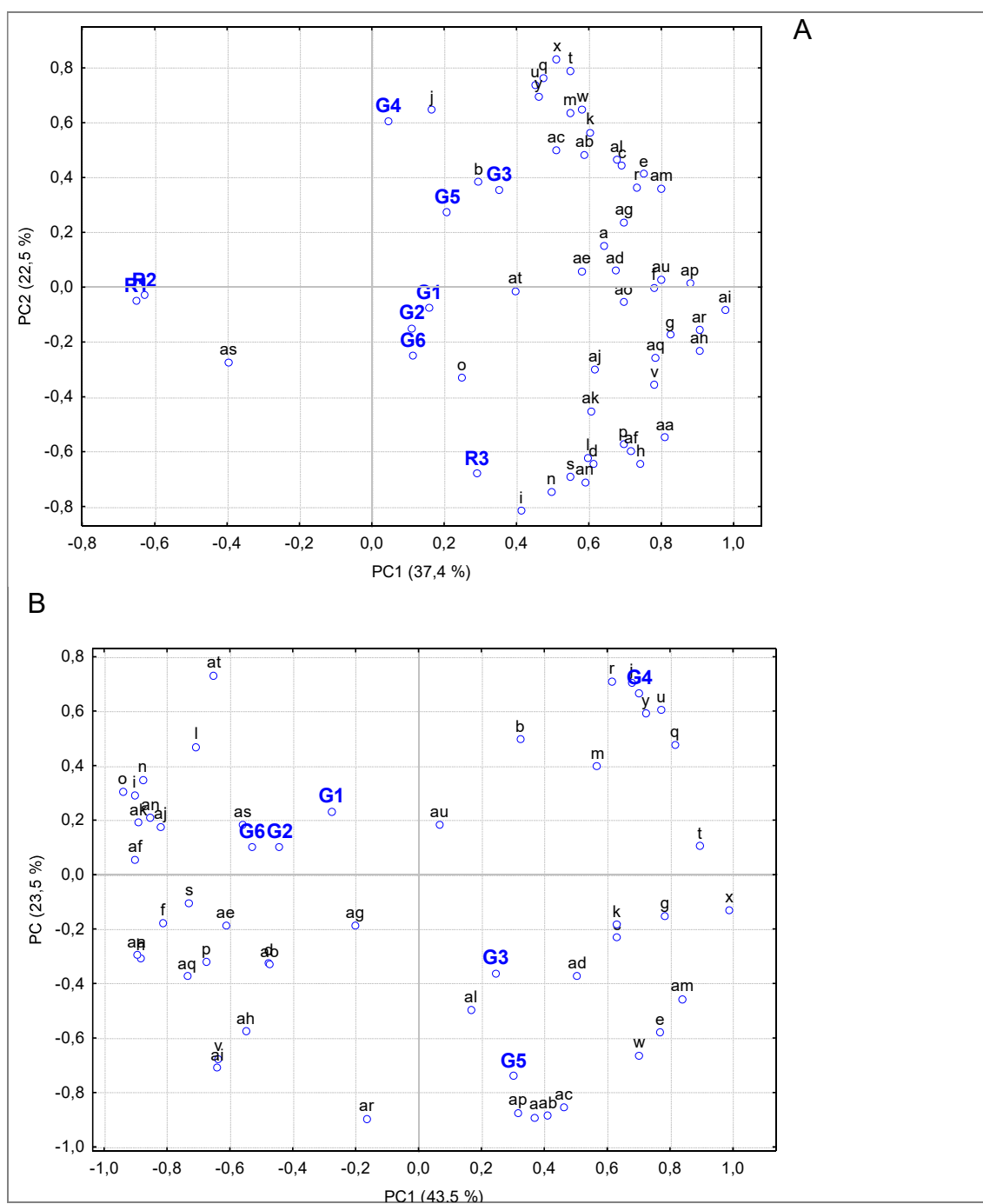
Foram detetados alguns compostos fenólicos (vanilina, vanilato de etilo, eugenol, guaiacol e 4-etilfenol) em concentrações relativamente baixas em todas as amostras, suspeitando-se que essa presença esteja relacionada com o polímero lenhina presente na cana-de-açúcar. Autores como Araújo et al. (2016) e Nogueira & Filho (2005) verificaram, nos seus estudos, que a lenhina presente nas plantas pode ser decomposta durante o processo de pirólise, originando compostos fenólicos. Franitza et al. (2016), Pino et al. (2012), Silva et al. (2020) e Caldeira et al. (2021), verificaram que vários compostos fenólicos estão associados ao envelhecimento das aguardentes em barris de madeira, os quais são extraídos da madeira durante o processo de envelhecimento. No entanto, neste estudo apenas analisamos aguardentes sem envelhecimento, pelo que a presença destes compostos terá outra origem.

Relativamente aos compostos terpénicos foram detectados e quantificados quatro compostos, cujo teor foi significativamente mais elevado nas amostras de Grogue do que nas amostras de Rum (R1 e R2). A amostra R3 também apresentou um teor considerável nos quatro compostos analisados. Corbion et al. (2025) encontrou farnesol em amostras de rum envelhecido, atribuindo a sua presença ao contacto com a madeira. No entanto, Franitza et al (2016b) refere a presença de linalol na matéria prima (melaços) e também no rum envelhecido. Assim, serão necessários estudos posteriores para compreender a origem destes compostos nas aguardentes de cana de Cabo Verde, dado que estes compostos se encontram associados a aromas florais, agradáveis (Franitza et al 2016b; Corbion et al., 2025).

Não foram observadas diferenças no perfil de compostos voláteis detetados nas diferentes amostras de aguardente de Cabo Verde. No entanto, verificou-se alguma variação significativa nas concentrações de cada composto presente (Tabela 6).

Observa-se ainda na Tabela 6, que houve grande diferença qualitativa e quantitativa nos compostos voláteis encontrados nas amostras R1 e R2, em relação as outras amostras analisadas.

Para compreender como os compostos voláteis minoritários podem influenciar a diferenciação entre as amostras efectuou-se uma análise de componentes principais que está representada na Figura 13.



**Figura 13:** Análise dos componentes principais para compostos voláteis minoritários das aguardentes analisadas: **A-** Análise de componente principal com todas as amostras; **B-** Análise de componentes principais apenas com amostra de aguardente de Cabo Verde. Listagem dos compostos: a-isobutanoato de etilo; b- diacetil; c- butanoato de etilo; d- 2-metilbutanoato de etilo; e-Isovalerato de etilo; f- acetato isoamilico; g- Hexanoato de etilo; h- 3-metil-3-buteno-1-ol; i- 1-pentanol; j- acetoina; k- Lactato de etilo; l- 1-hexanol; m-3-etoxi-1-propanol; n- *cis*-3-hexanol; o-*trans*-2-hexanol; p- octanoato de etilo; q- furfural; r- 3-hidroxi-butanoato de etilo; s- benzaldeios; t- ácido propanoico; u- *levo*-2,3-butanodiol; v- linalol; w- ácido isobutanoico; x- 5-metilfurfural; y- *meso*-2,3-butanodiol; aa- decanoato de etilo; ab- ácido isovalerico; ac- succinato de etilo; ad-  $\alpha$ -terpeniol; ae- metionol; af- citrionelol; ag- acetato 2-feniletilo; ah- dodecanoato de etilo; ai- ácido hexanoico; aj- guaiacol; ak- álcool benzílico; al- 2-feniletanol; am- ácido octanoico; na- eugecol; ao- 4- etilfenol; ap- ácido decanoico; aq- farnesol; ar-ácido dodecanoico; as- vanília; at- vanilato de etilo; au-ácido hexadecanoico.

Na Figura 13A, estão representadas as projeções no plano dos dois componentes principais (PC1 vs PC2) das amostras de aguardente analisadas, as quais explicam cerca de 60% da variância total acumulada.

O primeiro componente explica 37,3% da variância total, não sendo suficiente para discriminar claramente as amostras de aguardente de Cabo Verde, uma vez que há duas amostras de rum (R1 e R2) com perfil volátil muito diferentes das restantes, evidenciando uma forte discriminação. O perfil de compostos voláteis das amostras de rum R1 e R2 apresentou-se mais pobre, com elevada concentração de vanilina e baixos teores dos restantes compostos analisados, possivelmente devido às características da matéria-prima, às condições de fermentação e destilação.

Verifica-se ainda que os ácidos (ácido octanóico, ácido decanóico, ácido dodecanóico, ácido hexanóico e ácido hexadecanóico) e os ésteres (dodecanoato de etilo, 3-hidroxi-butanoato de etilo) estão fortemente correlacionados entre si e localizam-se uns na parte positiva e outros na parte negativa do componente 1 (Figura 13A). Pode concluir-se também que existe uma forte correlação negativa entre a vanilina e os restantes compostos voláteis.

As amostras de Grogue (G1 a G6) e amostra R3 localizam-se do lado positivo do componente 1, apresentando por isso um maior teor na maioria dos compostos voláteis analisados que apresentam contributo positivo para este componente. No entanto, estas amostras parecem apresentar uma certa separação ao longo do componente 2. Assim, as amostras G4, G5 e G3 localizadas no primeiro quadrante, aparecem mais correlacionadas com teores elevados de acetoina e de diacetil. No quarto quadrante aparece um segundo grupo de Grogues (G1, G2 e G6) mais relacionados com teores elevados de *trans*-2-hexenol, enquanto que a amostra R3 também localizada no quarto quadrante, aparece mais afastada e correlacionada com teores elevados de 1-pentanol e *cis*-3-hexenol.

Para compreender melhor de que forma as amostras de aguardente de Cabo Verde variam em relação aos compostos voláteis minoritários, foi também realizada uma Análise de Componentes Principais apenas com estas amostras. As projeções das amostras e das variáveis no plano formado pelos dois dos primeiros componentes principais (PC1 vs PC2), os quais explicam cerca de 67% da variância total observada, são apresentadas na Figura 13B.

As variáveis com maior contributo para o lado positivo do primeiro componente, que explica 43,5% da variância total, foram o isovalerato de etilo, o hexanoato de etilo, o ácido propanoico, o 2,3-butanodiol, o 5-metilfurfural, o ácido octanóico e para o lado negativo foram o acetato de isoamilo, o 3-metil-3-buten-1-ol, o 1-pentanol, o *cis*-3-hexenol, o *trans*-2-hexenol, o decanoato de etilo, o citronelol, o guaiacol, o álcool benzílico e o eugenol. Para o lado negativo do componente 2, que explica 23,5% da variância total, as variáveis que apresentam maior contributo são o isobutanoato de etilo, o ácido isovalérico, o succinato de etilo e o ácido decanóico, enquanto que para o lado positivo o peso das variáveis é inferior, tendo sido a acetoina e o 3-hidrobutanoato de etilo que representam maior contributo. A distribuição das amostras no plano formado

pelos dois componentes evidencia alguma separação das amostras, podendo-se sugerir três grupos, um localizado no segundo quadrante com as amostras G1, G2, e G6 que parecem estar correlacionados com a presença de vanilina, um segundo grupo apenas com a amostra G4, localizado no primeiro quadrante e que sugere estar associado aos elevados teores de acetoina e 3-hidroxi-butanoato de etilo, e por último um terceiro grupo de amostras (G3 e G5) mais correlacionado com teores elevados de isobutanoato de etilo, ácido isovalérico e ácido decanóico.

#### 4.4. Espectroscopia vibracional

Até à data, ainda existem poucos estudos sobre a aplicabilidade da espectroscopia vibracional à aguardente de cana-de-açúcar, particularmente no caso de aguardente não envelhecida.

A literatura disponível foca-se sobretudo em bebidas destiladas como o whisky, o rum ou o brandy, deixando em aberto o potencial destas técnicas para a aguardente de cana. A utilização de abordagens como a FT-NIR, FTIR-ATR e FT-Raman apresenta-se, assim, como uma oportunidade para explorar de forma sistemática a capacidade destas metodologias em fornecer informação rápida, não destrutiva e, neste caso, sem preparação de amostra sobre a composição química e as características físico-químicas da bebida. Assim, ao aplicar diferentes técnicas de espectroscopia vibracional pretende-se contribuir não só para a caracterização mais aprofundada da aguardente de cana de Cabo Verde não envelhecida, mas também para a criação de bases metodológicas que suportem, no futuro, o seu controlo de qualidade e autenticação.

##### 4.4.1. FT-NIR

Os espectros de absorção FT-NIR da aguardente obtida foram semelhantes aos espectros observados para outras bebidas como vodka e whisky, (Kolomiets et al., 2010) e Wójcicki, 2015)) e para aguardentes vínicas (Anjos, et al., 2020a). Os espectros FT-NIR são predominantemente caracterizados por sobretons vibracionais e bandas de combinação de grupos funcionais CH, NH e OH (Kolomiets et al., 2010).

Os picos espectrais localizados em torno de  $5166\text{ cm}^{-1}$  e  $6994\text{ cm}^{-1}$ , correspondentes às bandas de absorção da água, são atribuídos ao primeiro e ao segundo sobretons vibracionais do estiramento da ligação -OH (Pedro et al., 2020). Estes picos incluem também o segundo harmónico da banda de estiramento O-H, bem como combinações entre vibrações de deformação e de estiramento do grupo hidroxilo (O-H), especificamente provenientes da água (Kolomiets et al., 2010).

Embora o estiramento fundamental O-H em álcoois aparece tipicamente em torno de  $3200\text{--}3550\text{ cm}^{-1}$ , se os álcoois têm um grupo O-H “livre” ou pouco

ligado, semelhante à água, pode gerar sobretons de estiramento O–H na região  $5166\text{ cm}^{-1}$  a  $6994\text{ cm}^{-1}$ .

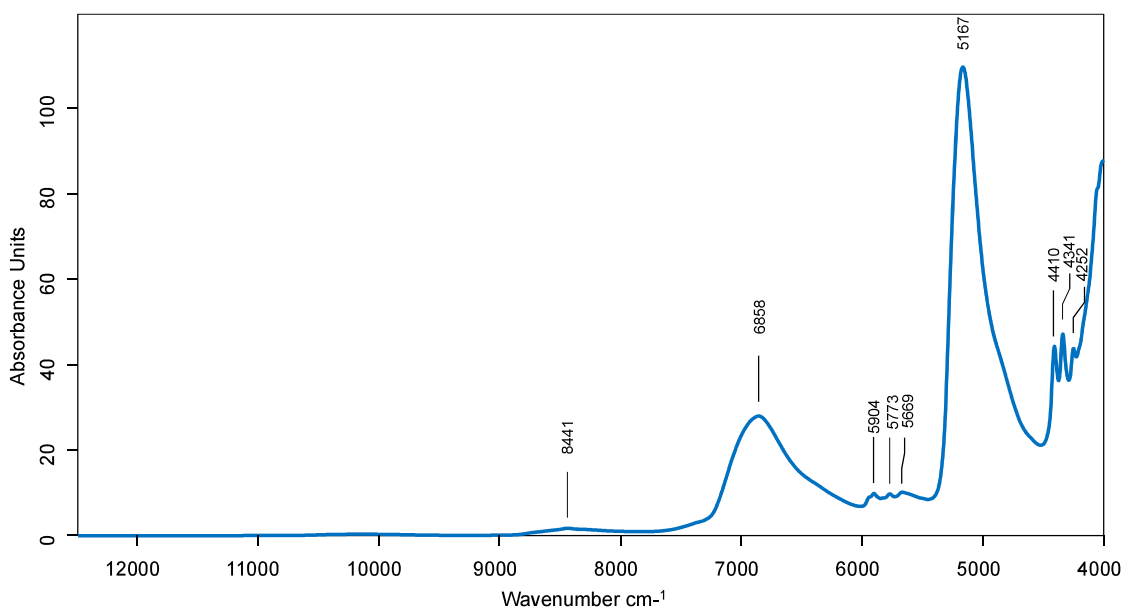
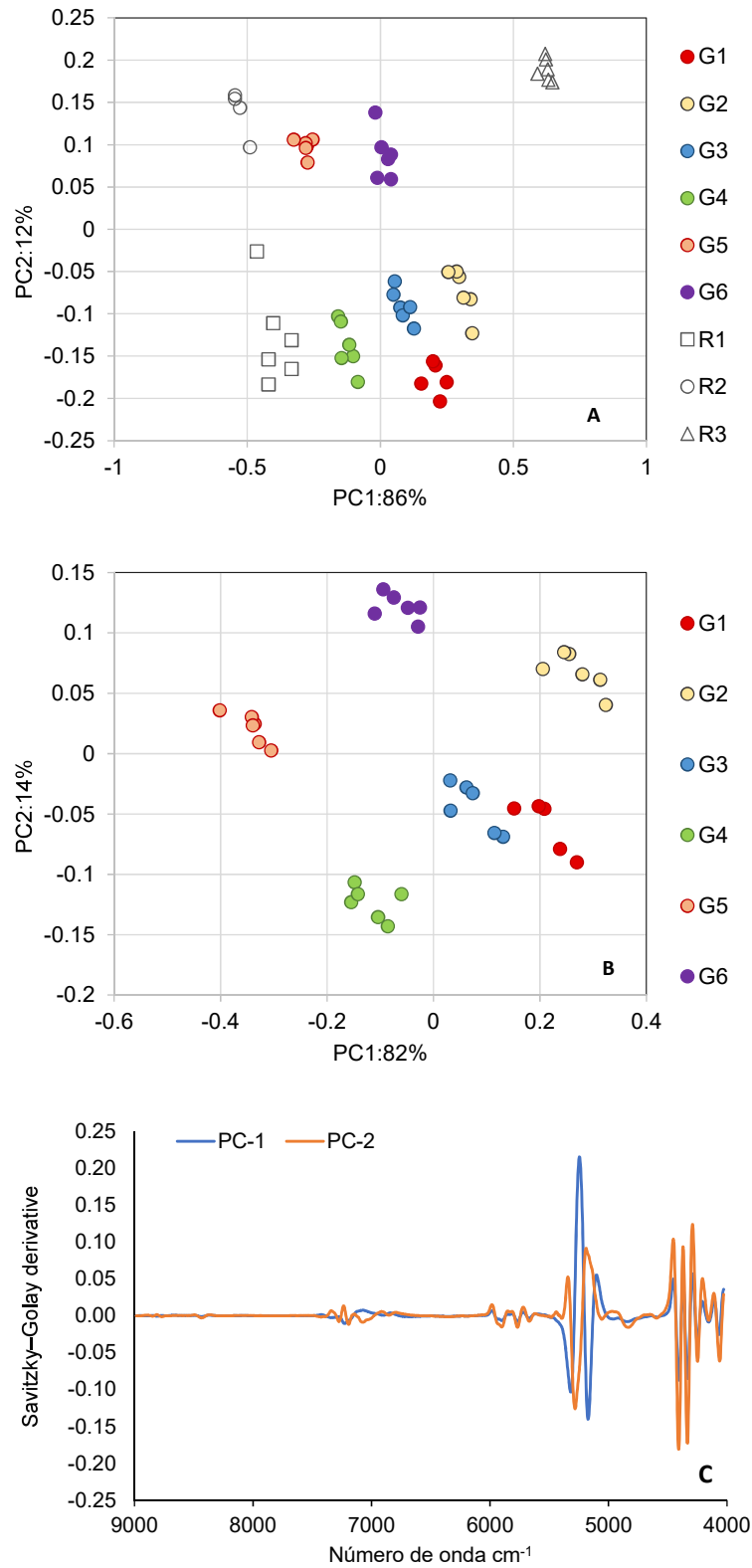


Figura 14: Espectros de absorção NIR de todas as amostras de aguardentes

De acordo com Wójcicki (2015), a faixa espectral entre  $6000\text{--}5660\text{ cm}^{-1}$  corresponde à primeira sobretonalidade das vibrações de estiramento C–H nos grupos  $\text{CH}_3$  e  $\text{CH}_2$ .

A faixa espectral entre  $4580\text{--}4200\text{ cm}^{-1}$  pode ser associada à combinação das vibrações C–H (Wójcicki, 2015). A banda em  $4252\text{ cm}^{-1}$  está relacionada com a combinação de alongamento e deformação por flexão das unidades C–H do C–H (aromático) e C–H (arilo) (Chen et al., 2014; Cozzolino et al., 2003).

As regiões acima identificadas como relevantes para a discriminação das aguardentes foram analisadas por meio de uma análise de componentes principais (scores). Foram aplicadas duas análises de componentes principais (PCA): uma com todas as amostras e outra apenas com amostras de Cabo Verde, com o objetivo de observar as variabilidades entre as amostras.



**Figura 15:** Análise dos componentes principais (PCA) com representação dos aspectos obtidos na espectroscopia NIR para amostras em estudos em que G- é grogue de Cabo Verde e R- é rum. A- PCA para todas as amostras (grogue da Cabo Verde e rum das diferentes origens), B- PCA só com amostra de grogue de Cabo Verde e C - contributo de cada uma das componentes

A Figura 15 apresenta dois gráficos de análises dos componentes principais (PCA) aplicados a dados espectroscópicos de FT-NIR, com o objetivo de avaliar a separação entre diferentes grupos de amostras de aguardente de cana (G1–G6) e rum (R1–R3).

Na Figura 15A, os dois primeiros componentes principais (PC1 = 86% e PC2 = 12%) explicam juntos 98% da variância total dos dados, o que revela uma excelente capacidade de descrição.

O PC1 apresenta 86% da variação total, sendo notável a separação entre as amostras diferentes de rum. Ainda no âmbito do PC1, pode observar-se que as amostras R1 e R2 são semelhantes entre si. Relativamente às diferentes amostras de grogues, o PC1 separa tenuemente as aguardentes provenientes de Cabo Verde, possivelmente devido ao forte efeito diferenciador das amostras de rum comercial. O PC2, mesmo com uma explicação de apenas 12% da variação total, consegue discriminar as amostras G5 e G6 com alguma clareza em relação às restantes amostras de grogue.

Para analisar as diferenças entre as aguardentes de Cabo Verde, foi realizada uma segunda Análise de Componentes Principais (Figura 15B), que explica na globalidade 96% da variação total e onde se observou uma boa discriminação de todas as amostras, sendo mais uma vez a amostra G1 e G3 as mais semelhantes no que respeita à composição volátil.

O PC1 representa 82% da variação total. Verificou-se que não houve separação entre as amostras G4 e G6, e entre a G1 e G2 denotando uma qualidade na composição volátil semelhante. Pode ainda observar-se que o PC2 separa as amostras G1 e G2, pertencentes ao mesmo produtor, embora de anos diferentes, o que pode refletir alguma variabilidade na matéria prima que influencia o produto final. Esta questão da influência da matéria prima deverá ser objetivo de estudo de trabalhos futuros. A PC2 discrimina também as amostras G4, G5 e G6. Na globalidade da PCA efetuada apenas para as amostras de grogue de Cabo Verde verifica-se que todos os grupos G1 a G6 aparecem bem definidos, e com menor sobreposição em comparação com a Figura 15A.

Na Figura 15C está representado as contribuições espectrais das duas primeiras componentes principais (PC1 e PC2), responsáveis pela variância observada nas PCAs da Figura 15A e 15B.

As maiores variações encontram-se entre 5000 e 4000  $\text{cm}^{-1}$ , com bandas intensas associadas a sobretons e combinações vibracionais de grupos O–H e C–H. Estas regiões estão tipicamente relacionadas com etanol, água e compostos secundários presentes na aguardente. A PC1 apresenta picos mais pronunciados, indicando que esta componente retém a maior parte da variabilidade associada à composição global (particularmente água/etanol). A PC2 mostra contribuições adicionais, mas menos intensas, sugerindo

associadas a compostos minoritários ou pequenas diferenças no equilíbrio água/etanol.

#### 4.4.2. FTIR-ATR

Os espectros adquiridos para as diferentes amostras (aguardente de Cabo Verde e rum) revelaram-se muito semelhantes, pelo que se optou por selecionar apenas um espectro representativo, apresentado na Figura 16. Estes espectros mostram-se semelhantes aos relatados para aguardente de medronho (Anjos et al., 2021) e aguardente vínica (Anjos, et al., 2020c).

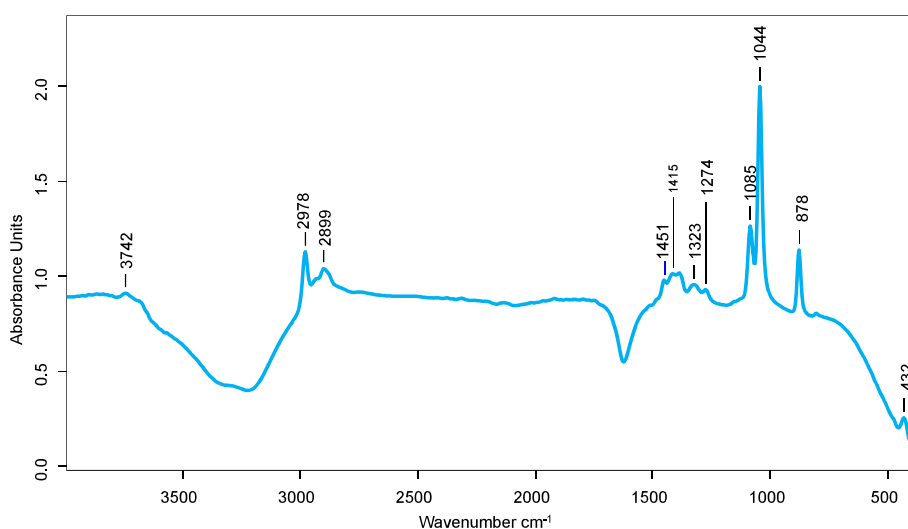


Figura 16: Espectro obtido em FTIR-ATR para as aguardentes analisadas

Analisando os picos das regiões mais relevantes, verifica-se que a região entre 3500 e 3000  $\text{cm}^{-1}$  apresenta um pico largo e de forte intensidade, indicando estiramentos da ligação O–H, típicos de grupos hidroxilo livres ou envolvidos em pontes de hidrogénio (Anjos, et al., 2020c).

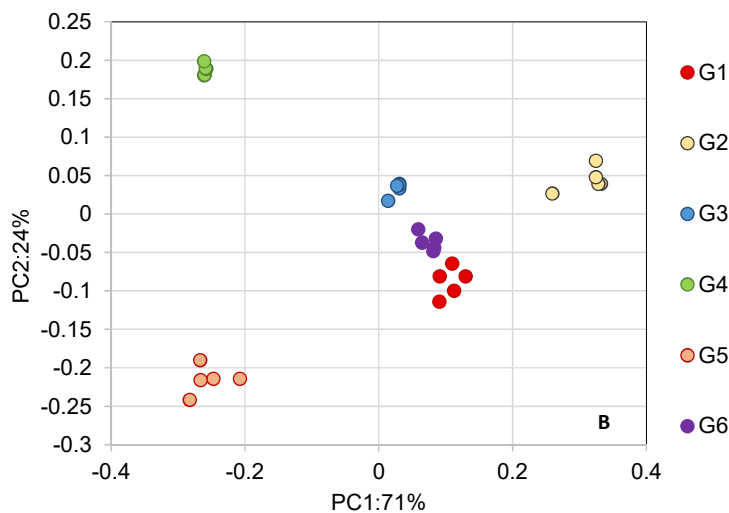
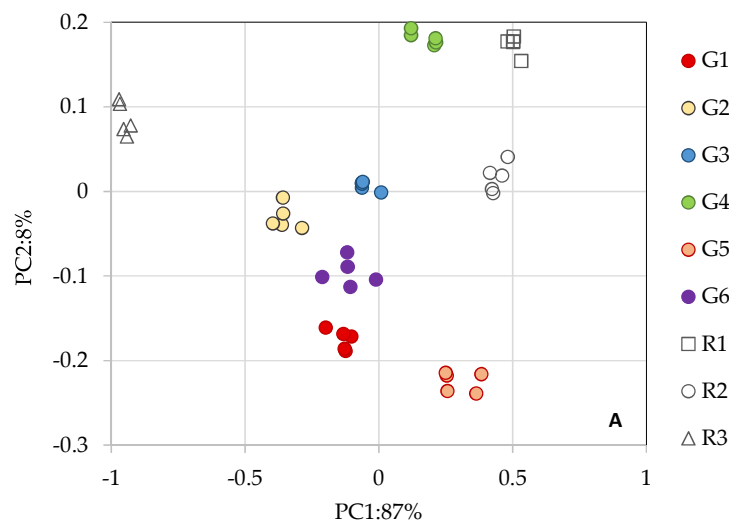
Na região entre 3000 e 2850  $\text{cm}^{-1}$ , observam-se dois pequenos picos, que podem ser atribuídos ao estiramento da ligação C–H. A presença de sinais nesta faixa sugere a existência de cadeias hidrocarbonadas, tanto alifáticas como aromáticas.

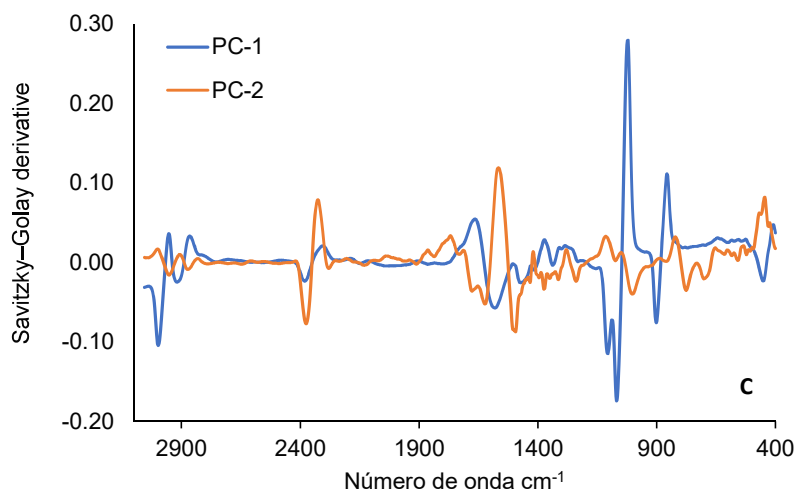
Nas regiões entre 1600 e 1500  $\text{cm}^{-1}$ , observa-se a presença de bandas associadas a ligações C=C, características de compostos aromáticos (Yadav & Sharma, 2019).

Por fim, as regiões entre 1250 e 800  $\text{cm}^{-1}$ , de acordo com trabalhos publicados por Anjos et al. (2021) e Anjos et al., (2020c), podem ser atribuídas a vibrações na zona C–O, típica de compostos oxigenados como álcoois, ésteres

e ácidos carboxílicos. Nestas regiões também se observam deformações de flexão do grupo C–OH, alongamentos da ligação C–H do metanol, bem como a presença de grupos C=O e C=C em compostos furânicos.

As regiões acima identificadas como relevantes para a discriminação das aguardentes foram analisadas por análise de componentes principais, aplicando nos espectros um pré-tratamento de primeira derivada de Savitzky–Golay com 17 pontos de suavização espectral (Figura 17).





**Figura 17:** Análise dos componentes principais (scores) a partir dos dados espectrais da espectroscopia FTIR-ATR para amostras de aguardente de cana-de-açúcar das diferentes origens: A- PCA (score) para amostras das aguardentes (grogue de Cabo Verde e rums), B- PCA (score) só das aguardentes de Cabo Verde, C- contributo de cada uma das componentes principais.

Na Figura 17A verifica-se que as duas primeiras componentes principais (PC1: 87%, PC2: 8%), evidenciam uma clara separação entre os grupos de aguardentes (G1–G6) e as amostras de referência (R1–R3), no entanto, a amostra G4 apresenta um perfil químico diferente das demais aguardentes de Cabo Verde (Figura 17A).

Quando se analisaram apenas as amostras de aguardente de cana de Cabo Verde (Figura 17B) a PC1 explica 71% e PC2 24%, totalizando 95% da variação total observada. Em ambos os casos, as duas primeiras componentes descrevem uma grande parte da variância, garantindo robustez à análise

No caso das amostras G2, G4 e G5 de cana de Cabo Verde (Figura 17B), observa-se uma discriminação nítida, refletindo a existência de diferenças químicas relevantes que as distinguem entre si e dos restantes grupos. Esta variabilidade poderá estar associada a fatores intrínsecos, como a diversidade da matéria-prima (variedades de cana, maturação e condições edafoclimáticas), bem como a diferenças nos processos fermentativos e nas condições de destilação, que influenciam diretamente o perfil de compostos voláteis e não voláteis da aguardente. Em contraste, as amostras G1, G3 e G6 apresentam maior proximidade no espaço multivariado, sugerindo uma composição química mais homogénea ou com variações menos expressivas, possivelmente resultantes de práticas produtivas semelhantes ou de matérias-primas de características mais uniformes.

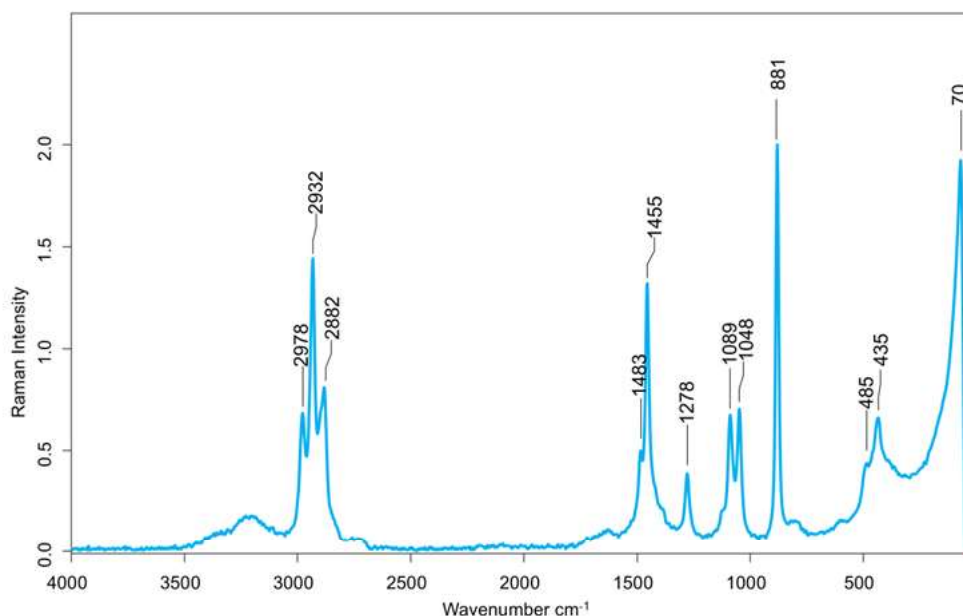
A derivada de Savitzky-Golay tem como objetivo remover variações da linha de base entre as amostras. Este processo realça as informações contidas ao longo do comprimento de onda. Na Figura 17C em que estão representados o contributo de cada uma das componentes principais, destacando as regiões espectrais responsáveis pela variabilidade observada. As contribuições mais

relevantes concentram-se entre  $3000$  e  $2850\text{ cm}^{-1}$  (estiramentos C–H de álcoois e compostos orgânicos voláteis),  $1700$ – $1500\text{ cm}^{-1}$  (vibrações de C=O e C=C, possivelmente associadas a compostos fenólicos e produtos da fermentação) e  $1200$ – $900\text{ cm}^{-1}$  (estiramentos C–O e deformações C–H, relacionados com açúcares residuais, álcoois e ésteres).

À semelhança dos resultados obtidos com FT-NIR, os resultados com FTIR-ATR confirmam o potencial da espectroscopia vibracional aliada a métodos quimiométricos como ferramenta rápida, não destrutiva e robusta para a caracterização e autenticação da aguardente de cana. De referir, no entanto, que as relações observadas entre as amostras variam consoante a técnica utilizada (FT-NIR ou FTIR-ATR), sendo necessários estudos adicionais para compreender quais as estruturas químicas que são mais eficazmente discriminadas por cada abordagem espectroscópica.

#### 4.4.3. FT-RAMAN

A Figura 18 apresenta os espectros FT-RAMAN das amostras de aguardente analisada neste trabalho, numa faixa espectral de  $3000\text{ cm}^{-1}$  a  $70\text{ cm}^{-1}$ . Os espectros apresentaram um comportamento semelhante ao da aguardente vínica envelhecida, publicado por Anjos et al. (2020d), e ao da aguardente de mel, também relatado por Anjos et al. (2020b).



**Figura 1:** Espectros FT-RAMAN das amostras de cana-de-açúcar analisados nesse estudo

De acordo com Anjos et al. (2020b), a região entre  $3050$  e  $2800\text{ cm}^{-1}$  pode ser associada aos estiramentos C–H e –OH, sendo uma região característica do metanol, etanol e outras moléculas orgânicas, incluindo hidrocarbonetos. Os

picos a 1455 e 2979  $\text{cm}^{-1}$  estão associados à flexão C–OH, correspondendo a uma região espectral muito importante para os diferentes teores de álcool presentes nas bebidas espirituosas (Coussan et al., 2000).

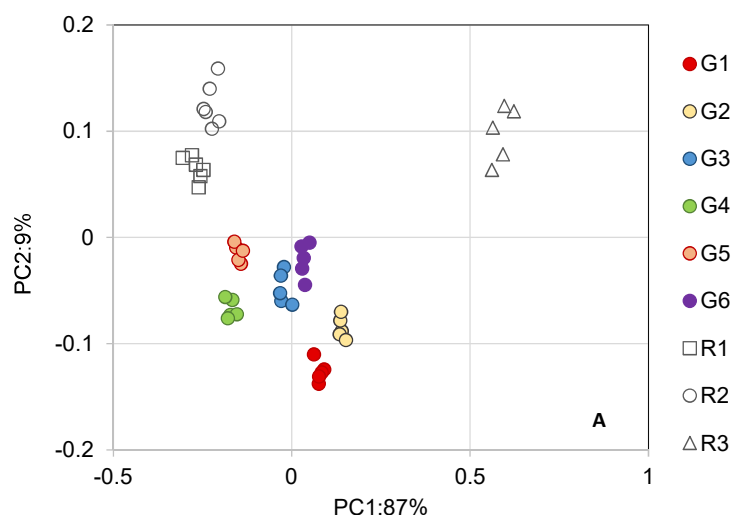
A região a 1278  $\text{cm}^{-1}$  (C–O e CH) está relacionado com a presença de ésteres e álcoois superiores.

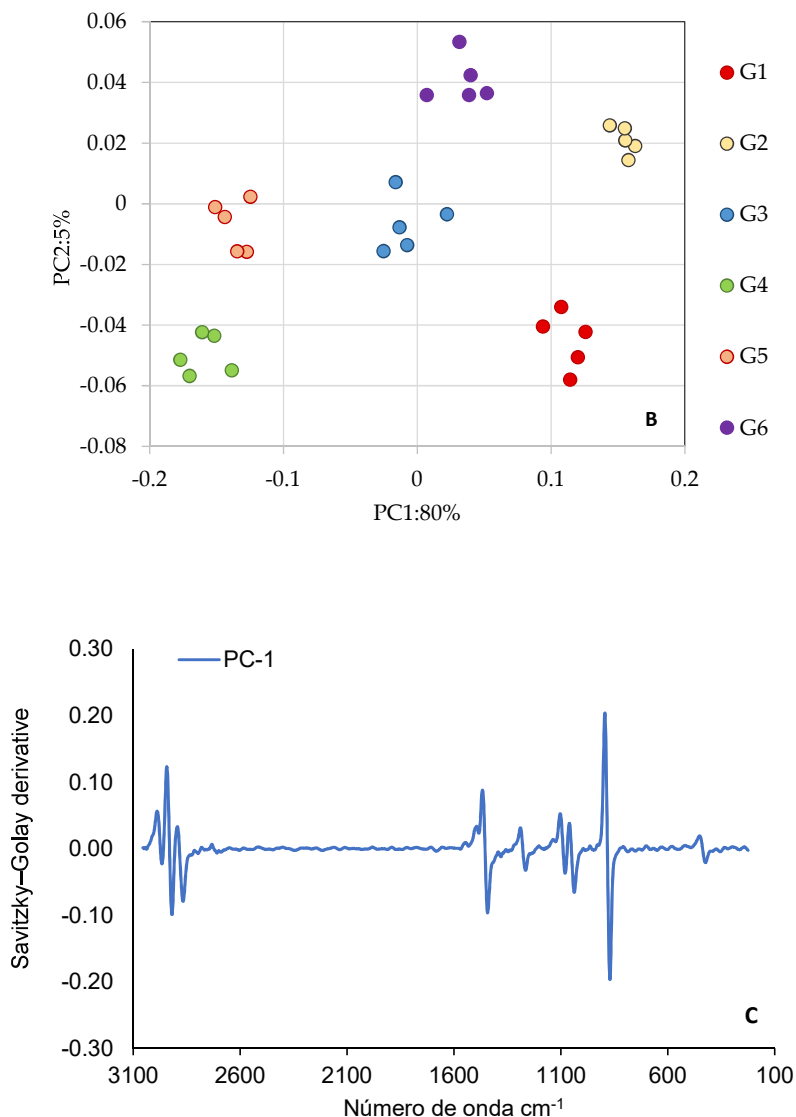
Os mesmos autores referem que a região com picos a 1048 e 1089  $\text{cm}^{-1}$  pode ser associada, respetivamente, a um estiramento assimétrico do grupo C–C–O e a uma vibração de oscilação C–H. O pico a 1048  $\text{cm}^{-1}$  é típico do etanol e as diferenças nos picos 1030–1035  $\text{cm}^{-1}$  (não presente aqui) indicariam metanol, no entanto como as concentrações deste álcool são inexistentes, não se visualiza esta relação.

Vaskova (2014) referiu que os álcoois primários e secundários são caracterizados por uma banda intensa na região do pico a 881  $\text{cm}^{-1}$ , que corresponde a um estiramento assimétrico do grupo C–C–O, e que tem sido utilizada para quantificar o teor de etanol em bebidas alcoólicas.

Os picos nas regiões entre 490 e 430  $\text{cm}^{-1}$  podem estar relacionados com modos vibracionais esqueléticos, nomeadamente C–C–O, C–C, C–C–C, C–O e C–C, conforme proposto por Anjos et al. (2020b), Coussan et al. (2000) e Vaskova (2014).

As regiões acima identificadas como relevantes para a discriminação das aguardentes foram analisadas com recurso à análise de componentes principais, aplicando-se aos espectros um pré-tratamento com a primeira derivada de Savitzky–Golay e 17 pontos de suavização espectral.





**Figura 18:** Análise dos componentes principais (scores) a partir dos dados espectrais adquiridos da espectroscopia FT-Raman para amostras de aguardente de cana-de-açúcar das diferentes origens: A- PCA (score) para as amostras de aguardentes (grogue de Cabo Verde e rums), B- PCA (score) só com aguardentes de Cabo Verde, C- primeira derivada Savitzky- Golay como pré-processamento espectral.

Pela análise da Figura 18A (PC1: 87% vs PC2: 9%), representa-se a PCA feita com as amostras de grogue e rum. É de notar-se que houve uma discriminação entre as amostras analisadas, sendo a discriminação, mas acentuada entre as amostras do rum, como pode contactar no PC1. Já as amostras da aguardentes de Cabo Verde ficaram mas agrupados.

Na Figura 18B, está representada a PCA feita com o subconjunto das amostras de grogue (PC1: 80% vs PC2: 5%), sendo que a PC1 explica quase toda a variação observada e as diferentes amostras de aguardente de cana de Cabo Verde apresentam-se bem discriminadas.

A análise da influência da região espectral na PC1 (Figura 18C), considerada isoladamente por esta explicar cerca de 80% da variação total das aguardentes

analisadas, evidencia que as bandas em  $1089\text{ cm}^{-1}$ ,  $1048\text{ cm}^{-1}$  e  $881\text{ cm}^{-1}$  são as mais determinantes para a separação das amostras na PCA, estando todas associadas a vibrações características do etanol. A região a  $1455\text{ cm}^{-1}$  também é importante e está associada à deformação  $\text{CH}_2/\text{CH}_3$ . Regiões de estiramento C–H ( $\sim 2978\text{--}2882\text{ cm}^{-1}$ ) têm menor peso na separação, mas ainda assim importantes para a discriminação das amostras.

A região ligada aos anéis aromáticos ( $\sim 1600\text{ cm}^{-1}$ ) não apresenta um contributo relevante porque efetivamente costuma estar ligada a amostras envelhecidas em madeira o que não é o caso das amostras deste estudo.

Observam-se também pequenas variações na largura da banda OH ( $\sim 3100\text{ cm}^{-1}$ ) associadas a água, que está também inversamente associada à concentração de etanol.

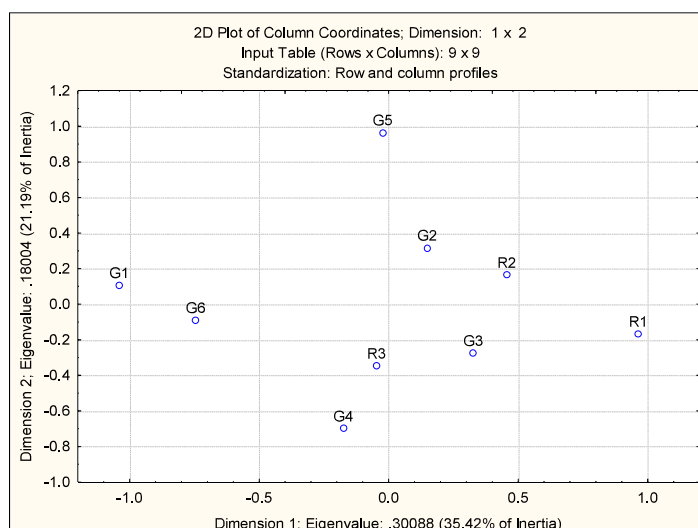
A região a  $1278\text{ cm}^{-1}$  relacionada com os ésteres tem também alguma influência na discriminação das amostras devido ao conteúdo destes compostos nas amostras de Grogue, no entanto, com uma importância relativa menor.

A aplicação conjunta das técnicas FT-NIR, FTIR-ATR e FT-Raman demonstrou que todas possuem potencial para discriminar aguardentes de cana, ainda que com diferentes níveis de sensibilidade e especificidade. O FT-NIR destacou-se pela capacidade de refletir variações globais na matriz, associadas sobretudo ao balanço água/etanol e a constituintes maioritários. O FTIR-ATR revelou-se particularmente útil para identificar bandas específicas de grupos funcionais (como C=O, C–O e O–H), permitindo maior detalhe na atribuição de compostos químicos relevantes. Já o FT-Raman apresentou um poder discriminativo muito elevado, conseguindo separar de forma clara as amostras, sobretudo pela sua sensibilidade a modos vibracionais menos evidentes no infravermelho, o que o torna uma técnica complementar e altamente promissora para a caracterização detalhada da aguardente de cana.

## **4.5. Análise Sensorial**

### **4.5.1. Semelhança de aroma**

A fim de avaliar as semelhanças e as diferenças no perfil aromático das amostras de aguardente de cana-de-açúcar, os provadores tiveram liberdade para agrupar as amostras de acordo com a semelhança de aroma. Na Figura 19 está representado a análise de correspondência aplicada à matriz de co-ocorrências para o aroma, conforme se explicou nos materiais e métodos.



**Figura 19:** Análise de correspondência para atributos dos aromas para aguardente da cana-de-açúcar analisado: G- grogue de Cabo Verde; R- rum

As projeções no plano da dimensão 1 versus dimensão 2 é representado na Figura 19. As projeções das amostras para o atributo aroma reuniu cerca de 57% da variância total acumulada.

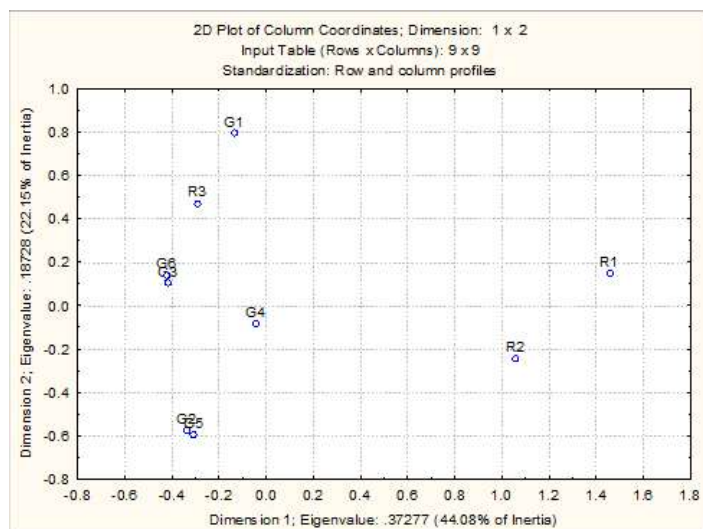
A primeira dimensão apresenta 35,4% da variância total, onde pode notar-se um agrupamento G2, G3, R1 e R2 posicionam-se do lado positivo da dimensão 1 e a restante amostra se localizam na parte negativa.

Na primeira dimensão nota-se um agrupamento entre as amostras G2, G3 e R2, e também há um grupo formado por R3 e G4. A amostras R1 se localiza mais a direita da dimensão 1, apresentando-se isolado das outras amostras, isso pode ser justificado por essa amostra apresentar um perfil pobre de compostos voláteis, designadamente essa amostra apresentou fracas concentrações de álcoois superiores (Tabela 5), ésteres, terpénicos e aldeídos (Tabela 6). Os vários estudos (Frantiza et al., 2016; Granja-Soares et al., 2020; Pino et al., 2012; Silva et al., 2020), mostraram que vários compostos voláteis estão fortemente associados a atribuição dos diferentes aromas em bebidas alcoólicas.

A segunda dimensão apresenta 21% da variância total, em que pode notar uma discriminação da amostra G5 em relação as outras amostras.

#### 4.5.2. Semelhanças de sabor

Na Figura 20, estão representados a análise de correspondência para a matriz de semelhanças do sabor das amostras em estudo. As projeções no plano (dimensão 1 versus dimensão 2), que reuniu 66% da variância total acumulada.



**Figura 20:** Análise de correspondência para atributos do sabor para aguardente da cana-de-açúcar analisado: Grogue de Cabo Verde; R- rum

Analisando a Figura 20 pode constatar-se que todas as amostras R2 e R1, posicionam-se do lado positivo da primeira dimensão, enquanto que as outras amostras tendem a localizar-se do lado oposto.

Verifica-se na segunda dimensão que não houve grandes discriminações entre as amostras G1, G2, G3, G4, G5, G6 e R3, ao contrário do que sucedeu na amostra R1 e R2. Sendo assim os resultados sugerem que a pobreza de composição volátil das amostras R1 e R2, já apresentada nos resultados anteriores, poderá explicar estes resultados obtidos na análise sensorial.

A segunda dimensão apresenta uma variância total de 22,1%, onde consegue separa a amostra G1 das outras amostras. Também pode notar-se que a dimensão 2 não consegue separar a amostra G2 e G5, e também as amostras G3 e G6.

## 5. CONCLUSÕES

Nos parâmetros físico-químicos das amostras analisadas, todas se mantiveram dentro da faixa habitual para este tipo de produto, exceto a amostra R1, que apresentou pH elevado (8,54), indicando uma característica alcalina atípica. Os valores da acidez e o pH estavam dentro dos parâmetros legislados exceto para amostra R1.

No que respeita aos compostos voláteis maioritários, verificou-se que os álcoois isoamílicos e o isobutanol foram os compostos que apresentaram maior concentração. Destaca-se, de forma positiva, a ausência de metanol em todas as amostras analisadas, sendo uma vantagem deste tipo de bebidas do ponto de vista toxicológico.

As baixas concentrações de 1-butanol e 2-butanol podem ser consideradas um atributo positivo para a aguardente de cana de Cabo Verde, uma vez que estes compostos estão associados a baixa qualidade microbiana da matéria-prima ou durante o seu processo de produção.

Comparando os valores máximos definidos pela legislação vigente sobre o Padrão de Identidade e Qualidade da aguardente de Cabo Verde (Decreto-Lei nº 11/2015), todas as amostras de aguardente de Cabo Verde encontram-se dentro dos limites estipulados para álcoois superiores, metanol, acetato de etilo, acetaldeído e acidez total.

Relativamente aos compostos voláteis minoritários, foram analisados vários compostos de diferentes famílias químicas: ésteres (13), álcoois (11), ácidos (8), fenóis (5) e terpenos (4).

A diversidade de compostos voláteis identificados na aguardente de cana-de-açúcar confirma a complexidade química desta bebida e a importância destes constituintes na definição do seu perfil sensorial. A presença de álcoois superiores, ésteres, aldeídos, fenóis, e ácidos demonstra que o processo fermentativo e a destilação contribuem de forma decisiva para a formação de aromas e sabores característicos. Assinalou-se também a presença de compostos terpénicos, que se encontram associados a aromas florais, sendo necessário estudos posteriores para perceber a sua origem. Assim, a análise realizada permite não apenas caracterizar a qualidade da aguardente estudada, mas também fornecer resultados relevantes para a melhoria dos processos de produção e para a valorização do produto final. Relativamente às amostras de rum, verificou-se que duas das amostras estudadas (R1 e R2) apresentaram uma composição bastante pobre em compostos voláteis.

Através das análises espectroscópicas (FT-NIR, FTIR-ATR e FT-RAMAN), concluiu-se que as amostras diferem entre si, com maior destaque para a separação entre as amostras R1 e R2 em relação à amostra R3. Através da primeira derivada de Savitzky-Golay nota-se que a região de maior relevância para o situa-se entre 1500 e 400  $\text{cm}^{-1}$  para FTIR-ATR e entre 3000 e 2800  $\text{cm}^{-1}$  para FT-RAMAN sendo a região característico de etanol e outras moléculas orgânicas.

As três técnicas demonstraram capacidade para discriminar aguardentes de cana, embora com desempenhos distintos. O FT-NIR refletiu sobretudo variações globais da matriz, o FTIR-ATR destacou-se pela identificação de grupos funcionais específicos e o FT-Raman apresentou o maior poder discriminativo, mostrando-se particularmente promissor para a caracterização detalhada destas amostras.

A análise sensorial veio corroborar alguns dos resultados obtidos nas análises físico-químicas e de compostos voláteis. Foi possível efetuar uma diferenciação organolética com base nos resultados, tendo-se verificado uma

diferença notável relativamente às amostras de rum, sendo que as amostras R1 e R2 apresentam um perfil sensorial bastante diferente da amostra R3. Nas as amostras de aguardentes de Cabo Verde, não se verificaram grandes diferenças.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguiar, D., Pereira, A. C., & Marques, J. C. (2021). Agricultural Rum of Madeira matured on the seafloor: improved physicochemical changes induced by a pioneering seafloor ageing process. *European Food Research and Technology*, 247(12), 3023–3035. <https://doi.org/10.1007/s00217-021-03855-2>
- Anjos, O., Caldeira, I., Pedro, S. I., & Canas, S. (2020b). FT-Raman methodology applied to identify different ageing stages of wine spirits. *LWT*, 134, 110179, <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110179>
- Anjos, O., Caldeira, I., Roque, R., Pedro, S. I., Lourenço, S., & Canas, S. (2020a). Screening of different ageing technologies of wine spirit by application of near-infrared (NIR) spectroscopy and volatile quantification. *Processes*, 8(6), 1–18. <https://doi.org/10.3390/pr8060736>
- Anjos, O., Comesaña, M. M., Caldeira, I., Pedro, S. I., Oller, P. E., & Canas, S. (2020c). Application of functional data analysis and FTIR-ATR spectroscopy to discriminate wine spirits ageing technologies. *Mathematics*, 8(6), 896. <https://doi.org/10.3390/MATH8060896>
- Anjos, O., Frazão, D., & Caldeira, I. (2017). Physicochemical and sensorial characterization of honey spirits. *Foods*, 6(8), 1–14. <https://doi.org/10.3390/foods6080058>
- Anjos, O., Pedro, S. I., Caramelo, D., Semedo, A., Antunes, C. A. L., Canas, S., & Caldeira, I. (2021). Characterization of a spirit beverage produced with strawberry tree (*Arbutus unedo* L.) fruit and aged with oak wood at laboratorial scale. *Applied Sciences*, 11(11) 5065. <https://doi.org/10.3390/app11115065>
- Anjos, O., Santos, R., Estevinho, L. M., & Caldeira, I. (2020d). FT-RAMAN methodology for the monitoring of honeys' spirit distillation process. *Food Chemistry*, 305, 125511. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125511>
- Araújo, A. C. C., Trugilho, P. F., Napoli, A., De Carvalho Braga, P. P., De Lima, R. V., & De Paula Protásio, T. (2016). Efeito da relação siringil/guaiacil e de fenóis derivados da lignina nas características da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus* spp. *Scientia Forestalis/Forest Sciences*, 44(110), 405–414. <https://doi.org/10.18671/scifor.v44n110.13>
- ARFA. (2015). Guia de Boas Práticas de Produção de Aguardente de Cana-de-Açúcar. Praia: Agência de Regulação e Supervisão dos Produtos Farmacêutica e Alimentares de Cabo Verde.

- Azevedo, J. L. (1947). *Épocas de Portugal económico: esboços de história*. Lisboa: Livraria clássica editora de A. M. Teixeira & C.A (filhos)
- Balcerek M, Pielech-Przybylska K, Dziekońska-Kubczak U, Patelski P, Straż E. (2017) Changes in the Chemical Composition of Plum Distillate During Maturation with Oak Chips under Different Conditions. *Food Technology and Biotechnology*. 55(3), 333-359. <https://doi.org/10.17113/ftb.55.03.17.5145>.
- Belchior, A. P., Carvalho, E. C. (1984). Determinação da acidez total em aguardentes: Estudo Comparativo de Indicadores. *Ciencia Técnica Vitivinícola*, 2, 61–71. [https://www.inia.pt/images/doi-portos-publicacoes/CTV\\_Vol3\\_p61-71\\_1984.pdf](https://www.inia.pt/images/doi-portos-publicacoes/CTV_Vol3_p61-71_1984.pdf)
- Bortoletto, A.M. (2023) Chapter 3 - Rum and cachaça, In *Distilled Spirits*, 61-74, Hill A., Jack F. (Ed.s). Academic Press, Elsevier
- Caldeira, I., Anjos, O., Belchior, A. P., & Canas, S. (2017). Sensory impact of alternative ageing technology for the production of wine brandies. *Ciencia e Tecnica Vitivinicola*, 32(1), 12–22. <https://doi.org/10.1051/ctv/20173201012>
- Caldeira, I., Anjos, O., Portal, V., Belchior, A. P., & Canas, S. (2010). Sensory and chemical modifications of wine-brandy aged with chestnut and oak wood fragments in comparison to wooden barrels. *Analytica Chimica Acta*, 660(1–2), 43–52. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2009.10.059>
- Caldeira, I., Pereira, R., Clímaco, M. C., Belchior, A. P., & De Sousa, R. B. (2004). Improved method for extraction of aroma compounds in aged brandies and aqueous alcoholic wood extracts using ultrasound. *Analytica Chimica Acta*, 513(1), 125–134. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2003.10.011>
- Caldeira, I., Vitória, C., Anjos, O., Fernandes, T. A., Gallardo, E., Fargeton, L., Boissier, B., Catarino, S., & Canas, S. (2021). Wine spirit ageing with chestnut staves under different micro-oxygenation strategies: Effects on the volatile compounds and sensory profile. *Applied Sciences*, 11(9), 3991. <https://doi.org/10.3390/app11093991>
- Caldeira, I., Belchior, A. P., Clímaco, M.C., Bruno de Sousa, R. (2002). Aroma profile of portuguese brandies aged in chestnut and oak woods. *Analytica Chimica Acta* 458, 55-62. [https://doi.org/10.1016/S0003-2670\(01\)01522-7](https://doi.org/10.1016/S0003-2670(01)01522-7)
- Canuto, M., & Silva, J. B. (2004). Determination of Al, Cd, and Pb in Brazilian Sugar Cane Spirit, Cachaça, by ETAAS Using Matrix-matched Calibration. *Atomic Spectroscopy*, 25, 140-144. <https://doi.org/10.46770/AS.2004.03.005>
- Cantarella, H. Buckeridge, M. S., Sluys, M.-A., V., Souza, A.P., Garcia, A.A.F., Nishiyama Jr., M.Y., Filho, R.M., Cruz, C. H. B., Souza, G. M. (2012). Sugar Cane. In *Handbook of Bioenergy Crop Plants*. 523-561. Kole, C., Joshi, C. P., & Shonnard, D. R (eds). CRC Press. London <https://doi.org/10.1201/b11711>

- Capitani, M. I. R. M. M. (2023). Sensory analysis of dehydrated orange juices: quantitativa descriptive analysis and sensory acceptability test. *Tecnociencia Chihuahua, VII*, e1325. <https://doi.org/10.54167/tch.v17i3.132>
- Caruso, M. S. F., Nagato, L. A. F., & Alaburda, J. (2008). Avaliação do teor alcoólico e componentes secundários de cachaças. *Revista do Instituto Adolfo Lutz*, 67(1), 28-33. <http://dx.doi.org/10.53393/rial.2008.67.32786>
- Cardoso, D. R., Lima-Neto, B. S., Franco, D. W., & Do Nascimento, R. F. (2003). Influência do material do destilador na composição química das aguardentes de cana. Parte II. *Quimica Nova*, 26(2), 165–169. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422003000200004>
- Carvalho, L. C. (2015). *Uso da espectroscopia do infravermelho próximo (NIR) como método não destrutivo para a discriminação de aguardentes de cana-de-açúcar produzidas no estado de são paulo e minas gerais, e predição do teor de etanol*. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciências Farmacêuticas-Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. 128p.
- Carreira, A. (1982). Estudos de Económia Caboverdiana. Lisboa: Imprensa Nacional da Casa da Moeda (INCM)
- Corbion, C., Smith-Ravin, J., Marcelin, O., & Bouajila, J. (2023). An Overview of Spirits Made from Sugarcane Juice. *Molecules*, 28, 6810. <https://doi.org/10.3390/molecules28196810>
- Corbion, C., Smith-Ravin, J., Marcelin, O., Bouajila, J., (2025) Assessment of chemical composition of AOC agricultural rum from Martinique. *Food Chemistry*, 481, 144071. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.144071>.
- Coussan, S., Alikhani, M. E., Perchard, J. P., & Zheng, W. Q. (2000). Infrared-induced isomerization of ethanol dimers trapped in argon and nitrogen matrices: Monochromatic irradiation experiments and DFT calculations. *Journal of Physical Chemistry A*, 104(23), 5475–5483. <https://doi.org/10.1021/jp0001283>
- Cozzolino, D., Smyth, H. E., & Gishen, M. (2003). Feasibility Study on the Use of Visible and Near-Infrared Spectroscopy Together with Chemometrics to Discriminate between Commercial White Wines of Different Varietal Origins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(26), 7703–7708. <https://doi.org/10.1021/jf034959s>
- Chen, H., Tan, C., Wu, T., Wang, L., & Zhu, W. (2014). Discrimination between authentic and adulterated liquors by near-infrared spectroscopy and ensemble classification. *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 130, 245–249. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2014.03.091>
- Christoph, N., Bauer-Christoph, C. (2007). Flavour of Spirit Drinks: Raw Materials, Fermentation, Distillation, and Ageing. In: Berger, R.G. (eds) *Flavours and Fragrances*. Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-49339-6\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-540-49339-6_10)

- Dantas, H. J. (2013). *Aguardente bidestilada de algaroba envelhecida em barris de diferentes madeiras*. Tese de doutoramento. Centro de Ciências e Tecnologia- Universidade Federal de Campina Grande. 144p.
- Decreto-Lei nº 11/2015. Estabelece o regime jurídico de produção de aguardente de cana-de açúcar em Cabo Verde. Boletim Oficial n.º 11, I Série de 12-02-2015, 449-458
- Djekic, I., Lorenzo, J., Munekata, P., Gagaoua, M., & Tomasevic, I. (2023). Review on characteristics of trained sensory panels in food science. *Journal of Texture Studies*, 2021(4), 501–509. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12616>
- Expresso das Ilhas (19-01-2025). Do “Trapiche” ao copo, Cabo Verde entra na nova época de produção do grogue
- Faísca M., Galego L., Caldeira I., 2016. Pesquisa de marcadores químicos e sensoriais associados ao descritor “caudas” em aguardentes vínicas. In: 10.º Simpósio de Vitivinicultura do Alentejo, 269–277. CVRA, Évora.
- Ferreira, T., Galluzzi, L., de Paulis, T., & Farah, A. (2021). Three centuries on the science of coffee authenticity control. *Food Research International*, 149, 110690. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110690>
- Forlin, F. J. (2005). *Maturação de aguardente de cana composta com extrato de madeira de carvalho em embalagens de polietileno tereftalato (PET)*. Tese de doutoramento. Faculdade de Engenharia de Alimentos -Universidade Estadual de Campinas. 176p.
- Franitza, L., Granvogl, M., & Schieberle, P. (2016). Characterization of the Key Aroma Compounds in Two Commercial Rums by Means of the Sensomics Approach. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(3), 637–645. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b05426>
- Franitza, L., Granvogl, M., & Schieberle, P. (2016b). Influence of the Production Process on the Key Aroma Compounds of Rum: from Molasses to the Spirit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(47), 9041–9053. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b04046>
- Gallo, D., Nakano, O., & Neto, S. S. (2002). *Entomologia Agrícola*. São Paulo: FEALQ
- Goldemberg, J., Coelho, S. T., & Guardabassi, P. (2008). The sustainability of ethanol production from sugarcane. *Energy Policy*, 36(6), 2086–2097. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.02.028>
- Gomes, F. C. O., Pataro, C., Guerra, J. B., Neves, M. J., Corrêa, S. R., Moreira, E. S. A., & Rosa, C. A. (2002). Physiological diversity and trehalose accumulation in *Schizosaccharomyces pombe* strains isolated from spontaneous fermentations during the production of the artisanal Brazilian cachaça. *Canadian Journal of Microbiology*, 48(5), 399–406. <https://doi.org/10.1139/w02-032>

- Gonçalves, R. C. F., Teodoro, M. M. G., Machado, A. M. de R., Gomes, F. de C. O., Badotti, F., & Cardoso, M. das G. (2016). *Compostos voláteis em cachaças de alambique produzidas por leveduras selecionadas e por fermentação espontânea*. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 285p
- Granel, L. N. S. (2018). *Determinação de Metais em Vinho da Madeira e Rum da Madeira*. Tese de Mestrado em Bioquímica Aplicada. Universidade da Madeira. 91p.
- Granja-Soares, J., Roque, R., Cabrita, M. J., Anjos, O., Belchior, A. P., Caldeira, I., & Canas, S. (2020). Effect of innovative technology using staves and micro-oxygenation on the odorant and sensory profile of aged wine spirit. *Food Chemistry*, 333. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127450>
- Guerrero-Chanivet, M., Guillén-Sánchez, D. A., Valcárcel-Muñoz, M. J., García-Moreno, M. V., & Anjos, O. (2023). FT-Raman Methodology Applied to Study the Effect of Time and Type of Seasoning in the Crafting of Sherry Casks® Used in the Aging of Brandy De Jerez. *Sensors*, 23(21), 8962. <https://doi.org/10.3390/s23218962>
- INE. (2008). Instituto Nacional de Estatística: Classificação das Actividades Económicas de Cabo Verde, Revisão 1: CAE CV-Rev.1 2008 - 182 Pág
- Inforpress. (26-05-2024). Porto Novo Safra de Cana-de-Açúcar e Industrialização do Grogue na Recta Final
- IVBAM. (2023). Instituto do Vinho, do Bordado e do Artesanato da Madeira
- ISO 8586 (2012). Sensory analysis – General guidelines for the selection, training and monitoring of selected assessors and expert sensory assessors
- ISO 3591 (1977). Sensory analysis – Wine-tasting glass
- Kolomiets, O. A., Lachenmeier, D. W., Hoffmann, U., & Siesler, H. W. (2010). Quantitative determination of quality parameters and authentication of vodka using near infrared spectroscopy. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 18(1), 59–67. <https://doi.org/10.1255/jnirs.866>
- Lea, A. G. (1995). *Enzymes in the production of beverages and fruit juice*. Sprinder-Science+ Business Media, B. V.
- Leite, J. J. do R., Oliveira, E. N. Al., Almeida, F. L. C., & Feitosa, R. M. (2017). Caracterização físico-química de aguardentes de cana-de-açúcar produzidas no Rio Grande do Norte. *Revista brasileira Tecnologia Agroindustrial*, 11, 2297-2313. <https://periodicos.utfpr.edu.br/rbta>
- Lima, C. M. G., Benoso, P., Pierezan, M. D., Santana, R. F., Hassemer, G. de S., da Rocha, R. A., Dalla Nora, F. M., Verruck, S., Caetano, D., & Simal-Gandara, J. (2022). A state-of-the-art review of the chemical composition of sugarcane spirits and current advances in quality control. *Journal of Food Composition and Analysis*, 106, 104338. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.104338>

- Liu, J., Grønbeck, M. S., Di Monaco, R., Giacalone, D., & Bredie, W. L. P. (2016). Performance of Flash Profile and Napping with and without training for describing small sensory differences in a model wine. *Food Quality and Preference*, 48, 41–49. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2015.08.008>
- Llobell, F., & Cariou, V. (2024). A simple process to analyze free sorting data given incomplete block designs. *Science Talks*, 10, 100336. <https://doi.org/10.1016/j.sctalk.2024.100336>
- Macfie, H.J.M.; Bratchell, N.; Greenhoff, H.; Vallis, L.V. (1989). Designs to balance the effects of order of presentation and first order carryover effects in hall tests. *Journal of sensory studies*, 4, 129–148. <https://doi.org/10.1111/j.1745-459X.1989.tb00463.x>
- Manfugás, J. E. (2007). *Evaluacion Sensorial de los Alimentos*. La Habana: Editorial Universitaria.
- Meilgaard, M. C. G. & Carr, B. T. (2016). *Sensory evaluation techniques*. CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Melo, T. dos S., Magalhães, A. E. de M., Da Silva, A. P. G., Da Silva, E. L., Lins, H. T. S., Ferreira, M. C., Melo, T. dos S., & De Oliveira, M. M. B. (2021). Processo de produção da aguardente e cachaça: Uma revisão / Process of production of the brandy and cachaça: A review. *Brazilian Journal of Development*, 7(10), 95981–96001. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n10-86>
- Mendes, A. E. S. (2023). *Inovação na indústria de aguardente de cana-de-açúcar em Cabo Verde: Efeito do Decreto Lei nº 11/2015 na transformação de uma atividade tradicional numa indústria moderna e competitiva*. Dissertação de Mestrado em Políticas Públicas e Projectos. Escola de Ciências Sociais- Universidade de Évora. 141p.
- Miranda, M. B. de, Martins, N. G. S., Belluco, A. E., & Alcarde, A. R. (2007). Chemical quality of brazilian sugarcane spirits. *Ciênc. Tecnol. Aliment*, 27, (4), 897-901.
- Morais, L. K. de, Cursi, D. E., Santos, J. M., Sampaio, M., Câmara, T. M., Silva, P. de A., Barbosa, G. V., & Hoffmann, H. P. (2015). *Melhoramento genético da cana de açúcar*. Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, Brasil. 38 p. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1042764/1/Doc200.pdf>
- Mulye, S. (2019). *The effect of distillation conditions and molasses concentration on the volatile compounds of unaged rum*. Master thesis, Auckland University of Technology. 77p.
- Nogueira, A. M., & Filho, V. V. (2005). *Aguardente de cana*. Universidade Estadual Paulista – UNESP, 67p.
- OIV. (2019). *Compendium of international methods of analysis for spirituous beverages and alcohols*. Organisation of Vine and Wine.

- Pedro, S. I., Coelho, E., Peres, F., Machado, A., Rodrigues, A. M., Wessel, D. F., Coimbra, M. A., & Anjos, O. (2020). Physicochemical fingerprint of “Pera Rocha do Oeste”. A PDO pear native from Portugal. *Foods*, 9(9), 1209. <https://doi.org/10.3390/foods90912090>
- Pereira, R. F. R. (2011). *Componentes de aguardentes de cana-de-açúcar de cabo verde e do nordeste brasileiro: uma análise comparativa*. Dissertação de Mestrado em Química. Universidade Estadual do Ceará. 84p.
- Pino, J. A., Tolle, S., Gök, R., & Winterhalter, P. (2012). Characterisation of odour-active compounds in aged rum. *Food Chemistry*, 132(3), 1436–1441. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.11.133>
- Pu, D., Xu, Z., Sun, B., Wang, Y., Xu, J., & Zhang, Y. (2025). Advances in Food Aroma Analysis: Extraction, Separation, and Quantification Techniques. *Foods*, 14, 1302. <https://doi.org/10.3390/foods14081302>
- Ramos, A.C.N. (2015). *Caraterização de aguardente de cana-de-açúcar “Grogue de Cabo Verde.”* Dissertação de Mestrado em Gestão Da Qualidade e Segurança Alimentar. Escola Superior De Turismo e Tecnologia do Mar-Instituto Politécnico de Leiria. 86p
- Regulamento (UE) 2019/787 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 17 de abril de 2019, relativo à definição, designação, apresentação e rotulagem das bebidas espirituosas, à utilização das denominações das bebidas espirituosas na apresentação e rotulagem de outros géneros alimentícios e à proteção das indicações geográficas das bebidas espirituosas, à utilização de álcool etílico e de destilados de origem agrícola na produção de bebidas alcoólicas, e que revoga o Regulamento (CE) n.º 110/2008. JO L 130 de 17.5.2019, 1–54.
- Rodolfo, J. F., Ribeiro Junior, W. Q., Ramos, M. L. G., Rocha, O. C., Batista, L. M. T., & Silva, F. A. M. (2016). Produtividade e Qualidade de Variedades de Cana-de-Açúcar de Terceira Soca sob Regime Hídrico Variável. *Nativa*, 4(1), 36–43. <https://doi.org/10.14583/2318-7670.v04n01a08>
- Rodriguez-Saona, L. E., Fry, F. S., Mclaughlin, M. A., & Calvey, E. M. (2001). Rapid analysis of sugars in fruit juices by FT-NIR spectroscopy. *Carbohydrate Research*, 336 (1), 63-74. [https://doi.org/10.1016/S0008-6215\(01\)00244-0](https://doi.org/10.1016/S0008-6215(01)00244-0)
- Savchuk, S. A., Palacio, C., Gil, A., Tagliaro, F., Kuznetsov, R. M., Brito, A., & Appolonova, S. A. (2020). Determination of the chemical composition of alcoholic beverages by gas chromatography-mass spectrometry. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(9), e14676. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14676>
- Savchuk, S. A., Vlasov, V. N., Appolonova S. A., Arbuzov, V. N., & Vedenin A. N. (2001). Application of Chromatography and Spectrometry to the Authentication of Alcoholic Beverages. *Journal of Analytical Chemistry*, 56, 214–231. <https://doi.org/10.1023/A:1009446221123>

- Sidel, J. L., & Stone, H. (1993). The role of sensory evaluation in the food industry. *Food Quality and Preference*, 4, (1–2), 65-73. [https://doi.org/10.1016/0950-3293\(93\)90314-V](https://doi.org/10.1016/0950-3293(93)90314-V).
- Silva, F. A. da, Morais, K. C. R. C., Ribeiro, K. O., Garcia, L. G. C., & Caliari, M. (2020a). Evolution of the content of phenolic compounds, antioxidant activity and color in organic sugarcane spirit aged in barrels of different woods. *Research, Society and Development*, 9(5), e138953302. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i5.3302>
- Silva, A. P., Silvello, G. C., Bortoletto, A. M., & Alcarde, A. R. (2020b). Chemical composition of sugar cane spirit produced from different distillation methods. *Brazilian Journal of Food Technology*, 23, e2018308. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.30818>
- Souza, L.M., Alcarde, A. R., Lima, F. V., Bortoletto, A.M. (2013). Produção de Cachaça de Qualidade. ESALQ, Piracicaba, Brasil <https://www.researchgate.net/publication/267325830>
- Silveira, J. C. (1967). Portugal no Mundo e a Soberania do seu Açúcar. *Anais do Instituto Superior de Agronomia*, XXX, 235-249.
- Schwarz, M., Carmen Rodríguez-Dodero, M., Soledad Jurado, M., Puertas, B., Barroso, C. G., & Guillén, D. A. (2020). Analytical characterization and sensory analysis of distillates of different varieties of grapes aged by an accelerated method. *Foods*, 9(3), 277. <https://doi.org/10.3390/foods9030277>
- Torrão, M. M. (2012). Doces Grãos e Líquido Espiritualizante: Cana, Açúcar e Aguardente nas Ilhas de Cabo Verde Ideias Feitas a Realidades Documentais. In: Atas Do Colóquio Internacional Cabo Verde e Guiné Bissau: Percursos Do Saber e da Ciência. Instituto de Investigação Científica Tropical e ISCSP-UTL-Instituto Superior de Ciências Sociais e Políticas da Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- Trevisan, D. P., & Moschini, L. E. (2018). Evolução do mercado de cana-de-açúcar. *Revista de Ciências Agroambientais*, 16(2), 139–148. <https://doi.org/10.5327/Z1677-606220192515>
- VAGROG. (2021). Procedimento de Vistoria: Unidade de Produção de Aguardente de Cana-de-açúcar. Praia: Gabinete de Comunicação e Gestão de Utentes da ERIS.
- Valentin, D.; Cholet, S.; Nestrud, M.; Abdi, H. (2016) Projective mapping and sorting tasks. In *Descriptive Analysis in Sensory Evaluation*; 206-209, Hort, J., Kemp, S., Hollowood, T., (Eds.); Wiley-Blackwell: London, UK.
- van Bommel, R., Stieger, M., Schlich, P., & Jager, G. (2019). Dutch consumers do not hesitate: Capturing implicit ‘no dominance’ durations using Hold-down Temporal Dominance methodologies for Sensations (TDS) and Emotions (TDE). *Food*

*Quality and Preference*, 71, 332–342.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2018.08.008>

- Vaskova, H. (2014). Spectroscopic determination of methanol content in alcoholic drinks. <https://www.researchgate.net/publication/288094399>
- Vicente, M. de A., Fietto, L. G., Castro, I. de M., Santos, A. N. G. dos Coutrim, M. X., & Brandão, R. L. (2006). Isolation of *Saccharomyces cerevisiae* strains producing higher levels of flavoring compounds for production of “cachaça” the Brazilian sugarcane spirit. *International Journal of Food Microbiology*, 108(1), 51–59. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2005.10.018>
- Vicentini-Polette, C. M., Belé<sup>1</sup>, J. S. A. H. S., Teresa, M., Borges<sup>1</sup>, M. R., Spoto<sup>2</sup>, M. H. F., & Verruma-Bernardi<sup>1</sup>, M. R. (2019). Physicochemical and sensorial characterization of commercial sugarcane syrups Caracterização físico-química e sensorial de melados comerciais de cana-de-açúcar. *Revista de Ciências Agrárias*. 42(3), 808-816. <https://doi.org/10.19084/rca.17279>
- Vieira, A. (2007). As Ilhas e a expansão da cultura e tecnologia da cana-de-açúcar no Atlântico nos séculos XV a XIX. *Revista Labor & Engenharia*, 1(1), 1-20. [www.conpadre.org](http://www.conpadre.org)
- Wójcicki, K. (2015). Application of NIR spectroscopy for whisky identification and determination the content of ethanol. *Current Trends In Commodity Science*, 123, 123-133. <https://www.researchgate.net/publication/348806642>
- Xavier, W. A. (2021). Desempenho da Variedade da Cana-de-açúcar sobre Efeito Residual da Calagem. Bacharelato em Agronomia, Universidade Federal Da Paraíba, Areia, 37 p.
- Yadav, P. K., & Sharma, R. M. (2019). Classification of illicit liquors based on their geographic origin using Attenuated total reflectance (ATR) – Fourier transform infrared (FT-IR) spectroscopy and chemometrics. *Forensic Science International*, 295, e1–e5. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2018.12.017>
- YARA, (20-06-2023). Quem são os maiores produtores de cana-de-açúcar do mundo. Publicado em Knowledge Grows. <https://www.yarabrasil.com.br/conteudo-agronomico/blog/producao-mundial-de-cana-de-acucar/>
- Zanghelini G., Giampaoli P., Athès V., Vitu S., Wilhelm V., Esteban-Decloux M., 2024. Charentaise distillation of cognac. Part I: Behavior of aroma compounds. *Food Research International*, 178, 113977. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.113977>

### Referência Eletrônica

<https://ranipierotti.com.br/>.

<https://www.agrolink.com.br/culturas/cana-de-acucar/informacoes-da-cultura>.

<https://ranipierotti.com.br/>.

## **7. ANEXO**

### **Anexo A**

**Tabela- 1:** Valores médios e desvio padrão relativo ao parâmetro físico-químico e as respectivas concentrações em g/hL AP de acetaldeídos, acetato de etilo, e metanol

<b>Parâmetro físico-químico e acetaldeídos, acetato de etilo e metanol</b>						
<b>Amostras</b>	<b>pH</b>	<b>AT (g/hL A.P.)</b>	<b>TAV(%v/v)</b>	<b>Acetaldeídos (g/hl AP)</b>	<b>Acetato de etila (g/hL AP)</b>	<b>Metanol (g/hL AP)</b>
G1	3.97±0.00 <sup>e</sup>	77±0.02 <sup>g</sup>	42.70	9.38±2.73 <sup>c</sup>	77.68±1.61 <sup>g</sup>	0,00
G2	4.05±0.01 <sup>f</sup>	62±0.02 <sup>f</sup>	44.90	10.21±1.30 <sup>d</sup>	66.35±2.34 <sup>e</sup>	0,00
G3	4.07±0.01 <sup>g</sup>	56±0.00 <sup>e</sup>	42.30	9.87±0.0 <sup>cd</sup>	62.990±0.14 <sup>d</sup>	0,00
G4	3.76±0.00 <sup>b</sup>	111±0.01 <sup>i</sup>	37.20	12.27±0.07 <sup>de</sup>	95.56±0.22 <sup>h</sup>	0,00
G5	3.83±0.00 <sup>c</sup>	79±0.02 <sup>h</sup>	45.00	24.69±0.59 <sup>b</sup>	140.28±0.48 <sup>i</sup>	0,00
G6	3.86±0.00 <sup>d</sup>	54±0.00 <sup>d</sup>	43.10	5.49±0.13 <sup>b</sup>	72.77±3.24 <sup>f</sup>	0,00
R1	8.54±0.01 <sup>i</sup>	2±0.00 <sup>a</sup>	39.70	7.54±0.88 <sup>bc</sup>	1.54±0.01 <sup>a</sup>	0,00
R2	4.28±0.01 <sup>h</sup>	8± 0.00 <sup>b</sup>	34.49	14.22±0.11 <sup>e</sup>	11.83±0.05 <sup>b</sup>	0,00
R3	3.59±0.01 <sup>a</sup>	17±0.00 <sup>c</sup>	49.97	9.52±0.072 <sup>c</sup>	23.01±0.03 <sup>c</sup>	0,00

Letras iguais na mesma coluna indicam que não há diferença significativa para um nível de significância de  $p < 0,05$  entre as diferentes amostras

## Anexo B

**Tabela- 1:** Valores dos compostos voláteis maioritários (álcoois superiores) das amostras (média ± desvio padrão) em g/hL AP

Amostras	Álcoois Superiores (g/hL AP)						Totais
	2-butanol	propanol	2-metil-1-propanol	2-propeno-1-ol	1-butanol	2+3-metil-1-butanol	
G1	0.00	64.12±0.01 <sup>f</sup>	39.21±0.034 <sup>d</sup>	0.00	1.02±0.01 <sup>c</sup>	103.57±0.16 <sup>c</sup>	207.92±0.2215
G2	0.00	55.76±2.10 <sup>d</sup>	43.56±2.07 <sup>e</sup>	0.00	0.56±0.33 <sup>ab</sup>	136.37±1.09 <sup>f</sup>	240±0.17
G3	0.00	60.77±0.01 <sup>e</sup>	36.28±0.10 <sup>c</sup>	0.00	0.47±0.18 <sup>ab</sup>	126.29±0.33 <sup>e</sup>	223.81±0.12
G4	0.00	87.04±0.03 <sup>g</sup>	47.91±0.01 <sup>f</sup>	0.00	0.78±0.01 <sup>c</sup>	60.19±0.21 <sup>b</sup>	195.92±0.21
G5	0.00	29.09±0.15 <sup>c</sup>	22.77±0.09 <sup>b</sup>	0.00	0.30±0.14 <sup>a</sup>	60.48±0.06 <sup>b</sup>	112.64±0.15
G6	0.00	25.64±1.07 <sup>b</sup>	40.81±1.57 <sup>d</sup>	0.22±0.03 <sup>b</sup>	0.34±0.01 <sup>ab</sup>	118.34±4.05 <sup>d</sup>	185.35±0.43
R1	0.00	1.35±0.02 <sup>a</sup>	93.9±0.46 <sup>a</sup>	0.00	0.20±0.29 <sup>a</sup>	150±0,13 <sup>a</sup>	245.45±0.2
R2	0.00	1.33±0.65	0.38±0.01 <sup>a</sup>	0.00	0.00	1.32±0.57 <sup>a</sup>	3.03±0.5
R3	0.83±0.02	144.69±0.36 <sup>h</sup>	49.01±0.22 <sup>f</sup>	0.67±0.05 <sup>a</sup>	0.70±0.02 <sup>bc</sup>	119.19±0.45 <sup>d</sup>	315.09±0.22

Letras iguais na mesma coluna indicam que não há diferença significativa para um nível de significância de  $p < 0,05$  entre as diferentes amostras