



**Serviço Público Federal
Universidade Federal da Paraíba
Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional
Departamento de Tecnologia Sucroalcooleira**



THIAGO VICENTE RODRIGUES FERNANDES

**REDESTILAÇÃO DE FRAÇÕES DA CACHAÇA PARA PRODUÇÃO DE
ETANOL HIDRATADO**

**JOÃO PESSOA/PB
2025**

THIAGO VICENTE RODRIGUES FERNANDES

**REDESTILAÇÃO DE FRAÇÕES DA CACHAÇA PARA PRODUÇÃO DE
ETANOL HIDRATADO**

Trabalho de Conclusão do Curso de Tecnologia em Produção Sucroalcooleira do Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional (CTDR) da Universidade Federal da Paraíba, como requisito para a obtenção do grau de Tecnólogo em Produção Sucroalcooleira.

Orientador(a): Prof. Dr. Kelson Carvalho Lopes

JOÃO PESSOA/PB
2025

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

F363r Fernandes, Thiago Vicente Rodrigues.

Redestilação de frações da cachaça para produção de etanol hidratado / Thiago Vicente Rodrigues Fernandes.

- João Pessoa, 2025.

70 f. : il.

Orientação: Kelson Carvalho Lopes Lopes.

TCC (Graduação) - UFPB/CTDR.

1. Frações. 2. Cachaça. 3. Redestilação. 4. Etanol hidratado. I. Lopes, Kelson Carvalho Lopes. II. Título.

UFPB/CTDR

CDU 663.543

TCC aprovado em 29/9/25 como requisito para a conclusão do curso de Tecnologia em Produção Sucoalcooleira da Universidade Federal da Paraíba.

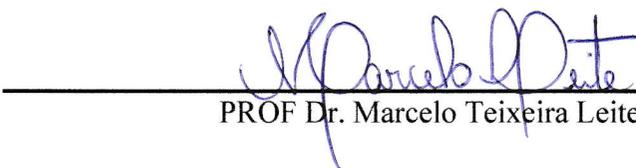
BANCA EXAMINADORA:



PROF Dr. Kelson Carvalho Lopes - (UFPB – Orientador)



PROF^a Dr^a. Danielle Christine Almeida Jaguaribe - (UFPB – Membro interno)



PROF Dr. Marcelo Teixeira Leite - (UFPB – Membro interno)

DEDICATÓRIA

Primeiro a Cristo, autor e consumidor da minha fé, minha esposa e filho amado, que sempre estiveram ou meu lado nessa trajetória, a toda minha família que foi minha rede de apoio nesse projeto. É por fim, a todos os amigos e colegas que fiz ao longo do curso e não esquecendo do Professor Dr. Kelson Carvalho Lopes, por sua dedicação e esforço em me ajudar nesse momento tão importante na minha formação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Senhor, por ter guiado os meus passos e me dado forças para continuar lutando em busca da minha formação. Aos meus amigos de turma e aos que se achegaram aos logos dos anos Pedro André, Luan, Max, Gabriel

Aos técnicos de laboratórios que conheci durante todo curso e em especial ao Tec. Diego, do laboratório de Sucro.

A todos os professores do CTDR que contribuíram cada um com seu conhecimento ao longo a minha formação acadêmica.

E em especial também ao prof. Kelson Carvalho Lopes por toda a sua dedicação e empenho em me orientar nesse trabalho.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar a viabilidade da redestilação de frações da cachaça, para a produção de etanol hidratado. A pesquisa foi realizada por meio de destilação em alambique, utilizando amostras das frações cabeça, coração e cauda de cachaças previamente produzidas. A redestilação e as análises dos destilados foram realizadas nos laboratórios de tecnologia em produção sucroalcooleira (LTS) e de processos operações unitárias (LAPOU) do Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional da UFPB. Os produtos da redestilação foram submetidos análises do teor alcoólico, acidez, massa específica, pH, condutividade e densidade. Com relação a teor, apenas a amostra “coração 1” **com 42,2°GL estava** dentro da faixa de limite entre 38 e 48°GL Já com relação ao Etanol obtido com instrumento de destilação, nenhuma amostra se demonstrou favorável ao **teor alcoólico** para um Etanol Hidratado. Dentre a massa específica nenhuma das seguintes amostras chegou no parâmetro, a não ser, uma proximidade que foi a “**amostra 1 (Sábado)**” de um limite de 0,8112 g/cm³ **obtendo 0,8671 g/cm³**. O pH nenhuma amostra também foi satisfatória para o parâmetro de 6 a 8 para um Etanol hidratado. Para a condutividade todas as amostras obtiveram êxito, estando dentro do limite esperado sendo menor que **300** de um máximo de 30 mg CH₃ COOH/100ml de álcool de acidez apenas a “amostra 2 (domingo)” que ultrapassou do limite chegando a **44,99 mg CH₃ COOH/100ml**. Todas as outras amostras foram positivas.

Palavras-chave: frações cachaça, redestilação, etanol hidratado.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the feasibility of redistilling cachaça fractions to produce hydrated ethanol. The research was conducted using still distillation, using samples of the head, heart, and tail fractions of previously produced cachaças. Cachaça is the most widely consumed distilled beverage in Brazil. Produced since the 16th century, it has an alcohol content of between 38% and 48%, and when made in a still, only the "heart" fraction is used for distillation, ensuring better aroma and flavor. Cachaça distillation separates the volatile fractions of the wine heated in the still, concentrating the ethanol and aromatic compounds. The work presented here aims to extract fractions, primarily the tail and head fractions—leftover from distillation that are not used in the commercialization of cachaça due to their harmful compounds and undesirable flavor and aroma for the final product—and the heart fraction. Double distillation and generation of ethanol and alcohols with different concentrations that may have other industrial uses. The redistillation and distillate analyses were performed in the Sugarcane Production Technology (LTS) and Unit Operations Processes (LAPOU) laboratories of the Center for Technology and Regional Development (CTDR) at UFPB. In this experiment, several analyses were performed. The redistillation products were subjected to analyses for alcohol content, acidity, specific gravity, pH, pH, conductivity, and density. All containers containing various samples of the Syrup and Heart fractions were combined. The total yield was 10,219 ml of heart and 10,760 ml of syrup. They were double-distilled in assembled and adapted equipment, following the distillation course, an increase in ethanol concentration was noted, varying between. Regarding content, only sample "heart 1" with 42.2°GL was within the limit range between 38 and 48°GL. Regarding the Ethanol obtained with distillation instrument, no sample proved to be favorable in terms of alcohol content for a Hydrated Ethanol. Among the specific mass, none of the following samples reached the parameter, except for a proximity that was "sample 1 (Saturday)" of a limit of 0.8112 g/cm³ obtaining 0.8671 g/cm³. As for pH, no sample was also satisfactory for the parameter of 6 to 8 for a Hydrated Ethanol. For conductivity, all samples were successful, being within the expected limit, being less than 300 of a maximum of 30 mg CH₃ COOH/100ml of acidity alcohol. Only "sample 2 (Sunday)" exceeded the limit, reaching 44.99 mg CH₃ COOH/100ml. All other samples were positive.

Keywords: cachaça fractions, redistillation, hydrous ethanol

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Gravura histórica retratando canaviais e atividades fluviais típicas da paisagem agrícola da região da Paraíba.	21
Figura 2 - 'Casa-grande' da era colonial, típica das plantações de cana-de-açúcar na Paraíba, Brasil.....	22
Figura 3 - Ilustração de uma plantação de cana-de-açúcar da era colonial na Paraíba, mostrando a casa principal, as moradias dos trabalhadores, os edifícios de produção e a capela típica da produção histórica de açúcar e cachaça.	24
Figura 4 - Alambiques tradicionais de cobre utilizados na produção artesanal de cachaça na Paraíba, Brasil.	26
Figura 5 - Evolução do número de engenhos na Paraíba ao longo dos séculos.....	28
Figura 6 - Edifícios históricos de usinas de açúcar no estado da Paraíba representando a infraestrutura tradicional de produção de açúcar.....	29
Figura 7 - Alambiques de cobre tradicionais usados na produção artesanal de cachaça, ilustrando métodos históricos de destilação no Brasil.	30
Figura 8 - Várias marcas de cachaça expostas em um bar, ilustrando a diversidade dessa tradicional bebida de cana-de-açúcar brasileira.....	31
Figura 9 - Destilaria tradicional de cachaça artesanal com tanques de fermentação de madeira e alambiques de cobre na Paraíba, Brasil.	33
Figura 10 - Chaminé histórica de engenho de cana-de-açúcar em uma instalação tradicional na Paraíba, Brasil, cercada por vegetação tropical.	35
Figura 11 - Fluxograma de fabricação da cachaça.....	37
Figura 12 - Destilador industrial X Destilador Artesanal (alambique).....	43
Figura 13 -. Especificações técnicas para etanol hidratado combustível (EHC) segundo regulamentação ANP	44
Figura 14 -. Resumo das especificações técnicas para etanol hidratado combustível (EHC) segundo regulamentação ANP	49
Figura 15 – Vidraria utilizada.....	54
Figura 16 - Destilador usado no trabalho	55
Figura 17 -. Destilador.....	56
Figura 18 -. Medição com alcoômetro.....	56
Figura 19 -. Condutímetro.....	58

Figura 20 - Titulação	59
Figura 21 - Amostras das frações de cachaça.....	59
Figura 22 - Volumes de etanol obtidos.....	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros físico-químicos da cachaça	42
Tabela 2 - Fração Cabeça.....	53
Tabela 3 - Fração Coração	53
Tabela 4 - Fração Cauda	54
Tabela 5 – Parâmetros físico-químicos da cachaça	60
Tabela 6 – Análises físico-químicas das amostras das frações da cachaça. Mostrados na Figura 21	60
Tabela 7 – Parâmetros para etanol combustível hidratado.....	61
Tabela 8 – Resultados dos parâmetros físico-químicos para etanol hidratado	61

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

°GL - Teor Alcoólico (Gay-Lussac)

°C – grau centigrado

°Brix – grau brix

kg – quilograma

mg- miligramas

G - gramas

mL – mililitro

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	Origens e Primórdios	16
2	OBJETIVO	18
2.1	OBJETIVO GERAL	18
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
3	JUSTIFICATIVA	19
3.1	REDUÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS	19
3.2	VIABILIDADE ECONÔMICA COMPROVADA	19
3.3	MERCADO EM EXPANSÃO	19
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
4.1	História da Fabricação do Açúcar e da Cachaça no Estado da Paraíba	21
4.1.1	Os Primórdios da Ocupação Açucareira (Século XVI)	22
4.1.2	A Consolidação e os Desafios do Período Holandês (Século XVII)	23
4.1.3	A Recuperação e Expansão No Século XVIII	25
4.1.4	A Companhia Geral de Pernambuco e Paraíba	25
4.1.5	O Surgimento da Cachaça: das Origens Coloniais a Identidade Brasileira	26
4.1.6	Regulamentação e Controle Colonial	27
4.1.7	A Expansão do Século XIX e a Diversificação Produtiva	27
4.1.8	A Transição para as Usinas	29
4.1.9	A Especialização na Produção de Cachaça (Século XX)	30
4.1.10	Reconhecimento e Qualidade	31
4.1.11	A Paraíba Contemporânea: Potência na Produção de Cachaça	32
4.1.12	Marco Regulatório e Qualidade	32
4.1.13	Desafios e Perspectivas	33
4.1.14	Patrimônio Cultural e Identidade Regional	34
4.2	FLUXOGRAMA DA PRODUÇÃO DE CACHAÇA.	37

4.3	ETAPAS DO PROCESSO DE DESTILAÇÃO DA CACHAÇA	38
4.3.1	Definição e Princípios do Processo	38
4.3.2	Alambiques de Cobre	38
4.3.3	Colunas de Destilação Industrial	38
4.4	FRAÇÕES DA DESTILAÇÃO	39
4.4.1	Cabeça.	39
4.4.2	Coração.	39
4.4.3	Cauda.	40
4.5	PARÂMETROS TÉCNICOS DA DESTILAÇÃO	40
4.5.1	TEMPERATURAS E CONTROLE	40
4.5.2	GRADUAÇÃO ALCOÓLICA.	40
4.6	DIFERENÇAS ENTRE DESTILAÇÃO ARTESANAL E INDUSTRIAL	41
4.6.1	Processo Artesanal.	41
4.6.2	Processo Industrial.	41
4.6.3	Contaminação por Cobre.	41
4.6.4	Parâmetros Analíticos.	42
4.6.6	Duração e Rendimento do Processo	43
4.7	ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DO ETANOL HIDRATADO COMBUSTÍVEL	44
4.7.1	Características Organolépticas e Inspeção Visual	44
4.7.1.1	Aspecto	44
4.7.1.2	Cor	45
4.7.2	Propriedades Físicas Fundamentais	45
4.7.2.1	Massa Específica e Teor Alcoólico	45
4.7.2.2	pH (Potencial Hidrogeniônico)	45
4.7.2.3	Condutividade Elétrica	46
4.7.3	Análises Químicas Específicas	46
4.7.3.1	Acidez Total	46
4.7.3.2	Teor de Metanol	46

4.7.3.3	Teor de Água	47
4.7.4	Análises de Contaminantes Inorgânicos	47
4.7.4.1	Determinação de Metais	47
4.7.4.2	Íons Inorgânicos	48
4.7.5	Análises de Resíduos e Contaminantes Orgânicos	48
4.7.5.1	Resíduo por Evaporação	48
4.7.5.2	Teor de Hidrocarbonetos	48
4.7.6	Métodos Analíticos Alternativos e Inovadores	48
4.7.6.1	Espectroscopia no Infravermelho Próximo (NIR)	48
4.7.7	Métodos Colorimétricos Portáteis	50
4.7.8	Sensores Baseados em Materiais Argilosos	50
4.7.9	Instrumentação e Equipamentos Laboratoriais	50
4.7.9.1	Equipamentos Essenciais	50
4.7.9.2	Materiais de Referência e Calibração	50
4.7.10	Controle de Qualidade e Rastreabilidade	51
4.7.10.1	Programas de Comparação Interlaboratorial	51
4.7.10.2	Certificação e Boletins de Conformidade	51
4.7.11	Desafios Analíticos e Tendências Futuras	51
4.7.11.1	Deteção de Adulterações Sofisticadas	51
4.7.11.2	Automação e Análises em Tempo Real	51
4.7.11.3	Sustentabilidade Analítica	51
5	MATERIAIS E MÉTODOS	53
5.1	SEPARAÇÃO DAS AMOSTRAS	54
5.2	ANÁLISES FÍSICO QUÍMICA DAS FRAÇÕES DA CACHAÇA	57
5.2.1	Densidade	57
5.2.2	Teor alcoólico	57
5.2.3	Condutividade	57
5.2.4	Determinação da acidez (titulação)	58

6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	60
7	CONCLUSÃO	63
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

1 INTRODUÇÃO

A cachaça representa uma das mais importantes manifestações culturais e econômicas do Brasil, sendo reconhecida como a bebida nacional e carregando consigo mais de 500 anos de história (CASCUDO, 1968). Sua trajetória se entrelaça profundamente com os processos de colonização, resistência e formação da identidade brasileira.

1.1 ORIGENS E PRIMÓRDIOS

A história da cachaça teve início no século XVI, durante as primeiras décadas da colonização portuguesa no Brasil (ANTONIL, 1711). Embora não existam registros precisos sobre o local exato da primeira destilação, os historiadores concordam que ela ocorreu em algum engenho de açúcar do litoral brasileiro, entre os anos de 1516 e 1532 (CASCUDO, 1968). Segundo Luís da Câmara Cascudo em sua obra seminal "Prelúdio da Cachaça", a primeira cachaça teria sido destilada por volta de 1532 em São Vicente, atual estado de São Paulo, onde desenvolveu os primeiros engenhos de açúcar do Brasil (CASCUDO, 1968). Isso faz da cachaça possivelmente o primeiro destilado da América Latina, anterior ao aparecimento do Pisco, da Tequila e do Rum (EMBRAPA, 2025). A origem da bebida está diretamente relacionada ao processo produtivo do açúcar. Durante a fervura da garapa para a fabricação do açúcar, formou-se uma espuma que foi retirada dos tachos e denominada "cagaça" pelos escravos. Esta espuma, rica em açúcar, era descartada ou dada aos animais nos cochos de madeira, onde fermentava naturalmente, produzindo álcool (CASCUDO, 1968).

A crescente popularidade da cachaça começou a incomodar as autoridades portuguesas, que viam na bebida brasileira uma concorrência direta sobre seus produtos, especialmente o vinho e a bagaceira (aguardente portuguesa). Em 1635, foi estabelecida pela Coroa Portuguesa a primeira lei proibindo o consumo da cachaça (MEGACURIOSO, 2021).

Durante o século XIX e início do século XX, a cachaça tornou-se amplamente difundida em território nacional, embora permanecesse consumida principalmente pelas camadas populares da sociedade (SCIELO, 2017). Neste período, a bebida

atraiu preconceitos sociais, sendo associada às classes menos favorecidas, especialmente após o surgimento da economia cafeeira e uma sociedade elitista que valorizava os produtos europeus (CACHAÇA SELETA, 2021).

2 OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

Realizar a redestilação de frações de cachaça para a produção de etanol hidratado combustível.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- I Realizar redestilações das frações da cachaça;
- II Analisar o teor alcoólico durante as destilações.
- III Aferir os níveis de acidez do etanol após as destilações;

3 JUSTIFICATIVA

As frações da cachaça artesanal conhecidas como "cabeça" e "cauda", representam aproximadamente 15% a 25% do destilado total (LOURENÇO; TOLEDO; BIANCHI, 2020). Tradicionalmente descartadas devido à presença de compostos indesejáveis como metanol, aldeídos e álcoois superiores, essas frações podem ser transformadas em etanol combustível através de processos de redistilação, oferecendo diversas justificativas técnicas, econômicas e ambientais.

3.1 REDUÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS

O descarte inadequado das frações cabeça e cauda da cachaça geram significativos impactos ambientais. Quando descartadas em recursos hídricos, essas frações podem causar mortandade da vida aquática, além de tornar a água não potável devido ao seu teor alcoólico e aumento do pH do meio (LOURENÇO; TOLEDO; BIANCHI, 2020). A vinhaça, principal resíduo da destilação, possui poder poluente cerca de cem vezes maior que o esgoto doméstico, com alta demanda bioquímica de oxigênio (DBO), baixo pH e elevada temperatura na saída dos destiladores (FEAM, 2025).

3.2 VIABILIDADE ECONÔMICA COMPROVADA

Estudos demonstram que a produção de álcool combustível em pequena escala a partir das frações da cachaça é economicamente viável. Uma análise realizada na Fazenda Vargem Grande, em Salinas-MG, obteve produção de 8.000 litros de etanol com lucratividade de 56,45%, rentabilidade de 28,21% e prazo de retorno do investimento de 3,54 anos (AGROGEOAMBIENTAL, 2010)

3.3 MERCADO EM EXPANSÃO

O setor sucroalcooleiro brasileiro demonstra capacidade de crescimento, com a safra 2024/25 resultando em 26,8 bilhões de litros de etanol de cana-de-açúcar (AGROADVANCE, 2025). A Lei do Combustível do Futuro, sancionada em outubro de 2024, ampliou a proporção de mistura de etanol à gasolina de 22% para 27%, com possibilidade de alcançar 35%, estimulando o aumento da produção de biocombustíveis (OPEB, 2025).

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O primeiro documento que oferece informações detalhadas sobre a produção de cachaça data do início do século XVII. No livro de contas do Engenho de Nossa Senhora da Purificação de Sergipe do Conde, na Bahia, entre 1622 e 1623, registrava-se o gasto com "Hua canada de alagoa ardente para os negros da levada" (MAPADACACHACA, 2025).

Durante os séculos XVI e XVII, houve uma multiplicação significativa dos alambiques nos engenhos de São Paulo e Pernambuco (CACHAÇA SELETA, 2021). A bebida era inicialmente consumida principalmente por escravos e brancos pobres, sendo também utilizada como moeda de troca no comércio de escravos africanos (SCIELO, 2017). Entre 1710 e 1830, estima-se que cerca de 310 mil litros de cachaça foram enviados anualmente para Luanda, sendo que 25% desse volume era trocado por escravos (MAPADACACHACA, 2025).

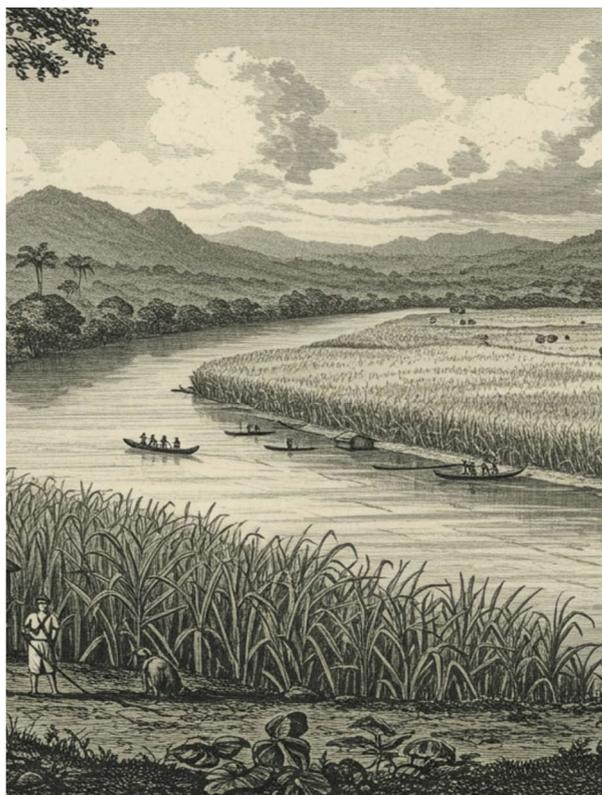
Em 1997, foi criado o Programa Brasileiro de Desenvolvimento da Aguardente de Cana, Caninha e Cachaça (PBDAC), desenvolvido no interior da Associação Brasileira de Bebidas (Abrabe) com participação dos Ministérios da Agricultura, do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, e da Ciência e Tecnologia (SCIELO, 2017).

O Decreto nº 2.314 de 1997 regulamentou a Lei nº 8.918 de 1994, estabelecendo normas para padronização, classificação, registro, inspeção, produção e fiscalização de bebidas (CÂMARA DOS DEPUTADOS, 1997). Em 2001, através do Decreto nº 4.062, o termo "cachaça" foi reconhecido como indicação geográfica exclusiva do Brasil para efeitos de comércio internacional (MAPADACACHACA, 2024).

4.1 HISTÓRIA DA FABRICAÇÃO DO AÇÚCAR E DA CACHAÇA NO ESTADO DA PARAÍBA

A história da fabricação do açúcar e da cachaça na Paraíba representa uma jornada de mais de quatro séculos que acompanha a própria formação cultural, econômica e social do estado. Esta trajetória, iniciada no período colonial com os primeiros engenhos de açúcar (Figura 1), evolui até os dias atuais com a produção artesanal de cachaça reconhecida nacionalmente, constituindo um patrimônio cultural e imaterial de inestimável valor para a identidade paraibana.

Figura 1 - Gravura histórica retratando canaviais e atividades fluviais típicas da paisagem agrícola da região da Paraíba.



Fonte: CARVALHO, 2008

4.1.1 Os Primórdios da Ocupação Açucareira (Século XVI)

A história açucareira paraibana tem suas raízes no final do século XVI, quando os portugueses consolidaram sua posição próxima à foz do Rio Paraíba em 1585, iniciando o primeiro ciclo de ocupação açucareira que resultou na instalação de 20 unidades produtivas até 1618 (CARVALHO, 2008). Este marco inaugural estabeleceu a Paraíba como uma das capitanias açucareiras do Norte do Estado do Brasil, integrando-a ao sistema mercantil colonial português.

O processo de ocupação territorial paraibano seguiu o modelo típico da colonização portuguesa na costa brasileira, onde a cana-de-açúcar funcionava como principal motor econômico da conquista e manutenção das terras. Os engenhos não eram apenas unidades produtivas, mas verdadeiros complexos agroindustriais que incluíam a casa-grande (Figura 2), senzalas, capela, casa de purgar, moenda e demais estruturas necessárias à produção do açúcar (CARVALHO, 2008).

Figura 2 - 'Casa-grande' da era colonial, típica das plantações de cana-de-açúcar na Paraíba, Brasil



Fonte: CARVALHO, 2008

A várzea do Rio Paraíba oferecia condições ideais para o cultivo da cana-de-açúcar, com seus solos aluviais férteis constantemente renovados pelas cheias anuais do rio. Esta região, caracterizada por uma planície de 1,5km a 5,5km de largura e cerca de 26km de extensão, encaixada entre tabuleiros de 50 a 100 metros mais elevados, proporcionava não apenas a fertilidade necessária, mas também uma unidade visual e funcional que perdura até hoje (CARVALHO, 2008).

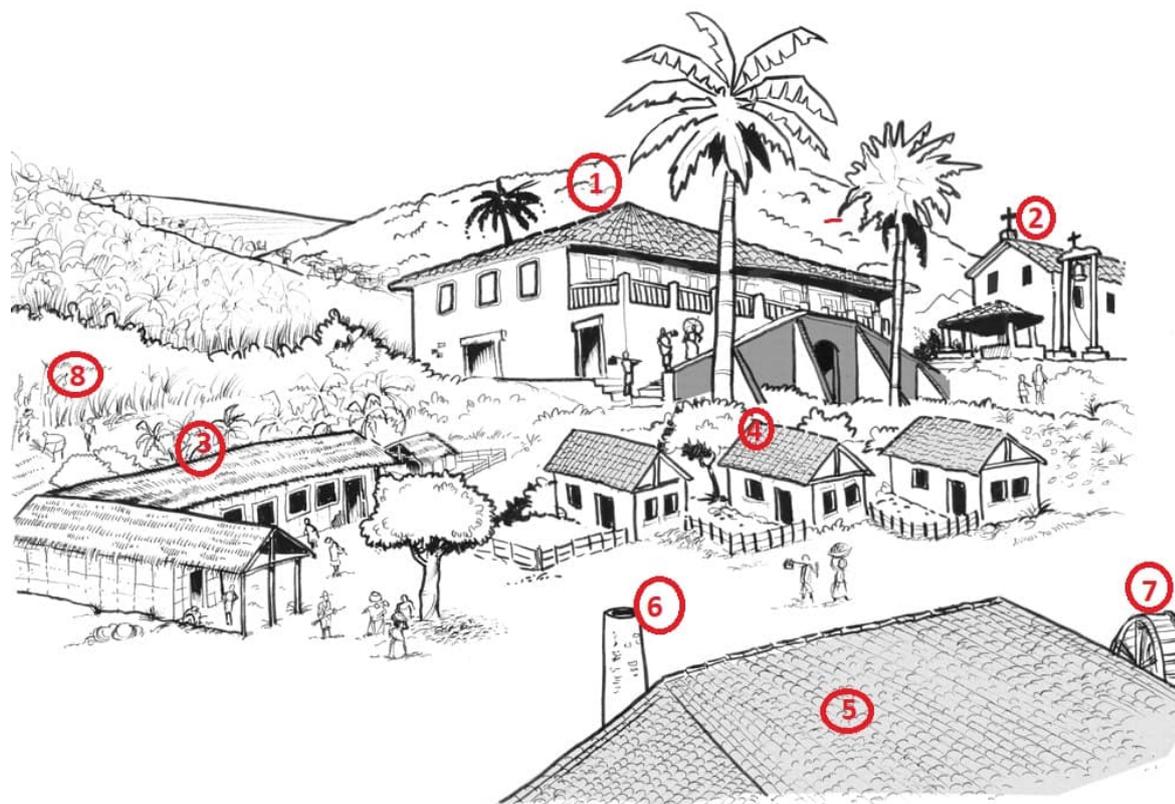
O Engenho de São Gonçalo, localizado na várzea principal, destacou-se neste período inicial ao alcançar com suas duas moendas a maior produção entre as capitanias de Pernambuco, Paraíba e Rio Grande, demonstrando o potencial produtivo da região (GONÇALVES, 2007). Este engenho simbolizava a capacidade da capitania paraibana de competir com as principais regiões açucareiras do Brasil colonial.

4.1.2 A Consolidação e os Desafios do Período Holandês (Século XVII)

O século XVII trouxe tanto a consolidação quanto os maiores desafios para a economia açucareira paraibana. Durante as primeiras décadas, a produção se expandiu significativamente, mas o período holandês (1634-1654) interrompeu este crescimento e introduziu mudanças importantes no sistema produtivo (CARVALHO, 2008).

As invasões holandesas não representaram apenas uma ocupação militar, mas trouxeram novas técnicas de produção e comercialização do açúcar. Os holandeses, interessados principalmente no comércio de açúcar, modernizaram alguns aspectos da produção e mantiveram detalhados registros sobre os engenhos (Figura 3) em funcionamento. Elias Herckmans, governador holandês entre 1636-1639, chegou a afirmar em sua "Descrição Geral da Capitania da Paraíba" que "em águas, ares e fertilidade é esta Capitania uma das regiões mais saudáveis do Brasil" (A PARAÍBA, 2025).

Figura 3 - Ilustração de uma plantação de cana-de-açúcar da era colonial na Paraíba, mostrando a casa principal, as moradias dos trabalhadores, os edifícios de produção e a capela típica da produção histórica de açúcar e cachaça.



Fonte: CARVALHO, 2008

Após a expulsão dos holandeses em 1654, seguiu-se uma longa crise na economia açucareira paraibana, causada por fatores locais, regionais e internacionais, incluindo a concorrência com outras regiões produtoras, especialmente as Antilhas (OLIVEIRA, 2007). Esta crise perdurou por quase um século, reduzindo significativamente a produção e o número de engenhos em atividade.

4.1.3 A Recuperação e Expansão No Século XVIII

Apenas em meados do século XVIII apareceram indícios consistentes de recuperação da atividade açucareira no Rio Paraíba, com a expansão da área cultivada e do número de engenhos instalados, especialmente em direção à várzea do Taipu (OITO, 1757; CARVALHO, 2008). Esta recuperação coincidiu com as reformas pombalinas e a criação de políticas específicas para o fomento da economia colonial.

A várzea do Taipu, região que se estende além da várzea principal do Rio Paraíba, apresentava características geológicas e climáticas ligeiramente diferentes, com terrenos de transição entre o arenito dos tabuleiros e o complexo gnáissico-magmático-granodiorítico das colinas (CARVALHO, 2008). Esta diversidade geológica contribuiu para uma produção açucareira diferenciada e, posteriormente, influenciou as características da cachaça produzida na região.

A família Cavalcanti de Albuquerque desempenhou papel fundamental neste processo de expansão, com Manoel Cavalcanti de Albuquerque aparecendo como testemunha no termo de criação da freguesia em 1745, como capitão-mor assinando a descrição da capitania em 1757, e como diretor da vila do Pilar em 1763 (CONSULTA, 1756; OITO, 1757; MAPA, 1763). Esta família se tornou proprietária de todos os engenhos desmembrados do Taipu, incluindo Maravalha, Santa Fé, Paciência, Novo, Oiteiro e Lagoa Preta.

4.1.4 A Companhia Geral de Pernambuco e Paraíba

Um marco importante para a economia açucareira paraibana foi a criação, em 1759, da Companhia Geral de Comércio de Pernambuco e Paraíba pelo Marquês de Pombal. Esta empresa privilegiada operou entre 1760 e 1780 em regime de monopólio comercial no Norte do Estado do Brasil, abrangendo os territórios de Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande e Ceará (COMPANHIA, 2008; OS NEGÓCIOS, 2019).

A Companhia tinha como principais atribuições a compra de insumos agrícolas de exportação (açúcar, tabaco, algodão e couro), a venda de produtos manufaturados, o financiamento dos produtores e o fornecimento de mão de obra escrava vinda de

Angola (COMPANHIA, 2008). Para a Paraíba, isto significou uma reorganização do sistema produtivo e comercial, com maior integração aos mercados europeus.

Durante a vigência do monopólio da Companhia, a média anual de produção açucareira aumentou de menos de 6.100 caixas para 8.100 caixas, demonstrando a eficácia do sistema monopolista em estimular a produção (COMPANHIA, 2008). Contudo, conflitos surgiram na década de 1770 entre os senhores de engenho e a mesa de inspeção quanto aos preços pagos pelo açúcar, contribuindo para a crise que levaria ao fim do monopólio em 1780.

4.1.5 O Surgimento da Cachaça: das Origens Coloniais a Identidade Brasileira

Paralelamente à produção açucareira, desenvolveu-se na Paraíba a fabricação da aguardente de cana (Figura 4), posteriormente conhecida como cachaça. As primeiras evidências da produção de aguardente no Brasil datam de meados do século XVII, quando alambiques começaram a aparecer nos inventários paulistas a partir de 1648 (O ALCOOLISMO, 2023). Na Paraíba, a produção de aguardente acompanhou o desenvolvimento dos engenhos de açúcar, utilizando inicialmente o melaço e outros subprodutos da fabricação do açúcar.

Figura 4 - Alambiques tradicionais de cobre utilizados na produção artesanal de cachaça na Paraíba, Brasil.



Fonte: CACHAÇA, 2019

A cachaça surgiu como uma alternativa econômica viável para os produtores de açúcar, especialmente durante os períodos de crise da economia açucareira. O processo de produção era mais simples e rápido que o do açúcar, exigindo menor investimento em equipamentos e mão de obra especializada (O ALCOOLISMO, 2023). Além disso, a aguardente servia como moeda de troca no tráfico de escravos e tinha amplo consumo interno.

João Manso Pereira, químico luso-brasileiro nascido antes de 1750, produziu em 1797 a obra "Memória sobre a Reforma dos Alambiques ou de um Próprio para a Destilação das Águas Ardentes", publicada pela Casa Literária Arco do Cego (A BOA, 2018). Esta obra representou uma das primeiras tentativas de modernização técnica da produção de aguardente no Brasil, incluindo ilustrações detalhadas de alambiques e recomendações para melhorar a qualidade da bebida.

4.1.6 Regulamentação e Controle Colonial

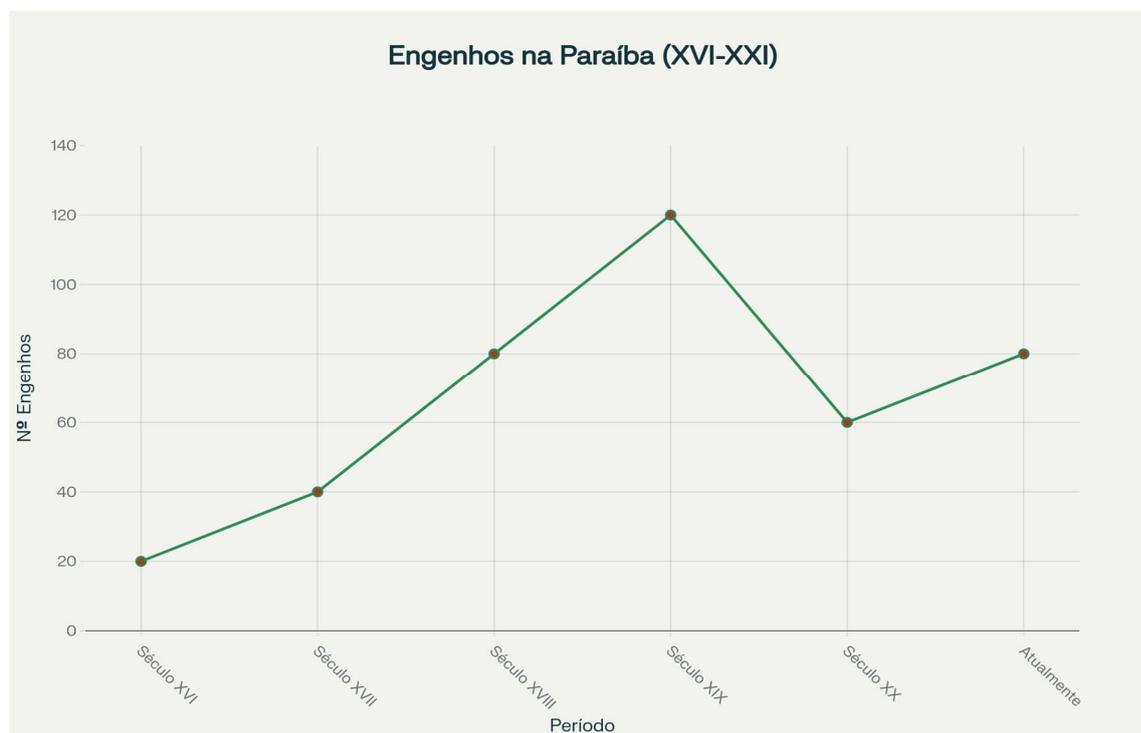
Durante o período colonial, a produção de cachaça na Paraíba, assim como em todo o Brasil, esteve sujeita a diversas regulamentações e proibições por parte da Coroa portuguesa. Em 1635, uma lei proibiu o consumo da cachaça visando proteger o mercado da aguardente produzida em Portugal, além de evitar a concorrência com o vinho português (CACHAÇA, 2019).

As proibições tinham também motivações sociais e econômicas, pois as autoridades coloniais temiam que a produção de aguardente desviasse mão de obra da produção açucareira e incentivasse a embriaguez entre escravos e trabalhadores livres (A BOA, 2018). Apesar das proibições, a produção clandestina continuou, alimentada pela demanda interna e pelo uso da aguardente como moeda no tráfico de escravos.

4.1.7 A Expansão do Século XIX e a Diversificação Produtiva

O século XIX marcou tanto o apogeu quanto o início da transformação do sistema de engenhos tradicionais na Paraíba. Durante a primeira metade do século, houve uma expansão significativa do número de engenhos (Figura 5), que se espalharam não apenas pela várzea principal do Rio Paraíba, mas também pelos vales dos afluentes, especialmente o Rio Una e o Rio Gurinhém (CARVALHO, 2008).

Figura 5 - Evolução do número de engenhos na Paraíba ao longo dos séculos



Fonte: A SITUAÇÃO, 2019

Esta expansão refletia não apenas o crescimento da demanda por açúcar, mas também a subdivisão de propriedades em contextos de crise e a busca por novas áreas produtivas. Muitos dos engenhos fundados no século XIX eram menores que os grandes complexos coloniais, mas ainda assim mantinham a estrutura básica com casa-grande, engenho propriamente dito, casa de purgar e demais dependências (A SITUAÇÃO, 2019).

O município de Areia, no Brejo paraibano, tornou-se um importante centro de produção açucareira neste período. Os primeiros engenhos de Areia datam de meados do século XVIII, por volta de 1760, sendo o Engenho Bolandeira, registrado em 1764, o mais antigo documentado (ALMEIDA, 1994). Durante a segunda metade do século XIX, Areia viveu um período de prosperidade devido ao sucesso dos engenhos de açúcar, com desenvolvimento do comércio, diversificação das atividades culturais e construção das casas mais imponentes da cidade (A SITUAÇÃO, 2019).

4.1.8 A Transição para as Usinas

O marco definitivo da transformação do sistema produtivo açucareiro paraibano foi a inauguração do Engenho Central São João Batista em 1888 – significativamente no ano da abolição da escravidão – que marcou o início efetivo da transição para a organização industrial da produção (CARVALHO, 2008). Este engenho central representava um novo modelo produtivo, baseado na separação entre a produção agrícola (cultivo da cana) e a industrial (fabricação do açúcar).

Figura 6 - Edifícios históricos de usinas de açúcar no estado da Paraíba representando a infraestrutura tradicional de produção de açúcar.



Fonte: CARVALHO, 2008

A partir das primeiras décadas do século XX, foram implantadas várias usinas na região, como a Usina Santa Maria em Areia (1931), que gradualmente incorporaram os antigos engenhos, transformando-os em fornecedores de cana ou absorvendo suas terras para expansão dos canaviais (CABRAL, 2020; A SITUAÇÃO, 2019). Este processo representou uma ruptura com o sistema tradicional de produção, introduzindo maquinário a vapor, maior escala produtiva e relações de trabalho assalariado.

4.1.9 A Especialização na Produção de Cachaça (Século XX)

Com o declínio da produção açucareira tradicional e a concentração da fabricação de açúcar nas usinas, muitos dos antigos engenhos da Paraíba se especializaram na produção de cachaça (Figura 7). Esta transição foi facilitada pela menor complexidade técnica da destilação em comparação com o refino do açúcar, permitindo que pequenos produtores mantivessem suas operações (AVALIAÇÃO, 2019; PRODUÇÃO, 2018).

Figura 7 - Alambiques de cobre tradicionais usados na produção artesanal de cachaça, ilustrando métodos históricos de destilação no Brasil.



Fonte: CARVALHO, 2008

O Brejo paraibano, especialmente a região de Areia, consolidou-se como o principal centro de produção de cachaça artesanal do estado. As condições climáticas da região, com temperaturas mais amenas e maior umidade, favoreciam tanto o cultivo da cana quanto os processos de fermentação e destilação. Além disso, a tradição secular de produção açucareira fornecia o conhecimento técnico necessário para a fabricação da aguardente.

A cachaça paraibana desenvolveu características próprias, influenciadas pelas condições locais de clima, solo e tradições produtivas. Os alambiques de cobre, material que confere qualidades específicas à bebida através de efeitos catalisadores, tornaram-se predominantes na região (A BOA, 2018). O processo artesanal, baseado na destilação do mosto fermentado do caldo de cana, preservou técnicas tradicionais que remontam ao período colonial.

4.1.10 Reconhecimento e Qualidade

Durante o século XX, a cachaça paraibana gradualmente conquistou reconhecimento pela sua qualidade. Marcas como a cachaça Matuta, produzida há mais de 150 anos pela mesma família em Areia, e a Rainha Paraibana, cuja produção iniciou em 1877 por Deocleciano Bezerra (PRODUÇÃO, 2024; A AGUARDENTE, 2023), tornaram-se referências no mercado nacional.

Figura 8 - Várias marcas de cachaça expostas em um bar, ilustrando a diversidade dessa tradicional bebida de cana-de-açúcar brasileira.



Fonte: A AGUARDENTE, 2023

A melhoria da qualidade da cachaça paraibana resultou de diversos fatores: pesquisas tecnológicas, aperfeiçoamento dos alambiques, melhor armazenamento e filtragem da bebida (PRODUÇÃO, 2024). Estes avanços permitiram que a cachaça paraibana competisse com produtos de outras regiões tradicionais, como Minas Gerais e Pernambuco.

4.1.11 A Paraíba Contemporânea: Potência na Produção de Cachaça

Atualmente, a Paraíba ocupa posição de destaque na produção nacional de cachaça artesanal. O estado possui 80 engenhos que produzem aproximadamente 12 milhões de litros anuais de cachaça de alambique, tornando-se um dos maiores produtores do país (PARAÍBA, 2024; PARAÍBA, 2018). Esta produção gera cerca de mil empregos diretos e dois mil indiretos, concentrados principalmente na região do Brejo (PARAÍBA, 2024).

A Associação Paraibana dos Engenhos de Cachaça de Alambique (Aspeca), fundada para representar os interesses do setor, congrega os principais produtores do estado e promove ações de valorização da cachaça paraibana (ASPLAN, 2023; ASSOCIAÇÃO, 2023). A entidade trabalha no fortalecimento da marca "Cachaças da Paraíba" e na busca por novas linhas de crédito para modernização dos engenhos.

4.1.12 Marco Regulatório e Qualidade

A produção de cachaça na Paraíba está sujeita à regulamentação federal estabelecida pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). A Portaria nº 539 de 2022 estabelece o Padrão de Identidade e Qualidade (PIQ) da aguardente de cana e da cachaça, definindo critérios técnicos rigorosos para a produção e comercialização (MAPA, 2022).

Uma das principais inovações desta regulamentação foi a definição específica da "Cachaça de Alambique", que deve ser produzida exclusivamente em alambique de cobre e obtida a partir da destilação do mosto fermentado do caldo de cana-de-açúcar crua (MAPA, 2022). Esta definição reconhece oficialmente a especificidade da produção artesanal praticada na Paraíba e em outras regiões tradicionais.

Figura 9 - Destilaria tradicional de cachaça artesanal com tanques de fermentação de madeira e alambiques de cobre na Paraíba, Brasil.



Fonte: A AGUARDENTE, 2023

A legislação também estabelece critérios para cachaças envelhecidas (mínimo de 50% do volume envelhecido em recipiente de madeira por um ano) e Premium (bebida envelhecida integralmente por um ano) (MAPA, 2022). Estes padrões estimulam os produtores paraibanos a investirem em processos de envelhecimento, agregando valor aos seus produtos.

4.1.13 Desafios e Perspectivas

Apesar do crescimento da produção, a cachaça paraibana ainda enfrenta desafios significativos. As exportações representam apenas 1% da produção estadual, indicando um potencial ainda não explorado no mercado internacional (PARAÍBA, 2024). A informalidade na produção e a necessidade de modernização dos engenhos são questões que requerem políticas públicas específicas de apoio ao setor.

O "Programa de Fortalecimento dos Engenhos do Estado da Paraíba", apresentado pela Aspeca ao governo estadual em 2024, propõe uma série de

medidas para desenvolver o setor, incluindo isenção de impostos, incentivo ao desenvolvimento de novos produtos, apoio ao marketing e promoção do turismo rural (ASPECA, 2024). O programa ressalta o potencial da cachaça como patrimônio cultural e produto de identidade paraibana.

4.1.14 Patrimônio Cultural e Identidade Regional

A história da fabricação do açúcar e da cachaça na Paraíba transcende os aspectos puramente econômicos para se constituir como elemento fundamental da identidade cultural do estado. A Lei Nº 12.042 de 2021 instituiu o Dia Estadual da Cachaça Paraibana (10 de junho), reconhecendo oficialmente a bebida como patrimônio cultural e imaterial da Paraíba (A CACHAÇA, 2024).

Esta dimensão cultural manifesta-se de diversas formas: na preservação de técnicas tradicionais de produção transmitidas entre gerações, na arquitetura dos engenhos históricos, na literatura regional que retrata o universo dos canaviais e na manutenção de festividades e tradições relacionadas à cachaça (A CACHAÇA, 2024). Escritores como José Lins do Rego e José Américo de Almeida immortalizaram em suas obras o universo dos engenhos paraibanos, contribuindo para a construção de uma identidade regional baseada na cultura canavieira.

A paisagem cultural do Rio Paraíba Açucareiro, com suas várzeas, engenhos (Figura 10), casas-grandes e capelas, constitui um patrimônio material de valor inestimável que documenta mais de quatro séculos de história (CARVALHO, 2008). Esta paisagem evolutiva viva mantém sua importância econômica atual através da produção de cachaça, estabelecendo uma continuidade histórica única entre o passado colonial e o presente.

Figura 10 - Chaminé histórica de engenho de cana-de-açúcar em uma instalação tradicional na Paraíba, Brasil, cercada por vegetação tropical.



Fonte: A CACHAÇA, 2024

A história da fabricação do açúcar e da cachaça na Paraíba representa uma trajetória de resistência, adaptação e transformação que acompanha a própria evolução do Brasil desde o período colonial até os dias atuais. Dos primeiros 20 engenhos instalados em 1618 aos atuais 80 engenhos produtores de cachaça artesanal, esta história documenta não apenas mudanças nos processos produtivos, mas transformações sociais, culturais e econômicas profundas.

A transição do açúcar para a cachaça como principal produto dos engenhos paraibanos ilustra a capacidade de adaptação dos produtores locais às mudanças do mercado e às transformações tecnológicas. Esta flexibilidade permitiu a preservação de tradições seculares de produção, mantendo viva uma herança cultural que constitui hoje um dos principais símbolos da identidade paraibana.

O reconhecimento da Paraíba como um dos maiores produtores de cachaça artesanal do Brasil representa não apenas um êxito econômico, mas a consolidação de um patrimônio cultural construído ao longo de séculos. A continuidade desta

tradição produtiva, aliada aos esforços de modernização e melhoria da qualidade, posiciona a cachaça paraibana como um produto de identidade regional com potencial de projeção nacional e internacional.

A história açucareira e cachaceira da Paraíba demonstra como tradição e inovação podem coexistir, preservando valores culturais fundamentais enquanto se adaptam às demandas contemporâneas de qualidade, sustentabilidade e competitividade. Este legado histórico, materializado nos engenhos, alambiques e saberes tradicionais, constitui um patrimônio de valor inestimável para as futuras gerações de paraibanos.

4.2 FLUXOGRAMA DA PRODUÇÃO DE CACHAÇA.

Figura 11 - Fluxograma de fabricação da cachaça



Fonte: AGEITEC (2016, p.1)

Na Figura 11, mostra-se as etapas da fabricação de cachaça que tem um fluxo de etapas bem definidos e relativamente simples, mas que acompanham um nível de cuidado com sua qualidade, para garantir um produto final aceitável ao mercado. A cachaça é produzida a partir da mistura de leveduras com o caldo espremido da cana, que misturado as leveduras forma mosto que após a fermentação o agora Vinho e destilado para a separação de suas frações.

4.3 ETAPAS DO PROCESSO DE DESTILAÇÃO DA CACHAÇA

4.3.1 Definição e Princípios do Processo

A destilação é o processo de separação de uma ou mais substâncias de uma mistura líquida, baseado na manipulação do líquido em conjunto com vapor, permitindo a separação e desenvolvimento de ingredientes e texturas novas (HARMONIE SCHNAPS, 2024). Na produção de cachaça, o mosto fermentado é aquecido até atingir temperaturas entre 90°C e 95°C em um caldeirão metálico de cobre, fazendo com que o álcool etílico evapore e passe pelo alambique, retornando ao estado líquido após encontrar água resfriada (HARMONIE SCHNAPS, 2024).

Equipamentos Utilizados na Destilação

4.3.2 Alambiques de Cobre

O alambique é um equipamento próprio para realizar a destilação artesanal da cachaça (WIBA, 2021). Os alambiques de cobre são preferenciais na produção artesanal devido às suas propriedades catalíticas que contribuem para a qualidade sensorial superior da cachaça (WIBA, 2021). O cobre catalisa reações químicas durante o processo de destilação, eliminando odores desagradáveis e refinando o produto final (HARMONIE SCHNAPS, 2024). O material do alambique influencia diretamente na qualidade do produto final, sendo que os alambiques de cobre são capazes de reduzir drasticamente o dimetilsulfeto, principal composto responsável por defeitos sensoriais na destilação em inox (NACIONAL, 2020).

4.3.3 Colunas de Destilação Industrial

Na produção industrial de cachaça, utilizam-se colunas de aço inoxidável para destilação contínua, que permitem maior escala de produção, mas resultam em menor controle de qualidade quando comparadas aos alambiques artesanais (NACIONAL, 2020). As colunas industriais possuem de 15 a 20 pratos teóricos, enquanto alambiques simples possuem apenas um prato, explicando as diferenças na composição química dos produtos finais (RECHE; FRANCO, 2009).

4.4 FRAÇÕES DA DESTILAÇÃO

Durante a destilação, o destilado é separado em três frações distintas: cabeça, coração e cauda, cada uma com características específicas (GESTOR, 2021).

4.4.1 Cabeça.

A cabeça corresponde aos primeiros 1% a 2% do volume total de vinho fermentado que surge na destilação (GESTOR, 2021). Esta fração possui alta concentração de compostos voláteis indesejáveis, incluindo: Metanol: Substância extremamente tóxica que pode causar cegueira e morte se consumida em quantidades inadequadas (GESTOR, 2021)

Acetaldeído: Composto com odor forte e penetrante (BRASILEIROS, 2025)

Acetona e álcoois superiores: Substâncias que comprometem a qualidade da bebida (DESTILAÇÃO, 2025)

A legislação brasileira estabelece o limite máximo de 0,25ml/100ml para metanol em destilados, garantindo a segurança do consumidor (GESTOR, 2021). Por esta razão, a fração cabeça deve ser descartada da produção de cachaça ou utilizada apenas para fins não alimentares (BRASILEIROS, 2025).

4.4.2 Coração.

O coração representa a fração nobre da destilação, correspondendo a aproximadamente 80% do total do destilado ou até 16% do volume total do vinho fermentado (GESTOR, 2021). Esta é a única parte utilizada para a produção de cachaça de qualidade, pois contém: Menor quantidade de substâncias voláteis indesejáveis (CPT, 2025) Maior concentração de etanol com compostos aromáticos desejáveis (DESTILAÇÃO, 2025) Componentes responsáveis pelo aroma e sabor característicos da cachaça (GESTOR, 2021)

4.4.3 Cauda.

A cauda corresponde à parte final da destilação, representando aproximadamente 3% do volume total do vinho fermentado (GESTOR, 2021). Esta fração contém: Compostos de maior peso molecular como óleos fusel (BRASILEIROS, 2025) Odor forte e sabor amargo que comprometem a qualidade (GESTOR, 2021) Substâncias indesejáveis que devem ser removidas do produto final (BRASILEIROS, 2025)

4.5 PARÂMETROS TÉCNICOS DA DESTILAÇÃO

4.5.1 TEMPERATURAS E CONTROLE

O processo de destilação deve ser controlado rigorosamente para garantir a qualidade do produto final (SILVA et al., 2023). As temperaturas críticas incluem: 78,3°C: Temperatura de fervura do álcool etílico (CPT, 2025) Aproximadamente 70°C: Início da separação da fração cabeça (CPT, 2016) 78°C: Início da destilação do coração com líquido mais puro (CPT, 2016) 90°C: Temperatura limite para o coração, com teor alcoólico inferior a 30 G.L. (CPT, 2016)

A fermentação prévia deve ocorrer entre 28°C e 32°C, com duração de 16 a 24 horas, resultando em vinho com até 12% de álcool (PROCOPÃO, 2023).

4.5.2 GRADUAÇÃO ALCOÓLICA.

Após a destilação, a cachaça deve apresentar graduação alcoólica entre 38% e 54% v/v a 20°C, conforme estabelecido pela legislação brasileira (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 2005). A graduação final pode ser ajustada através da adição controlada de água destilada (EMBRAPA, 2025).

4.6 DIFERENÇAS ENTRE DESTILAÇÃO ARTESANAL E INDUSTRIAL

4.6.1 Processo Artesanal.

- a. Destilação em batelada com separação criteriosa das frações (NACIONAL, 2020)
- b. Controle manual de temperatura e tempo de destilação (CABRALBRASIL, 2022)
- c. Utilização apenas do coração da destilação, descartando cabeça e cauda (NACIONAL, 2020) Menor rendimento, mas maior qualidade sensorial (DESTILAÇÃO, 2025) Processo descontínuo com aquecimento lento e controlado (DESTILAÇÃO, 2025)

4.6.2 Processo Industrial.

- a. Destilação contínua em colunas de aço inoxidável (CABRALBRASIL, 2022)
- b. Não há separação das frações cabeça, coração e cauda (NACIONAL, 2020)
- c. Aproveitamento total do destilado, podendo comprometer a qualidade (NACIONAL, 2020)
- d. Maior rendimento e padronização do produto (DESTILAÇÃO, 2025)
- e. Controle automatizado dos parâmetros de processo (CABRALBRASIL, 2022)
- f. Controle de Qualidade na Destilação

4.6.3 Contaminação por Cobre.

Um dos principais desafios na destilação em alambiques de cobre é o controle da contaminação por este metal (ITAPIRA, 2023). A formação de azinhavre ($\text{CuCO}_3\text{Cu}(\text{OH})_2$) na superfície do alambique pode resultar em concentrações excessivas de cobre no produto final (RECHE; FRANCO, 2009). Para prevenir esta contaminação, recomenda-se (EMATER-MG, 2025) destilação prévia com solução de 5L de suco de limão para cada 100L de água e limpeza regular com ácido cítrico, cloreto de sódio e água com manutenção adequada dos equipamentos entre safras.

4.6.4 Parâmetros Analíticos.

A qualidade da cachaça destilada deve atender aos requisitos estabelecidos pela legislação brasileira, incluindo limites para (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 2005):

Tabela 1 – Parâmetros físico-químicos da cachaça

PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS	(BRASIL, 2022)	
	MÍNIMO	MÁXIMO
1. graduação alcoólica, expressa em porcentagem de volume alcoólico a vinte graus Celsius;	38	48
2. o coeficiente de congêneres ¹ , expresso em miligramas por cem mililitros de álcool anidro;	200	650
2.1. a acidez volátil em ácido acético, expressa em miligramas por cem mililitros de álcool anidro;	---	150
2.2. os ésteres em acetato de etila, expressos em miligramas por cem mililitros de álcool anidro;	---	200
2.3. os aldeídos totais em acetaldeído, expressos em miligramas por cem mililitros de álcool anidro;	---	30
2.4. o furfural, expresso em miligramas por cem mililitros de álcool anidro;	---	5
2.5. o álcool superior ² , expresso em miligramas por cem mililitros de álcool anidro.	---	360

Fonte: (Brasil, 2022)

¹ Coeficiente de congêneres (Soma de acidez volátil, ésteres, aldeídos, furfural e álcoois superiores) máximo de 745 e não 650

² 1.1. Soma dos álcoois isobutílico (2-metil propanol), isoamílicos (2-metil-1-butanol e 3 metil-1-butanol) e n-propílico (1-propanol)

4.6.6 Duração e Rendimento do Processo

A duração completa do processo de destilação deve girar em torno de 150 a 160 minutos (GESTOR, 2021). O rendimento típico das frações é: Cabeça: Aproximadamente 1% do volume total do vinho Coração: 16% a 20% do volume do vinho Cauda: Aproximadamente 3% do volume do vinho

É importante ressaltar que na destilação em alambique, um remanescente de até 30% do etanol permanece no equipamento após o corte da cauda, reduzindo o rendimento, mas garantindo a qualidade do produto final (DESTILAÇÃO, 2025).

Figura 12

Figura 12 - Destilador industrial X Destilador Artesanal (alambique).

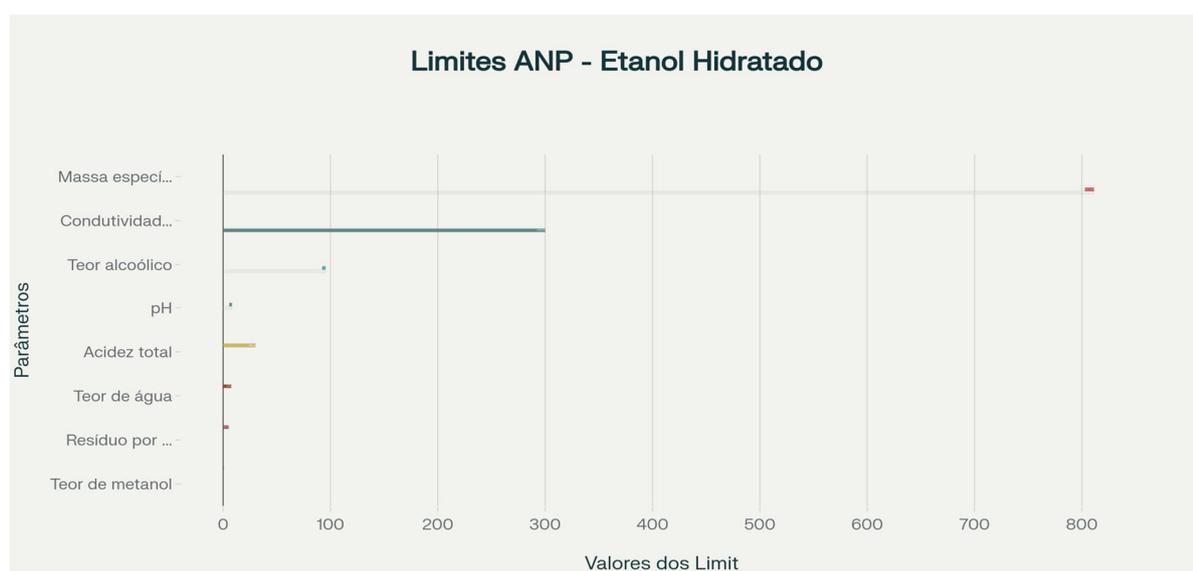


Fonte: DESTILAÇÃO, 2025

4.7 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DO ETANOL HIDRATADO COMBUSTÍVEL

O etanol hidratado combustível (EHC) é um biocombustível amplamente utilizado no Brasil que requer rigoroso controle de qualidade através de múltiplas análises físico-químicas. Esta revisão abrangente examina os métodos analíticos estabelecidos pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) e normas técnicas nacionais e internacionais para garantir a conformidade e qualidade deste combustível renovável. Figura 13

Figura 13 -. Especificações técnicas para etanol hidratado combustível (EHC) segundo regulamentação ANP



Fonte: Autor, (2025)

4.7.1 Características Organolépticas e Inspeção Visual

4.7.1.1 Aspecto

A análise de aspecto é realizada por inspeção visual direta da amostra em recipiente transparente, preferencialmente em proveta graduada de vidro (ARAUJO DORETTO, 2016). O etanol hidratado combustível deve apresentar-se **límpido e isento de impurezas (LII)**, não podendo conter partículas sólidas em suspensão, material em suspensão ou turbidez (MONTEIRO, 2016).

4.7.1.2 Cor

O teste de cor também é realizado visualmente, sendo que o etanol hidratado deve ser **incolor**, não podendo apresentar as colorações laranja e azul, que são restritas ao etanol anidro combustível e à gasolina de aviação, respectivamente (BRASIL, 2022). A presença de coloração pode indicar contaminações ou adulterações no produto (VANZELLA, 2015).

4.7.2 Propriedades Físicas Fundamentais

4.7.2.1 Massa Específica e Teor Alcoólico

A determinação da massa específica é realizada através de **densimetria eletrônica** utilizando densímetro digital com tubo em formato de U oscilante, conforme as normas **ABNT NBR 5992** e **NBR 15639**, ou **ASTM D4052** (GONÇALVES, 2013). O equipamento deve ser calibrado com ar e água destilada antes das análises (VANZELLA, 2015).

A massa específica do etanol hidratado combustível deve estar entre **802,9 a 811,2 kg/m³** a 20°C (BRASIL, 2022). A partir deste valor, utilizando tabelas alcoométricas padronizadas, determina-se o teor alcoólico, que deve estar entre:

- **92,5 a 95,4% em massa**
- **95,1 a 96,0% em volume**

Este parâmetro é fundamental para detectar adulterações conhecidas como "álcool molhado", onde água é adicionada irregularmente ao produto (ARAÚJO DORETTO, 2016).

4.7.2.2 pH (Potencial Hidrogeniônico)

A determinação do pH é realizada através de **método potenciométrico** utilizando eletrodo combinado de vidro, conforme norma **ABNT NBR 10891** (TEIXEIRA, 2025). O pH deve estar na faixa de **6,0 a 8,0**.

Valores de pH abaixo de 6,0 indicam características ácidas que podem causar corrosão de bicos injetores e cilindros dos motores, enquanto pH acima de 8,0 pode

causar problemas com partes plásticas do sistema de combustível (SEQUINEL, 2018).

4.7.2.3 Condutividade Elétrica

A análise de condutividade elétrica é realizada utilizando condutivímetro com célula de platina de constante 0,1, conforme norma **ABNT NBR 10547** ou **ISO 17308**. O equipamento deve ser calibrado com solução padrão de condutividade conhecida, preferencialmente material de referência certificado (MRC) com valor $\leq 5 \mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C (DIGIMED, 2025).

O limite máximo estabelecido é de **300 $\mu\text{S}/\text{m}$** . Este parâmetro detecta a presença de íons dissolvidos, principalmente sódio, que pode indicar adulteração com hidróxido de sódio para correção de pH (GONÇALVES, 2013).

4.7.3 Análises Químicas Específicas

4.7.3.1 Acidez Total

A determinação da acidez total é realizada por **titulação colorimétrica** utilizando solução de hidróxido de sódio padronizada, conforme norma **ABNT NBR 9866**. Alternativamente, pode ser utilizada **titulação potenciométrica** com detecção do ponto final por eletrodo de vidro (**ASTM D1613** ou **ISO 17315**) (GONZAGA, 2012).

O limite máximo é de **30 mg/L**, expresso como ácido acético. A acidez está diretamente relacionada ao potencial corrosivo do etanol combustível, afetando componentes metálicos dos motores (GONÇALVES, 2013).

4.7.3.2 Teor de Metanol

A determinação quantitativa do metanol é realizada por **cromatografia gasosa** utilizando detector por ionização em chama (CG-FID) ou detector por condutividade iônica (CG-DIC), conforme norma **ABNT NBR 16041** (SEQUINEL, 2018; DIGIMED, 2020).

Para análises qualitativas, pode ser utilizado o **método colorimétrico visual** baseado na reação de Schiff, conforme **ISO 1388-8** ou **ABNT NBR 16943** (método fotométrico) (MARTINS, 2015). O limite máximo permitido é de **0,5% em volume**.

O metanol é uma substância altamente tóxica e seu controle é essencial para detectar adulterações, uma vez que possui menor poder calorífico e custos menores que o etanol (DIGIMED, 2020).

4.7.3.3 Teor de Água

A determinação do teor de água é realizada pelo **método de Karl Fischer**, que pode ser:

- **Karl Fischer Coulométrico (ASTM E1064)**: para teores de água de 1 ppm a 5%
- **Karl Fischer Volumétrico (ASTM E203)**: para teores de água de 100 ppm a 100%

O método baseia-se na oxidação do dióxido de enxofre por iodo na presença de água, geralmente em meio metanólico (TECNAL, 2025). O limite máximo para etanol hidratado é de **7,5% em massa** (BRASIL, 2022).

O controle da umidade é essencial para evitar problemas de separação de fases quando o etanol é misturado com gasolina e para prevenir descalibração de sensores dos sistemas de injeção eletrônica (SEQUINEL, 2018).

4.7.4 Análises de Contaminantes Inorgânicos

4.7.4.1 Determinação de Metais

A determinação de metais em etanol combustível é realizada principalmente por **espectrometria de absorção atômica (EAA)** ou **espectrometria de emissão óptica com plasma induzido (ICP-OES)**, conforme norma **ABNT NBR 11331** (TEIXEIRA, 2006):

- **Sódio**: método por **fotometria de chama (NBR 10422)** ou **absorção atômica**, limite máximo de **2 mg/kg**
- **Ferro**: **absorção atômica** ou **espectrofotometria**, limite máximo de **5 mg/kg**
- **Cobre**: **absorção atômica** ou **espectrofotometria**, limite máximo de **0,07 mg/kg**

4.7.4.2 Íons Inorgânicos

A determinação de ânions é realizada por **cromatografia iônica** conforme norma **ABNT NBR 10894**:

- **Cloreto**: obrigatório para etanol transportado por via marítima
- **Sulfato**: limite máximo de **4 mg/kg**

Estes contaminantes podem indicar corrosão de equipamentos, contaminação durante transporte ou problemas na matéria-prima utilizada na fermentação (MOSQUETTA, 2010).

4.7.5 Análises de Resíduos e Contaminantes Orgânicos

4.7.5.1 Resíduo por Evaporação

O ensaio é realizado por **método gravimétrico** conforme norma **ABNT NBR 8644**. Uma alíquota de 100 mL da amostra é evaporada em banho-maria a temperatura controlada, e o resíduo seco é pesado após resfriamento em dessecador (ABNT, 1984).

O limite máximo é de **5 mg/100 mL**. Este parâmetro quantifica resíduos não voláteis que podem causar depósitos nos sistemas de injeção e câmaras de combustão (VANZELLA, 2015).

4.7.5.2 Teor de Hidrocarbonetos

A determinação é realizada pelo **método de solubilidade** conforme norma **ABNT NBR 13993**. A análise é obrigatória para etanol combustível proveniente de transporte dutoviário ou aquaviário, visando detectar contaminação cruzada com derivados de petróleo (BRASIL, 2022).

4.7.6 Métodos Analíticos Alternativos e Inovadores

4.7.6.1 Espectroscopia no Infravermelho Próximo (NIR)

Métodos baseados em **fotometria NIR** têm sido desenvolvidos para análises rápidas de teor alcoólico e detecção de contaminantes. O analisador de combustíveis

NIR permite análises com frequência de 60 medidas por hora, baseado na absorção da radiação pelas ligações C-O-H do etanol (SENA, 2022). Figura 14

Figura 14 -. Resumo das especificações técnicas para etanol hidratado combustível (EHC) segundo regulamentação ANP

Parâmetro	Método	Norma ABNT	Norma ASTM/ISO	Especificação	Objetivo
Aspecto	Visual	-	-	Límpido e isento de impurezas (LII)	Detectar presença de contaminantes, sólidos em suspensão, turbidez
Cor	Visual	-	-	Incolor (não pode apresentar colorações laranja e azul)	Identificar presença de corantes, contaminantes coloridos, adulterações
Massa específica a 20°C	Densimetria	NBR 5992, NBR 15639	ASTM D4052	802,9 a 811,2 kg/m³	Determinar densidade e calcular teor alcoólico, detectar adulterações
Teor alcoólico	Densimetria / Alcoolometria	NBR 5992, NBR 15639	ASTM D5501	92,5 a 95,4% massa (95,1 a 96,0% volume)	Determinar concentração de etanol, verificar qualidade combustível
pH (Potencial hidrogeniônico)	Potentiometria	NBR 10891	-	6,0 a 8,0	Avaliar caráter ácido/básico, potencial corrosivo do combustível
Condutividade elétrica	Condutimetria	NBR 10547	ISO 17308	Máximo 300 µS/m	Detectar presença de ions dissolvidos, contaminações salinas
Acidez total	Titulação colorimétrica/potenciométrica	NBR 9866	ASTM D1613, ISO 17315	Máximo 30 mg/L (ácido acético)	Avaliar potencial corrosivo, qualidade do etanol
Teor de metanol	Cromatografia gasosa	NBR 16041	ISO 1388-8 (colorimétrico)	Máximo 0,5% volume	Detectar adulteração, verificar toxicidade, conformidade legal
Teor de água	Titulação Karl Fischer	NBR 15531	ASTM E1064, ASTM E203	Máximo 7,5% massa	Controlar umidade, evitar problemas de separação de fases
Resíduo por evaporação	Gravimetria após evaporação	NBR 8644	-	Máximo 5 mg/100 mL	Quantificar resíduos não voláteis, detectar contaminantes sólidos
Teor de hidrocarbonetos	Solubilidade	NBR 13993	-	Obrigatório em transporte dutoviário/aquaviário	Detectar contaminação por derivados de petróleo
Teor de cloreto	Cromatografia iônica	NBR 10894	-	Obrigatório em transporte marítimo	Detectar contaminação salina, avaliar corrosividade
Teor de sulfato	Cromatografia iônica	NBR 10894	-	Máximo 4 mg/kg	Controlar impurezas inorgânicas, qualidade do produto

Fonte: Autor, (2025)

4.7.7 Métodos Colorimétricos Portáteis

Kits colorimétricos portáteis foram desenvolvidos para análises de campo, especialmente para detecção de metanol. O método desenvolvido pela UNESP permite identificação visual da concentração de metanol através de mudanças de cor específicas, com custo estimado de R\$ 15,00 por análise (AUIN UNESP, 2025).

4.7.8 Sensores Baseados em Materiais Argilosos

Métodos inovadores utilizando **palygorskita impregnada com complexo de tetratiocianato de cobalto** estão sendo desenvolvidos para determinação do teor de água utilizando processamento de imagens digitais e smartphones (TEIXEIRA, 2025).

4.7.9 Instrumentação e Equipamentos Laboratoriais

Os laboratórios de análise de etanol combustível devem dispor de instrumentação específica conforme normas de acreditação **ABNT NBR ISO/IEC 17025**:

4.7.9.1 Equipamentos Essenciais

- **Densímetro digital** com resolução mínima de 0,1 kg/m³
- **pHmetro** com eletrodo combinado de vidro
- **Condutímetro** com célula de platina (K=0,1)
- **Titulador automático** para acidez total
- **Cromatógrafo gasoso** com detectores FID e/ou DIC
- **Titulador Karl Fischer** (coulométrico e/ou volumétrico)
- **Espectrofotômetro de absorção atômica**
- **Banho termostático** para controle de temperatura

4.7.9.2 Materiais de Referência e Calibração

- **Soluções padrão certificadas** para condutividade elétrica
- **Materiais de referência** para teor alcoólico e massa específica
- **Padrões cromatográficos** para metanol e outros contaminantes

- **Reagentes Karl Fischer** certificados

4.7.10 Controle de Qualidade e Rastreabilidade

4.7.10.1 Programas de Comparação Interlaboratorial

O Instituto Nacional de Metrologia (INMETRO) coordena programas regulares de ensaios de proficiência para laboratórios que analisam etanol combustível, abrangendo parâmetros como massa específica, acidez total, teor de etanol, pH e condutividade elétrica (GONÇALVES, 2013).

4.7.10.2 Certificação e Boletins de Conformidade

Conforme Resolução ANP nº 907/2022, os distribuidores devem emitir **Boletim de Conformidade** contendo resultados obrigatórios de: aspecto, cor, massa específica, teor alcoólico, pH e condutividade elétrica. O documento deve ser assinado por químico responsável registrado no órgão de classe (BRASIL, 2022).

4.7.11 Desafios Analíticos e Tendências Futuras

4.7.11.1 Detecção de Adultrações Sofisticadas

O desenvolvimento de métodos analíticos mais sensíveis para detectar adultrações com metanol e outras substâncias continua sendo prioritário. A combinação de técnicas cromatográficas com espectrometria de massas oferece maior especificidade na identificação de contaminantes (PEREIRA, 2012).

4.7.11.2 Automação e Análises em Tempo Real

A tendência é o desenvolvimento de sistemas automatizados de monitoramento contínuo da qualidade, permitindo análises em tempo real durante produção, transporte e distribuição do etanol combustível.

4.7.11.3 Sustentabilidade Analítica

Há crescente demanda por métodos analíticos que reduzam o consumo de reagentes tóxicos e geração de resíduos, mantendo a confiabilidade metrológica necessária para o controle de qualidade.

As análises físico-químicas do etanol hidratado combustível constituem um sistema abrangente e rigoroso de controle de qualidade, envolvendo mais de 20 parâmetros distintos. Os métodos estabelecem procedimentos padronizados que garantem a conformidade do produto com especificações técnicas, protegem os consumidores contra adulterações e asseguram o desempenho adequado dos motores automotivos.

A evolução contínua dos métodos analíticos, incorporando tecnologias emergentes como espectroscopia NIR, sensores inteligentes e processamento de imagens digitais, promete tornar o controle de qualidade mais eficiente, rápido e acessível, mantendo os altos padrões de segurança e confiabilidade exigidos para este importante biocombustível da matriz energética brasileira.

A implementação adequada destes métodos analíticos, aliada aos programas de comparação interlaboratorial e certificação, constitui a base técnica para o sucesso do programa brasileiro de etanol combustível, servindo como referência mundial para outros países que desenvolvem seus próprios programas de biocombustíveis.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado nos laboratórios de Operações Unitárias (LOU) e de Tecnologia Sucroalcooleira (LTS), localizados no Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional (CTDR), da Universidade Federal da Paraíba (UFPB).

Inicialmente, foi coletada uma grande quantidade de cachaça, que foi separada de acordo com suas frações, volume e teor alcoólico. Em seguida, as amostras foram ordenadas numericamente, conforme apresentado a seguir (Tabela 2 a Tabela 4).

Tabela 2 - Fração Cabeça

AMOSTRA	VOLUME (mL)	TEOR ALCOÓLICO (°GL)
21	500	62
25	1380	60
14	450	53
18	500	53
13	390	51
19	553	50
29	1290	50
TOTAL	5063	

Fonte, autor 2025

Tabela 3 - Fração Coração

AMOSTRA	VOLUME (mL)	TEOR ALCOÓLICO (°GL)
16	456	48
9	380	45
10	500	45
4	354	44
8	445	44
5	354	42
17	358	42
26	720	40
30	1400	40
15	359	39
6	400	38
23	470	38
28	1340	38
32	2000	38
TOTAL	9536	

Fonte, autor 2025

Tabela 4 - Fração Cauda

AMOSTRA	VOLUME (mL)	TEOR ALCOÓLICO (°GL)
20	350	37
3	325	35
22	354	35
TOTAL	1029	

Fonte, autor 2025

5.1 SEPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

Todas as amostras foram separadas com seus respectivos volumes dentro de garrafas pets, rotuladas com as suas informações. O volume foi medido com provetas graduadas de 500 e 2000ml e usado um alcoômetro para medição da graduação alcoólica(Figura 15).

Figura 15 – Vidraria utilizada.



Fonte: Autor, (2025)

Essas amostras foram levadas ao laboratório para destilação das frações

O destilador utilizado no trabalho tinha 10 litros de capacidade de material inox e serpentina de cobre no condensador resfriado por um chiller. (Figura 16).

Figura 16 - Destilador usado no trabalho



Fonte: Autor, (2025)

Na saída do destilador, posicionava-se uma proveta destinada à coleta da cachaça. Dentro dela, encontrava-se um alcoômetro calibrado na escala de Gay-Lussac (°GL), instrumento utilizado para medir o teor alcoólico da solução (Figura 17 e 16).

Figura 17 -. Destilador



Fonte: Autor, (2025)

Figura 18 -. Medição com alcoômetro



5.2 ANÁLISES FÍSICO QUÍMICA DAS FRAÇÕES DA CACHAÇA

5.2.1 Densidade

Foi determinada utilizando picnômetro de vidro. Para a realização das leituras, a vidraria foi pesada vazia (M0), e com as amostras (M1) até o topo, fechando-o cuidadosamente, evitando a formação de bolhas no processo (ANVISA, 2008). Em seguida, foi realizado o cálculo através da fórmula

$$D = \frac{M1 - M0}{V}$$

Onde: D = densidade;

M0 = massa do picnômetro vazio, em gramas;

M1 = massa do picnômetro com a amostra, em gramas;

V = volume do picnômetro

5.2.2 Teor alcoólico

Para a medição do teor alcoólico, utilizou-se um alcoômetro com fundo de chumbo, o que garante maior estabilidade durante a leitura. As amostras de álcool destilado foram colocadas em buretas de 500 ml, nas quais o instrumento foi cuidadosamente imerso para realizar a aferição.pH

Para determinar o valor do pH das amostras, foi utilizado um equipamento multiparâmetro portátil previamente calibrado. As amostras foram colocadas em um béquer de 400mL e mantidas em temperatura ambiente. (Brasil, 2004).

5.2.3 Condutividade

Foram utilizados quatro béqueres de 100 ml para acomodar, em sequência, as quatro amostras. A medição foi realizada com um condutímetro, imergindo cuidadosamente a ponta estéril da célula no interior de cada béquer. Garantiu-se a estabilidade da amostra, evitando a formação de bolhas, para assegurar a precisão da leitura exibida na tela do aparelho.. Figura 19

Figura 19 - Conduvíméetro



Fonte: Autor, (2025)

5.2.4 Determinação da acidez (titulação)

Os níveis de acidez foram determinados por titulação. Figura 20

Matérias e reagentes usados:

- Béquer;
- Erlenmeyer;
- Bureta graduada 50 mL;
- Pipeta volumétrica 50 mL;
- 50 mL da amostra (Cachaça);
- Indicador de Fenolftaleína;
- Hidróxido de sódio 0,02 N

Com os valores dos volumes gastos na titulação, agora é possível encontrar os níveis de acidez. Para determinar a acidez da cachaça, é preciso aplicar os valores de volume gasto, grau alcoólico e fator de correção do NaOH, na seguinte fórmula:

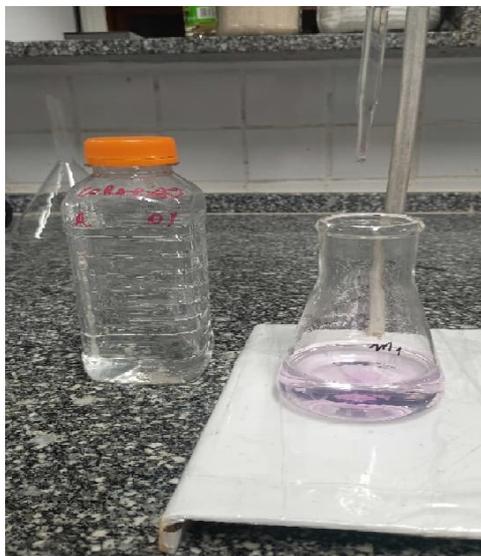
$$\text{Acidez} = \underline{Vg \times 240 \times Fc}$$

°GL

Onde: Vg – Volume gasto na titulação de NaOH 0,02N;
FC – Fator de correção do NaOH 0,02 N

°GL – Grau alcoólico na escala de Gay-Lussac.

Figura 20 -. Titulação



Fonte: Autor, (2025)

Quatro (4) novas amostras também foram analisadas e determinadas suas características físico-químicas. Essas amostras também são de frações de cachaça cabeça, coração e cauda. Figura 21

Figura 21 -. Amostras das frações de cachaça



Fonte: Autor, (2025)

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 5, são mostrados os parâmetros físico-químicos da cachaça na sua fração coração

Tabela 5 – Parâmetros físico-químicos da cachaça

PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS	(BRASIL, 2022)	
	MÍNIMO	MÁXIMO
3. graduação alcoólica, expressa em porcentagem de volume alcoólico a vinte graus Celsius;	38	48
4. o coeficiente de congêneres ³ , expresso em miligramas por cem mililitros de álcool anidro;	200	650
4.1. a acidez volátil em ácido acético, expressa em miligramas por cem mililitros de álcool anidro;	---	150
4.2. os ésteres em acetato de etila, expressos em miligramas por cem mililitros de álcool anidro;	---	200
4.3. os aldeídos totais em acetaldeído, expressos em miligramas por cem mililitros de álcool anidro;	---	30
4.4. o furfural, expresso em miligramas por cem mililitros de álcool anidro;	---	5
4.5. o álcool superior ⁴ , expresso em miligramas por cem mililitros de álcool anidro.	---	360

Fonte: (Brasil, 2022)

Tabela 6 – Análises físico-químicas das amostras das frações da cachaça. Mostrados na Figura 21

AMOSTRA	DENSIDADE (g/cm ³)	GRAU ALCOÓLICO °GL	ACIDEZ (mg CH ₃ COOH/100 ml álcool)
cabeça	0,9216	53,0	47,08
coração 01	0,9419	42,2	63,57
coração 02	0,9197	53,9	45,85
cauda	0,9641	26,9	94,58

Fonte: Autor, (2025)

³ Coeficiente de congêneres (Soma de acidez volátil, ésteres, aldeídos, furfural e álcoois superiores) máximo de 745 e não 650

⁴ 1.1. Soma dos álcoois isobutílico (2-metil propanol), isoamílicos (2-metil-1-butanol e 3 metil-1-butanol) e n-propílico (1-propanol)

As amostras das frações de cachaça, separadas para posterior análise mostradas na Tabela 6, todas amostras encontram-se dentro do limite máximo para a acidez volátil que é de 150.

Na Tabela 7, temos os parâmetros para etanol combustível hidratado

Tabela 7 – Parâmetros para etanol combustível hidratado

Parâmetro	Unidade	Valor Mínimo	Valor Máximo
Teor Alcoólico	% em volume	95,1	96,0
Massa específica	g/m ³	0,8029	0,8112
Condutividade	µS/m	-----	300
PH	-----	6,0	8,0.
Acidez	mg CH ₃ COOH/ 100ml de álcool.		30

Fonte: BRASIL, (2022)

Tabela 8 – Resultados dos parâmetros físico-químicos para etanol hidratado

AMOSTRA	MASSA ESP. g/cm³	VOLUME mL	TEOR ALCOÓLICO °GL	pH	COND. µS/m	ACIDEZ⁵
01 (Sáb.)	0,8671	4380	78,1	5,77	20,91	8,38
02 (Sáb.)	0,8800	3660	73,1	5,82	5,10	12,28
01 (Dom.)	0,9244	3500	54,0	5,29	18,39	24,68
02 (Dom.)	0,9339	2620	49,0	4,67	17,21	44,99

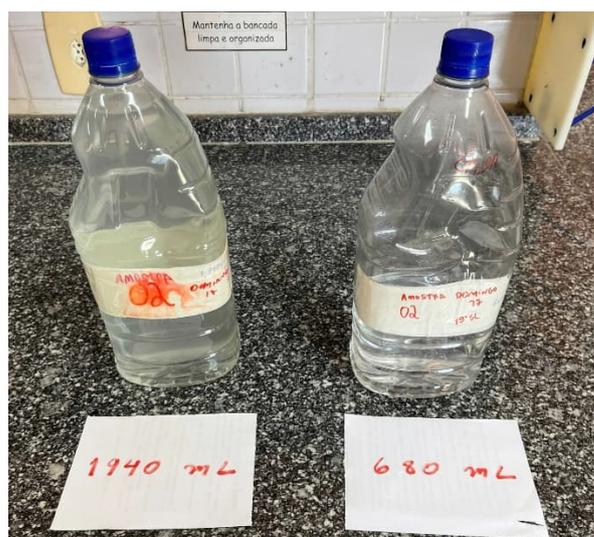
Fonte: Autor, (2025)

Das quadro amostras utilizadas na destilação, nota-se um teor alcoólico maior, nas amostras 1 e 2 do sábado, onde ficaram com uma concentração de 78,1 °GL e 73,1°GL concentração de álcool aproxima a dos álcoois 70° de uso doméstico. Também se notou um aumento na densidade das quadro (4) amostras, devido a uma existência relativa de água. Pois a água (H₂O) tem uma densidade maior que acaba alterando esse valor.

⁵ mg CH₃ COOH/100 ml álcool

Outro fator relevante, foi a acidez das amostras no qual foi percebido uma variação inversamente proporcional com relação a acidez total, em que quando a acidez é maior, menor é o teor alcoólico e vice-versa. Por fim, graus alcoólicos maiores podem ser alcançados mais com métodos mais eficazes e que completem uma destilação simples. Porém, esse trabalho nos mostra a rentabilidade, principalmente, para os engenhos de reaproveitamento das frações, que pode gerar uma nova fonte de renda e contribuir com o cuidado com a natureza evitando o descarte. O etanol hidratado obtido é mostrado na Figura 22

Figura 22 -. Volumes de etanol obtidos



Fonte: Autor, (2025)

7 CONCLUSÃO

A transformação das frações não potáveis da cachaça em etanol combustível apresenta justificativas sólidas do ponto de vista ambiental, econômico e técnico. Ambientalmente, contribui para a redução de impactos da disposição inadequada de resíduos e para a mitigação de emissões de gases de efeito estufa. Economicamente, oferece oportunidade de geração de renda adicional para pequenos produtores em um mercado em expansão. Tecnicamente, utiliza processos conhecidos e pode aproveitar infraestrutura existente, embora requeira investimentos em equipamentos adequados para atender às especificações regulamentares.

O marco regulatório brasileiro vem evoluindo para facilitar essa atividade, com especificações técnicas definidas, processos de autorização estabelecidos e projetos de incentivo em tramitação. No entanto, ainda existem desafios relacionados à qualidade do produto final, complexidade regulatória e escala de produção que devem ser considerados na implementação de projetos nesta área.

O presente trabalho após todas as análises feitas e comparadas com os parâmetros vigentes demonstrou satisfatório para acidez de todas as amostras de cachaça analisadas. Com relação a teor, apenas a amostra “coração 1” **com 42,2°GL estava** dentro da faixa de limite entre 38 e 48°GL

Já com relação ao Etanol obtido com instrumento de destilação, nenhuma amostra se demonstrou favorável ao **teor alcoólico** para um Etanol Hidratado. Dentre a massa específica nenhuma das seguintes amostras chegou no parâmetro, a não ser, uma proximidade que foi a “**amostra 1 (Sábado)**” de um limite de 0,8112 g/cm³ **obtendo 0,8671 g/cm³.**

PH nenhuma amostra também foi satisfatória para o parâmetro de 6 a 8 para um Etanol hidratado.

Para a condutividade todas as amostras obtiveram êxito, estando dentro do limite esperado sendo menor que **300**

De um máximo de 30 mg CH₃ COOH/100ml de álcool de acidez apenas a “amostra 2 (domingo)” que ultrapassou do limite chegando a **44,99 mg CH₃ COOH/100ml**. Todas as outras amostras foram positivas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A AGUARDENTE rainha paraibana começou a ser produzida. **Instagram**, 2023. Disponível em: <https://www.instagram.com/reel/CqIQZx1Dma9/>. Acesso em: 19 set. 2025.

A BOA agua ardente: incentivo, produção e uso de cachaça. **Atena Editora**, 2018. Disponível em: <https://atenaeditora.com.br/catalogo/download-post/84878>. Acesso em: 19 set. 2025.

A CACHAÇA de alambique como patrimônio cultural e imaterial paraibano. **FIEPB**, 2024. Disponível em: <https://www.fiepb.com.br/index.php/noticia/sabor-de-tradicao-a-cachaca-de-alambique-como-patrimonio-cultural-e-imaterial-paraibano>. Acesso em: 19 set. 2025.

A PARAÍBA e os engenhos de açúcar. **Boom na Mídia**, 2025. Disponível em: <https://boomnamidia.com.br/colunas/a-paraiba-e-os-engenhos-de-acucar/>. Acesso em: 19 set. 2025.

A SITUAÇÃO dos engenhos de cachaça e rapadura. **ANPUH**, 2019. Disponível em: https://anpuh.org.br/uploads/anais-simposios/pdf/2019-01/1548772192_95604c6d34f84d0d76f31339811483f2.pdf. Acesso em: 19 set. 2025.

ABNT. **NBR 8644**: Álcool etílico combustível - Determinação do teor de resíduo por evaporação - Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 1984.

AGROGEOAMBIENTAL. Agrogeoambiental. 2010. Disponível em: <<https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/Agrogeoambiental/issue/archive>>. Acesso em: 17 set. 2025.

ALMEIDA, E. L. F. **História de Areia**. João Pessoa: A União, 1994.

ANTONIL, André João. Cultura e opulência do Brasil por suas drogas e minas. [S.l.]: Culturatura, 1711. Disponível em: <http://www.culturatura.com.br/obras/Cultura%20e%20opul%C3%Aancia%20do%20Brasil.pdf>. Acesso em: 7 set. 2025

ARAUJO DORETTO, K. M. **Análise físico-química do etanol hidratado combustível na cidade de São Paulo**. Revista Brasileira de Energias Renováveis, v. 5, n. 4, p. 481-491, 2016.

ASPECA entrega ao governador programa de fortalecimento dos engenhos da Paraíba. **Mais Turismo e Cultura**, 28 ago. 2024. Disponível em: <https://www.maisturismoecultura.com.br/aspeca-entrega-ao-governador-programa-de-fortalecimento-dos-engenhos-da-paraiba/>. Acesso em: 19 set. 2025.

ASPLAN prestigia posse de nova diretoria da Aspeca e incentiva entidade a expandir a venda de cachaça produzida na Paraíba. **Asplan**, 22 set. 2023. Disponível em: <https://asplanpb.com.br/asplan-prestigia-posse-de-nova-diretoria-da-aspeca-e-incentiva-entidade-a-expandir-a-venda-de-cachaca-produzida-na-paraiba/>. Acesso em: 19 set. 2025.

ASSOCIAÇÃO paraibana dos engenhos de cachaça de alambique tem nova diretoria. **Espaço PB**, 20 set. 2023. Disponível em: <https://espacopb.com.br/v/associacao-paraibana-dos-engenhos-de-cachaca-de-alambique-tem-nova-diretoria>. Acesso em: 19 set. 2025.

AUIN UNESP. **Unesp cria método mais prático, rápido e barato para identificar falsificação de combustíveis e bebidas**. São Paulo, 8 set. 2025. Disponível em: <https://auin.unesp.br/noticias/604/>. Acesso em: 20 set. 2025.

AVALIAÇÃO das práticas de produção da cachaça em um engenho na Paraíba, a partir das dimensões da produção enxuta. **Revista Gestão e Desenvolvimento**, v. 16, n. 1, p. 140-165, 2019.

BRASIL. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Resolução ANP nº 907, de 18 de novembro de 2022**. Brasília: ANP, 2022.

CABRAL, Caterine Soffiati. **O caso da Usina Santa Maria**. 2020. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2020.

CACHA BRASILEIROS. Quais são as três partes de uma cachaça? 2025. Disponível em: <https://cachacaenegocios.com.br/producao/quais-sao-as-tres-partes-de-uma-cachaca/>. Acesso em: 7 set. 2025.

CACHAÇA GESTOR. Tudo o que você precisa saber sobre destilação. 2021. Disponível em: <https://cachacagestor.com.br/blog/tudo-o-que-voce-precisa-saber-sobre-destilacao/>. Acesso em: 7 set. 2025.

CACHAÇA SELETA. História da cachaça. Cachaça Seleta, [s.l.], 17 jun. 2021. Disponível em: <https://cachacaseleta.com.br/historia-da-cachaca/>. Acesso em: 7 set. 2025.

CACHAÇA SELETA. História da cachaça. Cachaça Seleta, [s.l.], 17 jun. 2021. Disponível em: <https://cachacaseleta.com.br/historia-da-cachaca/>. Acesso em: 7 set. 2025.

CACHAÇA! **Revista Continente**, n. 222, jun. 2019.

CARVALHO, Juliano Loureiro. **Apreendendo a paisagem cultural do Rio Paraíba Açucareiro**. São Paulo: IAU-USP, 2008.

CASCUDO, Luís da Câmara. Prelúdio da cachaça. Rio de Janeiro: Instituto do Açúcar e do Alcool, 1968. Disponível em: <http://www.historiaecultura.pro.br/modernosdescobrimientos/desc/cascudo/ccrdpr/eludiodacachaca.htm>. Acesso em: 7 set. 2025.

COMPANHIA Geral de Comércio de Pernambuco e Paraíba. **Wikipédia**, 9 jan. 2008. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Companhia_Geral_de_Com%C3%A9rcio_de_Pernambuco_e_Para%C3%ADba. Acesso em: 19 set. 2025.

CONSULTA do Conselho Ultramarino sobre a criação da freguesia de Nossa Senhora da Conceição de Taipu. **Arquivo Histórico Ultramarino**, Lisboa, 1756.

DIGIMED. **Análise de Condutividade em Etanol, conforme a norma NBR 10547.** São Paulo, 22 mai. 2025.

DIGIMED. **Metanol em combustíveis.** São Paulo, 31 dez. 2020.

EMBRAPA. Cachaça - Cana. Portal Embrapa, Brasília, 27 abr. 2025. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana/pos-producao/cachaca>. Acesso em: 7 set. 2025.

FEAN. Fundação Estadual de meio Ambiente. Disponível em: <<https://feam.br/>>. Acesso em: 17/09/25

GONÇALVES, M. et al. **Avaliação de laboratórios brasileiros na determinação de parâmetros de qualidade em etanol combustível.** Química Nova, v. 36, n. 3, p. 393-398, 2013.

GONÇALVES, Regina Célia. **A economia açucareira.** In: MELLO, José Antônio Gonsalves de (Org.). **História de Pernambuco.** Recife: Fundação Joaquim Nabuco/Ed. Massangana, 2007.

GONZAGA, F. B. **Avaliação de método volumétrico-potenciométrico para determinação da acidez total em etanol combustível.** In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, 35., 2012, Águas de Lindóia. Anais... São Paulo: SBQ, 2012.

HISTÓRIA UFF. Revolta da Cachaça. Impressões Rebeldes - História (UFF), Niterói, 26 nov. 2023. Disponível em: <https://www.historia.uff.br/impressoesrebeldes/revolta/revolta-da-cachaca/>.

Acesso em: 7 set. 2025

HISTÓRIA UFF. Revolta da Cachaça. Impressões Rebeldes - História (UFF), Niterói, 26 nov. 2023. Disponível em: <https://www.historia.uff.br/impressoesrebeldes/revolta/revolta-da-cachaca/>.

Acesso em: 7 set. 2025.

LOURENÇO, Caroline Ashelley da Silva. TOLEDO, Jady Cristina Nascimento. BIANCHI, Roberta Martins da Costa. Obtenção do etanol a partir do reaproveitamento dos rejeitos do processo de produção da cachaça. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 05, Ed. 04, Vol. 01, pp. 29-54. Abril de 2020. ISSN: 2448-0959, Link de acesso: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-quimica/obtencao-do-etanol>

MAPA DA CACHAÇA. A História da Cachaça. Mapa da Cachaça, [s.l.], 22 mar. 2025. Disponível em: <https://mapadacachaca.com.br/artigos/historia-da-cachaca/>. Acesso em: 7 set. 2025.

MAPA de todos os moradores que existem nesta capitania da Paraíba do Norte. **Arquivo Histórico Ultramarino**, Lisboa, 1763.

MAPA publica padrão de identidade e qualidade da aguardente e da cachaça. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**, 27 dez. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/mapa-publica-padrao-de-identidade-e-qualidade-da-aguardente-e-da-cachaca>. Acesso em: 19 set. 2025.

MARTINS, M. F. et al. **Kit colorimétrico para detecção de metanol em etanol combustível**. Química Nova, v. 38, n. 2, p. 212-216, 2015.

MEGACURIOSO. A cachaça causou uma grande revolta no Brasil Colônia de 1660. Mega Curioso, [s.l.], 24 ago. 2021. Disponível em: <https://www.megacurioso.com.br/artes-cultura/119734-a-cachaca-causou-uma-grande-revolta-no-brasil-colonia-de-1660.htm>. Acesso em: 7 set. 2025.

MONTEIRO, R. T. R. **Avaliação das propriedades físico-químicas de misturas de etanol hidratado e biodiesel para uso em motores de combustão interna ciclo Otto**. 2016. 89 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2016.

MOSQUETTA, R. **Remoção de cobre em etanol combustível empregando resinas de troca iônica**. 2010. 134 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2010.

NOVA CANA. A produção de cana-de-açúcar no Brasil e no mundo. Disponível em: < <https://www.novacana.com/cana/producao-cana-de-acucar-brasil-e-mundo/> >. Acesso em: 25 maio 2018.

O ALCOOLISMO no Brasil-Colônia. **Revista da Faculdade de Direito da Universidade de São Paulo**, v. 112, p. 273-286, 2023.

OITO engenhos que há nesta capitania da Paraíba. **Arquivo Histórico Ultramarino**, Lisboa, 1757.

OLIVEIRA, Elza Regis de. **Engenhos e açúcar na Paraíba dos séculos XVI a XVIII**. João Pessoa: Ideia, 2007.

OS NEGÓCIOS globais de uma companhia colonial: a Companhia Geral de Pernambuco e Paraíba e os negócios da China (1759-1783). **Afro-Ásia**, n. 59, p. 108-152, 2019.

PARAÍBA é o maior produtor de cachaça de alambique do Brasil. **Jornal da Paraíba**, 9 out. 2018. Disponível em: <https://jornaldaparaiba.com.br/economia/paraiba-e-o-maior-produtor-de-cachaca-de-alambique-brasil>. Acesso em: 19 set. 2025.

PARAÍBA se torna um dos maiores produtores de cachaça de alambique do Brasil. **FIEPB**, 2024. Disponível em: <https://www.fiepb.com.br/fiep/noticia/paraiba-se-torna-um-dos-maiores-produtores-de-cachaca-de-alambique-do-brasil>. Acesso em: 19 set. 2025.

PEREIRA, A. S. **Determinação de etanol e metanol em álcool combustível e bebidas por cromatografia gasosa**. 2012. 78 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012.

PRODUÇÃO de cachaça na Paraíba ganha destaque entre os estados do Brasil. **FIEPB**, 2024. Disponível em: <https://www.fiepb.com.br/fiep/noticia/producao-de-cachaca-na-paraiba-ganha-destaque-entre-os-estados-do-brasil>. Acesso em: 19 set. 2025.

PRODUÇÃO mais limpa no setor de cachaça: estudo em engenho no estado da Paraíba. **Produção & Construção e Ambiental**, v. 4, n. 1, p. 73-82, 2018.

SENA, M. M. et al. **Avaliação analítica de analisador de combustível baseado em espectroscopia no infravermelho próximo**. Química Nova, v. 45, n. 4, p. 425-431, 2022.

SEQUINEL, T. **Physicochemical properties and numerical study on combustion of n-decane - ethanol - methyl-decanoate blends**. 2018. 156 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2018.

SOARES, T. L.; SILVA, C. F.; SCHWAN, R. F. Acompanhamento do processo de fermentação para produção de cachaça através de métodos microbiológicos e físico-químicos com diferentes isolados de *Saccharomyces cerevisiae*. Ciência e Tecnologia de Alimentos, v. 31, n. 1, p. 164-171, 2011.

TECNAL. **Método Karl Fischer é processo analítico mais usado para aferir o teor de água/umidade**. Piracicaba, 2025.

TEIXEIRA, L. S. G. et al. **Determinação espectrofotométrica simultânea de cobre e ferro em etanol combustível empregando sistema de análise por injeção em fluxo**. Química Nova, v. 29, n. 4, p. 720-724, 2006.

TEIXEIRA, T. M. **Desenvolvimento de sensores colorimétricos baseados em palygorskita para determinação do teor de água em etanol combustível**. 2025. 112 f. Dissertação (Mestrado em Química Analítica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2025.

UFPB. Qualidade da cachaça com cana moída em 3 intervalos de tempos. Universidade Federal da Paraíba, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/16003>. Acesso em: 07 set. 2025.

VANZELLA, E. **Estudo de propriedades físico-químicas do etanol hidratado com adição de biodiesel para uso em motores de combustão interna ciclo Otto**. 2015. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2015.

WIBA, Cachaças. O que é Alambique? Entenda na prática. 2021. Disponível em: <https://cachacawiba.com.br/wiba/noticias/o-que-e-alambique/>. Acesso em: 7 set. 2025.

WIKIPEDIA. Revolta da Cachaça. Wikipédia, a enciclopédia livre, [s.l.], 21 mar. 2007. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Revolta_da_Cacha%C3%A7a. Acesso em: 7 set. 2025.