

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

IZABELLA RAYANA PRADO DE MENDONÇA

ESTUDO DA PRODUÇÃO E ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DE
AGUARDENTE MISTA DE ABACAXI E ALGAROBA

JOÃO PESSOA - PB

2025

IZABELLA RAYANA PRADO DE MENDONÇA

**ESTUDO DA PRODUÇÃO E ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DE AGUARDENTE
MISTA DE ABACAXI E ALGAROBA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação
em Engenharia Química do Centro de Tecnologia da
Universidade Federal da Paraíba em cumprimento aos
requisitos para obtenção do título de Mestre em
Engenharia Química.

Orientadora: Profa. Dra. Julice Dutra Lopes
Coorientador: Profº. Dr. Flávio Luíz Honorato da Silva.

JOÃO PESSOA - PB

2025

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

M539e Mendonça, Izabella Rayana Prado de.

Estudo da produção e análise físico-química de
aguardente mista de abacaxi e algaroba / Izabella
Rayana Prado de Mendonça. - João Pessoa, 2025.

79 f. : il.

Orientação: Julice Dutra Lopes.

Coorientação: Flávio Honorato Silva.

Dissertação (Mestrado) - UFPB/CT.

1. Aguardente - Abacaxi e algaroba. 2. Anamas
comosus. 3. Prosopis juliflora. 4. Planejamento
fatorial. 5. Fermentação alcoólica. I. Lopes, Julice
Dutra. II. Silva, Flávio Honorato. III. Título.

UFPB/BC

CDU 663.5(043)

IZABELLA RAYANA PRADO DE MENDONÇA

**ESTUDO DA PRODUÇÃO E ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DE AGUARDENTE
MISTA DE ABACAXI E ALGAROA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Química do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba em cumprimento aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Química.

Aprovada em: 26/02/2025

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Julice Dutra Lopes - PPGEQ/CT/UFPB
(Orientadora)

Prof. Dr. Flávio Luíz Honorato da Silva - PPGEQ/CT/UFPB
(Coorientador)

Profa. Dra. Andrea Farias de Almeida
(Examinadora Interna)

Profa. Dra. Shirlene Kelly Santos Carmo
(Examinadora Externa)

Dra. Renata Torres dos Santos e Santos
(Examinadora Externa)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por sempre está presente em minha vida, me dando força, discernimento e colocando pessoas excepcionais em minha vida.

Ao meu esposo, Josimar, que é minha base e apoio em todos os momentos, um ótimo marido e excelente pai, um exemplo para nós.

Meus filhos, José Heitor e Iasmin, que são minha motivação diária para seguir em frente e poder realizar com êxito meus objetivos, servindo sempre de bom exemplo.

Aos meus pais, que me colocaram no mundo, mostrando o que era certo e errado, me guiando para um caminho de estudo e trabalho.

A minha estimada Orientadora, professora Dra. Julice Dutra Lopes, por sempre está disposta a ajudar, ser uma pessoa paciente e a quem tenho grande admiração.

Ao meu Coorientador, professor Dr. Flávio Luíz Honorato da Silva, por exercer com maestria o dom que foi lhe dado e sempre me guiando para conclusão desse trabalho.

Aos técnicos do Laboratório de Análises e Pesquisas de Bebidas Alcoólicas, Dr. Clovis Gouveia por ser um dos meus padrinhos nessa pesquisa, dispondo sempre do seu vasto conhecimento e fornecendo matéria-prima para o produto, Dra Maria Conceição Ramos, que me acompanhou durante o andamento do projeto e sempre me instruiu com excelência e a Karla Emanuella Lima de Oliveira, que sempre estava pronta para ajudar no bom andamento da pesquisa.

A Nathan de Andrade Silva, que foi um presente que Deus me deu, um suporte nos momentos que mais precisei e que sempre esteve disposto a me auxiliar nesse projeto.

Aos meus eternos e estimados amigos companheiros de turma, Jonatas Evaristo dos Santos, Ynis Thaciane Felix da Silva, Wanderson Felipe Araújo dos Passos, Emmely Vitória de Santana Cabral, Ruan Dionízio Silva, Moises da Costa Soares, que sempre me deram forças para não desistir, sempre com união e cada um me deu sua contribuição.

A minha prima Cybelle Crystine do Prado, que sempre acreditou no meu potencial e me deu força para entrar no programa, sem ela eu não estaria fazendo parte dessa pesquisa.

A minhas amigas, Regina e Rosineide, que participaram de forma indireta, com aquela palavra amiga, com suporte e carinho.

Muito grata a todos que participaram de forma direta ou indireta para a conclusão desse trabalho.

“Aprendi que o caminho para o progresso não é rápido e nem fácil.”

Marie Curie

RESUMO

O Brasil se destaca como um dos principais produtores de frutas do mundo, ficando logo atrás da China e da Índia nesse *ranking*. Na região da Paraíba existe vastas plantações de abacaxi, o que faz dessa fruta uma importante fonte de renda para a população local e uma atividade econômica significativa. No entanto, uma parcela considerável da produção é perdida devido ao amadurecimento das frutas antes de serem comercializadas. A algaroba é uma planta facilmente encontrada em regiões semiáridas, conhecidas por sua riqueza em nutrientes e açúcares que contribuem para o processo de fermentação alcoólica. Com base nesse cenário, o objetivo deste trabalho foi desenvolver e caracterizar uma aguardente mista feita a partir de abacaxi e algaroba. O abacaxi foi adquirido em feira livre da cidade de João Pessoa, as vagens da algaroba coletadas no semiárido paraibano e as leveduras adquiridas no comércio. O caldo do abacaxi e da algaroba foram extraídos em prensa hidráulica de acionamento manual com com pressão de XX. Para otimizar e determinar as melhores condições do processo fermentativo, foi realizado um planejamento fatorial completo $2^2 + 3$, envolvendo diferentes leveduras, a *Saccharomyces bayanus* e a *Saccharomyces cerevisiae*. Foram variadas as concentrações de levedura e a proporção entre o caldo de abacaxi e de algaroba, considerando-os como as variáveis de entrada. A fermentação alcoólica do planejamento experimental ocorreu em um total de quatorze ensaios e em sistema de batelada. As variáveis independentes avaliadas foram o percentual de conversão, a produtividade e o rendimento de biomassa e produto em relação ao substrato. Após a fermentação alcoólica, os cálculos foram realizados e a melhor resposta foi encontrada no ponto central, com uma concentração de levedura de 0,3 g/L e proporções iguais de algaroba e abacaxi. Com base nos resultados obtidos, os testes realizados com *Saccharomyces cerevisiae* e *Saccharomyces bayanus* apresentaram, respectivamente, um percentual de conversão de 82,23% e 98,87%, produtividade de 0,637 e 0,944 g/L.h, rendimento de biomassa em relação ao substrato (Y_x/s) de 0,004 e 0,016 gx/gs, e rendimento de produto em relação ao substrato (Y_p/s) de 0,422 e 0,447 gp/gs. Desse modo, as melhores condições foram conduzidas para um processo de fermentação em maior quantidade para produção da aguardente. Foi realizado um estudo da destilação do fermentado alcoólico e a fração coração obteve grau alcoólico de 34,5° GL para a aguardente produzida com levedura *Saccharomyces bayanus* e 38° GL para a aguardente produzida com a *Saccharomyces cerevisiae* e após o descanso, foi de 35,6 ° GL e 40,5 ° GL, respectivamente. A maturação das aguardentes foi acelerada utilizando *chips* de madeira carvalho no período de um mês. Os parâmetros de identidade e qualidade das aguardentes produzidas foram analisados e comparados com a legislação vigente para aguardente de frutas, onde, as aguardentes obtiverem resultados semelhantes e dentro dos padrões estabelecidos pelo MAPA e verificou-se que a aguardente utilizando a levedura *Saccharomyces cerevisiae* obteve um melhor desempenho que a utilizando *Saccharomyces bayanus*.

Palavras-chave: frutas; *Ananas comosus*; *Prosopis juliflora*; aguardente; planejamento fatorial; fermentação alcoólica; destilação.

ABSTRACT

Brazil stands out as one of the world's leading fruit producers, ranking just behind China and India. In the region of Paraíba, there are vast pineapple plantations, making this fruit an important source of income for the local population and a significant economic activity. However, a considerable portion of the production is lost due to the fruits ripening before they are sold. The algaroba is a plant commonly found in semi-arid regions, known for its richness in nutrients and sugars that contribute to the alcoholic fermentation process. Based on this scenario, the objective of this study was to develop and characterize a mixed spirit made from pineapple and algaroba. The pineapple was sourced from a local market in João Pessoa, the algaroba pods were collected in the semi-arid region of Paraíba, and the yeasts were purchased commercially. The juices of the pineapple and algaroba were extracted using a manually operated hydraulic press with a capacity of 30 tons from the brand POTENTE. To optimize and determine the best conditions for the fermentation process, a complete factorial planning $22 + 3$ was conducted, involving different yeasts, namely *Saccharomyces bayanus* and *Saccharomyces cerevisiae*. The concentrations of yeast and the proportion between pineapple juice and algaroba juice were varied, considering them as the input variables. The alcoholic fermentation of the experimental planning was conducted in a total of fourteen trials and in a batch system. The independent variables evaluated were conversion percentage, productivity, and yield of biomass and product relative to the substrate. After the alcoholic fermentation, calculations were performed, and the best response was found at the central point, with a yeast concentration of 0.3 g/L and equal proportions of algaroba and pineapple. Based on the results obtained, the tests conducted with *Saccharomyces cerevisiae* and *Saccharomyces bayanus* showed conversion percentages of 82.23% and 98.87%, productivity rates of 0.637 and 0.944 g/L.h, biomass yield relative to the substrate ($Y_{x/s}$) of 0.004 and 0.016 gx/gs, and product yield relative to the substrate ($Y_{p/s}$) of 0.422 and 0.447 gp/gs, respectively. Thus, the best conditions were established for a fermentation process designed to produce a larger quantity of the spirit. A study of the distillation of the alcoholic fermentation was conducted, resulting in a heart fraction with an alcohol content of 34.5° GL for the spirit produced with *Saccharomyces bayanus* and 38° GL for the spirit produced with *Saccharomyces cerevisiae*. After resting, the alcohol contents were 35.6° GL and 40.5° GL, respectively. The maturation of the spirits was expedited using oak wood chips over a period of one month. The identity and quality parameters of the produced spirits were analyzed and compared with the current legislation for fruit spirits, where the spirits yielded similar results within the standards established by MAPA, and it was verified that the spirit using *Saccharomyces cerevisiae* showed better performance than that using *Saccharomyces bayanus*.

Keywords: fruits; *Ananas comosus*; *Prosopis juliflora*; spirit; Sustainability; alcoholic fermentation; distillation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1	Abacaxi Pérola	19
Figura 3.2	Algarobeira	20
Figura 3.3	Vagens de algaroba	21
Figura 3.4	Esquema da via glicolítica	23
Figura 4.1	Processo de higienização dos abacaxis	33
Figura 4.2	Padronização do meio a ser fermentado	36
Figura 4.3	Adição da inóculo (levedura) ao meio padronizado	37
Figura 4.4	Processo fermentativo do caldo de algaroba e abacaxi, utilizando o planejamento fatorial completo	38
Figura 4.5	Etapas da produção da aguardente mista de abacaxi e algaroba	39
Figura 4.6	Alambique de cobre utilizado na destilação do mosto	40
Figura 4.7	Chips de madeira carvalho utilizado para amadurecimento da aguardente mista de abacaxi e algaroba	41
Figura 5.1	Início da fermentação alcoólica com todas as condições estabelecidas no planejamento fatorial completo 22 + 3 repetições no ponto central, em duplicata, totalizando quatorze ensaios.	45
Figura 5.2	Gráfico de Pareto com a estimativa dos efeitos para a variável Produtividade	48
Figura 5.3	Superfície resposta da variável produtividade	49
Figura 5.4	Andamento da fermentação alcoólica utilizando a levedura <i>Saccharomyces bayanus</i> , após 48 h do início da fermentação no Biorreator 1	52
Figura 5.5	Início da fermentação alcoólica utilizando a levedura <i>Saccharomyces cerevisiae</i> no Biorreator 1	53
Figura 5.6	Cinética fermentativa do caldo de abacaxi e algaroba, utilizando a levedura <i>S. bayanus</i> , referente ao Biorreator 1	55
Figura 5.7	Cinética fermentativa do caldo de abacaxi e algaroba, utilizando a levedura <i>S. bayanus</i> , referente ao Biorreator 2	56
Figura 5.8	Comportamento da cinética da destilação do fermentado alcoólico de algaroba e abacaxi, fermentado com a levedura <i>Saccharomyces bayanus</i>	57

Figura 5.9	Comportamento da cinética da destilação do fermentado alcoólico de algaroba e abacaxi, fermentado com a levedura <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	58
Figura 5.10	Produto após o acondicionamento com os chips de madeira para a levedura <i>Saccharomyces bayanus</i> e <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1	Dados de produção de abacaxi em 5 estados do Brasil em 2020 e 2022	18
Tabela 3.2	Composição centesimal nas vagens de algaroba, provenientes da cidade de Patos - PB	22
Tabela 3.3	Padrões de identidade e qualidade estabelecidos pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento para aguardente de fruta (Instrução Normativa N° 15 de 31/03/2011)	29
Tabela 4.1	Valores dos níveis reais e codificados para elaboração do fermentado alcoólico de algaroba e abacaxi	34
Tabela 4.2	Matriz de planejamento fatorial completo 2^2 com 3 pontos centrais para elaboração do fermentado alcoólico de algaroba e abacaxi.	35
Tabela 5.1	Matriz do planejamento fatorial completo da fermentação alcoólica utilizando a levedura <i>Sacharomices cerevisiae</i> expressando os resultados obtidos das variáveis dependentes.	47
Tabela 5.2	Modelo codificado com o teste t ao nível de confiança de 95%	47
Tabela 5.3	Análise de variância (ANOVA) da variável produtividade	47
Tabela 5.4	Matriz do planejamento fatorial completo da fermentação alcoólica utilizando a levedura <i>Sacharomices bayanus</i> expressando os resultados obtidos das variáveis dependentes.	50
Tabela 5.5	Modelo codificado com o teste de t ao nível de confiança de 95%	50
Tabela 5.6	Dados analíticos da aguardente mista de abacaxi e algaroba, antes e após acondicionamento em contato com <i>chips</i> de madeira	61

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AR	Açúcares redutores
ART	Açúcares redutores totais
CL	Concentração de levedura
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
kg	Quilograma
LBA	Laboratório de Análises e Pesquisas de Bebidas Alcoólicas
LABIO	Laboratório de Bioengenharia
LACOM	Laboratório de Combustíveis e Materiais
LTA	Laboratório de Tecnologia de Alimentos
LPDF	Laboratório de Produtos Fermento-Destilados
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
P	Concentração final de produto (g/L)
P_0	Concentração inicial de produto (g/L)
S	Concentração final de substrato (g/L)
S_0	Concentração inicial de substrato (g/L)
SST	Sólidos solúveis totais
T	Tempo de fermentação (h)
UFPB	Universidade Federal da Paraíba
$Y_{x/s}$	Rendimento de biomassa
$Y_{p/s}$	Rendimento do produto
X	Concentração final de biomassa (g/L)
X_0	Concentração inicial de biomassa (g/L)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	16
2.1 OBJETIVO GERAL	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3.1 ABACAXI.....	17
3.2 ALGARROBA.....	20
3.3.1 Fermentação Alcoólica.....	22
3.3.2 Leveduras utilizadas para a produção de bebidas alcoólicas.....	25
3.3.3 Destilação	26
3.4 AGUARDENTE DE FRUTA	28
3.5 ACONDICIONAMENTO DA AGUARDENTE COM <i>CHIPS</i> DE MADEIRA	30
4 METODOLOGIA	32
4.1 OBTENÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS.....	32
4.2 HIGIENIZAÇÃO E SANITIZAÇÃO	32
4.3 EXTRAÇÃO DO CALDO DE ABACAXI E CALDO DE ALGARROBA	33
4.4 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL	33
4.5 PREPARO DO INÓCULO	35
4.5.1 Padronização do meio	35
4.5.2 Inoculação do agente fermentativo.....	36
4.6 FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA	37
4.7 FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA DO CALDO DE ABACAXI E ALGARROBA, REALIZADA NA MELHOR CONDIÇÃO ENCONTRADA NO PLANEJAMENTO FATORIAL	39
4.8 DESTILAÇÃO	40
4.9 ACONDICIONAMENTO DAS AGUARDENTES EM CONTATO COM <i>CHIPS</i> DE MADEIRA.	41
4.10 ANÁLISES QUÍMICAS E FÍSICO-QUÍMICAS DAS FORMULAÇÕES, FERMENTADOS ALCOÓLICOS E AGUARDENTES.	42
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
5.1 AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS CINÉTICOS	45
5.2 FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA DO PRODUTO OBTIDO	51
5.2.1 Fermentação utilizando a levedura <i>Saccharomyces bayanus</i>	51
5.2.2 Fermentação utilizando a levedura <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	53
5.3 CINÉTICA FERMENTATIVA COM A LEVEDURA <i>SACCHAROMYCES BAYANUS</i>	54
5.4 CINÉTICA DE DESTILAÇÃO	57
5.4.1 Cinética de destilação do fermentado alcoólico que utilizou a levedura <i>Saccharomyces bayanus</i>	57

5.5 ANÁLISE DOS PARAMETROS DE QUALIDADE DO PRODUTO	59
5.5.1 Teor alcoólico da aguardente produzida com a levedura <i>Saccharomyces bayanus</i>	59
5.5.2 Teor alcoólico da aguardente produzida com a levedura <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	59
5.5.3 Teor alcoólico da aguardente produzida com a levedura <i>Saccharomyces bayanus</i> após acondicionamento em contato com <i>chips</i> de madeira Carvalho	60
5.5.4 Teor alcoólico da aguardente produzida com a levedura <i>Saccharomyces cerevisiae</i> após o acondicionamento em contato com <i>chips</i> de madeira Carvalho	60
REFERÊNCIAS	65
APÊNDICES	71

1 INTRODUÇÃO

O Brasil se destaca como o terceiro maior produtor de frutas do mundo, ficando atrás apenas da China e da Índia (TEIXEIRA, 2020). A produção de frutas em 2021 foi de 909,6 milhões de toneladas, onde obteve um montante bruto de US\$ 106,2 bilhões em exportação mundial. A produção de frutas no Brasil é de aproximadamente 40 milhões de toneladas, onde tem uma área destinada à colheita de 2.874.122 milhões hectares, o valor da produção dessas frutas gira em torno de aproximadamente 44 milhões de reais (VIDAL, 2023). Portanto, é fundamental que se faça o aproveitamento de toda a abundância de frutas dispostas no Brasil, que se desenvolvam produtos que agreguem valor econômico e gere fonte de renda para famílias brasileiras, contribuindo na melhoria da qualidade de vida da população, com consequente aumento do PIB (COELHO, SANTOS e SIMÕES, 2021).

Uma das frutas de grande importância na economia do Brasil e, principalmente, no estado da Paraíba é o abacaxi, considerado a rainha das frutas brasileiras, seu uso varia desde consumo *in natura* até produção de doces, geleias, entre outros (COELHO, SANTOS e SIMÕES, 2021). O Brasil tem um total de área plantada de abacaxi de 64.304 hectares, onde a Paraíba está em segundo lugar com 9.179 hectares, o primeiro lugar está com o Pará com 14.168 hectares e o terceiro com o Estado de Minas Gerais com 5.295 hectares. O segundo lugar se mantém em relação a quantidade produzida (toneladas/ano), onde foi produzido no ano de 2022 cerca de 275.095 toneladas de abacaxi, enquanto o primeiro lugar (Pará) produziu 350.018 toneladas (IBGE, 2022). É observado que se tem uma grande quantidade de abacaxis produzidos anualmente e ainda não se tem o aproveitamento total da safra, pois as indústrias de alimentos ainda não comportam toda essa produção e a melhor forma de aproveitamento é trazendo novas ideias para o consumo de todo esse cultivo (LAINETTI e SEIBEL, 2018).

Para evitar parte desse desperdício, incentivar a transformação local e reduzir as perdas pós-colheita de frutas, vários estudos têm explorado técnicas de processamento, destacando-se a fermentação alcoólica de frutas, com desenvolvimento de aguardentes de frutas como proposta de novo produto que possa impulsionar a economia local (FAGUNDES et al., 2015).

A algarobeira, de nome científico *Prosopis juliflora* é uma espécie vegetal arbórea da família *Fabaceae* (*leguminosae*), subfamília *Mimosodae*, tem ótima reprodução em solos semiáridos, com ampla distribuição na região nordeste, apresenta período de floração em tempos de seca e tem diferentes finalidades, tendo total aproveitamento da planta. As folhas e sementes podem ser utilizadas para alimentação de animais, por causa do alto valor nutritivo; a

madeira é resistente e forte, pode ser utilizada pelo setor de construção, nas folhas e no tronco podem ser extraídas substâncias que podem ser utilizadas para produção de bebidas e nas indústrias alimentícias (PEREIRA et al., 2018)

Como alternativa de agregar valor a estes produtos regionais, explorando suas boas características fermentescíveis e sensoriais, a utilização tanto do abacaxi como da algaroba para elaboração de bebidas alcoólicas é uma forma de aproveitamento com o intuito de evitar as perdas na produção das frutas, quando não é possível fazer o consumo imediato, podendo agregar valor às bebidas. A partir do processo fermentativo das frutas, seguido de destilação pode-se obter as aguardentes de frutas, sendo necessário à adequação do processo de produção de acordo com as necessidades da matéria-prima (ASQUIERI, SILVA e CÂNDIDO, 2009).

Com um mercado cada vez mais exigente e pensando num produto de qualidade, deve ser aproveitado as características sensoriais das frutas para que seja obtida uma aguardente diferenciada, favorecendo a aquisição dos produtos por todas as classes econômicas, além de poder explorar o mercado internacional. Neste contexto, o objetivo deste estudo foi desenvolver uma aguardente mista de abacaxi e algaroba, como uma alternativa inovadora no mercado, que possibilite o aproveitamento dessas frutas e gere uma fonte de renda para a população.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver e caracterizar aguardentes mistas de abacaxi e algaroba.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o processo fermentativo utilizando duas leveduras diferentes;
- Realizar um planejamento fatorial completo para a levedura *Saccharomyces cerevisae* e um para a levedura *Saccharomyces bayanus*.
- Estudar o processo de produção de fermentado alcoólico misto de abacaxi e algaroba utilizando planejamento experimental fatorial completo $2^2 + 3$ repetições no ponto central.
- Analisar a cinética fermentativa das misturas definidas no planejamento experimental fatorial.
- Produzir em maior escala a aguardente mista de abacaxi e algaroba para cada fermentado que obteve melhor resposta no planejamento experimental fatorial completo;
- Caracterizar físico-quimicamente a aguardente mista de abacaxi e algaroba antes e após período de acondicionamento com *chips* de madeira.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 ABACAXI

O abacaxi é uma planta da família Bromeliaceae e gênero *Ananas*. O fruto e a planta são conhecidos e chamados como abacaxi ou ananás. O melhor período de safra compreende os meses de dezembro a janeiro. No Brasil, são cultivadas várias espécies, porém, a que se destaca é a variedade Pérola (LAINETTI e SEIBEL, 2018).

A literatura mostra que a origem no termo “abacaxi” pode ser derivada da palavra “ibacaxi”, no qual tem como significado fruto cheiroso, do guaraní. A palavra “ananás” vem da palavra nana, que significa aroma grande, do tupí, expressa pelos nativos tupis localizados no litoral do Brasil; já a terminação “comosus” tem como significado empenachado, representando às hastes das frutas. O termo geral para a fruta abacaxi é “ananás” ou “piña”. No Brasil e Paraguai a designação oficial é “abacaxi” (MEDINA, 1978).

Os abacaxis são frutos típicos de regiões tropicais e subtropicais, por serem muito apreciados, tem grande aceitação em todo o mundo, sendo seu consumo tanto *in natura*, quanto de forma industrializada, como em geleias, tortas, biscoitos recheados, sorvetes, doces enlatados, em calda, congelado, cristalizado, em forma de passas e pickles. Seu consumo também se diversifica em sucos, refrescos, vinagre, xarope, licor, vinho, aguardente e serve de matéria-prima para a extração de álcool e ração animal, pela utilização dos resíduos industrializados. Consequentemente, tem grande poder econômico e agrada aos olhos, ao paladar e ao olfato. Por essas razões e por ter uma “coroa”, coube-lhe o título de “Rei dos Frutos Coloniais”, conferido pelos exploradores europeus, que, no Novo Mundo, encontraram tão exuberante fruta (CRESTANI et al., 2010).

Atualmente, o abacaxi é produzido em larga extensão em todos os países tropicais, sendo o Brasil um grande produtor, onde encontra excelentes condições para seu desenvolvimento, sendo cultivado em quase todos os estados como mostra a Tabela 3.1 com os cinco estados com maior produção nacional segundo IBGE (2022).

Tabela 3.1 – Dados de produção de abacaxi em 5 estados do Brasil em 2020 e 2022

Estados	Área colhida (Hectares)		% Área colhida (hectare)		Quantidade produzida (toneladas)		Rendimento médio da produção (kg / hectare)	
	2020	2022	2020	2022	2020	2022	2020	2022
Pará	13.680	14.168	0,68	0,61	357.021	350.018	26.098	24.705
Paraíba	9.055	9.174	2,45	2,64	272.285	275.095	30.070	29.986
Rio de Janeiro	4.559	4.334	4,13	3,82	143.454	63.405	31.466	26.175
Minas gerais	5.757	5.295	0,1	0,08	173.853	155.605	30.199	29.387
Tocantins	4.727	4.867	0,3	0,26	98.523	103.596	20.843	21.285

Fonte: IBGE (2020, 2022)

Observando os dados da Tabela 3.1 verifica-se que a Paraíba vem crescendo em área colhida e quantidade produzida de abacaxis, enquanto nos demais estados, com exceção do Tocantins, essas quantidades vêm diminuindo.

Os componentes químicos do abacaxi variam muito de acordo com a época do ano em que estão sendo produzidos, podendo originar frutos com maiores teores de açúcares e menor acidez titulável no verão. O abacaxi tem um grande valor energético, pelo alto teor de açúcares, sais minerais (potássio, ferro, cálcio, manganês e magnésio) e vitaminas (SANTO et al., 2010 e SOARES et al., 2004).

Como planta tipicamente tropical, para ter um crescimento ótimo e melhor qualidade dos frutos, devem ser cultivados na faixa de temperatura de 22 a 32 °C, com ideal entre 29 °C e 32 °C e volume de chuvas entre 1400 e 2500 mm anuais. A média anual de umidade relativa do ar deve ficar em torno de 80% a 90% no verão, e em torno de 75%, no outono-inverno (TEIXEIRA, 2020).

No Brasil existe uma grande diversidade genética do abacaxi, onde se destacam Cayenne (Smooth Cayenne), Pérola (Pernambuco) e Boituva (amarelo comum), que são os tipos mais produzidos no país. Apesar do Brasil ser um grande produtor de abacaxi, verifica-se que sua participação no mercado internacional não é relevante. De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), no período de 2012 até agosto/2019, o país exportou aproximadamente 48 mil toneladas da fruta, no montante de US\$ 80 milhões. Deve-se registrar que, a partir de 2018, o país aumentou significativamente o destino do abacaxi *in natura*,

preparado e processado, além do suco da fruta. Esse movimento incluiu mercados consumidores potenciais, como o americano e o europeu. Tal situação indica que há espaço para atuação e crescimento do setor exportador (CONAB, 2020).

O abacaxi do tipo Pérola (Figura 3.1), também conhecido como Pernambuco ou Branca de Pernambuco, caracteriza-se por ter plantas rígidas, folhas compridas e com espinhos e pedúnculos longos. O fruto é cônico e possui a casca amarelada, polpa branca, pouco ácida, succulenta, saborosa, com sólidos solúveis, geralmente, de 13,7 °Brix, pesando entre 1 kg e 1,5 kg, com grande coroa, e pode estar suscetível a doença como à fusariose e a pragas como cochonilha (TEIXEIRA, 2020).

Figura 3.1 - Abacaxi Pérola



Fonte: EMBRAPA (2015)

Algumas etapas contribuem para o desperdício da safra, dentre elas destaca-se a colheita inapropriada, pois existe a ocorrência de ataque de pragas, doenças e desastres naturais. Essas perdas continuam quando feita a colheita, devido ao fato do produto se estragar muito rápido e a forma como é manuseado, ocasionando danos físicos e deteriorações fisiológicas e patológicas. Ainda, após a colheita da safra, ocorrem danos pelo uso de embalagens inadequadas, o modo como essas frutas são transportadas, sem refrigeração e falta de técnicas adequadas para seu manuseio. Essas frutas quando posta à venda, passa pelo desgaste no toque excessivo e de forma inadequada. As perdas pós-colheita podem ser classificadas como fisiológicas (ex.: amadurecimento), por injúria mecânica (ex.: armazenamento em caixas inadequadas) ou fitopatológicas (ex.: ataque por microrganismos) (EMBRAPA, 2018).

Como forma de evitar o desperdício do abacaxi e devido ao seu elevado teor de açúcar que consiste em uma característica favorável para aplicação em processos biotecnológicos,

como por exemplo, na fermentação alcoólica, esta foi uma das matérias-primas utilizadas nesta pesquisa.

3.2 ALGAROBA

A algarobeira é uma leguminosa arbórea, não oleaginosa, da família Leguminosae, subfamília Mimosoideae, pertencente ao gênero *Prosopis* (SILVA et al., 2007).

Figura 3.2 - Algarobeira



As espécies do gênero *Prosopis* são altamente resistentes à seca e bem adaptadas a temperaturas elevadas e solos pobres, seus sistemas radiculares são capazes de buscar água a mais de 50 metros de profundidade (AGIDE, 1987), que se adaptaram muito bem ao Nordeste do Brasil e produzem um fruto que é chamado de vagem, que é muito rica em proteína, carboidratos, lipídeos, vitaminas, sais mineiras e principalmente o açúcar, sendo um alimento muito nutritivo e podendo ser aproveitado de diversas formas, caracterizado por ter uma alta capacidade de fixar nitrogênio ao solo (BORGES, 2004 e SILVA, 2009).

Entre as espécies de algarobeira se destaca a *Prosopis juliflora* (Sw) DC., que é um dos maiores alcances de introdução de plantas xerófilas no semiárido nordestino, originária da região Norte do Peru e introduzida no nordeste brasileiro por volta de 1942, contribuindo para o fortalecimento da economia agropecuária da região (SILVA e AZEVEDO, 1998).

As vagens são de cor amarela, compridas e achatadas e, em sua maioria, tem uma leve curva, palatáveis, aromáticas e doces (BORGES, 2004). Pelo seu alto valor nutritivo os frutos da algarobeira podem ser transformados em matéria-prima na produção de diversos tipos de alimentos saborosos e nutritivos, como, bolos, pães, biscoitos, bebidas, condimentos, geleias, méis, pudins, sopas, papas, entre outros. O potencial das vagens de algaroba vem sendo fonte de desenvolvimento de pesquisas pela sua riqueza em nutrientes e seu baixo custo. Dentre essas pesquisas estão o desenvolvimento de vinagre de algaroba (SILVA, RODRIGUES e GOUVEIA, 2006), aguardente de algaroba (SILVA et al., 2003 e SILVA, 2002, 2009) e aproveitamento de resíduos sólidos para produção da farinha de algaroba, um alimento rico e nutritivo (MUNIZ, 2009; GUSMÃO et al., 2018 e LEMOS et al., 2023).

Figura 3.3 – Vagens de algaroba



O potencial nutritivo das vagens da algarobeira mostra sua importância para a geração de novas fontes renováveis de alimento, por ser uma importante fonte de carboidratos e proteínas, como pode ser visualizado na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Composição centesimal de vagens de algaroba, provenientes da cidade de Patos - PB

	SILVA (2009)	GUSMÃO et al. (2016)
Umidade	13,05%	7,17%
Proteínas	9,16%	9,12%
Lipídios	2,36%	1,28%
Cinzas	3,58%	2,50%
Fibra bruta	13,43%	15,10%
Carboidratos	71,86%	70,50%
Cálcio	0,65%	0,65%
Fósforo	0,88%	0,88%
Ferro	0,01%	0,01%

Em razão de todas essas informações, as vagens de algaroba têm sido potencial fonte de matéria-prima para o desenvolvimento de uma série de produtos e inovações tecnológicas, a exemplo da farinha extraída do aproveitamento dos resíduos sólidos das vagens de algaroba feito por Silva (2009), que possibilita a fabricação de produtos alimentares como pães e bolachas. Borges (2004), desenvolveu um sorvete a partir do melado de algaroba, levando em consideração o leve sabor amargo da algaroba, que não iria ser evidenciado pela baixa temperatura do sorvete. Esse produto foi elaborado numa fábrica da Paraíba, localizada na cidade de João Pessoa.

Devido ao alto teor de sacarose encontrado nas vagens de algaroba, ela é favorável a fermentação para obtenção de bebidas alcoólicas, em especial aguardentes de fruta.

3.3 PRODUÇÃO DE BEBIDAS ALCOÓLICAS

3.3.1 Fermentação Alcoólica

As bebidas alcoólicas são produzidas e consumidas desde a antiguidade pelo mundo e por diversos povos. O preparo das bebidas tem suas especificidades e são feitas para algum tipo de ocasião, como comemorações, rituais ou até mesmo manifestações. As bebidas fermentadas são ricas em nutrientes essenciais, são fonte de vitaminas do complexo B, as quais advêm dos substratos utilizados durante a preparação, fermentação espontânea das leveduras e outros

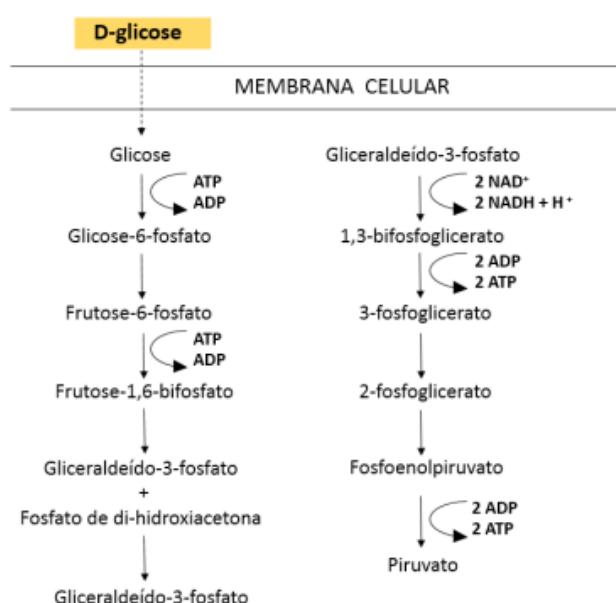
microrganismos e por isso é bastante utilizada em dietas. Em alguns povos o consumo dessas bebidas está relacionado à morte de inimigos, nos rituais antropofágicos ou relacionada com a caça e a pesca, em atividades para busca de alimentos, tendo duração de horas, dias, semanas ou até quando durar o estoque de bebida (VENTURINI FILHO, 2016).

As bebidas fermentadas de frutas, como abacaxi e banana, por exemplo, ocorrem com maior frequência nas florestas tropicais e subtropicais, bem como nas regiões de savanas da América Central, Venezuela, Guianas e cabeceiras dos rios Orinoco e Amazonas. Essas frutas contêm por volta de 80% de água, carboidratos, vitaminas, proteínas, sais minerais e lipídeos, sendo ricas fontes de nutrientes para o metabolismo humano (VENTURINI FILHO, 2016).

A fermentação alcoólica é um processo anaeróbico, ou seja, o crescimento das células não necessita de oxigênio. Com o passar do tempo, foram observadas reações enzimáticas da transformação química da sacarose em etanol e dióxido de carbono dentro da célula. A levedura responsável pelos processos biotecnológicos, como a obtenção do combustível renovável, fabricação do pão, cerveja e vinho por exemplo é a do gênero *Saccharomyces*. Com essa observação, ela passou a ser o microrganismo eucariótico mais conhecido e estudado e de metabolismo mais conhecido (LIMA et al., 2019).

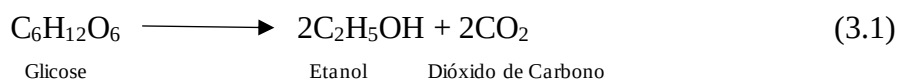
No decorrer do processo fermentativo os açúcares levados para o interior da célula microbiana são fosforilados por enzimas hexoquinases ou glicoquinases, passando a ser convertidos a piruvato na via glicolítica, como mostrado na Figura 3.4.

Figura 3.4 – Esquema da via glicolítica



Fonte: Freitas (2022)

Continuando o processo, as moléculas de piruvato são descarboxiladas pela enzima piruvato descarboxilase, gerando o acetaldeído e CO₂. O acetaldeído é então reduzido a etanol por enzimas álcool desidrogenase. Por seguinte, os produtos do metabolismo glicolítico da levedura são dois mols de CO₂ e dois mols de etanol por mol de glicose (Equação 3.1). O processo de fermentação alcoólica é exotérmico com liberação de gás carbônico (HUTKINS, 2006).



O vinho é resultado obtido após a fermentação alcoólica e seu sabor é influenciado pela quantidade de compostos voláteis, tais como, ésteres, aldeídos, álcoois superiores e metanol. Estes compostos contribuem para a originalidade do vinho e são formados durante a fermentação alcoólica. Esses compostos devem ser analisados e devem estar dentro dos limites estabelecidos pelas normas de aguardente de fruta para que não haja alterações indesejadas que prejudique o sabor e qualidade da bebida (SILVA, 2012).

O processo de fermentação alcoólica só é possível devido a presença dos açúcares fermentescíveis pelos microrganismos no mosto, assim pode ocorrer a produção do etanol. A quantidade de açúcar presente na fruta varia de acordo com sua espécie e dependendo do amadurecimento do fruto. De acordo com a quantidade de sólidos solúveis totais (SST) presente no mosto se faz necessário o ajuste acrescentando uma determinada quantidade de sacarose permitida pela legislação (LUZÓN-QUINTANA, CASTRO e DURÁN-GUERRERO, 2021), a realização dessa etapa durante o processo é de suma importância para se obter a quantidade de teor alcoólico necessário para o fermentado. A adição do açúcar ao mosto ocorre devido ao fato de algumas frutas não apresentarem uma quantidade de SST ideal para produzir a quantidade de etanol esperada, que de acordo com a legislação varia de 4% a 14% para o fermentado de fruta (BRASIL, 2009).

No processo de fermentação, ao ser finalizado ocorre uma fermentação complementar, na qual ainda ocorre o consumo de açúcares que ficam disponíveis no meio, nesse caso observa-se o aumento da acidez, o desprendimento do dióxido de carbono e a temperatura diminui, em razão da pequena formação de etanol, pois o meio já se encontra esgotado. O acompanhamento cinético da fermentação alcoólica ajuda no controle da conclusão do processo, minimizando a aparição de compostos indesejáveis e assim a perda total de produção. Através da aparência do meio, também pode ser observado o final da fermentação, pois no início temos uma formação

maior de espuma na superfície, enquanto no final, há uma redução da quantidade de espuma formada (ARAÚJO, 2019).

No processo de fermentação é importante oferecer a levedura condições necessárias que favoreçam a conversão de açúcar em etanol e tenha um mínimo de contaminantes, ou seja, manter sua atividade metabólica de forma a obter o máximo de rendimento do produto final desejado, o etanol. Essas condições envolvem, temperatura favorável, pH e nutrientes, que colaborem para esse processo (LIMA et al., 2019).

3.3.2 Leveduras utilizadas para a produção de bebidas alcoólicas

A literatura mostra que a espécie mais utilizada para a produção de bebidas alcoólicas como microrganismo é a levedura *Saccharomyces cerevisiae*, considerada uma boa linhagem. As cepas dessa espécie têm seu próprio estilo de vida, que é denominado de “fazer-acumular-consumir” (THOMSON et al., 2005). O efeito chamado *Crabtree*, consiste no fato de que as *S. Cerevisiae*, são responsáveis pela produção de etanol em condições aeróbicas ao invés de produzir biomassa. O etanol é uma substância tóxica, ou estática para a maioria de outras espécies microbianas. Nesse processo, a levedura passa a consumir o etanol produzido, promovendo seu próprio crescimento. Com isso, não é viável o uso de outras linhagens para desenvolvimento de bebidas alcoólicas. Outras leveduras também são utilizadas, algumas cepas são isoladas das próprias frutas e cada uma possui sua especificidade. A descoberta dessa levedura para estudos científicos foi bastante significativa, trazendo benefícios para a humanidade, devido ao aproveitamento de alimentos e bebidas fermentadas, trazendo um avanço comercial (PARAPOULI et al., 2020).

As leveduras do gênero *Saccharomyces* tanto podem viver e se reproduzir, metabolicamente falando, em aerobiose ou anaerobiose (ausência de oxigênio). O produto obtido dependerá do meio em que elas se encontram. Durante o metabolismo dos açúcares a levedura gera energia, que serve para realizar as atividades fisiológicas e biossínteses necessárias ao crescimento e mantém a célula viva e se reproduzindo. Dessa forma, em meio aeróbio, as leveduras excretam o etanol e glicerol, que podem ser oxidados por via metabólica gerando ATP (energia) e biomassa (LIMA et al., 2019).

A levedura *Saccharomyces bayanus* representa um nicho de levedura industrial responsável pela fabricação de vinhos e cidras, podendo ser encontrada em fermentações a temperaturas mais baixas e devido a sua tolerância a altas concentrações de etanol mesmo

com pouca quantidade de açúcares fermentescíveis no mosto (LOVATTI, 2019 e HORNSEY, 2007). Essa cepa é encontrada até o final da fermentação. A levedura é uma hibridização de três culturas puras: *Saccharomyces uvarum*, *Saccharomyces cerevisiae* e *Saccharomyces eubayanus* (RAINIERI et al., 2006)

3.3.3 Destilação

A destilação alcoólica ocorre após a conclusão da fermentação e decantação das leveduras, assim o mosto passa a ser fermentado alcoólico, que deve ser destilado logo após o término do processo fermentativo, evitando assim o desenvolvimento de bactérias contaminantes e consequentes fermentações secundárias que podem levar ao consumo de etanol e formação de produtos secundários de fermentação. O fermentado alcoólico tem em sua composição vários componentes, dentre esses os de natureza gasosa, onde há predominância do gás carbônico, os compostos de natureza líquida, que tem como os principais compostos presentes o álcool etílico e a água. Existem outras substâncias líquidas presente no fermentado alcoólico, e em menor proporção, que são os compostos secundários, identificados como ácidos orgânicos (ácido acético, láctico e succínico) e inorgânicos (ácido sulfúrico), ésteres, aldeídos, álcoois superiores (isoamílicos, propílicos, butílicos), glicerol, metanol e outros derivados resultantes do ciclo de fermentação. De outra maneira, pode-se explicar que os fermentados alcoólicos são compostos de substâncias fixas e voláteis. Os fixos são os sólidos e os voláteis são os gases e os líquidos (AQUARONE et al., 2001).

Além das substâncias gasosas e líquidas, encontram-se as sólidas, sendo elas os açúcares não fermentados, sais minerais, células de leveduras e bactérias, e bagacilho (ALCARDE, REGITANO-D'ARCE e SPOTO, 2020). Essas substâncias sólidas passam por um processo de decantação e o fermentado alcoólico possui teores de 5 – 10% de etanol, 89 – 94% de água e 2 – 4% de outros componentes, que passam pelo processo de separação dos constituintes, através das diferenças dos pontos de ebulição, denominado destilação. A destilação ocorre no aquecimento de um líquido até sua vaporização, seguida pela coleta seletiva dos vapores condensados por resfriamento. Esse processo acontece para que ocorra a separação dos componentes voláteis e consequentemente haja o aumento do teor alcoólico (CARDOSO, 2013; TONINI e PACHECO, 2014).

O aquecimento volatiliza os líquidos, condensando-os, objetivando em especial a formação de novos produtos por decomposição das frações. As separações feitas são dos

compostos voláteis (água, álcool etílico, aldeídos, álcoois superiores, ácido acético, entre outros) dos que não são voláteis (células das *Saccharomyces*, sólidos suspensos, os açúcares que não fermentaram, proteínas, entre outros resíduos), obtendo duas frações, chamadas de flegma (produto principal) e vinhaça (resíduo) (VENTURINI FILHO, 2016).

A destilação deve ser lenta e gradual para que ocorra a formação e separação dos compostos aromáticos no destilador, permitindo ao destilado atender aos padrões de identidade e qualidade da bebida (ARAÚJO, 2019). O material do aparelho usado na destilação é constituído na maioria das vezes de cobre, esse metal é muito resistente a depreciação e tem grande influência na formação de sabor e aroma do produto final (FARIA et al., 2003). Esse material é escolhido por ser um bom condutor de calor e catalisar reações químicas que eliminam substâncias indesejadas, que causam odores indesejáveis e desagradáveis, a exemplo de mercaptanas e ácido graxos (NUNES e OLIVEIRA NETA, 2010).

Um dos equipamentos para a destilação é o alambique simples, cuja capacidade pode ser pequena ou média, pode usar aquecimento em fogo direto ou vapor, sistema fechado para não haver vazamento devido à pressão, produz vapores, fazendo com que ocorra a separação dos compostos (VENTURINI FILHO, 2016).

De acordo com Lima (1964¹ apud PARENTE, 2014), o destilado da aguardente é recolhido em três frações para a retirada de compostos indesejáveis:

Cabeça: líquido condensado nos primeiros minutos da destilação, correspondendo a 0,7 a 10% do volume total do fermentado alcoólico inicial. Essa fração contém produtos como o metanol, acetaldeído, acetato de etila etc., por serem mais voláteis do que o álcool. Apresenta grau alcoólico acima de 65 °GL devendo ser desprezada.

Coração: É a fração que é recolhida até que o teor alcoólico no tanque de recolhimento atinja o valor pré-estabelecido. Em geral 1–1,5 °GL acima do valor pretendido para o engarrafamento. Nesta fração concentram-se 80–90% do etanol contido no fermentado alcoólico. As moléculas das substâncias oleosas, como álcoois superiores de três a cinco átomos de carbono presentes no fermentado alcoólico tem maior afinidade pelas moléculas de etanol (azeotrópicas) e saem ao longo de toda destilação com o perfil de concentração semelhante ao do próprio etanol. Esta é a fração nobre, ou seja, a aguardente que será comercializada.

¹ LIMA, U. A. Estudo dos principais fatores que afetam os componentes do coeficiente não álcool das aguardentes de cana. 1964. 141 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1964.

Cauda: também conhecida como água fraca pelo baixo teor alcoólico, apresenta o maior teor de produtos menos voláteis, como os ácidos acéticos e lácticos que só evaporam na fase final da destilação. Devido seu maior ponto de ebulição, estes estabelecem interações mais fortes com a água do que o etanol, sendo que apenas 1% da acidez volátil do fermentado alcoólico é transferida para a aguardente.

A destilação precisa ser cuidadosa para que ocorra a separação dos componentes indesejáveis e prejudiciais à saúde. Finalizada a destilação, sobra uma fração residual no alambique (vinhaça), a qual deve ser descartada em local correto, podendo ser aplicada na lavoura, o que permitirá a reposição de vários nutrientes e água ao solo (VENTURINI FILHO, 2016).

3.4 AGUARDENTE DE FRUTA

A utilização de sucos de frutas na criação de bebidas alcoólicas é uma maneira de aproveitar os frutos que não podem ser consumidos imediatamente, reduzindo as perdas na produção. Esse método também pode enriquecer as bebidas regionais, pois a fermentação e destilação dos sucos resultam em aguardentes de frutas. É essencial ajustar o processo de produção conforme as características da matéria-prima utilizada (ASQUIERI, SILVA e CÂNDIDO, 2009).

Aguardente de fruta é a bebida obtida de destilado alcoólico simples de fruta, ou pela destilação de mosto fermentado de fruta com a graduação alcoólica que pode variar entre 36 e 54% a 20 °C. O padrão de identidade e qualidade aos quais a aguardente de fruta deve atender está submetida à Instrução Normativa N° 15, de 31 de março de 2011, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), que estabelece os parâmetros descritos na Tabela 3.3. Nesta Instrução Normativa no Art. 10, parágrafo único, consta que é proibido o envelhecimento para a aguardente de fruta e não é citado o teor máximo permitido de carbamato de etila (BRASIL, 2011).

Parente (2014), que trabalhou na elaboração de aguardente utilizando o suco do abacaxi, constatou que a matéria-prima utilizada apresentou características físico-químicas adequadas para aplicação em processos biotecnológicos, e pode ser usada como insumo na elaboração de aguardente de fruta. Foi constatado, através de um planejamento fatorial completo, que no ponto central, com a concentração de levedura em 15 g/L e concentração de substrato 17 °Brix, resultou na melhor condição para obter um fermentado alcoólico com teor de etanol de 70,66

g/L e tempo de fermentação em 12 h, onde se estabilizou o consumo de substrato e apresentou um produto final com características físico-químicas dentro dos parâmetros exigidos pela legislação vigente.

Tabela 3.3 - Padrões de identidade e qualidade estabelecidos pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento para aguardente de fruta (Instrução Normativa N° 15 de 31/03/2011)

Parâmetro	Limite mínimo	Limite máximo
Gradação alcoólica, em % v/v a 20 °C	36	54
Acidez volátil, em ácido acético, em mg/100 mL de álcool anidro	-	100
Álcool superior (somatório de álcool n-propílico, álcool iso-butílico e alcoóis iso-amílicos), em mg/100 ml de álcool anidro	-	360
Ácido cianídrico, em mg/100 mL de álcool anidro	-	≤ 5
Aldeídos, em aldeído acético, mg/100 mL de álcool anidro	-	30
*Coeficiente de congêneres, em mg/100 mL de álcool anidro	200	650
Ésteres, em acetato de etila, em mg/100 mL de álcool anidro	-	250
Somatório de Furfural e hidroximetilfurfural, em mg/100 mL de álcool anidro	-	5
Álcool metílico (metanol), em mg/100 mL de álcool anidro	-	400
Cobre (Cu), em mg L ⁻¹	-	5
Chumbo (Pb), em mg L ⁻¹	-	0,2
**Carbamato de etila, em µg L ⁻¹	-	210
Teor de açúcar em g L ⁻¹ (normal)	-	≤ 6
Teor de açúcar em g L ⁻¹ (adoçada)	> 6	< 30

*Congêneres = (acidez volátil + ésteres + aldeídos + furfural/hidroximetilfurfural + alcoóis superiores). ** Valor para aguardente de cana e cachaça.

Fonte: Brasil (2011, 2022)

Além da aguardente de abacaxi, foram verificadas pesquisas com aguardente mista do caldo de cana-de-açúcar e a polpa do cajá e observou-se que foi possível a fermentação de um mosto composto e a partir dele foi obtida uma aguardente dentro dos parâmetros exigidos pela legislação vigente, que apresentou características compatíveis com a matéria-prima utilizada, alcançando uma gradação alcoólica de 45 °GL a qual está dentro das especificações (LÚCIO et al., 2019).

Pesquisa feita por Santos e colaboradores (2021) mostrou que foi possível produzir uma aguardente da polpa de ciriguela de qualidade dentro dos padrões do MAPA utilizando

diferentes tipos de levedura do tipo comercial *S. cerevisiae* LNFC11® e *S. cerevisiae* LEVFC29, tendo uma excelente produtividade. A ciriguela representa um excelente substrato para fermentação alcoólica por *S. cerevisiae*, devido a seu alto teor de sólidos solúveis totais (16 °Brix), o consumo total do substrato se deu em 72 h e o grau alcoólico foi de 45,96 g/L para a levedura *S. cerevisiae* do tipo comercial LNFC11® e 38,44 g/L para a *S. cerevisiae* do tipo LEVFC29 (SANTOS et al., 2021).

Outra pesquisa desenvolvida por Oliveira et al. (2022), sobre a produção de destilado de manga Tommy Atkins, produziu um destilado dentro dos parâmetros de identidade e qualidade estabelecidos pela legislação vigente, além de resultar em uma aguardente com baixo teor de metanol, algo desejado, especialmente em aguardente de frutas

3.5 ACONDICIONAMENTO DA AGUARDENTE COM CHIPS DE MADEIRA

A aguardente após o processo de destilação é constituída por álcoois, aldeídos, ácidos, cetonas e ésteres. Além disso, essa aguardente apresenta um pouco de acidez, amargor e um buquê (características sensoriais de aroma e paladar da cachaça) irregular e consequentemente tem a necessidade de passar por um período de descanso e envelhecimento para adquirir propriedades sensoriais de aroma e paladar agradáveis. No envelhecimento irá ocorrer mudanças nas características da aguardente, melhorando sua qualidade com novos aromas, uma nova cor e com o paladar mais agradável. Assim, a aguardente se torna macia e aveludada (SILVA, 2018).

O envelhecimento de bebidas destiladas em barris de madeira ou fazendo uso dos chips de madeira é uma prática comum nas indústrias. A madeira tem características estruturais e químicas que são responsáveis pelas mudanças sensoriais no processo de maturação (CHANIVET et al., 2020).

Além da técnica de envelhecimento utilizando o barril de madeira, existem técnicas testadas como alternativa de um envelhecimento com um menor tempo para que possa ser comercializada e haja redução nos custos de produção (COLDEAA et al., 2020). Essas técnicas incluem o uso de ultrassom para melhorar a extração de componentes da madeira na produção de bebidas espirituosas (aquelas que possuem grau alcoólico mínimo de 15%, contendo etanol em sua composição) (CALDEIRA et al., 2004 e DELGADO-GONZÁLEZ et al., 2017), usa a aplicação de campos elétricos (ZHANG et al., 2013) e a Organização Internacional do Vinho (OIV) aprovou a utilização de aparas de madeiras ou palitos, que substitui os barris de madeira,

para acelerar o período do envelhecimento, desse modo diversas tecnologias em prol do melhoramento das bebidas fermento-destiladas e outras bebidas vem sendo aplicadas apresentando muita eficiência no processo e custo-benefício (COLDEAA et al., 2020).

Muitas bebidas fazem uso dos *chips* de madeira para o seu envelhecimento, como whisky, rum, tequila, entre outros, para atingir um nível de maturidade mais rápido com sabor e aroma diferentes. Os *chips* quando em contato com a bebida são contribuintes ativos para as propriedades sensoriais dos destilados, isso ocorre, pois existem vários fenômenos físico-químicos onde as bebidas recém destiladas estão envolvidas. As reações ocorrem no processo de extração, como também na oxidação, esterificação, hidrólise, polimerização e reações de policondensação e nos fenômenos físicos, como a evaporação ou a transpiração das moléculas de água para fora sob efeito da madeira (CHANIVET et al., 2020). Essas reações ocorrem dependendo da composição da madeira, das condições do ambiente, do tipo de bebida e do seu grau alcoólico.

A madeira tem em sua composição, grande quantidade por holoceluloses (celulose e hemicelulose) e lignina. Esses representam em torno de 90% da madeira e existem compostos fenólicos, os ácidos graxos, álcoois, que fazem parte dos 10% (MOSEDALE e PUECH, 1998). Lascas de carvalho, assim como os barris, são derivadas da madeira de carvalho e apresentam características semelhantes. No entanto, devido à sua maior área de superfície em contato com o produto, as lascas liberam lignina e compostos aromáticos voláteis de forma mais rápida e eficiente. Essa característica acelera o processo de envelhecimento da aguardente (SIMON et al., 2010).

A queima aplicada à madeira durante a fabricação dos barris contribui para a curvatura necessária à formação das aduelas. No caso dos *chips*, o processo empregado é a tosta final, realizado após as etapas de produção. Essa técnica modifica e ajusta as estruturas moleculares da madeira, potencializando suas propriedades. Esse processo promove a manipulação de polímeros, como polissacarídeos e polifenóis, resultando no surgimento de novas substâncias aromáticas que conferem um sabor diferenciado ao produto. Além disso, a queima da madeira impacta suas características físicas, aumentando a superfície de contato com o líquido. No âmbito químico, a queima das tostas gera novos componentes e eleva o teor de compostos suscetíveis à corrosão, contribuindo significativamente para as características sensoriais da aguardente e ampliando sua complexidade aromática (BORTOLETTO, 2013).

4 METODOLOGIA

A pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Análises e Pesquisas de Bebidas Alcoólicas (LBA), em parceria com outros laboratórios do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, tais como: Laboratório de Análise Sensorial e Desenvolvimento de Novos Produtos (LAS) e Laboratório de Tecnologia de Alimentos (LTA), que pertencem ao Departamento de Engenharia de Alimentos; Laboratório de Bioengenharia (LABIO) e Laboratório de Produtos Fermento-destilados (LPDF), que pertencem ao Departamento de Engenharia Química; Laboratório de Combustíveis e Materiais (LACOM) que pertence ao Departamento de Química.

4.1 OBTENÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS

O abacaxi utilizado no desenvolvimento da aguardente deste trabalho foi do tipo Pérola e foi adquirido em feira livre na cidade de João Pessoa, em estágio de maturação maduro. As vagens de algaroba foram coletadas no semiárido paraibano, após a queda dos galhos da algarobeira. Foram selecionadas de acordo com o estágio de maturação e conservação, retirando as que estavam danificadas, defeituosas e as atacadas por fungos, depois retirando galhos e pedras (SILVA, 2009).

4.2 HIGIENIZAÇÃO E SANITIZAÇÃO

Os abacaxis e vagens de algaroba foram pesados em todas as etapas do processamento para que fosse calculado o rendimento da produção, utilizando a relação de massa e volume dos líquidos obtidos na etapa de extração.

Os frutos passaram por um processo de higienização e sanitização, primeiro lavando com detergente neutro e escova de nylon para retirada das sujeiras presentes na superfície, passando por um enxague e depois mergulhadas por 15 minutos em solução de hipoclorito de sódio na concentração de 50 ppm (2,5 mL/L), conforme estabelecido pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) através da Resolução nº 695, de 13 de maio de 2022 (BRASIL, 2022), minimizando as possíveis contaminações das frutas. Em seguida foram enxaguados em água corrente e colocados em escurridor plástico para escorrer toda água superficial (Figura 4.1).

Figura 4.1 – Processo de higienização dos abacaxis



4.3 EXTRAÇÃO DO CALDO DE ABACAXI E CALDO DE ALGAROBA

Para a extração do caldo de abacaxi foram retiradas a coroa e as cascas, utilizando o método manual com auxílio de facas para cortar os abacaxis, facilitando o processamento. Pedacos de abacaxi foram colocados em prensa hidráulica de acionamento manual com capacidade de 30 toneladas da marca POTENTE para obtenção do caldo. O caldo de abacaxi foi colocado em garrafas plásticas com capacidade de 5 litros com tampas rosqueáveis, etiquetadas e armazenadas em freezer, a -18°C , com o objetivo de prolongar a vida útil do caldo, e mais adiante ser utilizado na produção da bebida fermentada.

As vagens foram submetidas a um tratamento prévio antes da extração do caldo. Elas foram fragmentadas e hidratadas utilizando água em temperatura de $60 \pm 5^{\circ}\text{C}$, na proporção de 1:2 m/v (1 kg de vagem para 2 litros de água potável). A mistura água + vagem foi deixada em repouso durante três horas e em seguida foi realizada a extração do caldo por prensagem, na mesma prensa utilizada para extração do caldo de abacaxi (SILVA, 2009).

4.4 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

Foi conduzido um planejamento fatorial completo $2^2 + 3$ no ponto central. Este processo de fermentação utilizou duas leveduras diferentes, *Saccharomyces cerevisiae* e *Saccharomyces bayanus*, com a mesma quantidade de ensaios, possibilitando assim a realização da análise de

variância. A partir deste planejamento experimental fatorial completo foi avaliada a influência das variáveis quantitativas independentes (fatores): concentração de levedura (CL) e proporção abacaxi/algaroba [2:1, 1:1 e 1:2 (v/v)] e o efeito dessas variáveis sobre os valores das variáveis dependentes (respostas): produtividade ($\text{g.L}^{-1}.\text{h}^{-1}$), percentual de rendimento teórico ($Y_{p/s}$), percentual de rendimento em biomassa ($Y_{x/s}$) e percentual de conversão.

Os níveis reais e codificados são a terceira etapa do planejamento, mostrando as informações das variáveis de entrada: CL nas concentrações de 0,1, 0,3 e 0,5 (g/L) e a proporção algaroba/abacaxi [2:1, 1:1 e 1:2 (v/v)], como pode ser visto na Tabela 4.1. Para cada variável de entrada foram fixados dois níveis, um nível inferior (-), um nível superior (+) e um ponto central (0) que é a média aritmética dos níveis inferior e superior.

Tabela 4.1 - Valores dos níveis reais e codificados para elaboração do fermentado alcoólico de algaroba e abacaxi.

Variáveis Independentes	Níveis		
	-	0	+
Concentração de Leveduras (g/L)	0,1	0,3	0,5
Proporção algaroba/abacaxi	2:1	1:1	1:2

A proporção abacaxi/algaroba utilizada neste estudo foi baseada na pesquisa feita por Carvalho Filho e Lopes (2020) e a quantidade de leveduras, seguiu as recomendações contidas nos rótulos das leveduras comerciais (recomendação do fabricante).

A matriz de planejamento fatorial $2^2 + 3$, totalizando 7 experimentos, sendo 4 ensaios distintos e mais 3 no ponto central, pode ser visualizada na Tabela 4.2. Os ensaios idênticos tiveram como finalidade verificar a reprodutibilidade dos ensaios.

Tabela 4.2 - Matriz de planejamento fatorial completo 2^2 com 3 pontos centrais para elaboração do fermentado alcoólico de algaroba e abacaxi.

Experimentos	Concentração de Levedura (g L^{-1})	Proporção algaroba/abacaxi
1	-1 (0,1)	-1 (2:1)
2	+1 (0,5)	-1 (2:1)
3	-1 (0,1)	+1 (1:2)
4	+1 (0,5)	+1 (1:2)
5	0 (0,3)	0 (1:1)
6	0 (0,3)	0 (1:1)
7	0 (0,3)	0 (1:1)

O planejamento experimental fatorial teve como objetivo obter um estudo mais abrangente da influência das variáveis de entrada sobre o sistema de maneira mais organizada e em quantidade mínima de experimentos

4.5 PREPARO DO INÓCULO

Foram testadas duas leveduras, a *Saccharomyces cerevisiae* (RED STAR -Premier Côte des Blancs – Cepa comercial) e a *Saccharomyces bayanus* (RED STAR – Premier Blanc – Cepa comercial).

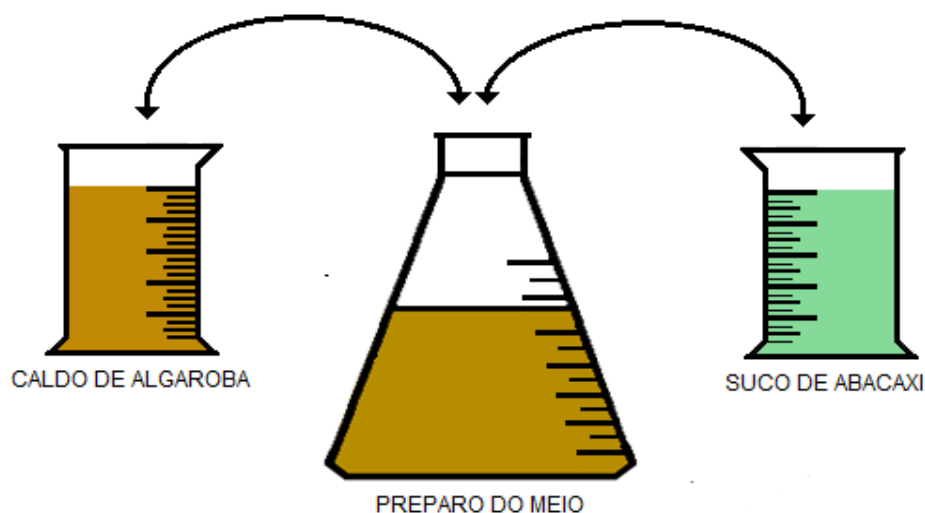
A quantidade de fermentado foi medida de acordo com a concentração pré-determinada para cada biorreator na matriz de planejamento e inoculada nos biorreatores conforme a concentração de substrato. A inoculação foi realizada inicialmente em um béquer contendo uma porção do caldo (aproximadamente 30 mL). Com o auxílio de um bastão de polietileno e sob agitação manual, toda a levedura foi dissolvida e adicionada ao meio contendo o restante do caldo, sendo então homogeneizado com agitação manual. Após a preparação do sistema (reator + meio inoculado), deu-se início à fermentação.

4.5.1 Padronização do meio

Para preparação do mosto, o caldo foi descongelado e homogeneizado a temperatura ambiente no Laboratório de Análises e Pesquisas de Bebidas Alcoólicas da UFPB, variando de 23°C a 26°C. Após a determinação do pH e dos Sólidos Solúveis Totais (SST) do caldo realizou-se o processo de padronização do meio a ser fermentado, utilizando diferentes

proporções do substrato de abacaxi e algaroba extraído, e a pré-determinação das variáveis de entrada.

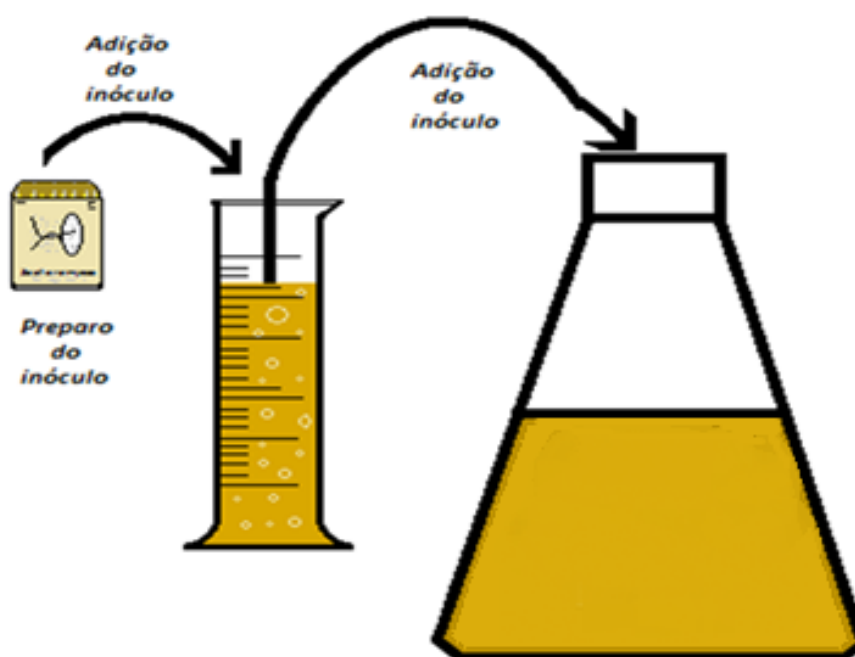
Figura 4.2 – Padronização do meio a ser fermentado



4.5.2 Inoculação do agente fermentativo

As leveduras foram adicionadas inicialmente em um béquer com aproximadamente 30 mL do mosto até a dissolução e, em seguida, acrescentada ao meio previamente padronizado para as condições ideais de fermentação, e após a inoculação verificou-se o pH e o SST para iniciar o acompanhamento da fermentação alcoólica, como ilustrado na Figura 4.3.

Figura 4.3 – Adição da inóculo (levedura) ao meio padronizado

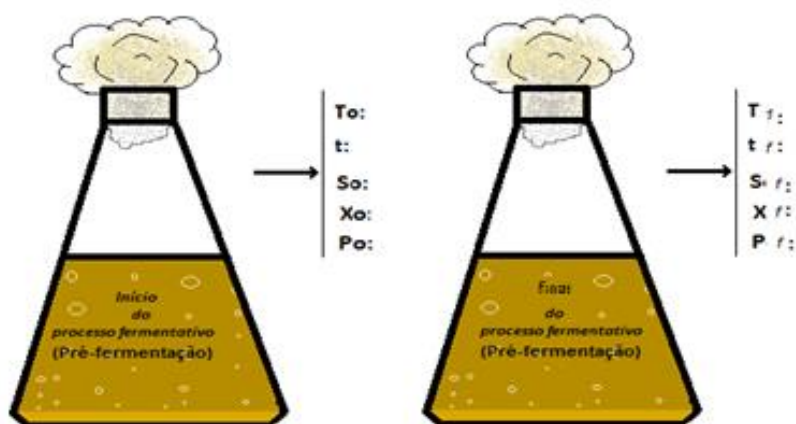


4.6 FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA

O processo fermentativo ocorreu em Erlenmeyer de 500 mL com 400 mL da mistura dos caldos nas suas devidas proporções contando com sete experimentos e em duplicata, com temperatura constante de 20 °C. O acompanhamento cinético da fermentação alcoólica das misturas definidas no planejamento experimental fatorial incluiu análises dos teores de Sólidos Solúveis Totais (SST), concentração celular, pH, acidez total, teor alcoólico, temperatura, Açúcares Redutores (AR) e Açúcares Redutores Totais (ART). Foram determinadas as respostas dos experimentos, como % de conversão, produtividade e rendimento de produto e biomassa em relação ao substrato.

Na Figura 4.4, verifica-se a condução do processo fermentativo e controle das variáveis envolvidas do processo de fermentação alcoólica do meio padronizado.

Figura 4.4 – Processo fermentativo do caldo de algaroba e abacaxi, utilizando planejamento fatorial completo



Os parâmetros cinéticos, o percentual de conversão e a produtividade relativa a fermentação alcoólica foram calculados através das equações abaixo (PARENTE, 2014).

$$Y_{x/s} = \frac{X - X_0}{S_0 - S} \quad (4.1)$$

$$Y_{x/p} = \frac{X - X_0}{P - P_0} \quad (4.2)$$

$$Y_{p/s} = \frac{P - P_0}{S_0 - S} \quad (4.3)$$

$$\text{Conversão (\%)} = \frac{P}{S_0 \times 0,511} \times 100 \quad (4.4)$$

$$\text{Produtividade (g/L.h)} = \frac{P}{t} \quad (4.5)$$

Em que:

X - concentração final de biomassa (g/L);

X₀ - concentração inicial de biomassa (g/L);

S - concentração final de substrato (g/L);

S₀ - concentração inicial de substrato (g/L);

P - concentração final de produto (g/L);

P₀ - concentração inicial de produto (g/L);

Y_{x/s} (rendimento de biomassa) - quantidade de biomassa formada em relação à quantidade de substrato limitante consumido;

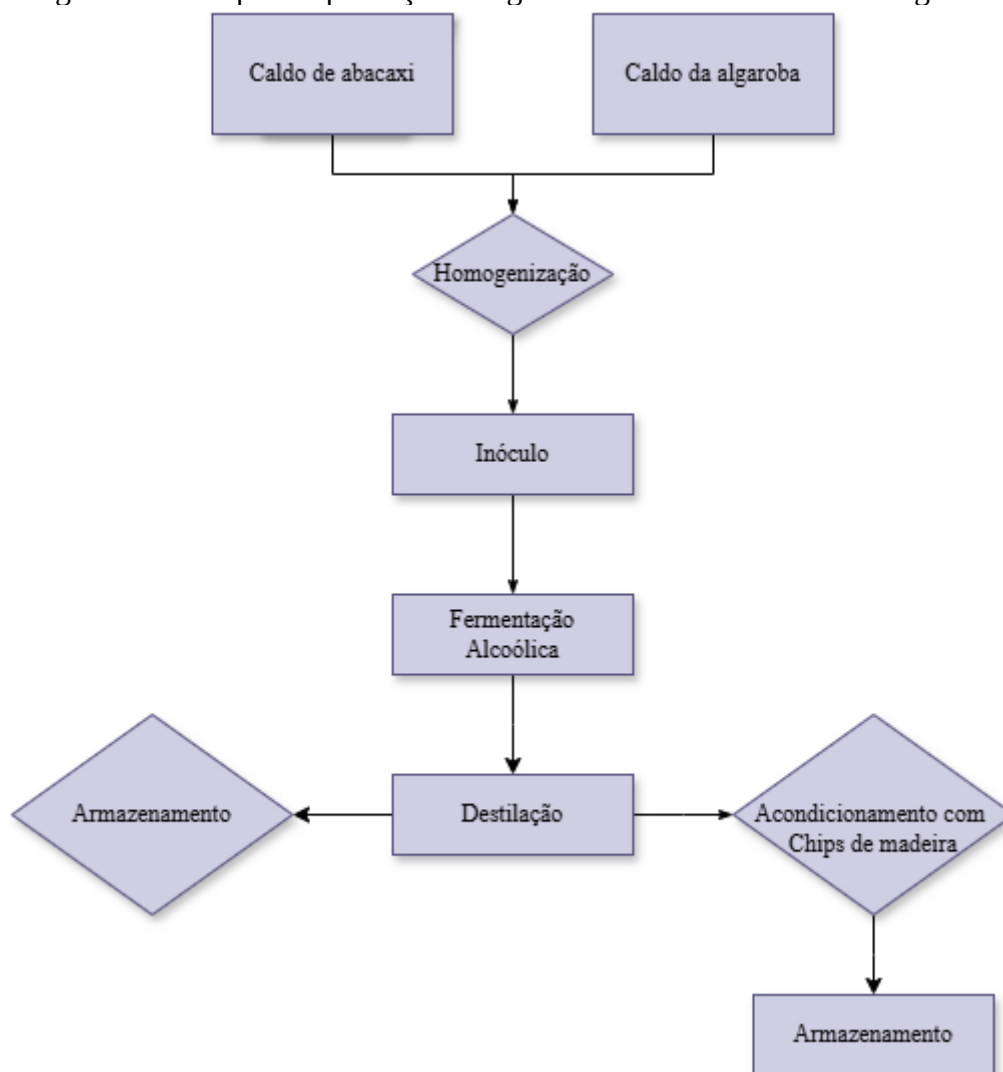
$Y_{p/s}$ (rendimento do produto) - quantidade de produto formado em relação à quantidade de substrato limitante consumido;

t – tempo de fermentação (h).

4.7 FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA DO CALDO DE ABACAXI E ALGAROBA, REALIZADA NA MELHOR CONDIÇÃO ENCONTRADA NO PLANEJAMENTO FATORIAL

Um segundo processo fermentativo foi realizado, em maior quantidade, seguindo as melhores condições encontradas no planejamento fatorial, para cada levedura estudada, para produção da aguardente mista de abacaxi e algaroba, como ilustrado na Figura 4.5.

Figura 4.5 – Etapas da produção da aguardente mista de abacaxi e algaroba



A fermentação com a levedura *Sacharomyces bayanus* ocorreu em dois biorreatores de polipropileno, contendo nove litros de mistura algaroba e abacaxi. Após 48 horas do início do processo fermentativo, foi feito o acompanhamento dos sólidos solúveis através do Mini Densímetro, do pH com o pHmetro e teor alcoólico com o ebuliômetro e o final da fermentação se deu quando o teor de sólidos solúveis zerou. O fermentado alcoólico, resultado desse processo foi adicionado em garrafas de cinco litros e obtido um volume de 16,2 litros que seguiu de imediato para outra etapa, que foi o processo de destilação. Parte do fermentado ficou decantado junto com as leveduras.

A fermentação alcoólica com a melhor condição do planejamento para a levedura *Sacharomyces cerevisiae* ocorreu em dois biorreatores de polipropileno, um contendo nove litros e outro contendo oito litros, totalizando dezessete litros do mosto. O vinho resultante desse processo foi adicionado em garrafas plásticas de cinco litros e em seguida destinado a destilação, totalizando um volume de 15,770 litros para ser destilado no alambique.

4.8 DESTILAÇÃO

Os fermentados alcoólicos obtidos após a fermentação descrita no item 4.7 foram separados das leveduras e passou pelo processo de destilação fracionada. Foi utilizado alambique de cobre com capacidade de 16 litros úteis (Figura 4.6). Antes do início da destilação foi realizada limpeza do alambique usando uma solução de ácido cítrico com a finalidade de evitar a oxidação do cobre e consequentemente a contaminação do destilado. A metodologia utilizada na destilação e separação das frações cabeça, coração e cauda foi a de Silva (2009).

Figura 4.6 – Alambique de cobre utilizado na destilação do mosto



O aquecimento foi feito por chama direta, sendo sua chama controlada através de um queimador semi-industrial a gás butano. Acrescido o fermentado alcoólico, fez-se o acompanhamento da temperatura até o processo de separação da aguardente.

4.9 ACONDICIONAMENTO DAS AGUARDENTES EM CONTATO COM *CHIPS* DE MADEIRA.

No estágio final do processo de destilação e engarrafamento das aguardentes em garrafas de vidro, foram adicionados a fração coração, *chips* de madeira de carvalho (*Quercus* sp.) a cada 250 mL do destilado, com o objetivo de acelerar o processo de amadurecimento do destilado. A aguardente permaneceu em repouso por um período de trinta dias. Após esse intervalo, os *chips* foram removidos com o auxílio de um bquer de plástico higienizado e uma peneira de *nylon*, permitindo a separação do líquido dos *chips*. Em seguida, o líquido foi transferido novamente para as garrafas, a fim de viabilizar a realização das análises físico-químicas. Os *chips* utilizados nessa pesquisa encontram-se ilustrados na Figura 4.7.

Figura 4.7 – Chips de madeira carvalho utilizado para amadurecimento da aguardente mista de abacaxi e algaroba



4.10 ANÁLISES QUÍMICAS E FÍSICO-QUÍMICAS DAS FORMULAÇÕES, FERMENTADOS ALCOÓLICOS E AGUARDENTES.

No Quadro 4.1 são apresentadas as análises que foram realizadas nas formulações, fermentados alcoólicos (durante o acompanhamento cinético) e aguardentes, com suas respectivas metodologias.

Quadro 4.1 – Análises químicas e físico-químicas que foram realizadas nas matérias-primas, fermentados alcoólicos e produto final (aguardente)

Material analisado	Determinações	Metodologia
Formulações	Sólidos Solúveis Totais	Leitura direta em refratômetro de campo marca Kasvi.
	Acidez Total	IAL (2008)
	pH	Leitura direta em pHmetro QUIMIS.
	Açúcares Redutores Totais	Método do ácido 3,5-dinitro salicílico (DNS) descrito por Miller (1959) e adaptado por Vasconcelos, Pinto e Aragão (2013).
Fermentados alcoólicos (acompanhamento cinético)	Sólidos Solúveis Totais	Leitura direta com sacarímetro de Brix, corrigindo os resultados da leitura a 20°C.
	Acidez Total	IAL (2008)
	pH	Leitura direta em pHmetro QUIMIS.
	Açúcares Redutores e Açúcares Redutores Totais	Método do ácido 3,5-dinitro salicílico (DNS) descrito por Miller (1959) e adaptado por Vasconcelos, Pinto e Aragão (2013).
	Teor alcoólico	Por ebuliometria
	Concentração de biomassa	Florentino (2006)
Aguardente (antes e após acondicionamento com <i>chips</i> de madeira)	Grau alcoólico real	Método 217/IV, IAL (2008)
	Acidez volátil e acidez fixa (meq/L)	IAL (2008)
	pH	Leitura direta em pHmetro QUIMIS.
	Aldeídos totais, ésteres totais, furfural, soma dos componentes secundários, álcool metílico, álcool n-butílico, álcool sec-butílico, soma dos alcoóis isobutílicos, isoamílicos e n-propanol	Cromatografia Gasosa com detector de Ionização de chama (CG/FID)
	Cobre	Absorção atômica com forno de grafite

A caracterização do produto teve como objetivo avaliar se as aguardentes produzidas estavam dentro dos limites estabelecidos pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. Estas análises foram realizadas tanto no LBA (pH, acidez total, fixa e volátil, grau alcoólico real, pH, AR e ART) quanto em Laboratórios externos (álcoois superiores, carbamato e cobre).

Para a determinação de cobre, a amostra foi analisada em espectrômetro de absorção atômica, com atomizador de chama, modelo iCE 3500 (Thermo scientific, Cambridge, Inglaterra). O equipamento foi operado no modo de absorção atômica, utilizando lâmpada de cátodo oco de Cu como fonte de radiação primária (Photron, Victoria, Austrália), e a correção de fundo foi feita com uma lâmpada de deutério acoplada ao equipamento. A curva padrão foi preparada com solução padrão para o elemento Cu (Specsol, São Paulo, Brasil) diluídas em solução de etanol 42%. A atomização foi realizada em chama de acetileno e os parâmetros instrumentais foram previamente otimizados (altura do queimador: 13,4 mm; fluxo de gás 0,9 L/min). Os dados foram processados utilizando-se o software SOLAAR (Thermo scientific, Cambridge, Inglaterra).

4.11 CONDIÇÕES CROMATOGRÁFICAS PARA ÁLCOOIS SUPERIORES E CONGÊNERES VOLÁTEIS

Os álcoois superiores foram analisados por cromatografia em fase gasosa com detector de ionização de chamas (CG-FID) seguindo metodologia adaptada de Bortoletto *et al.* (2016) previamente descrita pelo MAPA (BRASIL, 2005). Os padrões empregados foram acetaldeído, acetato de etila, metanol, 1-propanol, isobutanol, iso-amílico, sec-butanol, 1-butanol, furfural e 5-HMF (Merck – Darmstadt, Germany), todos de grau cromatográfico com pureza > 99%. A metodologia para padrão interno foi aplicada para quantificação dos analitos. Foram construídas curvas com no mínimo 5 pontos para utilização da regressão linear entre a relação da área dos picos dos padrões pela área do padrão interno *versus* concentração.

As análises foram realizadas em cromatógrafo a gás Agilent modelo HP6890, com coluna capilar polar (CP-Wax 52CB)-60 m x 0,25 mm x 0,25 µm e detector de ionização de chama (FID – Flame ionization detection). As temperaturas do detector e do injetor foram fixadas em 250 °C e 245 °C, respectivamente, e o modo de injeção manual com divisão de fluxo (split) de 1:25, com volume de injeção de 1,0 µL da amostra, em triplicata. A programação da rampa de temperatura da coluna foi: 40 °C (4 minutos), aumento até 120 °C a taxa de 20

°C/minuto (por 1 minuto) e aumento a 30 °C/minuto até 170 °C (por 4 minutos) (BORTOLETTO *et al.*, 2016).

4.12 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Com o auxílio do software Statistica 7.0 Graf, os dados de um planejamento fatorial completo foram analisados para verificar a significância estatística do modelo linear, com um nível de confiança de 95%. Após confirmar a significância do modelo, foi realizado o teste t (com 5% de probabilidade) para comparar as médias dos grupos e identificar diferenças significativas entre eles. Isso possibilitou uma análise precisa dos efeitos das variáveis no experimento.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS CINÉTICOS

Verificou-se a influência das variáveis de entrada (independentes): em diferentes proporções de caldo de algaroba e de abacaxi, como também a concentração de leveduras expressa em g/L, utilizando-se a matriz de planejamento experimental fatorial $2^2 + 3$ (Tabela 4.2) onde as variáveis resposta foram percentual de conversão do substrato em produtos, que analisa a eficiência do processo fermentativo das formulações, a produtividade (expresso em $\text{g.L}^{-1}.\text{h}^{-1}$) e o rendimento de biomassa e produto em relação ao substrato. Com o planejamento foi possível encontrar as melhores condições operacionais para otimização do processo produtivo da aguardente mista de abacaxi e algaroba. Os valores desses parâmetros cinéticos foram calculados utilizando as Equações 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 e 4.5.

Essas técnicas são ferramentas poderosas que foram utilizadas para minimizar a quantidade de experimentos e otimizar o processo, com as quais vários objetivos específicos podem ser alcançados (BOX, HUNTER e HUNTER, 1978).

As médias das duplicatas estão apresentadas nas Tabelas 5.2 e 5.5, e os resultados dos quatorze experimentos para cada uma das leveduras estão detalhadamente descritos nos Apêndices A e B.

Figura 5.1 – Início da fermentação alcoólica com todas as condições estabelecidas no planejamento fatorial completo $2^2 + 3$ repetições no ponto central, em duplicata, totalizando quatorze ensaios.



Na Figura 5.1 é mostrado o início da fermentação alcoólica do planejamento fatorial e para determinar o final da fermentação foi verificado a cada 24 horas o SST com o mini densímetro. Em alguns experimentos o SST zerou no quarto dia e em outros não chegou a zerar, então após três dias consecutivos apresentando o mesmo valor de SST, considerou-se o final da fermentação. Com seguinte deu-se início as análises dos experimentos e calculou-se uma média das duplicatas e assim foi possível obter os resultados das respostas, conforme descrito na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Matriz do planejamento fatorial completo da fermentação alcoólica utilizando a levedura *Saccharomyces cerevisiae* expressando os resultados obtidos das variáveis dependentes.

Experimentos	Fatores		Produtividade	% conversão	Y(x/s)	Y(p/s)
1	0,1 g/L	2:1	0,688	75,262	0,015	0,395
2	0,5 g/L	2:1	0,755	66,117	0,007	0,347
2	0,1 g/L	1:2	0,484	70,715	0,026	0,369
4	0,5 g/L	1:2	0,531	68,150	0,010	0,356
5	0,3g/L	1:1	0,643	80,599	0,005	0,420
6	0,3g/L	1:1	0,637	82,229	0,004	0,422
7	0,3g/L	1:1	0,630	73,829	0,004	0,379

Y(x/s) = rendimento de biomassa em substrato; Y(p/s) = rendimento de produto em substrato.

A Tabela 5.1 mostra os resultados que foram obtidos através do planejamento fatorial completo e conforme está em destaque nos experimentos, os ensaios 5, 6, com concentração de levedura de 0,3 g/L e proporção iguais de algaroba e abacaxi, respectivamente, apresentaram o melhor percentual de conversão e rendimento de produto em substrato e nessas condições foi feito uma produção em maior quantidade do produto final.

Tabela 5.2 – Modelo codificado com o teste t ao nível de confiança de 95%

Modelo	R²
P = 0,624 + 0,028C – 0,107P - 0,005CP	0,981
%C = 73,843 - 2,927C – 0,628P + 1,645CP	0,212
Y(x/s) = 0,01 – 0,005C + 0,003P - 0,002CP	0,545
Y(p/s) = 0,384 – 0,015C – 0,004P + 0,008CP	0,243

P= produtividade; %C = percentual de conversão; Y(x/s) = rendimento de biomassa em substrato; Y(p/s) = rendimento de produto em substrato.

A Tabela 5.2 mostra os modelos empíricos codificados e observa-se que para a variável produtividade, g (L h)^{-1} , o modelo foi estatisticamente significativo a um nível de confiança de 95% por apresentar o $F_{\text{cal}}/F_{\text{tab}}$ maior do que 1, para os modelos empíricos de rendimento teórico ($Y_{p/s}$), conversão (%) e rendimento celular ($Y_{x/s}$). Nenhum modelo foi estatisticamente significativo, pois apresentou o $F_{\text{cal}}/F_{\text{tab}}$ menor do 1. Como o modelo linear não é estatisticamente significativo, para um melhor estudo e havendo a necessidade, pode ser feita uma ampliação no modelo checando a curvatura e realizando um modelo quadrático. Dessa forma, o modelo não se ajusta aos experimentos, mas os resultados dos parâmetros citados são aceitáveis de acordo com suas boas reprodutibilidades.

Tabela 5.3 – Análise de variância (ANOVA) da variável produtividade

Fonte de variação	SQ	GL	QM	Teste F
Regressão	0,04924	2	0,02462	104,87753
Resíduo	0,000939	4	0,00023475	
Total	0,50179	6	0,000109	
R²	0,98128		0,000313	
F tab	6,94			

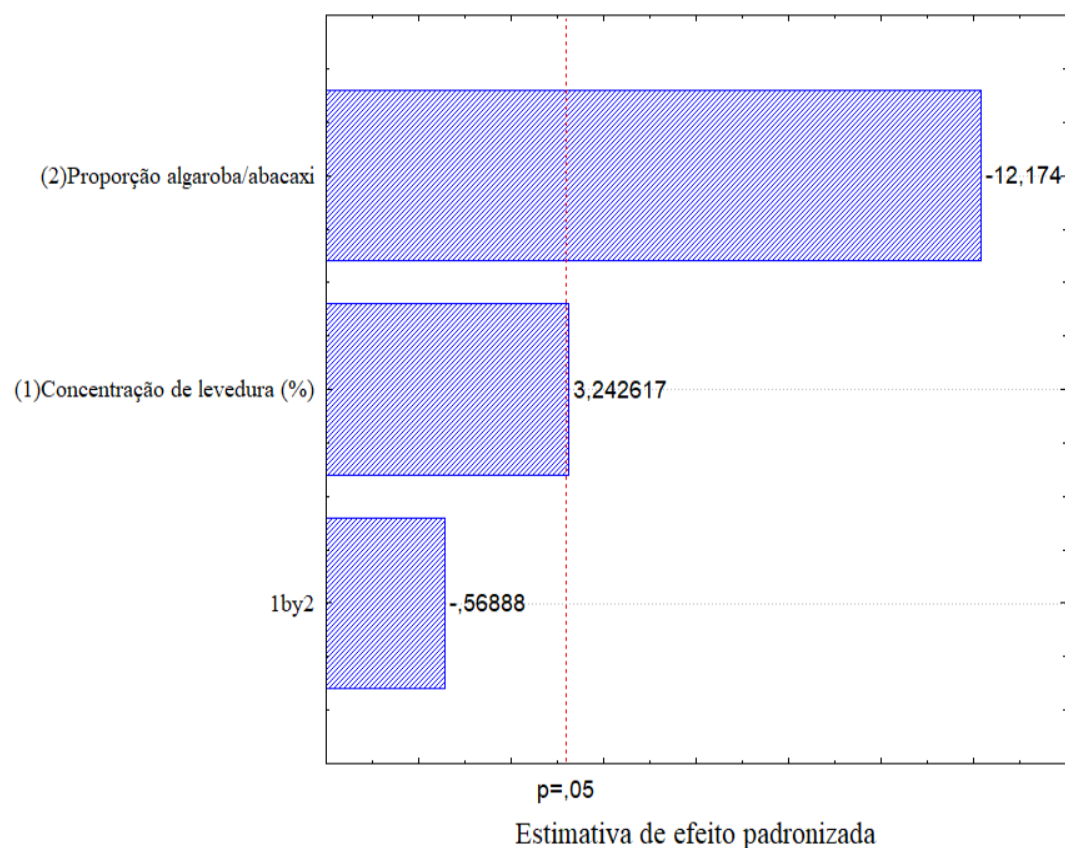
SQ = soma dos quadrados; GL = grau de liberdade e QM = quadrado médio.

O teste de t é aplicado quando a análise de variância for significativa, logo de acordo com o cálculo de F verificou-se que o F calculado foi maior que o F tabelado, assim pode-se afirmar que, para a variável produtividade, o modelo foi estatisticamente significativo ao nível

e confiança de 95% ($p < 0,05$). A partir dessa análise foi obtido o gráfico de Pareto (Figura 5.2) e a superfície de resposta (Figura 5.3).

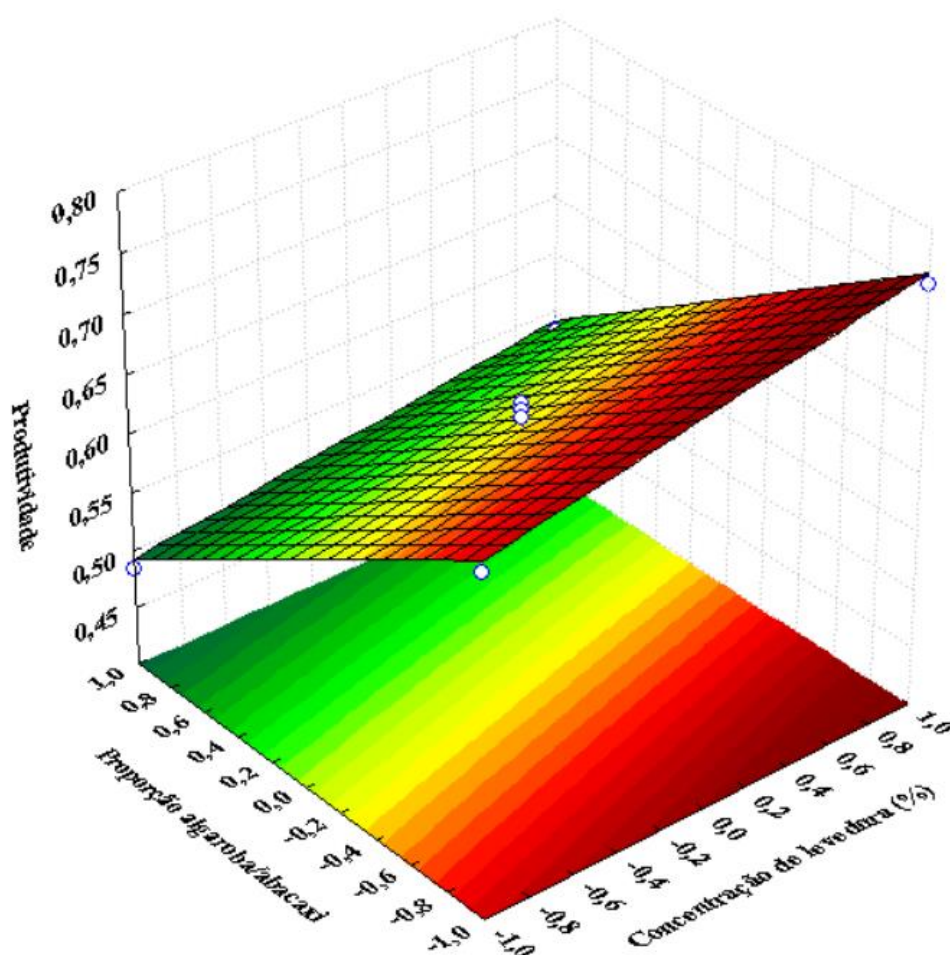
No Apêndice E, é apresentada a tabela com estimativa do efeito da produtividade, onde a média, a concentração de levedura e a proporção de algaroba e abacaxi foram estatisticamente significativas no processo fermentativo utilizando a levedura *Saccharomyces cerevisiae*.

Figura 5.2 – Gráfico de Pareto com a estimativa dos efeitos para a variável Produtividade



O Gráfico de Pareto mostra que a produtividade foi influenciada apenas pela proporção de algaroba e abacaxi, não sofrendo o efeito da concentração de leveduras nem o efeito da interação entre a concentração de substrato e a concentração celular.

Figura 5.3 – Superfície de resposta da variável Produtividade



Com os modelos de regressão linear e da análise de variância, seu objetivo era ter uma análise significativa sobre as respostas referente a aguardente de abacaxi e algaroba, como o modelo linear não foi estatisticamente significativo, foi feita uma análise pontual dos experimentos, onde mostrou que a melhor condição para produzir em grande escala o produto final, estava no ponto central, com concentração de levedura de 0,3 g/L e a proporção de abacaxi e algaroba iguais 1:1(v/v).

A fermentação alcoólica da aguardente mista de algaroba e abacaxi utilizando a levedura *Sacharomyces bayanus* ocorreu em Erlenmeyer em duplicata. Após realização de todas as análises necessárias calculou-se a média das amostras em duplicidade e assim foi possível obter os resultados das respostas, conforme apresentado na Tabela 5.4.

Tabela 5.4 – Matriz do planejamento fatorial completo da fermentação alcoólica utilizando a levedura *Sacharomyces bayanus* expressando os resultados obtidos das variáveis dependentes.

Experimentos	Fatores		Produtividade	% conversão	Y(x/s)	Y(p/s)
1	0,1 g/L	2:1	0,606	90,622	0,007	0,472
2	0,5 g/L	2:1	0,607	90,229	0,024	0,470
2	0,1 g/L	1:2	0,590	83,827	0,022	0,439
4	0,5 g/L	1:2	0,645	85,078	0,023	0,445
5	0,3g/L	1:1	0,944	98,886	0,016	0,520
6	0,3g/L	1:1	0,915	95,967	0,040	0,493
7	0,3g/L	1:1	0,950	87,095	0,016	0,447

Y(x/s) = rendimento de biomassa em substrato; Y(p/s) = rendimento de produto em substrato.

Tabela 5.5 – Modelo codificado com o teste de t ao nível de confiança de 95%

Modelo	R ²
P(g.L-1.h-1) = 0,751 + 0,014C + 0,006P + 0,013CP	0,981
C(%) = 0,446 + 0,012C – 0,004P – 0,022CP	0,212
Y(x/s) = 85,730 + 2,404C - 0,914P - 4,100CP	0,545
Y(p/s) = 0,020 + 0,005C + 0,003P - 0,004CP	0,243

P= produtividade; %C = percentual de conversão; Y(x/s) = rendimento de biomassa em substrato; Y(p/s) = rendimento de produto em substrato.

Na Tabela 5.5 estão os valores dos coeficientes de variação explicada (R²) e da análise de variância (ANOVA) para o ajuste do modelo linear das variáveis dependentes para a levedura *Saccharomyces bayanus* do tipo comercial a um nível de significância de 95%.

Carvalho Filho e Lopes (2020), verificaram que a produtividade e fração de conversão obtiveram melhores resultados na proporção de 1:1 no ponto central com 15 g/L de fermento e a partir dos resultados obtidos conseguiram concluir que a mistura dos caldos de algaroba e abacaxi visando à fermentação e destilação é viável.

Esses resultados são semelhantes aos encontrados por Parente (2014) que trabalhou apenas com o abacaxi e com a levedura *Saccharomyces cerevisiae*, e obteve melhor resposta no ponto central com a concentração de levedura de 15 g/L e 17 °Brix, sendo o percentual de conversão menor (98,55%), e produtividade de 2,94 g/L.h. O rendimento de biomassa com

relação ao substrato ($Y_{x/s}$) foi mais elevado com o abacaxi (0,056) e o rendimento de produto com relação ao substrato ($Y_{p/s}$) do fermentado do abacaxi (0,504).

Comparando os resultados com o fermentado alcoólico feito por Silva (2009) utilizando o caldo da algaroba e a levedura comercial *Saccharomyces cerevisiae*, verificou-se que o melhor resultado também foi obtido no ponto central, destacando o ensaio 6, sendo o percentual de conversão menor (86,585%) e produtividade de 5,019 g/L.h. O rendimento de biomassa com relação ao substrato ($Y_{x/s}$) foi de (0,025) e o rendimento de produto com relação ao substrato ($Y_{p/s}$) do fermentado de algaroba (0,442).

O fermentado de ciriguela feito por Santos et al. (2021), utilizando diferentes tipos de leveduras, obteve como resultado na produtividade para a cepa *S. cerevisiae* LEVSIL15, 3,22; para a cepa *S. cerevisiae* LEVFRC29, 3,49; para a cepa *S. cerevisiae* LNFC11, 4,18 e para a cepa *S. cerevisiae* LEVSIL16, 2,08.

Na produção de etanol a partir do mosto de vagens de algaroba, Silva (2011), que utilizou Cepa de *Z. mobilis* UFEPEDA-205, o fermentado apresentou após 36 horas no rendimento de produto com relação ao substrato ($Y_{p/s}$) o valor de 0,44 gp/gs, no percentual de conversão (86,81%) e produtividade de 4,56 g/L.h. Todos os valores encontrados na literatura para os fermentados utilizando diferentes tipos de frutas, apresentam valores parecido ou próximos aos encontrado na fermentação alcoólica utilizando o mosto de abacaxi e algaroba, podendo viabilizar seu uso para produzir a aguardente.

5.2 FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA DO PRODUTO OBTIDO

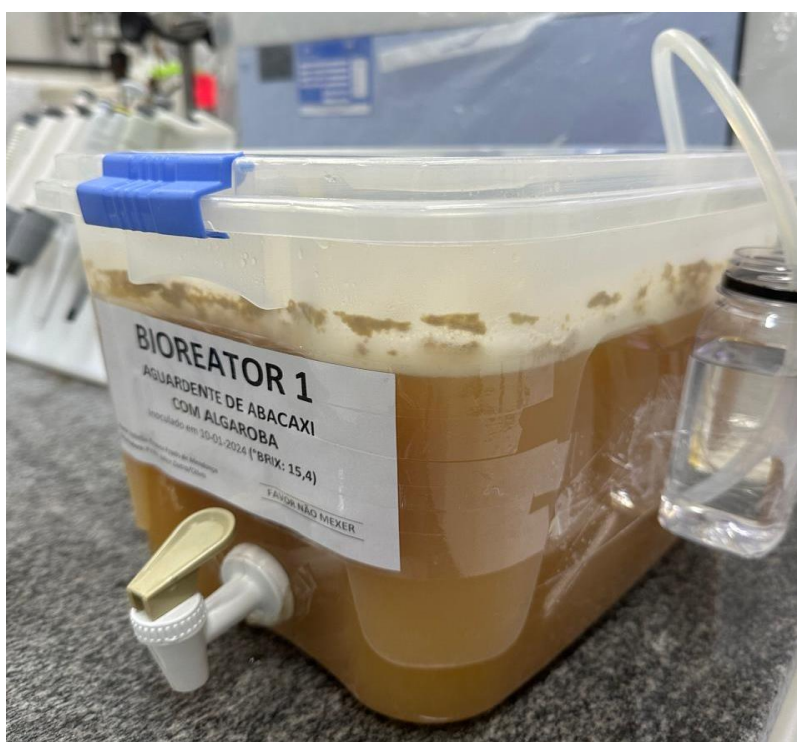
A fermentação alcoólica ocorreu após a otimização do processo concluído, utilizando o planejamento experimental e foi escolhida as melhores condições para cada levedura. Com isso foi produzida em maior quantidade a aguardente mista de abacaxi e algaroba. As duas fermentações ocorreram nas mesmas condições de temperatura (20 °C) e biorreatores de polipropileno e foi possível iniciar a fermentação em semanas diferentes e pela manhã. Iniciou o processo fermentativo com a *Saccharomices bayanus* e após destilação, foi feito o mesmo processo com a *Saccharomyces cerevisiae*.

5.2.1 Fermentação utilizando a levedura *Saccharomyces bayanus*

A melhor condição do planejamento fatorial completo foi escolhida de maneira pontual e feito em escala maior o processo fermentativo, que passou por um acompanhamento,

analisando pH, Acidez, Sólidos Solúveis Totais e teor alcoólico, onde a redução do teor de SST foi medida com um mini decímetro, até o final da fermentação, que se deu após quatro dias com o valor de SST zerado, tanto para o Biorreator 1 (Figura 5.4), quanto para o Biorreator 2. Com os valores iniciais de SST e levedura de 15,2 °Brix em cada biorreator e 0,3 g/L (totalizando 2,7 g de Levedura) o biorreator 1 e 2,4 g no biorreator 2, respectivamente. O processo fermentativo no Biorreator 1 iniciou com o pH 4,44 e do Biorreator 2 com pH 4,46. O final da fermentação alcoólica se deu após os SST ficar no valor de 0,5 °Brix.

Figura 5.4 – Andamento da fermentação alcoólica utilizando a levedura *Saccharomyces bayanus*, após 48 h do início da fermentação no Biorreator 1

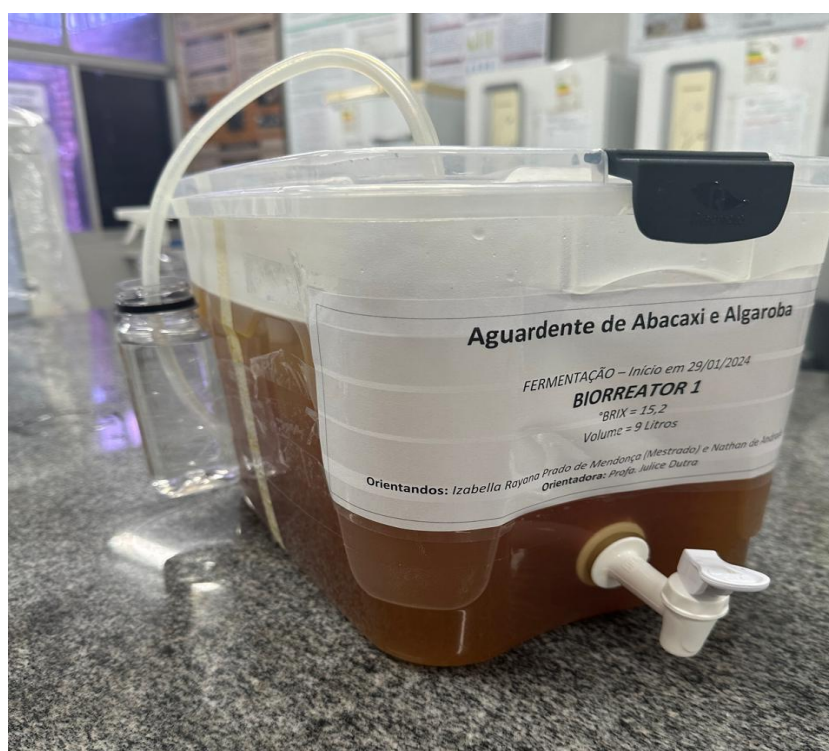


A produção de etanol teve um aumento significativo do segundo para o terceiro dia e se manteve constante até o quarto, chegando a um valor de 71,84 g/L (9,1°GL) para o biorreator 1 e 72,95g/L (9,24°GL) para o biorreator 2, valor considerado ideal para a elaboração de aguardente. Os valores de pH tiveram uma leve alteração do início até o final da fermentação, começando com 4,33 no Biorreator 1 e 4,35 no Biorreator 2, terminando com 4,6 no biorreator 1 e 4,59 no Biorreator 2. O acompanhamento desse parâmetro melhora os rendimentos e o aroma característico e regula o crescimento de microrganismos que são bons e ruins (PARENTE, 2014).

5.2.2 Fermentação utilizando a levedura *Saccharomyces cerevisiae*

O processo fermentativo, ocorreu em dois biorreatores e passou por um acompanhamento analisando a temperatura, pH e Sólidos Solúveis Totais (SST), onde a medida que tempo foi passando havia uma queda constante no valor de SST, por causa do consumo do substrato pelas leveduras e esse acompanhamento foi feito com um mini decímetro, até o final da fermentação, que se deu após quatro dias com o valor de SST próximo de zero tanto para o Biorreator 1 (Figura 5.5), quanto para o Biorreator 2.

Figura 5.5 – Início da fermentação alcoólica utilizando a levedura *Saccharomyces cerevisiae* no Biorreator 1



Diferente da produção de etanol utilizando a levedura *Saccharomyces bayanus*, o teor alcoólico utilizando a *Saccharomyces cerevisiae* não teve alteração significativa. Para o Biorreator 1 o valor foi de 61,58 g/L (7,8 °GL) e 59,21g/L (7,5 °GL) para o Biorreator 2, valor um pouco abaixo do esperado para a elaboração de aguardente, ocasionando uma menor quantidade de produto. Os valores de pH tiveram uma leve alteração do início até o final da fermentação, começando com 4,44 para o Biorreator 1 e 4,46 para o Biorreator 2 e terminando com 4,51 para o Biorreator 1 e 4,54 para o Biorreator 2.

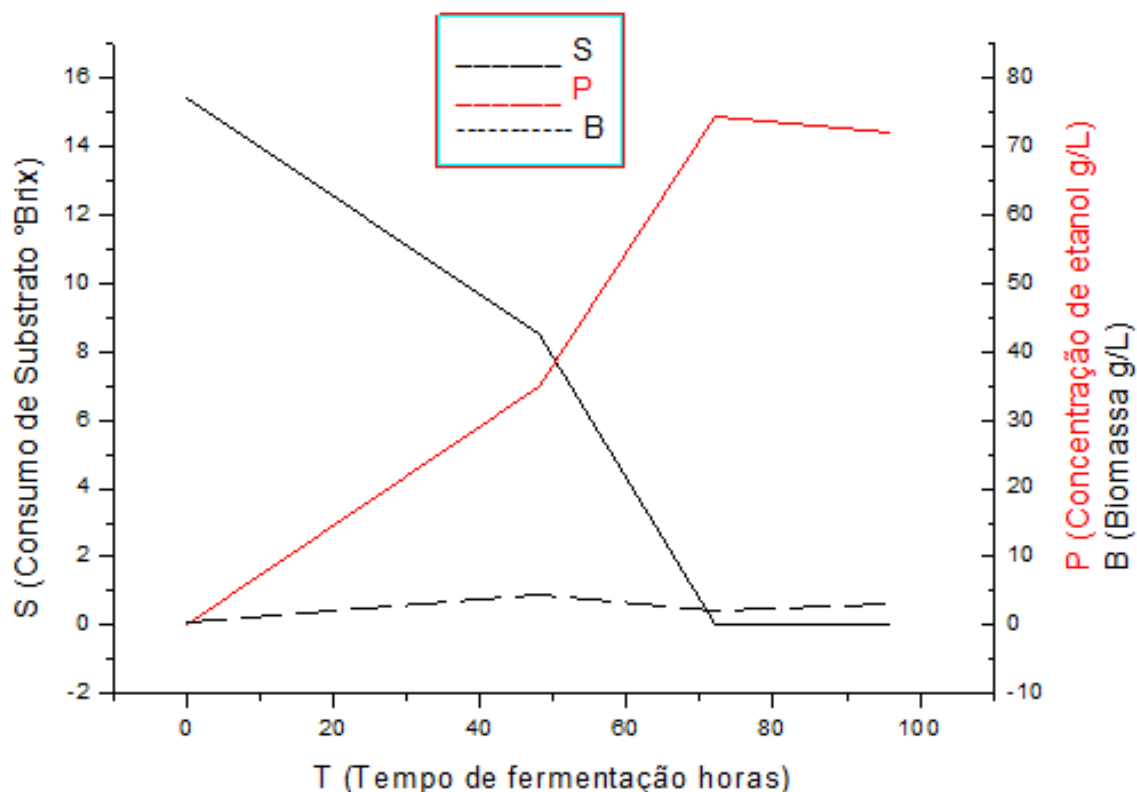
5.3 CINÉTICA FERMENTATIVA COM A LEVEDURA *SACCHAROMYCES BAYANUS*

O planejamento fatorial completo mostrou a melhor condição de fermentação para a levedura *Saccharomyces bayanus*, logo foi possível trabalhar nessas condições e fazer o controle das variáveis (SST, pH, concentração celular, teor alcoólico, temperatura, ART e acidez) do processo de fermentação alcoólica. O controle dessas variáveis ajuda na produção de bebidas alcoólicas de alta qualidade e própria para o consumo, nela identificamos o final do processo, pois nesse final ocorre formação de ácido acético, que é um composto indesejado no mosto, segundo Silva (2009).

De acordo com Silva (2009), o controle das variáveis do processo de fermentação alcoólica é necessário para a produção de bebidas alcoólicas de alta qualidade e seguras para o consumo.

A fermentação alcoólica ocorreu em dois biorreatores e os valores dos dados obtidos experimentalmente estão representados nas Figuras 5.6 e 5.7, que são referentes às variações de concentração do substrato (S), produto (P) e biomassa (X), mostrando como essas variáveis se comportam durante o processo fermentativo com o passar do tempo. Todos os valores e unidades de medidas representados nos gráficos estão nos Apêndices F e G.

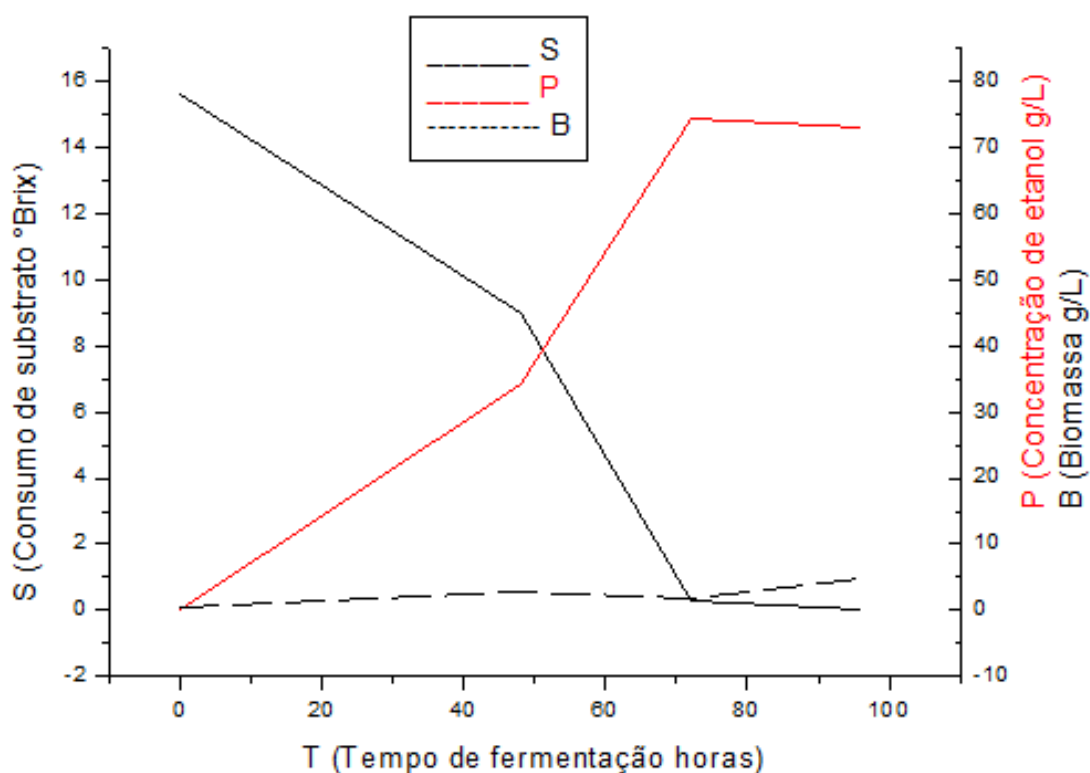
Figura 5.6 Cinética fermentativa do caldo de abacaxi e algaroba, utilizando a levedura *S. bayanus*, referente ao Biorreator 1



Pode-se observar na Figura 5.6 que após 48 horas do processo de fermentação ocorreu o consumo de cerca da metade do substrato, enquanto que houve a multiplicação da quantidade de leveduras e o produto em formação com 34,74 g/L. Ao passar 72 horas o SST (°Brix) havia zerado, a quantidade de biomassa reduziu e o teor alcoólico alcançou o valor de 74,24 g/L, assim quando atingiu as 96 horas houve o término do processo fermentativo, com 3,03 g/L de levedura e com a estabilização do teor alcoólico de 71,84 g/L (9,1°GL), que comparando com o trabalho de Parente (2009), onde utilizou o abacaxi na fermentação alcoólica e obteve nos seus experimentos valores próximos ao dessa pesquisa e que esse é um valor encontrado dentro da faixa pré-estabelecida (7,0 e 9,0° GL) para a produção de uma aguardente dentro das exigências da legislação vigente (BRASIL, 2008).

Os dados utilizados para construção do gráfico, encontra-se no Apêndice F.

Figura 5.7 Cinética fermentativa do caldo de abacaxi e algaroba, utilizando a levedura *S. bayanus*, referente ao Biorreator 2



Na Figura 5.7 observa-se que após 48 horas do processo de fermentação ocorreu o declínio da quantidade de substrato, enquanto que houve o aumento da quantidade de leveduras e o teor alcoólico atingindo o valor de 34,34 g/L. Após 72 horas o SST (°Brix) diminuiu consideravelmente para 0,3 °Brix e a quantidade de levedura começou a reduzir, enquanto que o teor alcoólico alcançou o valor de 74,29 g/L, assim após 96 horas o processo fermentativo foi finalizado com a confirmação da quantidade de substrato igual a zero, com 4,7 g/L de levedura e com a estabilização do teor alcoólico em 72,95 g/L (9,24°GL).

Os dados utilizados para construção do gráfico, encontra-se no Apêndice G

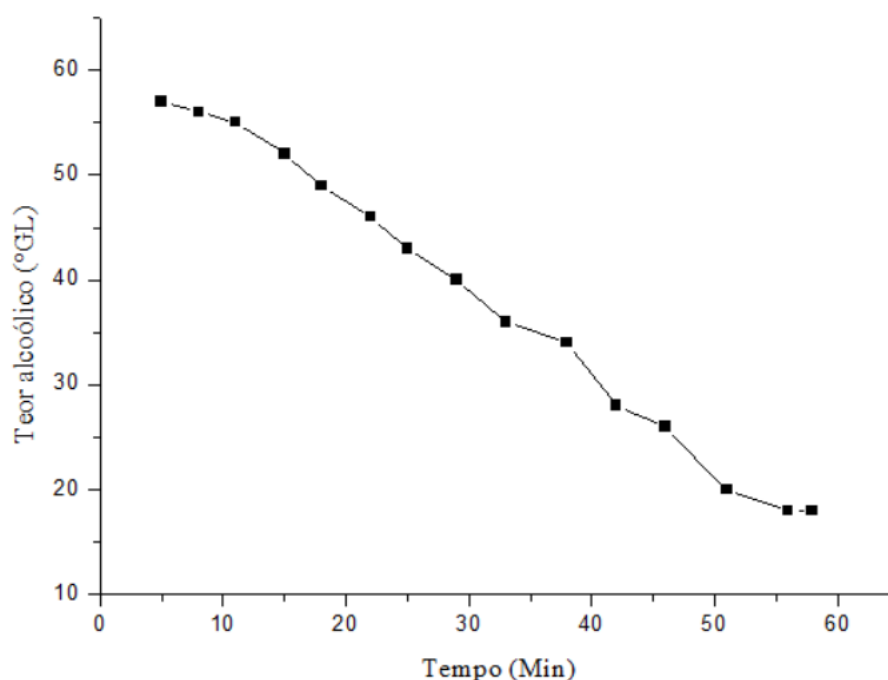
5.4 CINÉTICA DE DESTILAÇÃO

5.4.1 Cinética de destilação do fermentado alcoólico que utilizou a levedura *Saccharomyces bayanus*

O acompanhamento da cinética de destilação foi realizado monitorando os parâmetros essenciais para a separação das frações, os quais incluem: o tempo após o preenchimento de uma proveta de 250 mL, o volume coletado e o teor alcoólico, medido com um alcoômetro que requer esse volume para determinar o grau alcoólico do destilado, ajustado de acordo com a temperatura.

Observando a Figura 5.8, percebe-se que a medida que a destilação vai ocorrendo, o teor alcoólico vai diminuir progressivamente. No início do processo, o produto final apresenta teor alcoólico de aproximadamente 57° GL, indicando a presença da fração cabeça, em uma temperatura de 33 °C. Esta fração possui elevadas concentrações de substâncias com pontos de ebulição inferiores ao álcool, como por exemplo o metanol. Na sequência, observa-se a formação da fração coração, com o teor alcoólico iniciando com 56 °GL a uma temperatura de 33 °C, encerrando essa fração com 20 °GL a uma temperatura de 31 °C. Por fim, foi obtido a fração cauda com teor alcoólico de 18 °GL a 30 °C, representada pelo elevado ponto de ebulição, que é superior a 100 °C.

Figura 5.8 – Comportamento da cinética da destilação do fermentado alcoólico de algaroba e abacaxi, fermentado com a levedura *Saccharomyces bayanus*

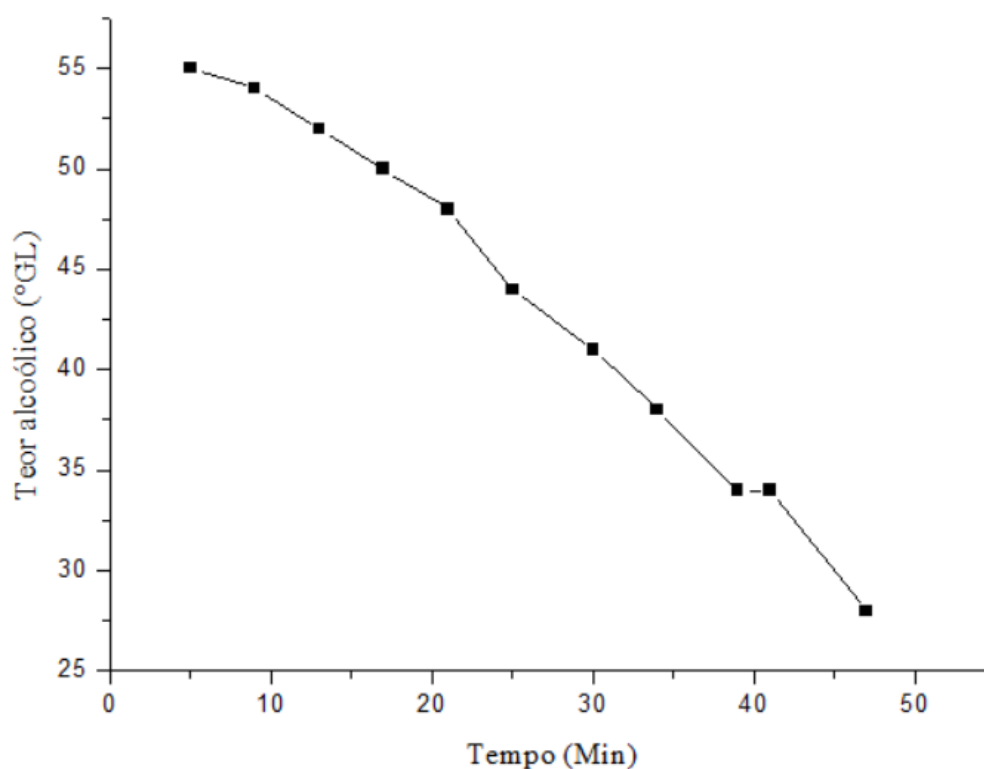


As planilhas com todos os dados se encontram no Apêndice C.

5.4.2 Cinética de destilação do fermentado alcoólico que utilizou a levedura *Saccharomyces cerevisiae*

Com o intuito de fazer a comparação da aguardente mista de abacaxi e algaroba utilizando duas leveduras diferentes, o mesmo procedimento foi feito com a levedura *Saccharomyces cerevisiae*, logo a Figura 5.9 apresenta a cinética da destilação do mosto fermentado de abacaxi e algaroba e foi verificado que, à medida que o tempo de destilação se passava, o teor alcoólico diminuía. Foi observado, que assim que se inicia o processo, o produto final apresentou um teor alcoólico de cerca de 55° GL a uma temperatura de 30 °C para a fração cabeça, seguindo o processo o teor alcoólico da fração coração foi de 54 °GL para 34 °GL, a uma temperatura variando de 30 °C a 31 °C e foi concluído com a fração cauda com 28 °GL a 30,5 °C. Não houve uma diferença entre as duas leveduras.

Figura 5.9 – Comportamento da cinética da destilação do fermentado alcoólico de algaroba e abacaxi, fermentado com a levedura *Saccharomyces cerevisiae*.



As planilhas com todos os dados encontram-se no Apêndice D.

Comparando os resultados da cinética de destilação com os de Parente (2014), que trabalhou com a aguardente de abacaxi e a levedura *Saccharomyces cerevisiae*, verificou-se que ao início da destilação obteve grau alcoólico (58 a 56° GL), representando a fração cabeça a uma temperatura de 29°C e ao final obteve um destilado com 20 e 25°GL, sendo esta a fração cauda. Esses valores são próximos dos encontrados nessa pesquisa.

Araújo (2019) produziu fermentado alcoólico feito da polpa do caju junto com o caldo de cana, utilizando a levedura *Saccharomyces cerevisiae* (fermento biológico comercial), passando pelo processo de destilação que resultou em uma fração cabeça com 54 °GL para o mosto fermentado do biorreator 1 e 55 °GL dos mostos fermentados nos biorreatores 2 e 3, valores semelhantes aos obtidos para a aguardente estudada nessa pesquisa. No decorrer da destilação alcoólica, os primeiros 500 mL do coração da primeira destilação (biorreator 1) resultaram em um teor alcoólico de 52 °GL e com o passar do tempo, a última parte do coração resultou em um teor alcoólico de 23 °GL, valores próximos ao dessa pesquisa.

5.5 ANÁLISE DOS PARAMETROS DE QUALIDADE DO PRODUTO

5.5.1 Teor alcoólico da aguardente produzida com a levedura *Saccharomyces bayanus*

De acordo com a legislação para aguardente de fruta, a aguardente de fruta deve apresentar grau alcoólico entre 36 e 54 °GL. Foram realizados dois experimentos para obter o grau alcoólico e consequente fazer a comparação. Um deles foi com o alcoômetro, por leitura direta e corrigido pela temperatura a 20 °C, nesse caso o teor alcoólico obtido foi de 34,6 °GL. O outro experimento foi utilizando um picnômetro, e o resultado foi de 34,5 °GL.

5.5.2 Teor alcoólico da aguardente produzida com a levedura *Saccharomyces cerevisiae*

Para obtenção do grau alcoólico, foi realizado dois experimentos com a finalidade de comparar e ter uma melhor estimativa do resultado. Uma das análises feita utilizou o alcoômetro, por leitura direta e corrigido pela temperatura a 20 °C, nesse caso o teor alcoólico obtido foi de 39,4 °GL. O outro experimento foi com o picnômetro, e o resultado foi de 38 °GL.

Esperava-se obter informações detalhadas a respeito do processo fermentativo e da qualidade físico-química das aguardentes produzidas antes e após acondicionamento com chips de madeira, assim como, identificar se a metodologia utilizada para produção destas aguardentes satisfaz os requisitos de identidade e qualidade de aguardentes de frutas, de acordo

com a legislação vigente. Após resultado da análise cromatográfica e físico-química, foi encontrada os valores apresentados na Tabela 5.6.

5.5.3 Teor alcoólico da aguardente produzida com a levedura *Saccharomyces bayanus* após acondicionamento em contato com *chips* de madeira Carvalho

A aguardente de fruta de abacaxi e algaroba após o acondicionamento em contato com *chips* de madeira Carvalho passou pelo mesmo processo de análises que as aguardentes sem o envelhecimento. Com isso, foi repetido o mesmo procedimento de obtenção de grau alcoólico utilizando o alcoômetro por leitura direta e corrigido pela temperatura de 20°C e o outro pelo picnômetro, seguindo o manual de Adolf Lutz (2008). Na análise feita com o picnômetro foi obtido o teor alcoólico de 35,6 °GL e a leitura direta com o alcoômetro foi de 35,6 °GL. As leituras em ambos os experimentos foram confirmadas, mas de acordo com a legislação o grau alcoólico ficou um pouco inferior ao permitido. As demais análises realizadas acerca dos parâmetros exigidos apresentadas na Tabela 5.6.

5.5.4 Teor alcoólico da aguardente produzida com a levedura *Saccharomyces cerevisiae* após o acondicionamento em contato com *chips* de madeira Carvalho

As análises físico-químicas e cromatográficas foram feitas para a levedura *Saccharomyces cerevisiae* após o descanso com os chips de madeira e para identificar o teor de álcool nessa aguardente o mesmo procedimento realizado nas outras amostras, foram realizados para essa amostra e o grau alcoólico obtido através do alcoômetro e corrigido pela leitura direta com a temperatura de 20 °C foi de 40 °GL e com o picnômetro foi de 40,5 °GL. Nesses experimentos observa-se que o teor alcoólico é aproximadamente igual e comparando antes do descanso é verificado que a um pequeno aumento de 2 °GL.

Com os resultados da cromatografia foi obtido informações detalhadas a respeito do destilado alcoólico, verificando assim, se está dentro das normas e legislação vigente para ser uma aguardente de frutas, conforme Tabela 5.6.

Tabela 5.6 - Dados analíticos da aguardente mista de abacaxi e algaroba, antes e após acondicionamento em contato com *chips* de madeira

Parâmetro	Resultados obtidos				Legislação Vigente	
	<i>Saccharomyces bayanus</i>		<i>Saccharomyces cerevisiae</i>		Brasil (2011) e	**Brasil (2022)
	Sem chips	Com chips	Sem chips	Com chips	Limite mínimo	Limite máximo
Graduação alcoólica, em % v/v a 20 °C	34,5	35,6	38,0	40,5	36	54
Acidez volátil, em ácido acético, em mg/100 mL de álcool anidro	0,00854	0,0148	0,0154	0,0138	-	100
Álcoois superiores (somatório de álcool n-propílico, álcool iso-butílico e alcoóis iso-amílicos), em mg/100 ml de álcool anidro	108,62	204,2	250,12	216,2	-	360
Aldeídos, em aldeído acético, mg/100 mL de álcool anidro	14	8	17	10	-	30
*Coeficiente de congêneres, em mg/100 mL de álcool anidro	145,4	222,2	296,34	240,5	200	650
Ésteres, em acetato de etila, em mg/100 mL de álcool anidro	22	9	29	14	-	250
Somatório de Furfural e hidroximetilfurfural, em mg/100 mL de álcool anidro	0,78	1,0	0,2	0,29	-	5
Álcool metílico (metanol), em mg/100 mL de álcool anidro	18	12	16	17	-	400
**Álcool sec-butílico (2-butanol), em mg/100 mL de álcool anidro	0,36	0,33	0,37	0,33	-	**10
**Álcool n-butílico (1-butanol), em mg/100 mL de álcool anidro	0,62	0,60	0,63	0,60	-	**3
Cobre (Cu), em mg L ⁻¹	2,87	1,71	2,56	1,53	-	5

*Congêneres = (acidez volátil + ésteres + aldeídos + furfural/hidroximetilfurfural + álcoois superiores). ** Valores para aguardente de cana e cachaça (Brasil, 2022).

Após o descanso de 30 dias em garrafas de vidros acondicionadas com chips de madeira de carvalho, percebeu-se uma pequena alteração da cor e aroma na aguardente mista de abacaxi e algaroba, apresentando uma coloração levemente amarelada e aroma amadeirado.

Figura 5.10 – Produto após o acondicionamento com os chips de madeira para a levedura *Saccharomyces bayanus* e *Saccharomyces cerevisiae*.



Conforme a Tabela 5.6, pode-se observar que o teor alcoólico da aguardente de abacaxi e algaroba utilizando a levedura *Saccharomyces bayanus* recém destilada e submetida a aceleração ao amadurecimento com chips de madeira não se encontram dentro da faixa exigida pela legislação. Para a levedura *Saccharomyces cerevisiae* o teor alcoólico da aguardente de abacaxi e algaroba ante e após o descanso utilizando chips de madeira encontram-se dentro do limite estabelecido pelo MAPA e semelhante ao teor alcoólico das bebidas fermento-destilladas oferecidas para comercialização. Os resultados de acidez da aguardente de abacaxi e algaroba recém destilada não teve diferença da aguardente descansada. Esse resultado de baixos valores de acidez é caracterizado pelas boas práticas de higiene durante todo o processo de fermentação alcoólica, já que o nível de ácido acético está diretamente relacionado a contaminações

bacterianas indesejáveis. Todos os outros parâmetros encontram-se dentro dos limites estabelecidos pela legislação vigente acerca de aguardente de furta.

6 CONCLUSÃO

- Com base nos resultados obtidos, constatou-se que tanto o abacaxi quanto a algaroba oferecem as condições adequadas para a produção da aguardente mista de frutas, apresentando características físico-químicas favoráveis para o processamento industrial.
- O planejamento fatorial completo, mostrou ser uma boa ferramenta de otimização de processo, onde foi possível determinar as melhores condições do processo fermentativo, baseado nos melhores resultados das variáveis de resposta (percentual de conversão e produtividade), sendo o ponto central a melhor condição encontrada, com concentração de levedura de 0,3 g/L e proporções igual de algaroba e abacaxi.
- O destilado alcoólico utilizando a levedura *Saccharomyces bayanus* apresentou um grau alcoólico fora do padrão da legislação de aguardente de fruta, atribuído possivelmente ao processo de separação das frações, que pode ter incorporado um pouco mais da fração cauda (de baixo teor alcoólico) à fração coração.
- A aguardente mista de abacaxi e algaroba antes e após acondicionamento em chips de madeira apresentou características físico-químicas dentro dos parâmetros exigidos pela legislação vigente.
- Comparando as duas aguardentes utilizando a *Saccharomyces bayanus* e *Saccharomyces cerevisiae*, verificou-se que a aguardente mista de abacaxi e algaroba utilizando a levedura *Saccharomyces cerevisiae* se destacou por obter todos os padrões exigidos pela legislação acerca de aguardente de frutas.

REFERÊNCIAS

- AGIDE, G. N. Considerações sobre a algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw) D.C.). **Coletânea do Instituto de Tecnologia de Alimentos**, v. 17, n. 1, 1987.
- ALCARDE, A. R.; REGITANO-D'ARCE, M. A. B.; SPOTO, M. H. **Fundamentos de ciência e tecnologia de alimentos**, ed. 2ª, Barueri, SP: Manole, p. 43-75, 2020.
- AQUARONE, E; SCHIMIDELL W.; LIMA U. A.; MORAES I. O. **Biotecnologia industrial**-vol. 4: biotecnologia na produção de alimentos. Editora Blucher, p. 145-180, 2001.
- ARAUJO, S. L. M. **Estudo da produção de aguardente composta por polpa de caju e caldo de cana**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial). Universidade Federal da Paraíba João Pessoa, 2019.
- ASQUIERI, E. R.; SILVA, A. G. de M.; CANDIDO, M. A. Aguardente de jabuticaba obtida da casca e borra da fabricação de fermentado de jabuticaba. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, n. 4, p.896-904, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-20612009000400030>.
- BORGES I. F. **Obtenção e caracterização do melado de algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw.) D.C.) e sua utilização em uma formulação alimentícia**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2004.
- BORTOLETTO, A. M. Composição química de cachaça maturada com lascas tostadas de madeira de carvalho proveniente de diferentes florestas francesas. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.
- BORTOLETTO, A. M.; CORREA, A. C.; ALCARDE, A. R. Aging practices influence chemical and sensory quality of cachaça. *Food Research International*, v. 86, p. 46-53, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2016.05.003>.
- BOX, G. E. P.; HUNTER, W. G.; HUNTER, J. S., *Statistics for Experiments*, J. Wiley & Sons, 1978.
- BRASIL. MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Decreto Nº 6871, de 04 de junho de 2009. Sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção e a fiscalização da produção e do comércio de bebidas. *Diário Oficial da União*, Brasília 5 jun. 2009.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Instrução Normativa nº 15 de 31 de março de 2011. Estabelece a complementação dos padrões de identidade e qualidade para algumas bebidas alcoólicas destiladas, comercializadas em todo o território nacional. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 01 abr. 2011.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Métodos Físico-químicos para análise de alimentos**. Brasília: Ministério da Saúde, 2005. 1018p. (Série A. Normas e Manuais Técnicos). IV edição.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Ministério da Saúde. Dispõe sobre os requisitos para o registro de produto saneante destinado à desinfecção

de hortifrutícolas e para produtos algicida e fungicida para piscinas. 1999, resolução - rdc nº 695, de 13 de maio de 2022.

BRASIL. Portaria MAPA Nº 539, 26 de dezembro de 2022. Regulamento Técnico sobre Padrões de identidade e qualidade da aguardente de cana e da cachaça. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 27 dez. 2022.

BRASIL. Portaria MAPA Nº 65, 23 de Abril 2008. Regulamento Técnico para a Fixação dos padrões de Identidade e Qualidade para Fermentado de Fruta. Diário Oficial da União,

CALDEIRA, I.; PEREIRA R.; CLÍMACO M. C.; BELCHIOR A. P., SOUSA B. R. Improved method for extraction of aroma compounds in aged brandies and aqueous alcoholic wood extracts using ultrasound. **Analytica Chimica Acta**, v. 513, p. 125–134, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2003.10.011>.

CARDOSO, M. G. Análises físico-químicas de aguardente. In: **Produção de aguardente de cana**. 3. ed. Rev. e ampl. Lavras: Editora UFLA, 2013.

CARVALHO FILHO, Z. A.; LOPES, J. D. DESENVOLVIMENTO DE BEBIDAS ALCOÓLICAS MISTAS DE ABACAXI E ALGAROBA. In: MEDEIROS, I. A.; BRAGA, C. F.; BARBOSA, R. O. (org). **Trabalhos Premiados no XXVII Encontro de Iniciação Científica da UFPB**, João Pessoa: Editora UFPB, 2020. Série Iniciados 2018-2019, v. 25.

CHANIVET, M. G.; MUÑOZ M. J. V.; MORENO, M. V. G.; SÁNCHEZ D. A. G. Characterization of the aromatic and phenolic profile of five different wood chips used for ageing spirits and wines. *Foods*, v. 9, n. 11, p. 1613, 2020. DOI: 10.3390/foods9111613. Disponível em: <https://www.mdpi.com/journal/foods>. Acesso em: 05/12/2024.

COELHO, E. F; SANTOS, D. L; SIMÕES W. L. Irrigação de fruteiras tropicais (abacaxizeiro, bananeira, mamoeiro e mangueira). In: PAOLINELLI, A.; DOURADO NETO, D.; MANTOVANI, E. C. (Ed.). **Diferentes abordagens sobre agricultura irrigada no Brasil: técnica e cultura**. Piracicaba: ESALQ-USP, 2021. Cap. 21, p. 429-460.

COLDEAA, T. E. SOCAJU C.; MUDURA E.; SOCACI S. A. ; RANGA F.; POP C. R.; VRIESEKOOOP F.; PASQUALONE A. Volatile and phenolic profiles of traditional Romanian apple brandy after rapid ageing with different wood chips, *Food Chemistry*, V. 320, ISSN 0308-8146, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126643>.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. Compêndio de Estudos Conab, **A participação do abacaxi no desenvolvimento econômico nas regiões produtoras – v. 1** (2020-). - Brasília: Conab, 2020. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 08 jun. 2022.

CRESTANI, M. et al. Das Américas para o Mundo - origem, domesticação e dispersão do abacaxizeiro. **Ciência Rural**, v. 40, n. 6, p.1473-1483, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/cr/v40n6/a620cr2584.pdf>. Acesso em: 20 de maio de 2022.

DELGADO M. J.; GUILLÉN S. M. M.; MORENO G. M. V.; DODERO R. M. C.; BARROSO G. C.; SÁNCHEZ G. D. A. Study of a laboratory-scaled new method for the accelerated continuous ageing of wine spirits by applying ultrasound energy. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 36, p. 226–235, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.11.031>.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2018. **Perdas e desperdício de alimentos**. Disponível em: Acesso em: 31 maio 2024.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária. 2015. **Abacaxi perola**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-imagens/-/midia/2276003/abacaxi-perola>. Acesso em: 15 de junho de 2022.

FAGUNDES, D. T. O.; SILVEIRA, M. L. R.; SANTOS, C. O.; SAUTTER, C. K.; PENNA, N. G. Fermentado Alcoólico de Fruta: Uma Revisão. In: 5º Simpósio de Segurança Alimentar, Alimentação e Saúde, Bento Gonçalves, 2015.

FARIA, J. B. et al. Cachaça, Pisco e Tequila. In: LEA, A. G. H.; PIGGOTT, J. R. (Eds.). **Fermented beverage production**. 2 ed. New York: Klumer Academic/Plenum Publishers, 2003. cap. 15, p. 335-363.

FLORENTINO, E.R. Aproveitamento do soro de queijo de coagulação enzimática. 2006. 138f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

FREITAS, F. S. Fermentação alcoólica de hidro lisado ácido de torta de polpa de macaúba utilizando a levedura *Candida akabanensis* UFVJM-R131 na forma livre e imobilizada. 2022. 75 p. Dissertação (Mestrado em Biocombustíveis) – Programa de Pós-graduação em Biocombustíveis, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2022.

GIACOMELLI, E.J; PY, C. O abacaxi no Brasil. Campinas: Fundação Cargil, 1981. 101p.

GUSMÃO, R. P.; CAVALCANTI-MATA, M. E. R. M.; DUARTE, M. E. M.; GUSMÃO, T. A. S. Particle size, morphological, rheological, physicochemical characterization and designation of minerals in mesquite flour (*Prosopis juliflora*). **Journal of Cereal Science**, v. 69, p. 119-124, 2016.

GUSMÃO, R. P.; GUSMAO, T. A. S.; MOURA, H. V.; DUARTE, M. E. M.; CAVALCANTI-MATA, M. E. R. M. Caracterização tecnológica de cookies produzidos com diferentes concentrações de farinha de algaroba durante armazenamento por 120 dias. **Brazilian Journal of Food and Technology**, v. 21, p. e2017116, 2018.

HOLANDA, V. B.; LINS, A. D. F.; CAVALCANTI-MATA, M. E. R. M.; DUARTE, M. E. M.; FEITOSA, R. M. Análise sensorial e desenvolvimento de embalagem para aguardente de algaroba. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 10, n. 4, p. 6-11, 2015. DOI: <https://doi.org/10.18378/rvads.v10i4.3496>

HUTKINS, R. W. **Microbiology and technology of fermented foods**. 1st ed. [S. l.]: Blackwell, 2006, 473 p.

IAL - INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz: Métodos Químicos e Físicos Para Análise de Alimentos**. 1 ed. Online. São Paulo: IAL, 2008.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Banco de dados agregados. SIDRA: Sistema IBGE de recuperação automática. 2020. **Levantamento Sistemático da Produção agrícola**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/5457> Acesso em: 07 maio 2022.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Banco de dados agregados. SIDRA: Sistema IBGE de recuperação automática. 2022. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/5457> Acesso em: 27 maio 2024.

LAINETTI, A. M. S.; SEIBEL, N. F. Elaboração de geleia de abacaxi com pimenta. In: OLIVEIRA, A. F. D. (org.). **Tópicos em Ciência e Tecnologia de Alimentos**: resultados de pesquisas acadêmicas. Vol. 4. São Paulo: Blucher, 2018.

LANE & EYNON. Determination of reducing sugars by fehling solution with methylene blue indicator. London. Norman Rodger, 1934, 8p.

LEMONS, A. B. S.; CHAVES, G.; RIBEIRO, P. P. C.; DAMASCENO, K. S. F. S. C. *Prosopis juliflora*: nutritional value, bioactive activity, and potential application in human nutrition. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 103, p. 5659–5666, 2023.

LIMA, U. de A. et al. **Biotecnologia industrial**: processos fermentativos e enzimáticos. vol. 3, 2 ed. São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 2019.

LOVATTI, Suzane de Souza; GRIFFO, Sandro Vandermuren; FERREIRA, Marcela. *Saccharomyces pastorianus: a levedura híbrida que deu origem às cervejas lagers*. **Genética na Escola**, v. 14, n. 2, 2019. Sociedade Brasileira de Genética. ISSN 1980-3540.

LÚCIO, A. S.; MOTA, M. M. A.; SANTIAGO, A. M.; GOUVEIA, D. S.; DANTAS, R. L. Elaboração e caracterização da aguardente mista de caldo de cana e cajá (*Spondias mombin* L). In: VIEIRA, V. B.; PIOVESAN, N. (org.) **Avanços e desafios de nutrição 4** [recurso eletrônico]. Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019. p. 55-65. E-book.

LUZÓN-QUINTANA, L. M; CASTRO, R.; DURÁN-GUERRERO, E. Biotechnological Processes in Fruit Vinegar Production. **Foods**, v. 10, n. 5, p. 945, 2021.

MEDINA, J.C. A cultura do abacaxi. In: MEDINA, J.C. et al. **Frutas tropicais 2**. São Paulo: Canton, 1978. p.06-68.

MELO, T. S.; MAGALHÃES A. E. M.; SILVA A. P. G.; SILVA. E. L; LINS H. T. S.; FERREIRA M. C.; MELO. T. S.; OLIVEIRA M. M. B. Processo de produção da aguardente e cachaça: Uma revisão / Processo de produção da aguardente e cachaça: Uma revisão. *Revista Brasileira de Desenvolvimento*, 95981–96001, 2021.
<https://doi.org/10.34117/bjdv7n10-86>

MILLER G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. **Analytical Chemistry**, v. 31, n. 3, p. 426-428, 1959.

MOSEDALE, J.; PUECH, J.-L. Wood maturation of distilled beverages. **Trends Food Sci. Technol.** v. 9, p. 95–101, 1998.

MUNIZ, M. B **Processamento das vagens de algaroba (*Prosopis juliflora*) para produção de bioprodutos**. 2009. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009.

NUNES, L. S. G.; OLIVEIRA NETA, M. R. Alambiques de cachaça em minas gerais: uma pesquisa exploratória. **Cadernos da FUCAMP**, Minas Gerais, n. 10, v. 12, p. 65- 80/2010.

OLIVEIRA, P. N.; ALCARDE, A. R.; BORTOLETTO, A. M. ABUD, A. K. S.; OLIVEIRA JÚNIOR, A. M. Production and characterization of a new mango distilled beverage. **Scientia Agricola**, v.79, n.1, 2022. DOI: <http://doi.org/10.1590/1678-992X-2020-0149>

PARAPOULI, M. et al. *Saccharomyces cerevisiae* and its industrial applications. **AIMS microbiology**, v. 6, n. 1, p. 1, 2020.

PARENTE, G. D. L. **Cinética da fermentação e da destilação na produção de aguardente de abacaxi**. Dissertação (Mestrado em Sistemas Agroindustriais) – Universidade Federal de Campina Grande, Pombal - PB, 2014.

PEREIRA, M. D.; ROMEIRO, T. C. O. S.; FLORES, A. V.; SEVERIANO, R. L. Germinação e biometria de frutos e sementes de *Prosopis juliflora* (Sw) D.C. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 03, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509833379>.

RAINIERI, Sandra et al. Pure and Mixed Genetic Lines of *Saccharomyces bayanus* and *Saccharomyces pastorianus* and Their Contribution to the Lager Brewing Strain Genome. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 72, n. 6, 2006. Disponível em: <https://journals.asm.org/doi/10.1128/aem.02769-05>. Acesso em: 05 dez. 2024.

SAMPAIO, T. O tupi na geographia nacional. São Paulo: “O Pensamento”, 1914. 285p.

SANTOS, J. S. M. et al. Caracterização físico-química de abacaxi cvs. “gomo de mel” e “md2 gold”, produzidos sob irrigação no município de Juazeiro-Bahia. 2010. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 21., 2010, Natal, RN. **Anais [...]**. Natal: SBF, 2010. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/869994/1/Joston.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2022.

SANTOS, H. T; LIMA W. F.; FONSECA G. G.; VILELA D. M. et. al. Produção de aguardente de ciriguela (*Spondias purpurea* L.) utilizando diferentes cepas de *Saccharomyces cerevisiae*. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, v. 26, n. 2, 2021. DOI: <https://doi.org/10.12661/pap.2021.005>.

SILVA, A. S. G. **Avaliação dos compostos fenólicos e voláteis ao longo da vinificação**. 2012. 122 f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) — Departamento de Química, Universidade de Aveiro, Aveiro, 2012.

SILVA, C. G. **Desenvolvimento de um sistema microindustrial para fabricação de aguardente bidestilada de algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw.) DC.)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2002.

SILVA, C. G. M.; MELO FILHO, A. B.; PIRES, E. F.; STAMFORD, T. L. M. Caracterização Físico-química e microbiológica da farinha de algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw.) DC). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 4, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-20612007000400010>.

SILVA, C. G. **Otimização da fabricação da aguardente de algaroba e aproveitamento dos resíduos sólidos em produtos alimentares**. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009.

SILVA, C. G.; MATA, M. E. R. C.; BRAGA, M. E. D.; QUEIROZ, V. S. Extração e fermentação do caldo de algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw) D.C.) para obtenção de aguardente. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 5, p. 51-56, 2003.

SILVA, C. G.; RODRIGUES, C. G.; GOUVEIA, C. Q. **Processo de obtenção de vinagre a partir de vagens de algaroba**. Depositante: Clóvis Gouveia da Silva. Patente: Privilégio de Inovação. Número do registro: PI0601527-1, Depósito: 08 mar. 2006.

SILVA, G. M. *et al.* Production of ethanol from *P. juliflora* pods mash. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 68, n. 1, p. 124-127, jan./fev. 2011.

SILVA, J. M. **Cachaça**: história, gastronomia e turismo. São Paulo: Editora SENAC, 2018.

SILVA, S.; AZEVEDO, A. R. Algarobeira perguntas e respostas: BN/UFC. In: I CONGRESSO NORDESTINO DE PRODUÇÃO DE ANIMAL, 1998, Fortaleza. **Anais [...]**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 1998. p. 103.

SIMÓN, B. F.; CADAHÍA E.; MUIÑO I.; ÁLAMO M. D.; NEVARESET I. Composição volátil de lascas e aduelas de carvalho tostado e de vinho tinto envelhecido com elas. *Revista Americana de Enologia e Viticultura*. Sou J Enol Vitic. 2010 61:157-165. <https://doi:10.5344/ajev.2010.61.2.157>.

SOARES, L. M. V. *et al.* Composição mineral de sucos concentrados de frutas brasileiras. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 24, n. 2, p. 202-206, 2004.

TEIXEIRA, C. A. D. (ed.) **Sistema de produção para a cultura do abacaxi no Estado de Rondônia**. Porto Velho, RO: Embrapa Rondônia, 2020. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1123953/1/cpafro-18430-SP38.pdf>. Acesso em: 30 jun. 2022.

THOMSON, J. M. *et al.* Resurrecting ancestral alcohol dehydrogenases from yeast. **Nature Genetics**, v 37, p. 630-635, 2005.

TONINI, M.; PACHECO, F. P. Perspectivas da produção de cachaça no Brasil. **Journal of Agronomic Sciences**, Umuarama, v. 3, p. 193-201, 2014.

VASCONCELOS, N. M.; PINTO, G. A. S.; ARAGÃO, F. A. S. **Determinação de açúcares redutores pelo ácido 3,5-dinitrosalicílico**: Histórico do desenvolvimento do método e estabelecimento de um protocolo para o laboratório de bioprocessos. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2013.

VENTURINI FILHO, W. G. **Bebidas alcoólicas**. Vol. 1, 2 ed. São Paulo: Editora Edgar Blucher Ltda, 2016.

VIDAL, M. F. Caderno Setorial Etene: Fruticultura e agropecuária do banco do nordeste, Fortaleza, 2023. Disponível em: https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/1761/1/2023_CDS_280.pdf. Acesso em 30 mai. 2024.

ZHANG, B.; ZENG, X. A.; SUN, D. W.; YU, S. J.; YANG, M. F.; MA, S. Effect of electric field treatments on brandy aging in oak barrels. **Food and Bioprocess Technology**, v. 6, p. 1635–1643, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2013.07.003>.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Análise fermentação alcoólica do planejamento fatorial completo feito em duplicata da aguardente mista de abacaxi e algaroba utilizando a levedura *Saccharomyces bayanus* e mostrando o resultado pontual de cada ensaio.

Ensaio	Fermento g/L	Proporção	Produtividade	% conversão	Y(x/s)	Y(p/s)
1	0,1	02:01	0,482	83,642	0,006	0,435
2	0,1	02:01	0,730	97,603	0,008	0,510
3	0,5	02:01	0,526	94,379	0,012	0,494
4	0,5	02:01	0,688	86,079	0,036	0,446
5	0,1	01:02	0,586	95,904	0,036	0,503
6	0,1	01:02	0,594	71,750	0,008	0,375
7	0,5	01:02	0,645	85,772	0,027	0,449
8	0,5	01:02	0,645	84,384	0,018	0,442
9	0,3	01:01	0,881	97,306	0,017	0,513
10	0,3	01:01	1,007	100,466	0,014	0,528
11	0,3	01:01	0,881	91,187	0,022	0,469
12	0,3	01:01	0,950	100,746	0,057	0,518
13	0,3	01:01	0,950	89,946	0,014	0,462
14	0,3	01:01	0,950	84,243	0,017	0,433

Y(x/s) = rendimento de biomassa em substrato; Y(p/s) = rendimento de produto em substrato.

APÊNDICE B – Análise fermentação alcoólica do planejamento fatorial completo feito em duplicata da aguardente mista de abacaxi e algaroba utilizando a levedura *Saccharomyces cerevisiae* e mostrando o resultado pontual de cada ensaio.

Ensaio	Fermento g/L	Proporção	Produtividade	% conversão	Y(x/s)	Y(p/s)
1	0,1	02:01	0,688	83,469	0,023	0,438
2	0,1	02:01	0,688	77,408	0,010	0,407
3	0,5	02:01	0,755	68,012	0,006	0,357
4	0,5	02:01	0,755	64,221	0,008	0,337
5	0,1	01:02	0,441	65,090	0,030	0,340
6	0,1	01:02	0,526	76,339	0,021	0,399
7	0,5	01:02	0,526	69,403	0,009	0,359
8	0,5	01:02	0,535	74,059	0,013	0,391
9	0,3	01:01	0,624	78,696	0,003	0,410
10	0,3	01:01	0,662	82,502	0,008	0,430
11	0,3	01:01	0,649	82,181	0,004	0,421
12	0,3	01:01	0,624	82,277	0,005	0,423
13	0,3	01:01	0,624	74,231	0,008	0,381
14	0,3	01:01	0,637	85,347	0,000	0,438

Y(x/s) = rendimento de biomassa em substrato; Y(p/s) = rendimento de produto em substrato.

APÊNDICE C – Acompanhamento cinético realizado durante o processo de destilação da aguardente mista de abacaxi e algaroba utilizando a levedura *Saccharomyces bayanus*

Fração	Tempo	Tempo (min)	Teor Alcoólico GL	Temperatura °C	Volume mL
cabeça	15:04 - 15:09	5	57	33	372
coração	15:12	8	56	33	250
coração	15:15	11	55	33	250
coração	15:19	15	52	33	250
coração	15:22	18	49	33	250
coração	15:26	22	46	32,8	250
coração	15:29	25	43	31	250
coração	15:33	29	40	31	250
coração	15:37	33	36	31	250
coração	15:42	38	34	31	250
coração	15:46	42	28	31	250
coração	15:50	46	26	31	250
coração	15:55	51	20	30	250
cauda	16:00	56	18	30	250
cauda	16:02	58	18	30	122

APÊNDICE D – Acompanhamento cinético realizado durante o processo de destilação da aguardente mista de abacaxi e algaroba utilizando a levedura *Saccharomyces cerevisiae*.

Fração	Tempo	tempo	Teor Alcoolico °GL	Temperatura°C	Volume mL
cabeça	15:10 - 15:15	5	55	30	372
coração	15:19	9	54	30	250
coração	15:22	13	52	31	250
coração	15:26	17	50	31	250
coração	15:30	21	48	31	250
coração	15:34	25	44	31	250
coração	15:39	30	41	31	250
coração	15:43	34	38	31	250
coração	15:48	39	34	31	250
coração	15:50	41	34	31	250
cauda	15:56	47	28	30,5	250

APÊNDICE E – Estimativa do efeito da produtividade, variável que foi estatisticamente significativa no processo fermentativo utilizando a levedura *Saccharomyces cerevisiae*.

Effect Estimates; Var.:P; R-sqr=,98128; Adj.,96256 (fermentação S.cerevisie) 2**(2-0) design; MS Residual=,0003131 DV: P										
Factor	Effect	Std.Err.	t(3)	p	-95,% Cnf.Limt	+95,% Cnf.Limt	Coeff.	Std.Err. Coeff.	-95,% Cnf.Limt	+95,% Cnf.Limt
Mean/Interc.	0,623907	0,006688	93,2816	0,000003	0,602621	0,645193	0,623907	0,006688	0,602621	0,645193
(1)C	0,057118	0,017696	3,2277	0,048299	0,000802	0,113434	0,028559	0,008848	0,000401	0,056717
(2)Prop	-0,214169	0,017696	-12,1027	0,001214	-0,270485	-0,157853	-0,107084	0,008848	-0,135243	-0,078926
1 by 2	-0,010427	0,017696	-0,5892	0,597135	-0,066743	0,045889	-0,005214	0,008848	-0,033372	0,022945

APÊNDICE F – Dados referente a cinética fermentativa do Biorreator 1 da levedura
Saccharomyces bayanus.

Tempo (horas)	Substrato - Sólidos Solúveis Totais (°Brix)	Teor Alcoólico (g/L)	Biomassa (g/L)	pH
0	15,4	0,00	0,30	4,33
48	8,5	34,74	4,53	4,52
72	0,0	74,29	2,20	4,37
96	0,0	71,84	3,03	4,6

APÊNDICE G – Dados referente a cinética fermentativa do Biorreator 2 da levedura
Saccharomyces bayanus.

Tempo (horas)	Substrato – Sólidos Solúveis Totais (°Brix)	Teor Alcoólico (g/L)	Biomassa (g/L)	pH
0	15,6	0,00	0,30	4,35
48	9,0	34,34	2,70	4,51
72	0,3	74,29	1,70	4,47
96	0	72,95	4,70	4,59

