

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

FERNANDA APARECIDA BROCCO BERTAN

**APROVEITAMENTO INTEGRAL DO ABACAXI NA
PRODUÇÃO DE VINAGRES ENRIQUECIDOS COM EXTRATO
DE FOLHAS DE *Syzygium malaccense* (L.) Meer. & L.M.**

Perry

DOIS VIZINHOS

2021

FERNANDA APARECIDA BROCCO BERTAN

**APROVEITAMENTO INTEGRAL DO ABACAXI NA PRODUÇÃO DE VINAGRES
ENRIQUECIDOS COM EXTRATO DE FOLHAS DE *Syzygium malaccense* (L.)**

Meer. & L.M. Perry

**Integral use of pineapple in the production of vinegars enriched with *Syzygium
malaccense* (L.) Meer. & L.M. Perry leaf extract.**

Dissertação apresentada como requisito para
obtenção do título de Mestre em Biotecnologia da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. Mário Antônio Alves da Cunha

Dois Vizinhos

2021



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

Esta licença permite que outros remixem, adaptem e criem a partir do trabalho licenciado para fins não comerciais, desde que atribuam ao autor o devido crédito. Os usuários não têm que licenciar os trabalhos derivados sob os mesmos termos estabelecidos pelo autor do trabalho original.



**Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Ponta Grossa**



FERNANDA APARECIDA BROCCO BERTAN

**APROVEITAMENTO INTEGRAL DO ABACAXI NA PRODUÇÃO DE VINAGRES ENRIQUECIDOS COM
EXTRATO DE FOLHAS DE SYZYGIIUM MALACCENSE (L.) MERR. & L.M. PERRY**

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre em Biotecnologia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Área de concentração: Biotecnologia.

Data de aprovação: 17 de Dezembro de 2021

Prof Mario Antonio Alves Da Cunha, - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.a Paula Fernandes Montanher, - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof Ricardo De Freitas Branco, Doutorado - Universidade Federal Fluminense (Uff)

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 17/12/2021.

À Deus, dedico.

AGRADECIMENTOS

Gratidão à Deus, por sempre atender meus pedidos, pela a saúde e força para seguir em frente.

À meu professor Dr. Mário Antônio Alves da Cunha, orientador e amigo, que sempre esteve disposto e pronto a atender. Obrigada pelo incentivo constante e persistência. Serei eternamente grata por tudo que fez por mim.

Às professoras Dr^a. Paula Montanher, Dr^a. Andréia Anschau, Dr^a. Nédia Ghisi e Dr^a. Naiana Gabiatti pela disponibilidade em me auxiliar sempre que solicitei. Minha imensa gratidão.

À minha família, meu pai por acreditar em mim, pelo o incentivo, e apoio. Um agradecimento especial à minha mãe, por toda força recebida de onde quer que esteja, obrigada por me guiar.

Ao meu namorado Anderson, pela compreensão e auxílio em tudo. Obrigado por estar comigo, confiar e ser meu companheiro. Que eu possa sempre retribuir o seu carinho e apoio incondicional.

Aos meus amigos e colegas Gerusa Ferreira, Hilda Vanessa Poquioma Hernandez, Casi Santos dos Santos, Ana Cláudia Zanatta e principalmente ao Eduardo da Silva Pereira Ronning que foi meu braço direito. Desejo muito sucesso na jornada de cada um de vocês. Muito obrigada.

A UTFPR Câmpus Pato Branco, pela disposição dos laboratórios, material e equipamentos para realização da pesquisa.

Agradeço a todos os familiares e amigos que mesmo indiretamente sempre estiveram comigo, fizeram suas orações e proferiram palavras de apoio e incentivo para que mais essa etapa fosse concluída.

Muito obrigada a todos!

RESUMO

O abacaxi (*Ananas comosus* (L.) Merrill) é uma fruta tropical aceita mundialmente e rica em fitoquímicos que contribuem para a prevenção de inúmeras doenças. No entanto, partes da fruta, como as cascas, comumente são descartadas gerando resíduos que necessitam de tratamentos. Desta forma, em um contexto de economia circular é importante o desenvolvimento de produtos que auxiliem no melhor aproveitamento da fruta e na redução de resíduos. Neste sentido, o presente trabalho teve como objetivo o aproveitamento tecnológico da polpa e das cascas de abacaxi na produção de fermentados alcoólicos e vinagres do tipo *gourmets*, enriquecidos com extrato de folhas de jambo-vermelho (*Syzygium malaccense* (L.) Merr. & L.M. Perry) rico em compostos fenólicos e antioxidantes. Uma cepa industrial de *Saccharomyces cerevisiae* r.f. *bayanus* e cepas selvagens de bactérias ácido acéticas isoladas de vinagre colonial foram empregadas nas fermentações alcoólica e acética. As fermentações alcoólicas foram conduzidas em balde fermentador com airlock a 28 °C, sendo obtido nos cultivos com mosto a base de polpa, rendimento em etanol de 0,28 g/g ($Y_{P/S}$), produtividade volumétrica de 0,55 g/L.h (Q_p) e eficiência de 54,8% (η). Nas fermentações com as cascas de abacaxi foram obtidos rendimentos de 0,27 g/g, produtividades de 0,48 g/L.h e eficiência de 52,8%. As fermentações acéticas foram conduzidas a 28 °C em sistema lento (processo de Orleans) em vinagreira de grábia. Conteúdos de 5,5% (v/v) e 4,5% (v/v) de ácido acético foram observados no final das fermentações acéticas com polpa e cascas de abacaxi, respectivamente. Tanto os vinhos de polpa como de cascas apresentaram apreciáveis conteúdos de fenólicos (188,97 mg GAE/L e 110,53 mg GAE/L) e potencial antioxidante. Os vinagres de polpa e cascas apresentaram teores superiores de compostos fenólicos totais (364,45 mg GAE/L e 222,94 mg GAE/L) e elevada capacidade de captura dos radicais DPPH e ABTS em comparação aos vinhos. Os vinhos de cascas apresentaram maior luminosidade (L^*) e maior índice de saturação (C^*) e sua coloração tendeu mais para o amarelo comparado aos vinhos de polpa. A acetificação levou a redução do índice de saturação (C^*) das amostras de vinagre em relação aos vinhos e levou a intensificação da tonalidade (ângulo hue) nas amostras de vinagres de cascas. Todos os vinagres apresentaram potencial antimicrobiano com atividade biocida contra as bactérias *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *Salmonella enterica typhimurium* e as leveduras *Candida tropicalis* e *Candida albicans*. O enriquecimento dos vinagres com o extrato de jambo-vermelho promoveu o aumento dos conteúdos de polifenólicos e da atividade antioxidante. O extrato também potencializou a atividade antimicrobiana do vinagre de cascas contra o *Staphylococcus aureus*.

Palavras-chave: *Syzygium malaccense*; *Ananas comosus*; fermentado acético; extrato vegetal.

ABSTRACT

Pineapple (*Ananas comosus* (L.) Merrill) is a tropical fruit accepted worldwide and rich in phytochemicals that contribute to the prevention of numerous diseases. However, parts of the fruit, such as the peels, are commonly discarded, generating residues that require treatment. Thus, in a context of a circular economy, it is important to develop products that help to make better use of the fruit and reduce waste. In this sense, the present work's objective was to use both the pineapple pulp and peels in the production of wines and gourmet vinegars, enriched with red-jambo leaf extract (*Syzygium malaccense* (L.) Merr. & LM Perry) rich in phenolic compounds and antioxidants. A commercial strain of *Saccharomyces cerevisiae* r.f. bayanus, and wild strains of acetic acid bacteria isolated from "colonial vinegar", were used in the fermentations to produce alcohol and acetic acid, respectively. Alcoholic fermentations were carried out at 28 °C using a pulp or peels -based wort in a bucket fermenter with an airlock. Fermentations with pineapple pulp resulted in an ethanol yield of 0.28 g/g ($Y_{P/S}$), a volumetric productivity of 0.55 g/Lh (Q_P), and an efficiency of 54.8% (η). Fermentations with peels resulted in ethanol yields of 0.27 g/g, a productivity of 0.48 g/L.h, and an efficiency of 52.8%. Fermentations with the acetic acid bacteria were carried out in the traditional system (Orleans process) in a Grapia barrel at 28 °C. Contents of 5.5% (v/v) and 4.5% (v/v) of acetic acid resulted from acetification of pineapple pulp and peel, respectively. Both pulp and peel wines presented appreciable phenolic contents (188.97 mg GAE/L and 110.53 mg GAE/L) and antioxidant potential. Pulp and peel vinegars had higher levels of total phenolic compounds (364.45 mg GAE/L and 222.94 mg GAE/L) and high DPPH and ABTS radical scavenging capacity compared to the wines. The peel wines showed greater lightness (L^*) and higher saturation index (C^*) and its color tended more towards yellow compared to the pulp wines. Acetification led to a reduction in the saturation index (C^*) of the vinegar samples in relation to wines and led to an intensification in the color tone (hue angle) in the peel vinegar samples. All vinegars showed antimicrobial potential with biocidal activity against bacteria: *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *Salmonella enterica* Typhimurium, and *Candida tropicalis* and *Candida albicans* yeasts. The enrichment of the vinegars with the red-jambo leaf extract promoted an increase in the content of polyphenols and antioxidant activity, and also enhanced the antimicrobial activity of peel vinegar against *Staphylococcus aureus*.

Keywords: *Syzygium malaccense*; *Ananas comosus*; acetic fermentation; plant extract.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma da preparação do inóculo para as fermentações alcoólicas	26
Figura 2 - Fluxograma do preparo do inóculo para a fermentação acética	27
Figura 3 - Fluxograma do preparo do mosto.	28
Figura 4 - Fluxograma da produção dos vinagres	30

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Perfil das concentrações de etanol (▲), açúcares redutores totais (■) e células de levedura (●) no decorrer das fermentações alcoólicas da polpa (A) e cascas (B) de abacaxi..... 40

Gráfico 2 – Perfil da conversão etanol – ácido acético no decorrer da acetificação dos vinhos de polpa (A) e cascas (B) de abacaxi. Conteúdo de etanol (●) e ácido acético (▲)..... 49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fenólicos totais e atividade antioxidante no extrato de folhas de jambo-vermelho.....	39
Tabela 2 - Parâmetros fermentativos das fermentações alcoólicas.....	42
Tabela 3 - Parâmetros físico-químicos dos fermentados alcoólicos de polpa e cascas de abacaxi..	43
Tabela 4 - Parâmetros físico-químicos dos vinagres de polpa e cascas de abacaxi	51
Tabela 5 - Potencial antimicrobiano e antifúngico dos vinagres	58

LISTA DE EQUAÇÃO

(1).....	29
(2).....	32
(3).....	32
(4).....	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANAV	Associação nacional das indústrias de vinagre
Y%	Percentual de consumo de substrato
Y _{P/S}	Rendimento em etanol
μmáx	Velocidade máxima específica de crescimento
Q _p	Produtividade volumétrica em etanol
Q _s	Velocidade Global de consumo de substrato
D	Eficiência das fermentações alcoólicas
P _F	Produção final
ART	Açúcares redutores totais
mL	Miligrama
pH	Potencial hidrogeniônico
°C	Graus Celsius
CIELAB	Espaço de cor L*a*b*
CLAE	Cromatografia líquida de alta eficiência
L	Litro
min	<i>Minuto</i>
μL	Microlitro
g	Gramas
h	Hora
DNS	Ácido dinitrosalicílico
HCL	Ácido clorídrico
NaOH	<i>Hidróxido de sódio</i>
L	Litro
Na ₂ CO ₃	Carbonato de sódio
Nm	Nanometro
Ppm	Parte por milhão
Mg	Miligrama por litro
GAE	Ácido gálico
CLAE-DAD	cromatografia líquida de alta eficiência com detector" photodiodearray
mM	Milimol
UV/vis	Ultra violeta visível
DPPH	2,2-difenil-1-picrilhidrazil.
TE	Trolox
μmol	Micromol

ABTS	2,20-azino-bis (ácido. 3-ethylbenzthiazoline-6-sulfônico)
FRAP	Método de redução do íon férrico
TPTZ	2,4,6-Tris(2-Pyridyl)-S-Triazine
C*	Croma
ΔE	Diferença total de cor entre as amostras
ΔL	Diferença de luminosidade
Δa^*	Diferença de vermelho e verde
Δb^*	Diferença de amarelo e azul
a^*	Coordenada de cor +a = vermelho e -a=verde
b^*	Coordenada de cor +b-amarelo e -b=azul
CLSI	Instituto de padrões clínico e laboratório
ATCC	Coleção de cultura americana
CMI	Concentração mínima inibitória
CBM	Concentração bacteriana mínima
UFC	Unidades formadoras de colonia
FeSO ₄	Sulfato de ferro
V	Volume
Kg	Kilograma
m ³	Metro cúbico
h°	Ângulo hue
m	Massa
t	Tempo
VinP	Vinho Polpa
VinC	Vinho Cascas
VP	Vinagre Polpa
VC	Vinagre Cascas
VP _{Ext}	Vinagre Polpa com Extrato
VC _{Ext}	Vinagre Cascas com Extrato
nd*	não detectado
<Ld	abaixo do Limite de detecção
V _{Com}	Vinagre Comercial
PA	Antimicrobiano Padrão
CFM	Concentração Fungicida Mínimica

LISTA DE SÍMBOLOS

®	Marca comercial
+	Soma
Δ	Varição
-	Subtração
x	Multiplicação
.	Multiplicação
%	Porcentagem

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	OBJETIVOS	18
2.1	Objetivo geral	18
2.2	Objetivos específicos	18
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
3.1	Vinagre: histórico e contextualização.	19
3.2	Vinagres de frutas	21
3.3	Jambo-vermelho: <i>Syzygium malaccense</i> (L.) Merry & perry	23
4	PROCEDIMENTO EXPERIEMENTAL	25
4.1	Obtenção do extrato de jambo-vermelho	25
4.2	Produção dos inóculos para as fermentações alcoólicas e oxidação acética	25
4.3	Preparo do mosto e fermentação alcoólica	27
4.5	Metodologia analítica	30
4.5.1	Determinação do pH e sólidos solúveis totais.....	30
4.5.2	Determinação das concentrações celulares.....	31
4.5.3	Determinação da acidez total.....	31
4.5.4	Determinação de resíduos minerais (cinzas) e extrato seco total e reduzido.	31
4.5.5	Densidade relativa e teor de dióxido de enxofre total e livre.....	31
4.5.6	Determinação de etanol e ácidos orgânicos	32
4.5.7	Quantificação de açúcares redutores totais e compostos fenólicos totais	33
4.5.8	Conteúdo de fenólicos totais.....	33
4.5.9	Análise de ácidos fenólicos, polifenóis e flavonoides.....	34
4.5.10	Determinação da atividade antioxidante	34
4.5.11	Avaliação da cor.....	36
4.5.12	Avaliação antimicrobiana dos vinagres	36
4.5.13	Análise estatística	37
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
5.1	Compostos fenólicos e potencial antioxidante do extrato de jambo-vermelho	39
5.2	Perfil fermentativo na produção dos vinhos de polpa e casca de abacaxi	40
5.3	Caracterização físico-química dos fermentados alcoólicos	43
5.4	Fermentação acética e caracterização dos vinagres	48

5.5	Atividade antimicrobiana	56
6	CONCLUSÕES	59
	REFERÊNCIAS	60

1 INTRODUÇÃO

Vinagre é um condimento utilizado não só como tempero, mas na conservação da cor, odor e qualidade de alimentos processados como ketchup, mostarda e molhos. Na Europa além do setor alimentício, o vinagre também é utilizado na limpeza de ambientes, neutralização de odores, eliminação de ácaros, remoção de incrustações de objetos domésticos, entre outras finalidades.

A produção de vinagre ocorre através de dois processos biotecnológicos tradicionais. O primeiro corresponde à fermentação alcoólica conduzida por leveduras do gênero *Saccharomyces*, as quais convertem os açúcares fermentáveis do mosto em etanol. O segundo processo envolve a oxidação do etanol em ácido acético por bactérias ácido-acéticas, em especial dos gêneros *Acetobacter* e *Gluconobacter*.

Vinagres podem ser obtidos a partir de diferentes matérias-primas, como frutas, cereais, mel e etanol, podendo o produto também ser produzido a partir da mistura destas.

São produzidos por três processos: francês, gerador e o submerso. Os vinagres mais utilizados no Brasil são os obtidos do etanol, vinho e fermentado de maçã. Os vinagres de frutas têm chamado atenção da população brasileira nos últimos anos, devido a seus efeitos funcionais relacionados com atividade antioxidante, antimicrobiana, antialérgica e hepatoprotetora. Outro aspecto relevante sobre a produção de vinagres de frutas, é a possibilidade do aproveitamento do excedente da produção de frutas e o aproveitamento de resíduos como cascas e talos.

As frutas cítricas são bons exemplos de matérias-primas devido ao valor nutricional, incluindo os conteúdos de vitamínicos e minerais e substâncias polifenólicas. Dentre as frutas cítricas, o abacaxi é um bom exemplo considerando sua produção e consumo no Brasil. O consumo desta fruta na forma minimamente processada, de sucos industrializados ou *in natura* tem crescido nos últimos anos e com isso aumenta também a geração de resíduos orgânicos constituídos basicamente por cascas e bagaço. Tais resíduos, no entanto, ainda apresentam certo conteúdo de açúcares e são ricos em compostos bioativos e, portanto, poderiam ser aproveitados para a obtenção de novos produtos, incluindo vinagres.

Uma estratégia ainda pouco explorada pela indústria é o enriquecimento do

conteúdo de compostos funcionais nos vinagres, o que pode ser feito pela adição de extratos vegetais ricos em compostos bioativos. Neste contexto, o jambo-vermelho (*Syzygium malaccense*), rico em bioativos, é uma das plantas cujo o extrato poderia ser utilizado como ingrediente no enriquecimento da qualidade de vinagres tipo *gourmet*. As folhas de jambo-vermelho são ricas em flavonoides como catequina, mearnsitrina, miricitrina e quercitina, além das antocianinas cianidina 3,5-diglucosídeo, cianidina 3-glicosídeo e peonidina 3-glucosídeo.

O presente estudo teve como objetivo a elaboração e caracterização de vinagres de polpa e cascas de abacaxi acrescido de extrato de folhas de jambo-vermelho, buscando o desenvolvimento de um produto inovador e rico em bioativos a partir de subprodutos agroindustriais.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Aproveitar tecnologicamente a polpa e as cascas de abacaxi (*Ananas comosus*) na produção de vinagres *gourmets* enriquecidos com extrato de folhas de jambo-vermelho (*Syzygium malaccense*).

2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar o conteúdo de fenólicos totais, potencial antioxidante e compostos bioativos do extrato de folhas de jambo-vermelho;
- Produzir fermentados alcoólicos da polpa e das cascas de abacaxi por fermentação descontínua, avaliando os parâmetros cinéticos do processo;
- Produzir vinagres de polpa e cascas de abacaxi pelo processo lento (Orleans) caracterizando e avaliando a eficiência do processo;
- Caracterizar os fermentados alcoólicos quanto aos parâmetros físico-químicos de qualidade, fenólicos totais, compostos bioativos e potencial antioxidante;
- Acrescentar o extrato de folhas de jambo-vermelho (*Syzygium malaccense*) nos vinagres produzidos e caracterizar os vinagres brutos e enriquecidos quanto ao conteúdo de fenólicos totais, compostos bioativos, atividade antioxidante, parâmetros de cor (CIELAB) e atividade antimicrobiana.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Vinagre: histórico e contextualização.

A denominação vinagre é oriunda das palavras francesas *vin* e *aigre*, as quais significam vinho azedo, e corresponde a um produto líquido que contém quantidades específicas de ácido acético e água (BEKATOURO, 2019). Segundo a legislação brasileira, vinagres podem ser obtidos a partir de frutas, vegetais, cereais, mel, álcool ou a partir da mistura de tais matérias-primas. O produto deve conter acidez volátil mínima de 4 g/100 mL expressa em ácido acético, sua graduação alcoólica não pode exceder a 1°GL e deve ser pasteurizado (BRASIL, 2012).

Para a produção do vinagre, é necessário ocorrer dois processos bioquímicos sequenciais onde atuam diferentes micro-organismos. O primeiro processo envolve a fermentação alcoólica, que é um processo anaeróbico e exotérmico onde os açúcares fermentescíveis são convertidos em etanol pela ação de leveduras do gênero *Saccharomyces*. Na segunda etapa, ocorre a acetificação, ou seja, a oxidação do etanol a ácido acético pela ação de bactérias do gênero *Acetobacter* (HO *et al.*, 2017).

Há cerca de 5000 anos indianos, babilônios, gregos, egípcios e persas já conheciam o vinagre e utilizavam este como tempero e na preservação de carnes e vegetais. Há relatos que os antigos romanos bebiam água com vinagre para saciar a sede e o utilizavam como medicamento e cosmético, atualmente os vinagres são muito utilizados na culinária, como conservantes de legumes e carnes, além de serem utilizados em alimentos processados como ketchup, mostarda, maionese e molhos (BEKATOURO, 2019). No Brasil, a principal utilização do vinagre é como tempero de saladas, sendo consumido em média por habitante, 0,8 litros por ano. Na Europa, o consumo médio de vinagre é de 1,8 litros por ano, não sendo utilizado apenas como tempero, mas também na limpeza, para desengordurar e neutralizar odores (SINGH, 2020).

O vinagre possui inúmeros benefícios à saúde, como a redução dos níveis de açúcar no sangue, aumentando a captação da glicose, auxilia na digestão dos alimentos, pois altera a forma de absorção no intestino, além de auxiliar na saciedade, aumentando a energia e auxiliando também para evitar o mal hálito (THINATHAYALAN *et al.*, 2019).

Além destes benefícios à saúde, vários estudos reportam o seu potencial antioxidante, antitumoral e antimicrobiano. Estudos realizados com vinagre de maçã examinaram a atividade antibacteriana, e puderam constatar que o vinagre de maçã possui uma atividade bactericida de 100% para *E. coli* e *S. aureas* e atividade bacteriostática de 100% para *E. coli* (KALABA; MARJANOVIĆ BALABAN; KALABA, 2019), também foi observado a atividade do vinagre de maçã em comparação ao hipoclorito de sódio 5%, observando que o vinagre é tão eficaz quanto, em colônias de *E. faecalis* e *C. albicans* (MOHANTY; RAMESH; MURALIDHARAN, 2017).

Mohanty Ramesh e Muralidhran (2017) observaram os efeitos potenciais do vinagre de abacaxi em camundongos obesos e constataram que a alta concentração de vinagre de abacaxi restaurou o perfil lipídico, reduziu o peso corporal, diminuiu o estresse oxidativo e aumentou a atividade antioxidante, além de observar uma regulação significativa em genes relacionados a inflamação.

Coelho *et al.*, (2017) comparou as propriedades funcionais de 4 vinagres produzidos de concentrados de frutas diferentes (laranja, manga, cereja e banana) em relação ao vinagre de sidra, e pode constatar que a atividade antioxidante de todos foi maior em comparação ao vinagre de sidra comercial.

Bhat, Akhtar e Amin (2019) citam em seu artigo, um estudo em que o vinagre de *Kurosu*, possui propriedades antitumorais a qual inibe a proliferação de células cancerosas de adenocarcinoma de cólon, carcinoma do pulmão, adenocarcinoma de mama, carcinoma de bexiga e próstata, de maneira independente da dose.

Existem três principais processos de produção de vinagre. O processo lento também chamado de método francês ou processo de Orleans; o processo gerador (rápido) e o submerso (MIRANDA *et al.*, 2020).

O processo lento ou de Orleans consiste na fermentação lenta do vinho em recipientes de madeira semicheios com uma alta relação diâmetro/altura para que ocorra o contato do vinho com o ar. Através deste contato, as bactérias acéticas convertem o etanol em ácido acético. Como o vinho permanece em repouso, ocorre a formação de um biofilme, conhecido como “mãe do vinagre”. Este método pode requerer até alguns meses para que o vinagre fique pronto, sendo utilizado em produções artesanais, pois geram altos custos em função do tempo de produção (BEKATOURO, 2019).

No processo gerador, a produção ocorre em um recipiente gerador que possui

uma tela o separando em duas partes, na parte superior ocorre a fermentação e possui as bactérias ácido acéticas em aparas de madeira, o ar então passa da tela para a parte superior, aumentando a taxa de fermentação, e então é filtrado para a parte inferior onde é coletado o vinagre (HO *et al.*, 2017).

No método submerso, grandes quantidades de vinagre são produzidas em fermentadores de ácido inoxidável com capacidades que variam de 10 a 40 mil litros. O processo envolve a suspensão das bactérias acéticas no meio de cultivo através de um sistema de aeração adequado as demandas de oxigênio de tais bactérias. Envolve ainda sistemas de resfriamento, de controle de espuma, e válvulas de carga e descarga. Este processo é constituído por três principais etapas, as quais incluem o carregamento do reator com a matéria prima (fermentado alcoólico), inoculação e oxidação acética. No final do processo, parte do produto oxidado é descarregado do fermentador e parte permanece no tanque de fermentação para o próximo ciclo (BEKATOURO, 2019; HO *et al.*, 2017).

Budak, Guzel-Seydim (2010) avaliaram a influência do processo de produção de vinagres de vinho, comparando os processos lento e o submerso sobre a influência nas atividades antioxidantes. Estes pesquisadores concluíram que o processo lento levou à obtenção de um produto com maior quantidade de compostos antioxidantes que o método submerso.

3.2 Vinagres de frutas

De acordo com a Associação Nacional das Indústrias de Vinagre (ANAV, 2020), o vinagre mais consumido no Brasil é o vinagre de álcool, seguido pelos vinagres de vinho, balsâmico e de frutas. Entre os vinagres de fruta, o mais consumido é o de maçã, entretanto conforme a ANAV, o consumo deste não está relacionado especificamente ao sabor e sim ao seu custo, uma vez que o consumidor desconhece de maneira geral, a diversidade, características e benefícios dos vinagres de frutas.

Existe grande variedade de vinagres de frutas, os quais são produzidos principalmente a partir da polpa e dos resíduos gerados no processamento das frutas. O Brasil é um grande produtor de frutas, porém parte destas acabam sendo descartadas por não apresentarem padrões de qualidade exigidas pelo comércio (CHEN *et al.*, 2017). As frutas descartadas geram resíduos orgânicos que necessitam

de tratamento e correspondem a desperdícios inaceitáveis em relação a necessidade global de produção sustentável. Há possibilidade de vários resíduos do processamento de frutas serem utilizados na fabricação de vinagres, uma vez que estes possuem açúcares, pigmentos, aromas, entre outros constituintes (RODA *et al.*, 2017).

Um dos tipos de frutas que mais atraem a indústria vinagreira, são as frutas cítricas, graças à sua popularidade e seus valores nutricionais, sendo estas ricas em fitoquímicos (flavonoides, cumarinas e limonóides) que contribuem para a prevenção de inúmeras doenças (CHEN *et al.*, 2017; LIMA; SOUZA; OLIVEIRA, 2017).

O abacaxi (*comosus* (L.) Merrill) tem sido utilizado na produção de vinagres. É uma fruta monocotiledônea da família das bromeliáceas, adaptável ao clima tropical e aceita mundialmente por agradar o paladar e o olfato da população (FARID HOSSAIN, 2017; LIMA; SOUZA; OLIVEIRA, 2017).

A produção mundial de abacaxi está concentrada principalmente na Costa Rica, Brasil, Filipinas e China, sendo o Brasil responsável por cerca de 40 milhões de toneladas de fruta por ano, estando entre os principais fornecedores mundiais desta fruta (REINHARDT *et al.*, 2018, CHAUDHARY *et al.*, 2019). Segundo o levantamento sistemático da produção agrícola (ESTATÍSTICA, 2017), no Brasil os maiores produtores são os estados da Paraíba, em primeiro lugar com uma produção de 337,8 milhões de frutos, seguido por Minas Gerais com produção de 236,3 milhões de frutos e o Pará com 225 milhões de frutos. Ainda, segundo este levantamento sistemático da produção agrícola (ESTATÍSTICA, 2017), a produção brasileira de abacaxi entre 2012 e 2018 foi de 11,9 bilhões de frutos, sendo as cultivares Pérola e Smooth Catenne (Hawaii) as mais produzidas, pela demanda em função de possuírem polpa suculenta e saborosa (LIMA; SOUZA; OLIVEIRA, 2017; CONAB, 2020)

As principais formas de consumo do abacaxi incluem a fruta *in natura* ou cozida e como sucos naturais. Na indústria alimentícia, o abacaxi é utilizado para produção de diversos produtos derivados, como sucos industrializados, xaropes, geleias e vinagres, gerando como resíduos cascas, talos, coroas e cilindros os quais são comumente destinados à ração animal (FARID HOSSAIN, 2017).

O abacaxi fresco possui em torno de 60 % de porção comestível, contendo 13 a 19% de açúcares (frutose, glicose, sacarose), 25 a 30% dos compostos nitrogenado são proteínas, o ácido cítrico é o mais abundante presente, 80 a 86% de umidade,

0,5% de cinzas, 0,1% de gordura, 2 a 3% de fibras, vitaminas A e C, antioxidantes principalmente flavonoides, ácido cítrico e ascórbico (SARKAR; NAYAK; CHAKRABORTY, 2018). Meia xícara de suco de abacaxi possui em média 50% da recomendação diária de vitamina C, além de possuir inúmeros minerais essenciais como manganês para a formação óssea e ativação de algumas enzimas, a fruta ainda auxilia na manutenção adequada da pressão arterial, frequência cardíaca e aumento de potássio, fósforo e sódio (CHAUDHARY; KUMAR; SINGH, 2019).

3.3 Jambo-Vermelho: *Syzygium malaccense* (L.) Merry & Perry

A *Syzygium malaccensis* (L.) Merr. & Perry pertence à família *Myrtaceae*, tem origem asiática, mais precisamente na Índia e Malásia, sendo atualmente também encontrada na Austrália, Caribe e Brasil. No Brasil é popularmente conhecido como Jambo-Vermelho, pommerac, maçã da montanha, maçã malaia, malaia rosa, nakavita, jambu merah, jambu bol, jambo, caju otaheite. Essa espécie possui crescimento rápido e pode atingir de 12 a 15 metros de altura, com tronco reto e copa piramidal ou cilíndrica (Fotografia 1), sendo utilizada ornamentalmente pela beleza, e podendo florescer de 2 a 3 vezes ao ano no Brasil e Caribe (FERNANDES; RODRIGUES, 2018).

Fotografia 1 - Jambo vermelho (*Syzygium malaccense* (L.) Merry & Perry).



Fonte: Fernandes; Rodrigues (2018).

Os frutos do Jambo possuem forma de pera, pesam em média 39 g e tem 5 a 10 cm de comprimento e 2 a 8 cm de largura. O epicarpo é liso e ceroso com coloração

variável conforme o amadurecimento, seu mesocarpo e endocarpo são esbranquiçados e suculentos, possuindo apenas uma semente castanho-claro por fruto, a qual tem em média 2 cm de diâmetro com formato arredondado. A fragrância do seu fruto é semelhante a rosas com sabor similar a maçãs, o que justifica seus nomes populares (BATISTA *et al.*, 2017; FERNANDES; RODRIGUES, 2018).

O Jambo possui seu período de frutificação entre os meses chuvosos, com safra prolongada e uma média de produção de 450 a 1200 frutos (GIBBERT, BERTIN, KRUGER, 2017). Suas folhas são pecioladas, opostas e elípticas com aproximadamente 15 a 45 cm de comprimento e 9 a 20 cm de largura e uma grande quantidade de flores vermelhas, levemente perfumadas (BATISTA *et al.*, 2017; FERNANDES; RODRIGUES, 2018).

Pesquisas relatam a utilização do jambo como antimicrobiano, antioxidante, antitumoral (CHUA *et al.*, 2019).

Purushothaman *et al.*, (2015) realizaram estudos empregando o método de difusão de disco de Kirby Bauer, para observar a atividade antibacteriana do extrato de jambo, contra *Proteus mirabilis* e antifúngica em *Candida albicans*, e observaram que o extrato vegetal foi eficaz contra ambos os microrganismos. Arumugam *et al.*, (2014) avaliaram as propriedades antioxidantes dos extratos da folha de *S. malaccense* quanto a capacidade de eliminação dos radicais DPPH, ABTS, NO, verificando elevado potencial de captura dos radicais DPPH e ABTS, e menor atividade de eliminação de óxido nítrico (NO).

Os extratos de Jambo-Vermelho também possuem atividades antitumorais, estudos encontraram nos extratos de cascas as antocianinas cianidina-3,5-di-*o*-glicosídeo, cianidina-3-glicosídeo e peonidina-3-glicosídeo, as quais demonstram um efeito significativo na redução da proliferação da célula cancerígena HepG2 (VUOLO *et al.*, 2019).

4 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

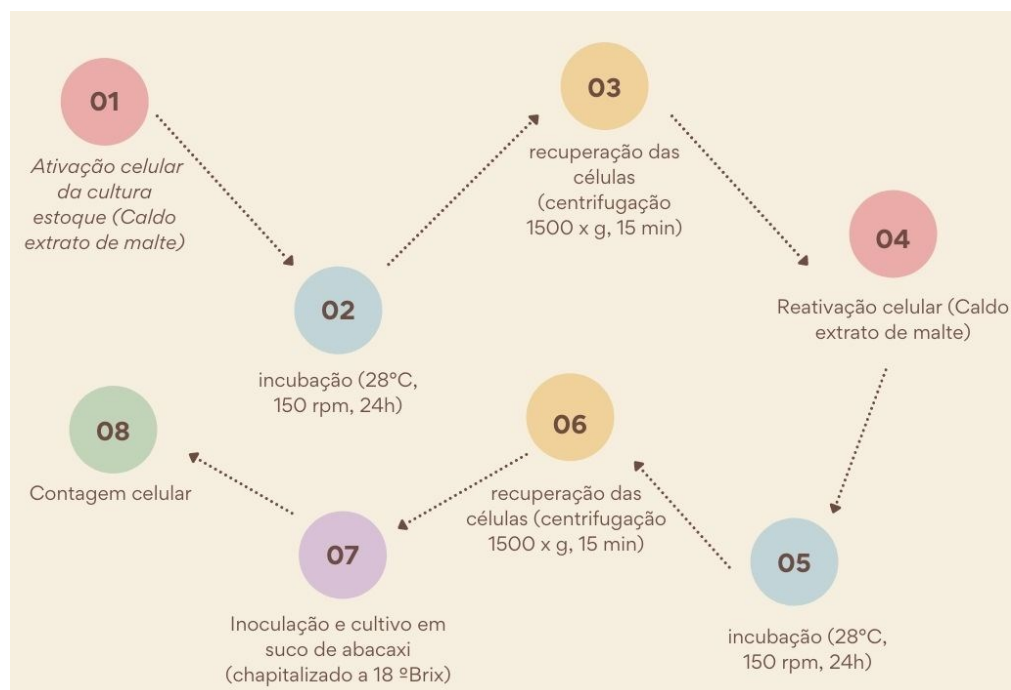
4.1 Obtenção do extrato de jambo-vermelho

O extrato das folhas de jambo-vermelho foram obtidos seguindo a metodologia descrita por SAVI *et al.*, (2020). Uma massa de 160 g de folhas trituradas e liofilizadas foram submetidas a extração hidroalcoólica com 2 L de etanol/água (40:60 v/v) em banho termostaticado a 80°C por 45 min. O extrato obtido foi concentrado em rotaevaporador para eliminação do etanol e, então liofilizado (rendimento de 30 g de extrato bruto). O extrato liofilizado foi caracterizado quanto ao conteúdo de fenólicos totais e potencial antioxidante.

4.2 Produção dos inóculos para as fermentações alcoólicas e oxidação acética

A levedura comercial *Saccharomyces cerevisiae* r.f. *bayanus* (Fermol Perlage, AEB Bioquímica Latino Americana SA) foi empregada nas fermentações alcoólicas. A levedura liofilizada foi reidratada e cultivada em meio caldo extrato de malte (20 g/L extrato de malte, 1 g/L peptona e 20 g/L de glicose) em frascos Erlenmeyer de 250 mL (100 mL de meio de cultivo) em incubadora orbital (shaker) a 28 °C, 150 rpm por 24 horas (Figura 1). As células cultivadas foram recuperadas por centrifugação (1500 x g, 15 min), lavadas com solução salina e transferidas para frascos contendo 90 mL de meio extrato de malte novo e cultivada por 12 horas (28 °C, 150 rpm). As células do pré-inóculo foram recuperadas por centrifugação (1500 x g, 15 minutos), lavadas e ressuspensas em 300 mL de suco de abacaxi, de forma a ser obtida uma concentração de 1×10^6 células/mL que foi utilizada como inóculo na fermentação alcoólica.

Figura 1 - Fluxograma da preparação do inóculo para as fermentações alcoólicas

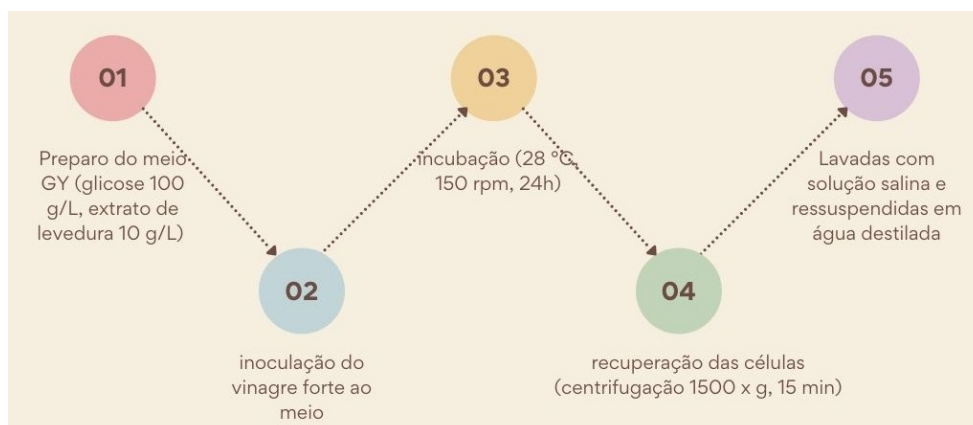


Fonte: Autoria própria (2021).

Nas fermentações acéticas foi empregado como inóculo cultura selvagem de bactérias acéticas isoladas de vinagre colonial não pasteurizado (vinagre forte) adquirido no município de Pato Branco, Paraná. Volume de 10 mL de vinagre colonial foi transferido para frascos Erlenmeyer de 100 mL contendo 90 mL de meio GY (glicose 100 g/L, extrato de levedura 10 g/L) suplementado com 100 mg/L de natamicina para inibir o crescimento de leveduras e bolores. O meio foi mantido em incubadora orbital (shaker) por 24 horas, 150 rpm de agitação e 28 °C de temperatura (Figura 2).

As células cultivadas foram separadas do meio por centrifugação (1500 x g, 15 min), lavadas com solução salina esterilizada (0,9 g de NaCl/100 mL), e ressuspensa em 20 mL de água destilada.

Figura 2 - Fluxograma do preparo do inóculo para a fermentação acética



Fonte: Autoria própria (2021).

4.3 Preparo do mosto e fermentação alcoólica.

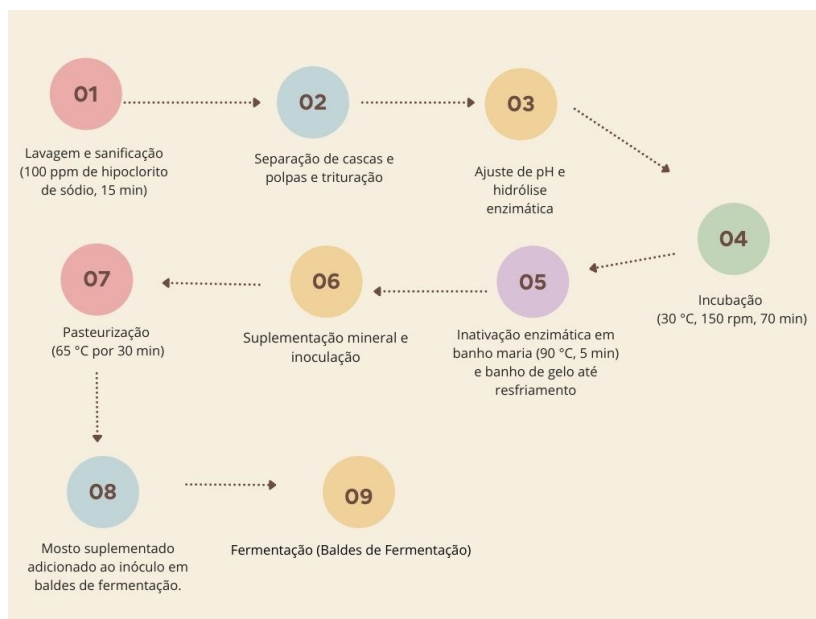
Os abacaxis foram lavados e sanificados com solução de hipoclorito de sódio (100 ppm) com tempo de contato de 15 minutos. Em seguida os abacaxis foram descascados e a polpa separada das cascas.

As cascas foram cortadas em tiras e processadas em liquidificador doméstico, sendo utilizada uma proporção de 1:3 (m/v) entre cascas e água potável. A polpa foi cortada e cubos e triturada em liquidificador na velocidade máxima até completa liquefação. Os pHs dos caldos foram ajustados para 4,00 com solução de NaOH 1 mol/L e submetido a hidrólise enzimática.

Na hidrólise foi utilizado o complexo enzimático Pectinex Ultra SP-L® (3300 PGNU/mL) na proporção de 150 mL/1000 kg de cascas ou polpa, temperatura de 30 °C, tempo de 70 minutos e 150 rpm em incubadora orbital (shaker). Após a hidrólise, os caldos foram aquecidos a 90 °C por 5 minutos em banho-maria e resfriados em banho de gelo para inativação enzimática.

Os teores de sólidos solúveis totais dos caldos foram corrigidos (chaptalizado) com sacarose para 18 °Brix. Os mostos chaptalizados foram pasteurizados a 65 °C por 30 min e resfriados a temperatura ambiente e suplementados com composto ativador de crescimento de leveduras: Enovit (30g / hL). As fermentações foram conduzidas em baldes de fermentação de 15 L, com um volume de trabalho de 3,0 L, temperatura de 28°C e condições estáticas. Nas fermentações foram utilizados 2700 mL de mosto suplementado e 300 mL de inóculo (pé-de-cuba: 2×10^6 cel./mL) em cada batelada conforme Figura 3.

Figura 3 - Fluxograma do preparo do mosto



Fonte: Autoria própria (2021).

As fermentações foram acompanhadas por amostragens a cada 24 horas e determinações de sólidos solúveis totais (°Brix), pH, acidez total, conteúdo de açúcares redutores totais, etanol e concentração de células. Os vinhos obtidos também foram caracterizados quanto à acidez, conteúdo de fenólicos totais, bioativos e atividade antioxidante.

Os parâmetros fermentativos das fermentações alcoólicas foram determinados no final de cada batelada. Foram determinados o percentual de consumo de substrato ($Y\%$), rendimento (ou fator de conversão) em etanol ($Y_{P/S}$), produtividade volumétrica em etanol (Q_P), velocidade global de consumo de substrato (Q_S) e eficiência das fermentações alcoólica (η). O percentual de consumo de substrato foi determinado pela relação entre a diferença do conteúdo inicial de açúcares redutores totais (ART) e açúcares residuais pelo conteúdo de ART inicial; rendimento em etanol foi determinado pela relação entre conteúdo de etanol produzido e o conteúdo de substrato consumido; a produtividade volumétrica foi obtida pela relação entre o conteúdo de etanol produzido e o tempo de fermentação; a velocidade global de consumo de substrato foi determinada pela relação entre o consumo global de substrato e o tempo de fermentação; a eficiência da fermentação foi determinada pela relação entre o rendimento prático (experimental) e o rendimento

teórico em etanol (0,511 g/g), segundo a estequiometria da reação (FONSECA *et al.*, 2018).

As velocidades máximas de crescimento celular durante as fermentações alcoólicas foram calculadas a partir do coeficiente angular da curva do logaritmo neperiano do conteúdo de células na fase exponencial de crescimento com o tempo, de acordo com a Equação 1.

$$\ln(X) = \ln(x_0) + \mu t \quad (1)$$

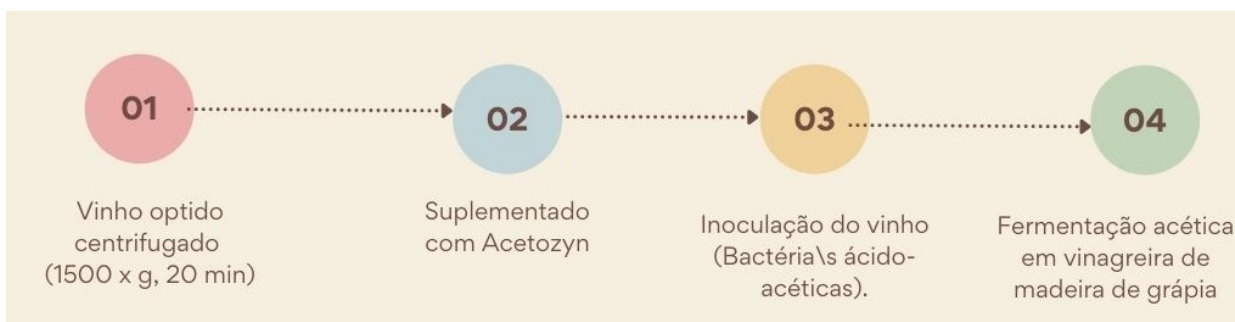
Em que, X é a concentração celular no final da fase exponencial de crescimento celular (fase log), X_0 é a concentração celular no início da fase Log, μ é a velocidade específica máxima de crescimento celular e t corresponde ao tempo da fase de crescimento exponencial do cultivo.

4.4 Fermentação acética

Após fermentação alcoólica, os vinhos obtidos foram separados da borra, cascas e polpa por centrifugação (1500 x g, 20 min), suplementados (1 g/L) com o complexo mineral Acetozyn® (Heinrich Frings GmbH & AMP; Co, USA) e transferido para vinagreiras de madeira grápia.

Os vinhos suplementados (1350 mL) foram inoculados com 150 mL de cultura de bactérias acéticas isoladas de vinagre colonial não pasteurizado (LIMA, 2014). O volume de trabalho foi de 1500 mL e as vinagreiras foram mantidas a temperatura de 25 °C durante a oxidação acética. A acetificação foi acompanhada pela determinação de pH, acidez total expressa em ácido acético (%) e conteúdo de ácido acético (g/L). No final das acetificações os vinagres foram recuperados centrifugação sob refrigeração (1500 x g, 30 min a 4°C) conforme Figura 4.

Figura 4 - Fluxograma da produção dos vinagres



Fonte: Autoria própria (2021).

Os vinagres produzidos foram enriquecidos com extrato liofilizado de *Syzygium malaccense* na proporção de 500 mg de extrato / Litro de vinagre e acondicionados em garrafas de vidro de 250 mL, as quais foram submetidas à pasteurização lenta em Banho Maria à 62 °C por 30 min. Todas as amostras de vinagre obtidas foram caracterizadas quanto ao pH, acidez total, resíduos minerais (cinzas), extrato seco reduzido, densidade, teor de óxido de enxofre total, teor de ácido acético e etanol, açúcares redutores totais, fenólicos totais, compostos bioativos, cor pelo sistema CIELAB (espaço de cor $L^* a^* b^*$, h° e C^*), atividade antioxidante e antimicrobiana. Os parâmetros eficiência da fermentação acética e produtividade volumétrica foram determinados no final da acetificação dos vinhos. Para o cálculo da eficiência da fermentação acética foi considerado o rendimento teórico em ácido acético (1g de etanol rende 1,304g de ácido acético). Como produtividade volumétrica foi considerado a relação entre a concentração final de ácido acético no vinagre e o tempo de acetificação.

4.5 Metodologia analítica

4.5.1 Determinação do pH e sólidos solúveis totais

Os pHs das amostras foram avaliados por leitura direta em pHmetro (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

Os sólidos solúveis totais foram determinados com refratômetro, utilizando amostras com temperaturas ajustada para 20 °C (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

4.5.2 Determinação das concentrações celulares

As concentrações celulares foram determinadas por contagem de leveduras em placas por diluição seriada. Meio ágar-sabouraud com clorofenicol foi utilizado como meio de cultura para o cultivo das leveduras.

4.5.3 Determinação da acidez total

A acidez total foi determinada por titulometria de neutralização utilizando solução de hidróxido de sódio 0,1 mol/L e ponto de viragem verificado em potenciômetro (pH 8.3) e expressa em ácido acético (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

4.5.4 Determinação de resíduos minerais (cinzas) e extrato seco total e reduzido.

Os resíduos minerais das amostras foram determinados gravimetricamente após incineração das amostras em forno mufla a 550 °C (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

Para determinação do extrato seco foram utilizadas 20 mL das amostras disposta em cápsulas metálicas de fundo chato, as quais foram aquecidas em estufa a 105 °C por 60 min, resfriadas em dessecador e pesadas. Em banho-maria foram evaporadas até o resíduo estar aparentemente seco (forma de xarope), este resíduo foi aquecido em estufa a 105 °C por mais uma hora, resfriado em dessecador e pesado até obter massa constante.

Através do resultado do extrato seco foi possível determinar o extrato seco reduzido através dos valores obtidos pelo extrato seco total subtraído dos açúcares totais.

4.5.5 Densidade relativa e teor de dióxido de enxofre total e livre.

As densidades foram determinadas pela relação entre o peso específico das amostras a 20 °C e o peso específico da água a 20 °C.

O teor de dióxido de enxofre total e livre foi determinado pelo método *Ripper* (titulométrico). Para quantificação de SO₂ total foi transferido 50 mL de vinho e 25 mL de solução de KOH 1 mol/L para frasco Erlenmeyer de 250 mL. A mistura foi deixada

em repouso por 15 minutos e na sequência foi adicionado 5 mL de solução de amido (1% m/v) e 10 mL de solução de H₂SO₄ (1:3 v/v) e a mistura foi titulada com solução de iodo 0,02 mol/L até coloração azul persistente. O conteúdo de SO₂ total foi calculado conforme Equação 2. O método consiste em liberar o anidrido sulfuroso combinado, tornando o meio alcalino e titulando posteriormente junto com o livre, por oxidação com iodo em meio ácido usando amido como indicador.

$$SO_2 \text{ total } \left(mg \frac{SO_2 \text{ total}}{\text{litro}} \right) = V \times M \times 32 \times \frac{1000}{V'} \quad (2)$$

Em que, V é volume da solução de iodo gasta, M = 0,02 mol/L (concentração da solução de iodo), 32 é massa molar do enxofre, 1000 corresponde à conversão para volume em litros e V' é o volume da amostra (50 mL).

Para a determinação do dióxido de enxofre livre, foi transferido para frasco Erlenmeyer (250 mL), um volume de 50 mL da amostra, 5 mL de ácido sulfúrico (1:3, v/v) e 5 mL de solução de amido 1% (m/v). A mistura foi titulada com solução de iodo 0,02 mol/L até o ponto de viragem (azul para vinhos branco e azul violeta para vinhos tintos). A partir do volume gasto na titulação foi calculado o teor de anidrido sulfuroso livre conforme Equação 3.

$$SO_2 \text{ livre } (mg \text{ } SO_2 \text{ livre/litro}) = V \times M \times 32 \times 1000/V' \quad (3)$$

4.5.6 Determinação de etanol e ácidos orgânicos

Os conteúdos de etanol, ácido acético e demais ácidos orgânicos presentes nas amostras dos fermentados alcoólicos e acéticos foram determinados por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE). Foi utilizado sistema cromatográfico VARIAN 920 LC, equipado detector de índice de refração e coluna HPX-87-H (Bio-Rad, Hercules, CA) mantida a 45°C, usando solução de ácido sulfúrico (0,005 mol/L) como eluente, taxa de fluxo de 0.4 mL/min e volume de amostra de 20 µL. As amostras foram adequadamente diluídas passadas em filtro CHOMAFIX 45 µm e posteriormente em SEP PACK C18. Os compostos foram identificados por comparação do tempo de retenção com padrões autênticos e quantificados por

integração das áreas dos respectivos picos.

4.5.7 Quantificação de açúcares redutores totais e compostos fenólicos totais

Os açúcares redutores totais foram quantificados usando o método do ácido dinitrosalicílico descrito por Miller (1959). Uma solução de ácido 3,5 dinitrosalicílico (DNS) foi preparada por meio da dissolução de 10,6 g de DNS e 19,8 g de hidróxido de sódio em 1416 mL de água destilada. Em seguida foi adicionado 306g de tartarato duplo de sódio e potássio, 8,3 g de metabissulfito de sódio e 7,6mL de fenol sob aquecimento a 50 °C até dissolução.

Foram transferidos para tubos de ensaio: 1,0 mL da amostra e 1,0 mL de HCl 2 mol/L, e a mistura foi incubada em banho-maria a 70 °C por 5 minutos para hidrólise dos açúcares. Após hidrólise, a mistura foi resfriada em banho de gelo, e neutralizada com 1,0 mL de NaOH 2 mol/L.

Um volume de 1 mL da mistura hidrolisada foi transferido para tubo de ensaio e adicionado 3 mL de solução de ácido 3,5 dinitrosalicílico. Esta mistura foi aquecida a 95° C por 5 minutos em banho-maria, resfriada e adicionados 16 mL de água destilada, e então foi procedida a leitura em espectrofotômetro a 540 nm. Para leitura do branco, a amostra foi substituída por água destilada (1 mL). Os resultados foram calculados através de correlação com curva padrão de glicose (0,01 mg/L, 0,02 mg/L, 0,04 mg/L, 0,06 mg/L, 0,08 mg/L, 0,1 mg/L).

4.5.8 Conteúdo de fenólicos totais

O conteúdo de fenólicos totais foi determinado pelo método de Folin-Ciocalteu, usando como padrão de referência o ácido gálico (SINGLETON V.L, ORTHOFER R, LAMUELA-RAVENTOS, 1999; WOOTTON-BEARD; MORAN; RYAN, 2011).

Em tubos de ensaio foram adicionados 0,2 mL da amostra, 1,8mL de água destilada, 10mL de Folin Cioalteau a 10% e 8 mL de Na₂CO₃ a 7,5% (m/v). A mistura foi mantida em repouso e ao abrigo de luz por 2 horas. A leitura foi realizada em espectrofotômetro UV/Visível U – 2800 Digilab a 765 nm. Como branco foi utilizada água em substituição da amostra. Uma curva padrão do ácido gálico 5 mg/L (10 ppm, 5 ppm, 50 ppm, 75 ppm e 100 ppm) foi constituída, os resultados foram obtidos por

regressão linear da curva padrão e expressos em equivalente em ácido gálico (GAE).

4.5.9 Análise de ácidos fenólicos, polifenóis e flavonoides

Os respectivos bio-compostos foram analisados por CLAE–DAD, usando o sistema cromatográfico 920 LC (Varian Inc., Walnut Creek, CA, USA), equipado com coluna C18. A coluna foi mantida a 30 °C durante a análise, o volume de injeção da amostra foi de 10 µL (vinho ou vinagre ou extrato de jambo-vermelho adequadamente diluído).

A fase móvel foi constituída por uma mistura gradiente de solução aquosa de ácido acético a 2% v/v (Solução A) e acetonitrila 40% v/v acidificado com solução aquosa de ácido acético a 2% (solução B) com vazão de 1 mL/min. O gradiente iniciou com 5% de solvente B ajustado para 20% em 2 min, 25% de B a 15 min; 85% de B a 25 min mantidos por 5 min; 20% de B aos 33 min; 5% de B aos 16 min com 8 min de uma etapa de condicionamento. As áreas de pico foram determinadas a 280 nm para ácido gálico, ácido vanílico e flavonóis: catequina e epicatequina; 300 nm para ácido cumárico e ácido salicílico; 320 nm para ácido caféico e ferúlico e 360 nm para flavonoides: rutina e quercetina.

4.5.10 Determinação da atividade antioxidante

O potencial antioxidante das amostras foi avaliado pelos métodos de captura dos radicais DPPH, ABTS e poder redutor de íon férrico (FRAP).

A capacidade de remoção do radical DPPH foi avaliada pelo método descrito Brand-Williams, Cuvelier e Berset, (1995). Em um tubo de ensaio foi adicionada 0,1 mL das amostras apropriadamente diluída e 3,9 mL de solução DPPH (2,2-difenil-1-picril hidrazinas) (0,025 g/L em metanol). Em seguida realizada a leitura da absorbância espectrofotômetro UV/ visível em 515 nm, como branco utilizado metanol. As leituras foram realizadas em dois tempos, o inicial e após 50 min, quando atinge seu estado estacionário.

Uma curva padrão usando Trolox (0,02 mmol/L, 0,06 mmol/L, 0,1 mmol/L, 0,14 mmol/L, 0,18 mmol/L e 0,22 mmol/L) foi preparada na mesma condição da amostra, ou seja, 0,1 mL de cada concentração de solução Trolox e 3,9 mL de solução DPPH (0,025 g/L) foram misturadas. Todas as determinações foram realizadas em triplicata.

O potencial de remoção do radical ABTS (ácido 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazoline)-6-sulfônico) foi avaliado conforme descrito por Rufino *et al.*, (2007) e Wootton-Beard, Moran, Ryan, (2011). Foram preparadas soluções de ABTS (7mmol/L) e persulfato de potássio (140 mmol/L). O radical ABTS foi obtido pela reação entre 5 mL da solução de ABTS com 88 μ L da solução de persulfato de potássio em tubo de ensaio mantido ao abrigo da luz em temperatura ambiente durante 16 horas. A solução do radical foi diluída em álcool etílico absoluto até atingir uma absorvância de 0,700 nm \pm 0,05 nm a 734 nm.

Em tubos de ensaio agitados em vórtex foram adicionados 30 μ L de cada amostra e 3 mL da solução de ABTS (2,2'-azinobis-3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico), as misturas foram agitadas em vórtex e permaneceram em repouso ao abrigo de luz por 6 minutos. As leituras foram realizadas a 734 nm em triplicata e os resultados obtidos por correlação com a curva padrão. Etanol absoluto foi utilizado como branco, as amostras analisadas foram as procedentes da extração com acetona e para o branco foi utilizado acetona. O mesmo procedimento foi utilizado para a construção de curva padrão, a qual foram preparadas diferentes concentrações de trolox (100 μ mol/L, 500 μ mol/L, 1000 μ mol/L, 1500 μ mol/L e 2000 μ mol/L).

Para avaliação do potencial redutor do íon férrico, foram preparados o reagentes FRAP pela mistura de 25 mL de solução tampão acetato de sódio (0.3 mol L⁻¹), 2,5 mL de solução de TPTZ (2,4,6-tris(2-piridil)-s-triazina; 10 mmol L⁻¹) e 2,5 mL de solução de cloreto férrico (20 mmol L⁻¹). Em tubos de ensaio foram pipetados 90 μ L das amostras diluídas, 270 μ L de água destilada e 2,7 mL (2700 μ L) de solução FRAP. Os tubos foram agitados em vórtex e incubados ao abrigo de luz a 37° C, por 30 min. As triplicatas foram lidas em um comprimento de onda de 595 nm. Como branco foi utilizado o reagente FRAP. O mesmo procedimento foi utilizado para a construção de curva padrão, porém foi substituído a amostra pela solução de sulfato ferroso (0,2 mmol/L, 0,5 mmol/L, 1,0 mmol/L, 1,5 mmol/L e 2,0 mmol/L).

4.5.11 Avaliação da cor

As amostras de vinho foram filtradas em filtros de membrana 0,45 µm e a cor foi analisada em colorímetro digital CR-410 (Konica Minolta, Japão) usando o espaço de cor CIELAB. Foram medidos os parâmetros luminosidade (L^*), as coordenadas de cromaticidade a^* e b^* e as coordenadas cilíndricas: h° (ângulo hue, tonalidade) e C^* (croma). As amostras após filtragem foram dispostas na cubeta do aparelho e as medidas foram tomadas na sequência. A diferença de cor entre as amostras foi determinada pela Equação 4.

$$\Delta E^* = (\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})^{1/2} \quad (4)$$

Sendo, ΔE a diferença total de cor entre as amostras; ΔL^* a diferença de luminosidade, Δa^* a diferença em vermelho e verde (+ = mais vermelho, - = mais verde) e Δb^* = diferença em amarelo e azul (+ = mais amarelo, - = mais azul).

4.5.12 Avaliação antimicrobiana dos vinagres

O potencial antimicrobiano das amostras foi avaliada através do método de difusão em disco de acordo com CLSI (CLINICAL AND LABORATORY STANDARDS INSTITUTE, 2015) e microdiluição em caldo para determinar a concentração mínima inibitória conforme descrito pelo Comitê Nacional de Padrões Laboratoriais Clínicos (NATIONAL COMMITTEE FOR CLINICAL LABORATORY STANDARDS, 2003).

Amostras de vinagre foram analisadas contra cepas bacterianas Gram-positivas (*Staphylococcus aureus* ATCC 25923 e *Bacillus subtilis* ATCC 19659), cepas Gram-negativas (*Salmonella enterica typhimurium* ATCC 0028 e *Escherichia coli* ATCC 25922) e leveduras (*Candida tropicalis* ATCC 13803 e *Candida albicans* ATCC 118804).

As cepas bacterianas foram cultivadas em caldo Mueller-Hinton e as leveduras em caldo Sabouraud, as concentrações celulares então foram padronizadas de acordo com a escala 0,5 MacFarland ($\pm 1,5 \times 10^8$ UFC/mL). Volume de 100 µL de suspensão de células de concentração padronizada foram inoculados por espalhamento em placas de Petri com Ágar Mueller-Hinton ou Sabouraud. Em seguida, discos de papel (5 mm) foram então impregnados (10 µL) com as amostras

de vinagre e distribuído nas superfícies das placas. Tetraciclina e fluconazol a 30 µg/mL foram utilizados como controles positivos para bactérias e fungos, respectivamente. Solução salina (0,9% v/v) foi usada como controle negativo. As placas de Petri foram incubadas a 37 °C por 24 h (bactérias) ou 28 °C por 72 h (leveduras), os diâmetros das zonas de inibição foram medidos com um paquímetro digital e os resultados expressos em mm.

A avaliação da concentração mínima inibitória (CMI) foi conduzida em placas de Elisa de 96 poços. Em cada poço foi adicionado um volume de 100 µL de caldo Mueller-Hinton (testes com bactérias) ou caldo Sabouraud com cloranfenicol (testes com leveduras) e 100 µL das amostras de vinagre em diluições seriadas (5 µL/mL a 50,5 µL/mL). Na sequência foi adicionado nos poços 20 µL de suspensão microbiana previamente padronizada pela escala de McFarland 0,5 ($1,5 \times 10^8$ UFC/ mL). As placas foram incubadas por 72 horas a 28 °C (leveduras) ou 37 °C (bactérias) por 24 h, e em seguida, 20 µL do corante TTC (Cloreto de 2,3,5-trifeniltetrazólio, 5 mg/mL) foi adicionado a cada poço para avaliar a presença de células viáveis. As placas foram lidas após 2 h e as células viáveis foram indicadas pelo aparecimento de coloração rosa no meio. Inativação celular foi indicada pela ausência de alteração na coloração do meio de cultivo.

Para a determinação da concentração bactericida mínima (CBM) ou concentração fungicida mínima (CFM), amostras dos poços com inibição microbiana foram inoculadas em placas de Petri contendo Ágar Muller-Hinton (MHA) para bactérias ou ágar Sabouraud-cloranfenicol para leveduras. As placas foram então incubadas em estufa bacteriológica a 28 °C (levedura) ou 37 °C (bactérias) por 24 h para verificar a possível atividade bactericida ou fungicida das amostras. Tetraciclina (bactéria) e fluconazol (levedura) na concentração de 1000 µg/mL foram utilizados como controle positivo. Solução salina (0,9% m/v) foi usada como controle negativo. A CMB ou CFM corresponderam a mais baixa concentração da amostra em que as bactérias (CMB) ou as leveduras (CFM) inoculadas foram mortas.

4.5.13 Análise estatística

Os resultados foram apresentados como média \pm desvio padrão e a distribuição normal das variáveis foi confirmada pelo teste Kolmogorov-Smirnov. Os

valores das variáveis estudadas nos vinhos de polpa e cascas foram comparados entre si pelo teste *t* de *Student* ($p < 0,05$), usando o programa GraphPad Prism® 8 (Copyright GraphPad Software, Inc.). Os resultados das variáveis estudadas nos vinagres foram submetidos a análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a um nível de significância de 5% ($p < 0,05$).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 compostos fenólicos e potencial antioxidante do extrato de jambo-vermelho

O extrato de folhas de Jambo-vermelho ainda é pouco utilizado, porém recentemente a literatura vem demonstrando que suas folhas são ricas em compostos fenólicos e flavonóides além de possuírem atividade antioxidante (SAVI *et al.*, 2020). A Tabela 1 apresenta resultados de conteúdo de fenólicos totais e potencial antioxidante encontrados no extrato de folha de jambo-vermelho acrescidos nos vinagres produzidos no presente trabalho.

Tabela 1 - Fenólicos totais e atividade antioxidante no extrato de folhas de jambo

Parâmetros	Valores encontrados
Fenólicos totais mg GAE/10g	385,4 ±0,03
Atividade antioxidante	
ABTS [#] μmol TE/10g	41,83 ±0,008
DPPH [#] μmol TE/10g	11,82 ±0,019
FRAP ^{##} μmol FeSO ₄ /10g	54,15 ±0,051

Notas: ¹ TE: Trolox equivalente; ² Fenólicos: via central; ³ GAE: Ácido gálico equivalente; ⁴ #Capacidade antioxidante total equivalente ao Trolox pelos métodos DPPH e ABTS; ⁴ ##Poder antioxidante redutor do íon férrico (FRAP).

Fonte: Autoria própria (2021).

Elevado conteúdo de fenólicos totais (385,4 mg GAE/10g) foi encontrado no extrato liofilizado de folhas de *Syzygium malaccense*. Valores superiores foram reportados por Batista *et al.* (2017) em extrato obtido com metanol (537,70 mg GAE/10g) e por Arumugam *et al.* (2014) em extrato obtido com etanol (1258,1mg GAE/10g). Diferentes parâmetros podem contribuir para a obtenção de extratos com diferentes conteúdos de fenólicos totais, incluindo aspectos genéticos da planta, época e período de colheita, condições agrônômicas relacionadas aos cultivos da planta, entre outros.

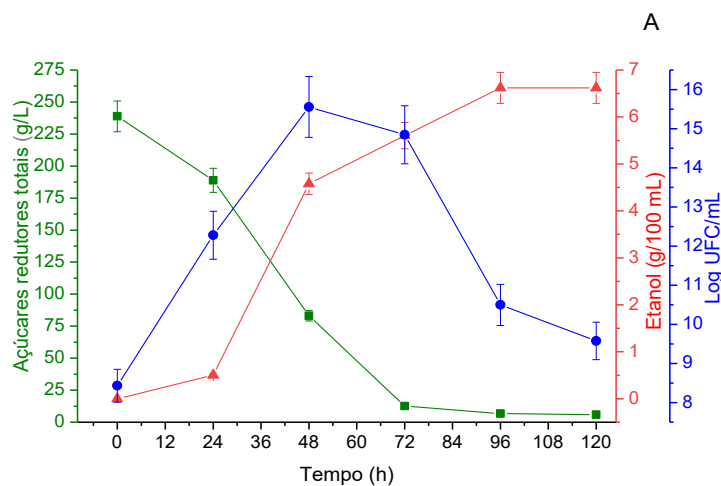
Compostos polifenólicos como flavonoides, ácidos fenólicos e taninos, são considerados os maiores contribuidores da atividade antioxidante das plantas medicinais, frutas e vegetais. A atividade antioxidante dos polifenóis é atribuída a suas propriedades redox, a qual permite eles atuarem como agentes redutores, doadores de hidrogênio, supressores de oxigênio singlete, bem como suas habilidades quelantes de metais (SAVITHA; PADMAVATHY; SUNDHARARAJAN, 2011). Neste contexto, apreciável potencial de captura dos radicais DPPH (11,82 μmol TE/10g) e

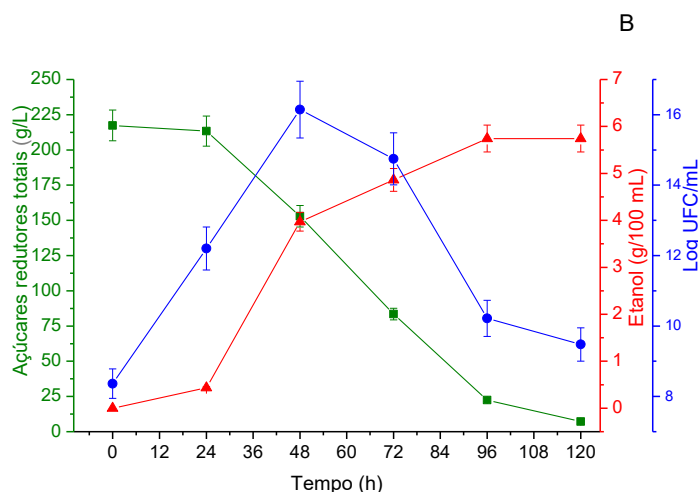
ABTS (41,83 $\mu\text{mol TE}/10\text{g}$) foram encontrados no presente trabalho. Similarmente, o extrato apresentou capacidade de redução do íon férrico de 54,15 $\mu\text{mol FeSO}_4/10\text{g}$. Os valores encontrados no presente estudo são bastante superiores aos reportados por Savi *et al.* (2020) em extrato similar (ABTS: 0,853 $\mu\text{mol TE}/\text{kg}$, DPPH: 0,666 $\mu\text{mol TE}/\text{kg}$, FRAP: 1,267 $\mu\text{mol TE}/\text{kg}$).

5.2 Perfil fermentativo na produção dos vinhos de polpa e casca de abacaxi

Os perfis das fermentações alcoólicas dos mostos a base de polpa e casca de abacaxi são mostrados nos Gráficos 1A e 1B. O tempo de fermentação foi fixado em 120 horas, quando não foi mais observado desprendimento de CO_2 e já havia ocorrido um consumo superior a 95% do conteúdo inicial de açúcares presentes nos mostos. Os inóculos empregados nas fermentações alcoólicas apresentaram elevada atividade celular tanto em relação ao crescimento, como consumo de substrato e atividade fermentativa.

Gráfico 1 – Perfil das concentrações de Etanol (\blacktriangle), açúcares redutores totais (\blacksquare) e células de levedura (\bullet) no decorrer das fermentações alcoólicas da polpa (A) e cascas (B) de abacaxi





Fonte: Autoria própria (2021).

A hidratação e cultivo do fermento comercial em caldo extrato de malte e posterior suspensão em suco de abacaxi permitiu a obtenção de um inóculo metabolicamente ativo, o que foi verificado pela ausência de fase LAG. Neste sentido, aumento linear na concentração de células de levedura foi verificado nas primeiras 48 horas de cultivo, quando as máximas concentrações celulares (\cong Log 16 UFC/mL) foram obtidas tanto no mosto a base de polpa (Gráfico 1A), como no mosto a base de cascas (Gráfico 1B).

O crescimento celular foi acompanhado por efetivo consumo de substrato e produção de etanol, especialmente nos cultivos com polpa de abacaxi. Em 72 horas de cultivo, nas fermentações com polpa, foi observado um consumo de 94,73% do substrato, acompanhado por uma produção de 56,04 g/L de etanol. Por outro lado, menores valores de assimilação de substrato (61,6%) e produção de etanol (48,61 g/L) foram verificadas nos mostos a base de cascas neste tempo de cultivo. No final das fermentações alcoólicas foram verificados valores similares de consumo global de açúcares reductores totais (ART) nos mostos com polpa (97,6%) e cascas (96,7%). A levedura empregada no presente trabalho também demonstrou valores de assimilação de substrato (96,5%) similares em mosto formulado com amora preta e mel (Fonseca *et al.* 2018).

Em relação ao acúmulo de etanol no meio fermentado, maiores quantidades foram verificadas nos mostos com polpa (66,2 g/L) em relação as fermentações com cascas (57,4 g/L). O perfil de assimilação de substrato pela levedura observado em 72 horas, sugere que as cascas hidrolisadas de abacaxi presentes no mosto dificultam

a assimilação dos açúcares. Tal comportamento pode estar relacionado a complexidade da composição das cascas. De fato, além dos açúcares fermentáveis (glicose, frutose, sacarose) as cascas apresentam elevados conteúdos de carboidratos estruturais (celulose, hemicelulose, pectina e lignina) (CAMPOS *et al.*, 2020), compostos fenólicos (CORNELIA; KRISTYANTI, 2018), alcaloides, flavonoides, taninos e saponinas e outros compostos secundários, os quais apresentam potencial antimicrobiano (LUBAINA; RENJITH; KUMAR, 2019; VH *et al.*, 2021).

Os parâmetros fermentativos dos cultivos com polpa e cascas de abacaxi estão descritos na Tabela 2. A determinação de tais parâmetros é importante para avaliar a eficiência e rendimento das fermentações alcoólicas permitindo o melhor entendimento e comparação dos processos.

Tabela 2 - Parâmetros fermentativos das fermentações alcoólicas

Parâmetros Fermentativos	Ensaio Fermentativo	
	VinP	VinC
Produção final (P_F)	66,2 g/L \pm 2,11	57,4 g/L \pm 1,88
Rendimento em etanol ($Y_{P/S}$)	0,28 g/g \pm 0,01	0,27 g/g \pm 0,01
Produtividade volumétrica em etanol (Q_P)	0,55 g/L.h \pm 0,03	0,48 g/L.h \pm 0,02
Velocidade global do consumo do substrato (Q_S)	1,94 g/L.h \pm 0,07	1,75 g/L.h \pm 0,05
Eficiência da fermentação alcoólica (η)	54,8% \pm 0,0	52,8% \pm 0,0
Percentual global de consumo do substrato (Y_C)	97,5% \pm 1,2	96,7% \pm 1,1
velocidade específica máxima de crescimento ($\mu_{máx}$)	0,37 h ⁻¹	0,34 h ⁻¹

Notas: ¹ VinP: Vinho de polpa; ¹ VinC: vinho de cascas de abacaxi.

Fonte: A autoria própria (2021).

Assim como observado com a assimilação dos açúcares fermentáveis, o conteúdo de etanol acumulado no final das fermentações foi 15,3% superior no caldo fermentado com polpa em relação ao fermentado com cascas. Similarmente, Alvarenga *et al.* (2015) reportaram que a adição de cascas de abacaxi em mostos formulados com a polpa, contribuiu para a redução da produção de etanol. Roda *et al.* (2017) e Chalchisa e Dereje (2021) também reportaram menores valores de produção de etanol em fermentados alcoólicos de mostos formulados com cascas de abacaxi (47,34 g/L e 47,02 g/L, respectivamente).

Importante observar que embora maior produção final de etanol seja obtida nos fermentados com polpa, os rendimentos em etanol foram similares nos

fermentados com polpa ($Y_{P/S}$: 0,28 g/g) e cascas ($Y_{P/S}$: 0,27 g/g). O percentual global de consumo de substrato (Y_C) também foi similar em ambas as condições de fermentação (97,5% e 96,7%). Da mesma forma, pouca diferença foi encontrada em relação aos valores do parâmetro eficiência de processo (η : 54,8% e 52,8%). Já em relação a velocidade global do consumo do substrato (Q_S), as fermentações com polpa apresentaram valores 10,9% superior aos encontrados nas fermentações com cascas. Corroborando com este perfil de assimilação de substrato, na fase exponencial de crescimento a velocidade específica máxima de crescimento da levedura foi um pouco superior nas fermentações com polpa ($\mu_{\text{máx}}$: 0,37 h⁻¹), sugerindo que nesta fase um percentual maior de substrato foi direcionado para crescimento celular nas fermentações com polpa, quando comparada as fermentações com cascas ($\mu_{\text{máx}}$: 0,34 h⁻¹).

Os resultados obtidos nas fermentações demonstram que as cascas de abacaxi possuem potencial como matéria prima para a formulação de mostos destinados a fermentação alcoólica. Embora os mostos formulados com a polpa pura tenham se destacado nas fermentações, as cascas demonstraram boa capacidade fermentativa.

5.3 Caracterização físico-química dos fermentados alcoólicos.

Na Tabela 3 estão descritos os parâmetros físico-químicos dos fermentados alcoólicos de polpa e casca de abacaxi.

Tabela 3 - Parâmetros físico-químicos dos fermentados alcoólicos de polpa e cascas de abacaxi (continua)

Parâmetros físico-químicos	Fermentado alcoólico	
	VinP	VinC
pH	3,94 ^a ±0,01	3,69 ^b ±0,01
Acidez total titulável (g/L)	7,6 ^a ±0,01	4,6 ^b ±0,057
Açúcares redutores totais (g/L)	5,86 ^a ±0,006	7,24 ^b ±0,004
Etanol % (v/v)	8,39 ^a ±0,020	7,28 ^b ±0,006
Densidade (kg/m ³)	987,0 ^a ±0,00	969,0 ^b ±0,00
Anidrinio sulfuroso livre – SO ₂ (mg/mL)	nd*	nd*
Anidrinio sulfuroso total – SO ₂ (mg/mL)	nd*	nd*
Compostos fenólicos		
Fenólicos totais (mg GAE/L)	188,97 ^a ±0,004	110,53 ^b ±0,023
Catequina (mg/L)	31,63	27,88
Ácido caféico (mg/L)	< Ld*	1,73
Ácido p-cumárico (mg/L)	0,35	4,05
Ácido ferúlico (mg/L)	< Ld*	1,48

Tabela 3 - Parâmetros físico-químicos dos fermentados alcoólicos de polpa e cascas de abacaxi (conculsão)

Ácidos orgânicos		
Ácido ascórbico (g/L)	2,7	1,9
Ácido cítrico (g/L)	6,2	1,0
Ácido málico (g/L)	1,9	0,7
Ácido oxálico (g/L)	7,8	4,91
Ácido succínico (g/L)	2,8	1,2
Atividade Antioxidante		
ABTS [#] (µmol TE/100 mL)	274,0 ^a ±0,019	211,0 ^b ±0,001
DPPH [#] (µmol TE/100 mL)	129,0 ^a ±0,013	139,0 ^b ±0,017
FRAP ^{##} (µmol FeSO ₄ /100 mL)	562,6 ^a ±0,075	258,1 ^b ±0,089
Cor		
L*	42,73 ^a ±0,1	52,75 ^b ±0,01
a*	-0,78 ^a ±0,15	-0,16 ^b ±0,01
b*	2,61 ^a ±0,24	13,2 ^b ±0,01
h ^o	110,88 ^a ±3,53	90,7 ^a ±0,03
C*	2,42 ^a ±0,22	13,2 ^b ±0,01
ΔE**		14,59

Notas: ¹ TE: Trolox equivalente; ² GAE: Ácido gálico equivalente; ³ #Capacidade antioxidante total equivalente ao Trolox pelos métodos DPPH e ABTS; ⁴ ##Poder antioxidante redutor do íon férrico (FRAP); ⁵ L*: luminosidade; ⁶ coordenadas de cromaticidade: a* [(-) verde para (+) vermelho] e b* [(-) azul para + amarelo]; ⁷ h^o: Ângulo hue; ⁸ C*: Cromaticidade; ⁹ **Diferença total de cor; ¹⁰ nd: (não detectado); ¹¹ a,b Letras diferentes na mesma linha para os parâmetros de cor diferem estatisticamente em um intervalo de confiança de 95% (p<0,05); ¹² <Ld* – abaixo do Limite de detecção; ¹³ VinP: vinho de polpa; ¹⁴ VinC: vinho de cascas.

Fonte – Autoria própria (2021).

Os fermentados de polpa e cascas apresentarem valores de pH de 3,94 (VinP) e 3,69 (VinC) e acidez titulável expressa em ácido acético de 0,76 g/100 mL (VinP) e 0,46 g/100 mL (VinC). Valores de pH final entre 3,5 a 4,0 foram reportados por Cunha *et al.* (2016) em vinhos de amora preta e por Fonseca *et al.* (2018) em vinhos mistos de amora preta com mel, em processos nos quais a mesma levedura empregada no presente estudo foi utilizada. A acidez de um vinho se deve basicamente a presença de ácidos orgânicos oriundos da própria fruta, como ácido málico, ácido tartárico, ácido cítrico e também oriundos da fermentação, como o ácido acético (Qi *et al.*, 2017). Ambos os vinhos obtidos apresentaram acidez proeminente, em especial o vinho de polpa possivelmente por agregar maiores conteúdos de ácidos orgânicos oriundos da fruta. Qi *et al.* (2017) obtiveram vinhos de abacaxi com acidez inferior (0,229 g/100 mL) ao encontrado neste trabalho, e isto pode ser atribuído tanto a características da fruta como as propriedades metabólicas da levedura empregada no bioprocesso. Baixos valores de pH durante a fermentação alcoólica podem evitar o crescimento de microbiota indesejáveis e portanto, aumentar a qualidade do produto final.

Os conteúdos de álcool presentes nos vinhos de polpa e cascas foram 8,39% (v/v) e 7,28% (v/v), respectivamente. Tais valores são superiores aos reportados por Alvarenga *et al.*, (2015) em vinho obtido de mostos formulados com polpa de abacaxi (6,8% v/v) e polpa acrescida de cascas (100 g/kg) (5,9% v/v). Valores inferiores de etanol também foram reportados por Roda *et al.*, (2017) em fermentados alcoólicos de casca de abacaxi (6,0% v/v). Importante salientar que os conteúdos de etanol presentes em vinhos destinados a processos de acetificação constituem um parâmetro de grande importância que deve ser analisado e ajustado quando necessário. Conteúdos muito altos de etanol nos vinhos podem levar a obtenção de vinagres com elevados conteúdos de ácido acético, originando um produto muito ácido e fora dos padrões de legislação. Associado ao excesso de acidez, vinagres com conteúdo de etanol fora dos padrões de legislação também podem ser produzidos. Segundo Chalchisa e Dereje (2021) a concentração de etanol no vinho deve ser inferior a 7,5% para obtenção de vinagres de boa qualidade. Entretanto é importante considerar o processo de acetificação utilizado, as bactérias acéticas empregadas na bioconversão etanol – ácido acético, bem como as perdas de etanol por evaporação que ocorrem durante o processo de acetificação.

Em relação a densidade, os vinhos de polpa e cascas apresentaram valores de 987 kg/m³ e 969 kg/m³, respectivamente, os quais estão de acordo com os relatados por Akanni Ahoussi *et al.* (2015) em vinho de abacaxi (995,0 kg/m³). Valores similares (998,2 kg/m³) também foram encontrados por Queiroz, Rabelo e Santos (2019) em fermentado alcoólico de suco de abacaxi. A densidade do vinho varia de acordo com a quantidade de açúcares e etanol presentes no fermentado.

A legislação Brasileira (BRASIL, 1988) estabelece como limite máximo a adição de 350 mg/L de metabissulfito de sódio em mostos destinados a fermentação alcoólica. Entretanto, não foram detectados resíduos de anidrido sulfuroso (SO₂) nos resultados, o que já era esperando uma vez que os mostos não foram sanificados com metabissulfito antes das fermentações. A pasteurização lenta foi o método escolhido para sanificação dos mostos antes da fermentação alcoólica.

Conforme pode ser verificado na Tabela 3, foram encontrados conteúdos apreciáveis de fenólicos totais tanto no vinho a base de polpa (188,97 mg GAE/L) como no vinho de cascas (110,53 mg GAE/L). Na literatura são reportados

diferentes conteúdos de fenólicos totais. Pino e Queris (2010) ao avaliarem o teor de compostos fenólicos totais em vinhos de abacaxi encontraram valores inferiores (108,0 mg GAE/L) ao do presente trabalho. Por outro lado, Zhang *et al.* (2020) verificaram resultados elevados em vinho de casca de abacaxi (675,43 mg GAE/L). Os diferentes conteúdos de fenólicos podem estar associados tanto a origem da fruta, grau de maturação como processo de vinificação empregado (GÓMEZ HERRERA; ALAYÓN LUACES; AVANZA, 2020; HOSSAIN; PAUL; RAHIM, 2016; ZHANG *et al.*, 2020).

O uso da cromatografia líquida de alta eficiência e detecção por arranjo de Diodo, permitiu a identificação e quantificação dos ácidos fenólicos: ácido caféico, ácido cumárico e ácido ferúlico e do flavonoide catequina nos vinhos de polpa e cascas de abacaxi, conforme descrito na Tabela 3. Dentre os compostos fenólicos o flavonoide catequina foi encontrado em maior concentração tanto no vinho de polpa (31,63 mg/L), como no vinho de cascas (27,88 mg/L). Ácido p-cumárico também foi encontrado em quantidades relativamente consideráveis (0,35 mg/L e 4,05 mg/L) em ambos os vinhos. Por outro lado, os ácidos caféico (1,73 mg/L) e ferúlico (1,48 mg/L) foram identificados apenas nas amostras de vinho de cascas. Catequina (107,39 µmol/L) e ácido ferúlico (139,70 µmol/L), foram os principais compostos encontrados em extratos de cascas de abacaxi por Li *et al.* (2014). O Ácido ferúlico tem sido reportado em fermentado alcoólico de abacaxi por Roda *et al.* (2017), em concentrações inferiores (0,138 µg/L) aos obtidos no presente trabalho.

Os vinhos de polpa e cascas além de serem ricos em conteúdo de fenólicos totais, apresentaram elevado potencial antioxidante estimado pelas técnicas de DPPH, ABTS e FRAP. O vinho de polpa apresentou uma capacidade de captura do radical ABTS de 274,0 µmol TE/100 mL, valor este um pouco superior ao encontrado no vinho de cascas (211,0 µmol TE/100 mL). Similarmente, apreciável potencial de captura do radical DPPH também foram observados em ambos os vinhos (129,0 µmol TE/100 mL e 139 µmol TE/100 mL, respectivamente). Em relação ao potencial redutor do íon férrico, o vinho de polpa (562,6 µmol FeSO₄/100 mL) se destacou em relação aos vinhos de cascas (258,1 µmol TE/100 mL). A maior capacidade antioxidante encontrada nos vinhos de polpa, pode ser justificada pela maior concentração de compostos fenólicos comumente encontrado na polpa da fruta, bem como pela elevada concentração de ácidos orgânicos na polpa, os quais

apresentam atividade antioxidante (CORDENUNSI *et al.*, 2010; LU *et al.*, 2014). Há carência de relatos relativo à atividade antioxidante de vinho de abacaxi na literatura científica. Valores superiores foram reportados por Fonseca *et al.* (2018) em vinho de mirtilo e mel em relação a todos os métodos. Da mesma forma Cunha *et al.*, (2016) também encontro valores superiores em vinho de amora preta, avaliado pelos métodos de DPPH (1395.2 $\mu\text{mol TE}/100\text{ mL}$) e ABTS (2124,0 $\mu\text{mol TE}/100\text{ mL}$).

Os ácidos orgânicos: ascórbico, cítrico, málico, oxálico e succínico foram encontrados na polpa e cascas de abacaxi usados na fermentação alcoólica. Os ácidos cítrico (6,2 g/L) e oxálico (7,8 g/L) foram os ácidos orgânicos predominantes no vinho de polpa. Já os ácidos oxálico (4,91 g/L) e ascórbico (1,9 g/L) predominaram no vinho de cascas. Tais resultados mostram que não somente a polpa como as cascas são ricas em ácidos orgânicos. É importante destacar que a composição e as quantidades de ácidos orgânicos presentes na fruta podem variar bastante em função da variedade, bem como o estágio de maturação da fruta, considerando por exemplo que o teor de ácidos orgânicos das fases iniciais do desenvolvimento do fruto está diretamente relacionado ao fornecimento de substratos para os processos respiratórios (BATISTA-SILVA *et al.*, 2018).

Em relação ao parâmetro cor, é importante mencionar que no espaço CIELAB a coordenada luminosidade (L^*) varia do preto (0) ao branco (100); a coordenada a^* varia entre verde ($-a$) e vermelho ($+a$) e a coordenada b^* varia do azul ($-b$) ao amarelo ($+b$). O ângulo de tonalidade hue (h°) começa no eixo $+a^*$ (vermelho) e é expresso em graus: 0° corresponde a $+a$ (vermelho), 90° corresponde a $+b$ (amarelo), 180° corresponde para $-a$ (verde), e 270° corresponde a $-b$ (azul). O croma C^* é 0 no centro do eixo de cor e aumenta com a distância deste (NISSOLA *et al.*, 2021).

Embora este método não apresente uma definição precisa de cor, ele pode mostrar com eficácia diferenças na cor do vinho de polpa e de cascas. A caracterização instrumental da cor mostrou que as amostras de vinho de polpa e cascas de abacaxi apresentaram diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre os parâmetros de cor L^* , a^* , b^* e croma (C^*). Os valores de L^* tanto do vinho de polpa como de cascas indicam tendência a uma coloração mais acinzentada do que ao branco. O vinho de cascas apresentou maior luminosidade (52,75) do que o vinho produzido a partir da polpa da fruta (42,73). Considerando que a luminosidade é entendida como a eficácia da luz em gerar a sensação de brilho ou claridade quando

percebida pelo olho humano, pode ser dito que a amostra de vinho de cascas tende a ser mais clara do que a amostra de polpa. De fato, visualmente a amostra de vinho de casca visualmente era mais clara do que o vinho de polpa.

Os valores das coordenadas a^* (valores negativos) indicam direcionamento ao verde, enquanto os valores da coordenada b^* mostram tendência ao amarelo (valores positivos) em ambas as amostras. A cor do vinho de casca, em especial, tendeu mais para a coloração amarela ($b^*:13,2$) do que o vinho de polpa ($b^*=2,61$), como indicado pelos valores da coordenada de cor verde-amarelo. Outro aspecto de cor que diferenciou o vinho de cascas do vinho obtido da polpa, foi sua saturação ($C^*:13,2$), sendo esta mais perceptível comparada ao vinho de polpa ($C^*: 2,24$), o qual apresentou uma coloração mais neutra. Em relação a tonalidade (h°), que é um atributo qualitativo da cor, houve diferença significativa ($p<0,05$) entre as duas amostras. Cabe destacar que houve diferença total de cor entre as amostras, sendo verificado um ΔE de 14,58. Tal comportamento poderia ser justificado pelo fato de ambas as amostras apresentarem tons de verde - avermelhado suaves, porém com tendência ao amarelo como observado pelas coordenadas a^* e b^* , além do vinho de cascas apresentar valores de saturação 5,5 vezes superior ao vinho de polpa.

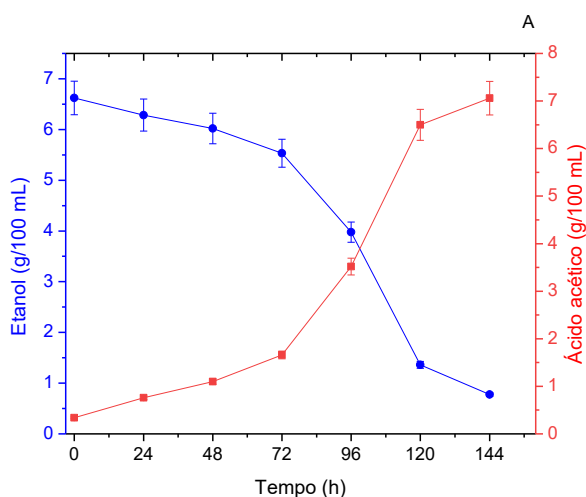
5.4 Fermentação acética e caracterização dos vinagres

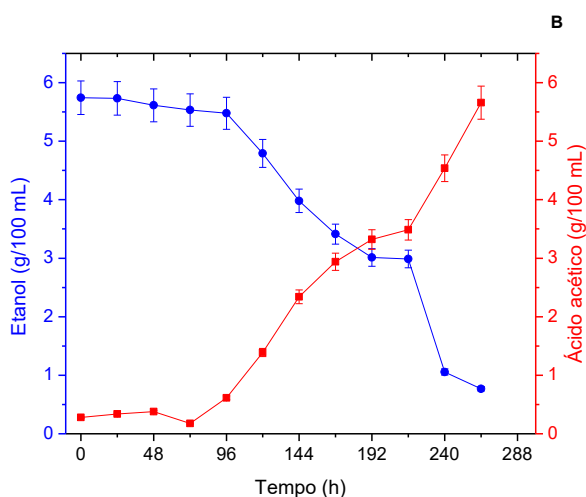
O perfil de bioconversão de etanol em ácido acético verificado nos processos de acetificação lenta dos vinhos de polpa (Gráfico 2A) e cascas (Gráfico 2B) de abacaxi, mostram uma boa eficiência de acetificação das bactérias acéticas isoladas do vinagre colonial e usadas como inóculo. A acetificação do vinho de polpa ocorreu em 144 horas (6 dias), quando foi verificado um conteúdo de 7,06 g/100 mL ácido acético, consumo de 88,3% do etanol, eficiência de 92,6% e uma produtividade volumétrica 0,49 g/Lh. Por outro lado, embora a assimilação de etanol pelas bactérias acéticas tenha sido similar nos dois processos de acetificação (88,3% e 86,6%), maior tempo de acetificação foi verificado nas fermentações do vinho formulado com as cascas da fruta. Após 264 horas (11 dias) de acetificação foi verificado um conteúdo de ácido acético de 5,66 g/100 mL, o que correspondeu a uma eficiência da fermentação acética de 87,3% e a uma produtividade volumétrica de 0,21 g/L.h. Tanamool, Chantarangsee e Soemphol (2020) reportaram que o máximo conteúdo de

ácido acético na produção de vinagre de cascas de abacaxi em processos usando co-inoculação de leveduras e bactérias ácido acético termotolerantes foi de 7,2% (m/v) em 16 dias de cultivo.

O melhor desempenho verificado na acetificação do vinho de polpa comparado ao vinho de cascas, poderia ser justificado em parte pela maior riqueza nutricional da polpa da fruta em relação as cascas. Outro aspecto que também pode ser considerado é a composição de ácidos fenólicos do vinho de cascas. De fato, extratos contendo ácidos fenólicos comumente apresentam atividade antimicrobiana e tal atividade pode variar consideravelmente em função das quantidades e tipos de ácidos fenólicos presentes (IURCKEVICZ *et al.*, 2021). O ácido caféico pode interferir na síntese de macromoléculas constituintes da parede células como as β -D-glucanas. O ácido ferúlico e as catequinas podem modificar a carga e a hidrofobicidade da superfície celular das bactérias gram-positivas e gram-negativas levando a morte celular por extravasamento do material citoplasmático. O ácido p-cumárico atua como um antimicrobiano pelo rompimento da membrana celular das bactérias e por meio da ligação ao DNA genômico bacteriano inibindo as funções celulares (IURCKEVICZ *et al.*, 2021).

Gráfico 2 – Perfil da conversão etanol – ácido acético no decorrer da acetificação do vinho polpa (A) e (B) cascas de abacaxi. Conteúdo de etanol (●) e ácido acético (■)





Fonte: Autoria própria (2021).

Na Tabela 4 estão descritos os parâmetros físico-químicos de qualidade dos vinagres produzidos. Os valores de pH variaram de 3,45 a 3,65, valores similares aos reportados por Roda *et al.* (2017) e Chalchisa e Dereje (2021) em vinagres de cascas de abacaxi, os quais encontraram pHs de 3,0 e 3,5, respectivamente.

Os vinagres produzidos apresentaram acidez entre 4,5% a 5,5%, e os vinagres de cascas apresentaram menor acidez que os vinagres de polpa. Tal característica é justificada pelo menor conteúdo de ácido acético presentes em tais vinagres (Gráficos 2A e 2B). Roda *et al.*, (2017) e Raji *et al.* (2012) descreveram valores similares de acidez (5,0% e 4,77%, respectivamente), em vinagres de casca de abacaxi.

A legislação Brasileira, estabelece que a acidez volátil mínima dos vinagres deve ser equivalente a 4,0 g de ácido acético em 100 mL de vinagre (BRASIL, 2012). A acidez em ácido acético é um parâmetro físico-químico de grande importância em relação a qualidade de um vinagre, uma vez que tem grande influência sobre o sabor e aceitabilidade do produto. Vinagres com acidez superior a 5,5% comumente são pouco aceitos pelos consumidores. Por outro lado, vinagres com baixa acidez produzidos pelo sistema lento em vinagreiras podem sofrer contaminação pelo nematoide *Anguillula aceti* (enguias de vinagre) (CUNHA *et al.*, 2016).

Os conteúdos de etanol residual presentes nos vinagres de polpa (0,97% v/v), polpa acrescido de extrato de jambo (0,97% v/v), cascas (0,61 % v/v) e cascas com jambo (0,97% v/v) estão de acordo com a legislação brasileira, que estabelece valores máximos de etanol 1% (v/v). Os valores encontrados foram similares aos reportados

por Roda *et al.* (2017) em vinagres de casca de abacaxi (0,50% v/v). Cabe destacar que pequenas quantidades de etanol residual são importantes, uma vez que as bactérias acéticas podem promover a degradação do ácido acético por falta de etanol (GOMES *et al.*, 2018).

Valores de resíduo mineral fixo em vinagres de frutas, também são estabelecidos pela legislação brasileira (2012) e devem estar entre 1 g/L e 5 g/L. Neste sentido, todos os vinagres produzidos apresentam valores adequados. O parâmetro de extrato seco total refere-se ao conteúdo de minerais e matérias orgânicas que persistem após a evaporação da água e substâncias voláteis do vinagre (CUNHA *et al.*, 2016). Os valores encontrados nos vinagres de polpa estão próximos aos descritos na literatura para vinagres de frutas. Os valores do extrato seco total foram menores nas amostras de vinagre obtidos das cascas, comparado com as amostras dos vinagres de polpa. Isto ocorreu provavelmente em função da diluição das cascas no processo de obtenção do mosto para vinificação e produção do vinho. Diferentes conteúdos de extrato seco total em vinagres de cascas de frutas tem sido relatados na literatura. Prisacaru *et al.* (2021) reportaram valores entre 2,11 g/100 mL e 26,43 g/100 mL, enquanto valores entre 6,9 g/L e 10,59 g/L foram mencionados por Violi *et al.* (2021). A legislação brasileira determina em vinagres de frutas quantidade mínimas de 6 g/L de extrato seco reduzido, os valores encontrados no presente trabalho estão em congruência com a legislação vigente.

Em relação a densidade os vinagres de polpa (1,024 g/mL), cascas (1,026 g/mL), polpa com jambo (1,066 g/mL) e cascas com jambo (1,011 g/mL), estão de acordo com o relatado por Raji *et al.* (2012) em vinagre de cascas de abacaxi (1,08 g/mL).

Não foram encontrados resíduos de sulfatos em nem uma das amostras, estando, portanto, em concordância com a legislação brasileira que estabelece limite máxima de 1g/L de sulfatos para vinagres de frutas.

Tabela 4 - Parâmetros físico-químicos dos vinagres de polpa e cascas de abacaxi

(continua)

Parâmetros físico-químicos	Fermentado acético			
	VP	VC	VP _{EXT}	VC _{EXT}
pH	3,64 ±0,01	3,65 ± 0,01	3,45 ±0,01	3,48 ±0,01

Tabela 4 - Parâmetros físico-químicos dos vinagres de polpa e cascas de abacaxi

				(conclusão)
acidez total (g/100 mL)	5,5 ^{b,c} ±0,06	4,5 ^b ± 0,04	5,58 ^{a,c} ±0,06	4,73 ^b ± 0,04
Etanol % (v/v)	0,97 ^a ±0,1	0,61 ^b ±0,1	0,97 ^a ±0,1	0,97 ^a ±0,1
Resíduo mineral (g/L)	4,06 ^a ±0,01	2,40 ^b ±0,01	3,95 ^a ±0,01	2,52 ^b ±0,01
Extrato seco total (g/L)	30,74 ^a ±0,01	10,93 ^b ±0,01	31,04 ^a ±0,01	11,47 ^b ±0,01
Extrato seco reduzido (g/L)	24,88 ^a ±0,01	6,22 ^b ±0,01	25,13 ^a ±0,01	6,71 ^b ±0,01
Densidade (g/mL)	1,024 ^c ±0,01	1,026 ^b ±0,05	1,066 ^a ±0,01	1,011 ^{b,c} ±0,04
Sulfatos (g/L)	nd*	nd*	nd*	nd*
Ácidos fenólicos				
Fenólicos totais (mg GAE/L)	364,45 ^b ±0,01	222,94 ^c ±0,01	443,595 ^a ±0,01	337,63 ^b ±0,01
Catequina (mg/L)	23,38	12,13	27,88	12,88
Epicatequina (mg/L)	0,89	10,02	34,36	11,03
Ácido caféico (mg/L)	3,42	12,77	< Ld*	14,89
Ácido cumárico (mg/L)	< Ld*	11,6	7,61	12,02
Ácido ferúlico (mg/L)	4,85	8,46	11,56	5,88
Ácido gálico (mg/L)	18,09	3,22	19,23	3,79
Atividade antioxidante				
ABTS [#] (µmol/100 mL)	410,5 ±0,01	266,6 ±0,01	547,1 ±0,01	337,5 ±0,01
DPPH [#] (µmol/100 mL)	216,4 ±0,01	227,8 ±0,01	249,8 ±0,01	277,5 ±0,01
FRAP ^{###} (µmol/100 mL)	402,8 ±0,04	277,8 ±0,02	675,8 ±0,01	542,3 ±0,01
Ácidos orgânicos				
Ácido ascórbico (g/L)	1	0,90	1,3	0,96
Ácido cítrico (g/L)	7,41	1,46	7,46	1,48
Ácido málico (g/L)	1,8	0,20	2,0	0,27
Ácido oxálico (g/L)	9,04	4,75	9,09	4,78
Ácido succínico (g/L)	2,1	0,70	2,5	0,78
Cor				
L*	45,39 ^a ±0,01	42,29 ^b ±0,07	45,28 ^a ±0,03	43,12 ^c ±0,07
a*	-1,07 ^a ±0,01	-0,74 ^b ±0,01	-1,13 ^a ±0,02	-0,71 ^b ±0,01
b*	-0,53 ^b ±0,01	0,76 ^b ±0,06	-0,53 ^b ±0,01	1,15 ^a ±0,09
h°	206,54 ^a ±0,73	135,01 ^b ±0,4	205,63 ^a ±0,7	122,64 ^c ±0,2
C*	1,2 ^{a, b} ±0,01	1,07 ^b ±0,01	1,26 ^{a, b} ±0,01	1,36 ^a ±0,07
ΔE**				
	3,20		2,29	

Notas: ¹VP: Vinagre de polpa; ²VC: vinagre de cascas; ³VP_{EXT}: Vinagre de polpa acrescido de extrato de jambo; ⁴VC_{EXT}: Vinagre de polpa acrescido de extrato de jambo Vinagre de cascas acrescido de extrato de jambo; ⁵TE: Trolox equivalente; ⁶GAE: Ácido gálico equivalente; ⁷#Capacidade antioxidante

total equivalente ao Trolox pelos métodos DPPH e ABTS; ⁸ Poder antioxidante redutor do ion férrico (FRAP); ⁹ L*: luminosidade; ¹⁰ coordenadas de cromaticidade: a* [(-) verde para (+) vermelho] e b* [(-) azul para + amarelo]; ¹¹ h°: Ângulo hue; ¹² C*: Cromaticidade; ¹³ ΔE: Diferença total de cor; ¹⁴ nd*: (não detectado); ¹⁵ a,b Letras diferentes na mesma linha para os parâmetros de cor diferem estatisticamente em um intervalo de confiança de 95% (p<0,05); ¹⁶ <Ld*: Abaixo do Limite de detecção.

Fonte – Aatoria própria (2021).

Elevadas quantidades de compostos fenólicos (VP: 364,45 mg GAE/L, VC: 222,94 mg GAE/L, VP_{Ext}:443,60 mg GAE/L e VC_{Ext}: 337,63 mg GAE/L) foram verificadas em todas as amostras de vinagres. Cabe destacar, no entanto, que os vinagres de cascas de abacaxi apresentaram conteúdos de fenólicos totais inferiores ao encontrado no vinagre de polpa. De fato, o vinho de polpa empregado na fermentação acética já apresentava maior conteúdo de substâncias fenólicas oriundas da própria fruta. Outro aspecto interessante a ser observado, é que o processo de acetificação do vinho promoveu aumento no conteúdo de fenólicos. Este fenômeno se deve ao fato da fermentação acética ter sido conduzida pelo sistema tradicional em vinagreira de madeira. Compostos fenólicos migram das paredes do barril de acetificação para o vinagre. As substâncias fornecidas pela madeira, vão depender do tipo de madeira e torrefação do barril, da relação entre a superfície de contato e o volume de líquido, bem como do tempo de contato (MAS *et al.*, 2014).

A adição do extrato de Jambo-vermelho nos vinagres de polpa e cascas de abacaxi, promoveu o enriquecimento do conteúdo de fenólicos totais. Dentre as substâncias fenólicas identificadas nas amostras, maiores concentrações de Epicatequina foram encontradas no vinagre de polpa acrescido do extrato (34,36 mg/L). No vinagre de cascas, o ácido caféico (14,89 mg/L) foi o composto fenólico de maior destaque. Os ácidos gálico (862,61 µg/mL) e caféico (218,91 µg/mL) foram reportados por Mohamad *et al.* (2015) como os compostos fenólicos majoritários em vinagre de polpa de abacaxi.

Os vinagres além de possuírem elevados conteúdos de fenólicos totais, também apresentaram apreciável capacidade de eliminação dos radicais DPPH, ABTS e FRAP. Em relação a capacidade de captura do radical ABTS, foram obtidos valores de 410,5 µmol/100 mL (VP), 266,6 µmol/100 mL (VC), 547,1 µmol/100 mL (VP_{Ext}) 337,5 µmol/100 mL (VC_{Ext}). O potencial de eliminação do radical ABTS dos vinagres de polpa foi superior aos vinagres de cascas. Similarmente, os vinagres de

polpa demonstraram maior potencial redutor do íon férrico (VP: 402,8 $\mu\text{mol}/100\text{ mL}$ e VP_{Ext} : 675,8 $\mu\text{mol}/100\text{ mL}$) em relação aos vinagres de cascas (VC: 277,8 $\mu\text{mol}/100\text{ mL}$ e VC_{Ext} : 542,3 $\mu\text{mol}/100\text{ mL}$).

Por outro lado, os vinagres de cascas foram mais eficientes na captura do radical DPPH (VC: 227,8 $\mu\text{mol}/100\text{ mL}$ e VC_{Ext} : 277,5 $\mu\text{mol}/100\text{ mL}$) do que os vinagres de polpa (VP: 216,4 $\mu\text{mol}/100\text{ mL}$ e VP_{Ext} : 249,8 $\mu\text{mol}/100\text{ mL}$). A natureza química dos compostos bioativos presentes nas amostras, incluindo estrutura química, polaridade e hidrofobicidade influenciam fortemente sua capacidade de eliminação de radicais livres ou potencial antioxidante redutor. Neste sentido, são comumente utilizados mais de um método para avaliar o potencial antioxidante da mesma amostra, visto que os métodos de avaliação antioxidante são correlacionados com os mecanismos de ação antioxidante. (IVANOVA; GERASIMOVA; GAZIZULLINA, 2020).

Diversos estudos de atividade antioxidante em amostras de vinagres têm sido descritos na literatura, entretanto existe certa dificuldade na comparação de resultados em função da diversidade de métodos e expressão de resultados. Fonseca *et al.* (2018) reportaram valores similares para a captura dos radicais ABTS (368,39 a 402,15 $\mu\text{mol TE}/100\text{ mL}$) e DPPH (186,73 a 211,39 $\mu\text{mol TE}/100\text{ mL}$) em vinagres de mirtilo e mel. Já em relação ao potencial FRAP, tais autores encontraram valores superiores (1881,45 a 1884,5 $\mu\text{mol FeSO}_4 / 100\text{ mL}$) em relação aos vinagres do presente estudo.

Foram encontrados nas amostras de vinagres os mesmos ácidos orgânicos presentes nos vinhos de polpa e cascas de abacaxi. Similarmente ao observado nos vinhos de polpa, os ácidos cítrico (VP: 7,41 g/L VP_{Ext} : 7,46 g/L) e oxálico (9,04 g/L VP_{Ext} : 9,09 g/L) foram os ácidos orgânicos predominantes no vinagre de polpa. Os ácidos oxálico (VC: 4,75 g/L e VC_{Ext} : 4,78) e cítrico (VC: 1,46 g/L e VC_{Ext} : 1,48 g/L) predominaram nos vinagres de cascas de abacaxi. O enriquecimento dos vinagres com extrato de jambo-vermelho não promoveu mudanças estatisticamente significativas na composição em ácidos orgânicos.

O vinagre de polpa de abacaxi apresentou luminosidade (L^* : 45,39) próxima ao espectro observado no vinho (L^* : 42,73). Já os vinagres de cascas (com e sem adição de extrato), apresentaram valores de luminosidade um pouco inferiores (VC: 42,29 e VC_{Ext} : 43,12) ao encontrado nas amostras de vinho de cascas (L^* : 52,75). A

redução nos valores de luminosidade indica que a fermentação acética conduzida em barril de madeira contribui para uma certa redução da percepção de brilho e claridade das amostras de vinagres de cascas. Este fenômeno pode estar associado a provável extração de compostos da madeira do barril de acetificação, associada a composição química destes vinagres, os quais apresentam diferenças nas concentrações de compostos fenólicos comparadas aos vinagres de polpa. As propriedades de cor dos diferentes tipos de vinagres podem mudar em função da cor da matéria prima e da tecnologia empregada na produção (KILIÇ; ŞENGÜN, 2021).

Em relação a coordenada a^* (índice de vermelho) foi observado que a fermentação acética contribuiu para uma tendência ao verde, o que foi mais pronunciado nas amostras de vinagre de cascas. Similarmente, a acetificação dos vinhos também proporcionou redução nos valores da coordenada b^* (índice de amarelo: tendência do amarelo ao azul), especialmente nos vinagres de cascas. A acetificação dos vinhos levou a intensificação da tonalidade (ângulo hue), aumentando a tendência ao verde (do amarelo ao verde) nas amostras de vinagres de cascas (VC : 135,01 e VC_{Ext} : 122,64). Aumento mais pronunciado nos valores da coordenada h° foi observada nas amostras de vinagre de polpa em relação aos vinhos de polpa, com tendência de intensificação da tonalidade azul (VP : 206,54, VP_{Ext} : 205,63). A avaliação do índice de cromaticidade (C^*) das amostras indica que a acetificação levou a redução do índice de saturação das amostras de vinagre em relação aos vinhos, sendo este fenômeno mais pronunciado nos vinagres de cascas. O enriquecimento dos vinagres de polpa com extrato de jambo, não promoveu mudanças estatisticamente significativas nos parâmetros de cor das amostras de vinagre de polpa (L^* a^* b^* , h° e C^*). Por outro lado, a adição do extrato nos vinagres de cascas levou a mudanças dos parâmetros de cor (L^* b^* , h° e C^*) instrumentalmente detectável (VC versus VC_{Ext}). Importante destacar que a avaliação da diferença total de cor (ΔE), indica que a adição de extrato nas amostras não promoveu mudanças visualmente detectável, quando comparando amostras com ou sem extrato (VP versus VP_{Ext} e VC versus VC_{Ext}). Alguns trabalhos descritos na literatura científica e com base no estudo descrito por Stokes, Fairchild e Berns (1992), mencionam que diferenças de cor menores que 2,15 não são perceptíveis ao olho humano (NISSOLA *et al.*, 2021). Os resultados de ΔE encontrados no presente trabalho estão próximos deste limiar, especialmente em relação aos vinagres de cascas.

5.5 Atividade antimicrobiana

Os vinagres são reconhecidos como substâncias antimicrobianas desde muito tempo e várias pesquisas tem demonstrado que vinagres de diferentes origens atuam como agentes antimicrobianos contra diferentes patógenos (YÜCELŞENGÜN; KILIÇ, 2020). A Tabela 5 mostra os resultados da suscetibilidade de diferentes cepas bacterianas (Gram-negativas e Gram-positivas) e leveduras aos vinagres de polpa e cascas (enriquecidos ou não com o extrato de jambo-vermelho) produzidos no presente trabalho.

Os testes de disco de difusão e concentração mínima inibitória mostraram que todos os vinagres acrescidos ou não do extrato apresentaram certo grau de inibição contra todos os microrganismos estudados. Os vinagres de polpa de abacaxi promoveram maiores halos de inibição tanto contra bactérias como leveduras, quando comparados aos vinagres de cascas. Outro aspecto observado é que os vinagres de polpa e cascas promoveram diâmetros de inibição similares aos observados com o vinagre comercial de álcool (4,0 g ácido acético/100 mL).

As concentrações mínimas necessárias para a inibição dos microrganismos estudados variaram de 5 µL/mL a 16 µL/mL. Em relação a concentração bactericida esta faixa foi mais ampla, variando de 15,5 µL/mL a 151,5 µL/mL. Similarmente, as concentrações necessárias para a inibição das leveduras variaram de 16 µL/mL a 151,5 µL/mL. Estes valores indicam que a sensibilidade dos microrganismos estudados frente as amostras de vinagre foi relativamente variável. Corroborando com os resultados obtidos, Ozturk *et al.* (2015) reportou em um estudo com vinte amostras de vinagres tradicionais produzidos na Turquia (vinagres caseiros) uma alta variabilidade em relação a sensibilidade das bactérias estudadas.

Bacillus subtilis (G+) foi a cepa bacteriana mais sensível aos vinagres de polpa pura e enriquecido com o extrato, sendo inibida em uma concentração de 5,0 µL/mL e morta em uma concentração de 16,0 µL/mL. *Escherichia coli* (G-) foi a cepa mais resistente, sendo inibida em uma concentração de 5,0 µL/mL nos vinagre de polpa e 16,0 µL/mL nos vinagres de cascas, mas mostrando-se resistente a atividade biocida das amostras. Ousaaïd *et al.* (2021) reportaram a *Escherichia coli* como sendo a cepa microbiana com maior resistência a atividade antimicrobiana (CIM: 3,125 µL/mL; CBM: 6,25 µL/mL) em vinagres de maçã.

Em relação as cepas de levedura, o vinagre de polpa mostrou maior potencial antimicrobiano contra a cepa de *Candida albicans* em relação ao vinagre de cascas. O vinagre de polpa foi capaz de inibir esta levedura na concentração de 16,0 µL/mL e promover sua morte na concentração de 50,0 µL/mL. Entretanto, contra as cepas da levedura *Candida tropicalis* não houve potencialização do extrato, mantendo sua concentração mínima inibitório e fungicida.

O enriquecimento do vinagre de cascas com o extrato de jambo-vermelho potencializou a atividade antimicrobiana contra a bactéria Gram positiva *S. aureus*, com variação dos valores de CBM de 50,5 µL/mL (VC) para 16 µL/mL (VC_{ext}). Por outro lado, a adição do extrato aos vinagres não potencializaram a atividade antimicrobiana contra os demais microrganismos.

A atividade antimicrobiana dos vinagres está associada a presença de ácidos orgânicos os quais tem atividade antimicrobiana, principalmente o ácido acético o qual pode transpassar a membrana bacteriana e promover redução do pH intracelular provocando conseqüentemente a morte do microrganismo (OUSAAID *et al.*, 2021). Ácidos orgânicos fracos atravessam a membrana celular na forma indissociada e se dissociam de acordo com o pH intracelular liberando um protón no citoplasma (OZTURK *et al.*, 2015).

Tabela 5 - Potencial antimicrobiano e antifúngico dos vinagres

Microrganismos	Amostras						
	VP	VC	VP _{EXT}	VC _{ext}	VCom	PA	
<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 25923	DI (mm)	14,67 ^{a, c} ±0,8	7,33 ^a ±1,8	23,03 ^{a, c} ±2,7	13,01 ^{a, c} ±1,3	17,6 ^c ±1,5	42,0 ^b ±0,5
	CMI (µL/mL)	16,0	16,0	16,0	16,0	*	*
	CBM (µL/mL)	50,5	50,5	50,5	16,0	*	*
<i>Escherichia coli</i> ATCC 25922	DI (mm)	14,02 ^b ±0,7	8,33 ^b ±0,9	17,67 ^b ±3,1	15,67 ^b ±2,9	13,7 ^b ±1,8	50,0 ^a ±0,5
	CMI (µL/mL)	5,0	16,0	5,0	16,0	*	*
	CBM (µL/mL)	#	#	#	#	*	*
<i>Salmonella enterica typhimurium</i> ATCC 19659	DI (mm)	13,03 ^{a, b} ±2,0	5,66 ^b ±0,8	14,02 ^{a, c} ±1,3	12,33 ^{b, c} ±1,5	12,0 ^{b, c} ±1,1	44,0 ^a ±0,8
	CMI (µL/mL)	16,0	16,0	16,0	16,0	*	*
	CBM (µL/mL)	151,5	50,5	151,5	50,5	*	*
<i>Bacillus subtilis</i> ATCC 0028	DI (mm)	12,66 ^b ±0,9	9,01 ^b ±1,1	18,7 ^{a, b} ±3,7	12,50 ^b ±1,3	10,0 ^b ±0,6	36,0 ^a ±0,9
	CMI (µL/mL)	5,0	16,0	5,0	16,0	*	*
	CBM (µL/mL)	16,0	50,5	16,0	50,5	*	*
<i>Candida albicans</i> ATCC 118804	DI (mm)	20,0 ^b ±4,4	16,0 ^b ±2,8	20,0 ^b ±2,2	12,0 ^b ±1,7	12,0 ^b ±1,5	50,0 ^a ±1,0
	CMI (µL/mL)	16,0	16,0	16,0	16,0	*	*
	CFM (µL/mL)	50,5	151,5	50,5	151,5	*	*
<i>Candida tropicalis</i> ATCC13803	DI (mm)	20,0 ^b ±2,2	20,0 ^b ±1,5	22,0 ^b ±1,1	22,0 ^b ±2,0	22,0 ^b ±1,7	50,0 ^a ±0,9
	CMI (µL/mL)	16,0	16,0	16,0	16,0	*	*
	CFM (µL/mL)	50,5	50,5	50,5	50,5	*	*

Nota: ¹ VP: vinagre polpa; ² VC: vinagre cascas; ³ VP_{ext}: Vinagre polpa acrescido do extrato de jambo-vermelho; ⁴ VC_{ext}: Vinagre de cascas acrescido do extrato de jambo-vermelho; ⁴ V_{com}: Vinagre comercial; ⁵ PA: Antimicrobiano padrão (Tetraciclina: molécula bactericida, Fluconazol: molécula fungicida padrão); ⁶ Diâmetro das zonas de inibição (halo de inibição); ⁷ CMI: Concentração mínima inibitória; ⁸ CBM: Concentração bactericida mínima; ⁹ CFM: Concentração fungicida mínima. ¹⁰*: não avaliado; ¹¹#: sem inibição

Fonte: Autoria própria (2021).

6 CONCLUSÕES

Vinhos e vinagres de polpa e cascas de abacaxi foram produzidos, contribuindo para o aproveitamento integral da fruta dentro de um contexto de economia circular. O extrato das folhas de Jambo-vermelho (*Syzygium malaccense*) demonstrou ser rico em compostos fenólicos e apresentou elevado potencial antioxidante *in vitro*. A levedura *Saccharomyces cerevisiae* r. f. *bayanus* demonstrou boa eficiência tanto nas fermentações alcoólicas dos mostos a base de polpa como nos mostos a base de cascas. Os vinhos de polpa e cascas apresentaram apreciáveis conteúdos de compostos fenólicos totais, ácidos fenólicos, flavonóides, ácidos orgânicos, bem como elevado potencial antioxidante.

Os vinagres produzidos apresentaram padrões de qualidade condizentes com a legislação brasileira vigente. Quantidades superiores de compostos fenólicos e maior capacidade antioxidante foram encontrados nos vinagres de polpa e cascas em relação aos vinhos. A adição de extrato de folhas de jambo-vermelho aos vinagres contribuiu para o enriquecimento em compostos fenólicos totais e aumento da atividade antioxidante.

O vinho de cascas apresentou maior luminosidade (L^*) e maior índice de saturação (C^*) e sua coloração tendeu mais para o amarelo comparado ao vinho de polpa. A acetificação levou a redução do índice de saturação (C^*) das amostras de vinagre em relação aos vinhos e levou a intensificação da tonalidade (ângulo hue) nas amostras de vinagres de cascas. A adição de extrato nas amostras não promoveu mudanças visualmente detectável (ΔE), quando comparando amostras com ou sem extrato.

Os vinagres apresentaram atividade antimicrobiana com ação biocida contra as bactérias *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *Salmonella enterica typhimurium* e as leveduras *Candida tropicalis* e *Candida albicans*. Os vinagres com e sem adição do extrato não apresentaram atividade antimicrobiana apenas contra a bactéria *Escherichia coli*. A adição do extrato no vinagre de cascas potencializou sua atividade antimicrobiana contra a bactéria Gram positiva *Staphylococcus aureus*.

Os vinagres produzidos podem ser considerados vinagres do tipo gourmet e sua produção pode contribuir para o aproveitamento de uma biomassa vegetal comumente descartada ou subutilizada, agregando valor ao produto.

REFERÊNCIAS

AKANNI AHOUSSE, L. *et al.* Valorization of pineapple produced in Benin: production and evaluation of wine quality parameters. **International Journal of Advanced Research**, v. 3, n. 11, p. 830–840, 2015.

ALVARENGA, L. M. *et al.* Analysis of alcoholic fermentation of pulp and residues from pineapple processing. **CYTA - Journal of Food**, v. 13, n. 1, p. 10–16, 2015.

ARUMUGAM, B. *et al.* Antioxidant and antiglycemic potentials of a standardized extract of *Syzygium malaccense*. **LWT - Food Science and Technology**, v. 59, n. 2P1, p. 707–712, 2014.

ANAV (Associação Nacional Das Indústrias De Vinagre). **Os tipos de vinagre**. Disponível em: <<http://www.anav.com.br/vinagre.php>>. Acesso em: 16 nov. 2021.

BATISTA-SILVA, W. *et al.* Modifications in organic acid profiles during fruit development and ripening: correlation or causation?. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, 2018.

BATISTA, Â. G. *et al.* Red-jambo (*Syzygium malaccense*): bioactive compounds in fruits and leaves. **LWT - Food Science and Technology**, v. 76, p. 284–291, 2017.

BEKATOURO, A. **Advances in vinegar production**. 1 st. [s.l.] CRS Press, 2019.

BHAT, S. V.; AKHTAR, R.; AMIN, T. An Overview on the biological production of vinegar. **International Journal of Fermented Foods**, v. 3, n. 2, p. 139, 2019.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVÉLIER, M. E.; BERSET, C. DPPH use of a free radical method to evaluate antioxidant activity, **Food Science and Technology**, França, v. 28, n. 01, p. 25–30, 1995.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa n. 6, de 3 de abril de 2012**. Estabelece os padrões de identidade e qualidade e a classificação dos fermentados acéticos. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 04 de abril de 2012, Seção 1, p. 16.

BRASIL, **Resolução n. 04, 24 de novembro de 1988**. Aditivos Intencionais. Diário Oficial da União, República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 19 dez. 1988.

BUDAK, H. N.; GUZEL-SEYDIM, Z. B. Antioxidant activity and phenolic content of

wine vinegars produced by two different techniques. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 90, n. 12, p. 2021–2026, 2010.

CAMPOS, D. A. *et al.* Integral valorization of pineapple (*Ananas comosus* L.) By-products through a green chemistry approach towards Added Value Ingredients. **Foods**, v. 9, n. 1, 2020.

CHALCHISA, T.; DEREJE, B. From waste to food : utilization of pineapple peels for vinegar production. **MOJ Food Processing & Technology**, v. 9, p. 1–5, 2021.

CHAUDHARY, V.; KUMAR, V.; SINGH, K. Pineapple (*Ananas comosus*) product processing : a review. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry** v. 8, p. 4642–4652, 2019.

CHEN, Y. *et al.* Effects of mixed cultures of *Saccharomyces cerevisiae* and *Lactobacillus plantarum* in alcoholic fermentation on the physicochemical and sensory properties of citrus vinegar. **Lwt**, v. 84, p. 753–763, 2017.

CHUA, L. K. *et al.* Anticancer potential of Syzygium species: a review. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 74, n. 1, p. 18–27, 2019.

CLSI (Clinical and laboratory standards institute) C. M02-A12: Performance standards for antimicrobial disk susceptibility tests; Approved Standard—Twelfth Edition. **Clinical and Laboratory Standards Institute**, v. 35, n. M02-A12, p. 73, 2015.

COELHO, E. *et al.* Vinegar production from fruit concentrates: effect on volatile composition and antioxidant activity. **Journal of Food Science and Technology**, v. 54, n. 12, p. 4112–4122, 2017.

CORDENUNSI, B. *et al.* Carbohydrate composition of ripe pineapple (cv. perola) and the glycemic response in humans. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, n. 1, p. 282–288, 2010.

CORNELIA, M.; KRISTYANTI, T. Utilization of pineapple's (*Ananas comosus* L. Merr.) peel waste as raw material in cider making. proceedings of the 3rd International Conference of Computer, Environment, Agriculture, Social Science, Health Science, Engineering and Technology. **Anais...SCITEPRESS - Science and Technology Publications**, 2018. Disponível em: <<https://www.scitepress.org/DigitalLibrary/Link.aspx?doi=10.5220/0010041402580263>>. Acesso em: 6 nov. 2021.

CUNHA, M. A. A. *et al.* Blackberry vinegar produced by successive acetification

cycles : production , characterization and bioactivity parameters. **Brazilian archives of biology and technology**, v. 59, p. 1–10, 2016.

ESTATÍSTICA, S.-I.-I. B. DE G. E. Levantamento sistemático da produção agrícola. 2016. **Estatística da Produção Agrícola**, v. 29, n. 12, p. 1–82, 2017.

FARID HOSSAIN, M. Pineapple production status in bangladesh. **Agriculture, Forestry and Fisheries**, v. 6, n. 5, p. 173, 2017.

FERNANDES, F. A. N.; RODRIGUES, S. **Jambo— *Syzygium malaccense***. [s.l.] Elsevier Inc., 2018.

FONSECA, S. *et al.* Blueberry and honey vinegar : successive batch production , antioxidant potential and antimicrobial ability. **Braz. J. of Food Technol.**, v. 21, 2018.

GIBBERT, L. BERTIN, R. KRUGER, C. H. Breve revisão da espécie *Syzygium malaccense* (L.) Merr. & L.M. Perry como fonte de compostos bioativos. **Visão acadêmica**, v. 18, n. 4, p. 140–153, 2017.

GOMES, R. J. *et al.* Acetic acid bacteria in the food industry: systematics, characteristics and applications. **Food Technology and Biotechnology**, v. 56, n. 2, p. 139–151, 2018.

GÓMEZ HERRERA, M. D.; ALAYÓN LUACES, P.; AVANZA, M. V. Organic compounds determined at different levels of ripening of the pineapple (*Ananas comosus* L. Merr.) cv cayenne in two cultivation systems under subtropical conditions. **International Journal of Fruit Science**, v. 20, n. 3, p. 371–384, 2020.

HO, C. W. *et al.* Varieties, production, composition and health benefits of vinegars: a review. **Food chemistry**, vol. 221, p. 1621-1630, 2017.

HOSSAIN, M. M.; PAUL, D. K.; RAHIM, M. A. Physico-chemical changes during growth and development of sapota fruit. **Turkish Journal of Agricultural and Natural Science**, v. 3, n. 1, p. 58–64, 2016.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físicos-químicos para análise de Alimentos**. 1. ed., 2008.

IURCKEVICZ, G. *et al.* Bioactive compounds in the leaves of *Baccharis dracunculifolia*: extraction process and characterization. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 43, 2021.

IVANOVA, A.; GERASIMOVA, E.; GAZIZULLINA, E. Study of antioxidant properties of agents from the perspective of their action mechanisms. **Molecules**, v. 25, n. 18, 2020.

KALABA, V.; MARJANOVIĆ BALABAN, Ž.; KALABA, D. Antibacterial activity of domestic apple cider vinegar. **Agrofor**, v. 4, n. 1, p. 24–31, 2019.

KILIÇ, G.; ŞENGÜN, İ. Y. Fig Vinegar as an antioxidant and antimicrobial agent. **Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology**, v. 9, n. 4, p. 822–828, 2021.

LI, T. *et al.* Major polyphenolics in pineapple peels and their antioxidant interactions. **International Journal of Food Properties**, v. 17, n. 8, p. 1805–1817, 2014.

LIMA, K. P. de. **Produção de vinagre como estratégia de aproveitamento tecnológico da amora-preta** : avaliação do processo submerso e do processo lento. 2014, 115 f. Dissertação (Metrado em processos químicos e bioquímicos) Programa de pós graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2014.

LIMA, P. C. C.; SOUZA, B. S.; OLIVEIRA, A. T. S. D. C. Aproveitamento agroindustrial de resíduos provenientes do abacaxi “Pérola” minimamente processado. **holos**, v. 02, p. 122–136, 2017.

LU, X. H. *et al.* Physico-chemical properties, antioxidant activity and mineral contents of pineapple genotypes grown in China. **Molecules**, v. 19, n. 6, p. 8518–8532, 2014.

LUBAINA, A. S.; RENJITH, P. R.; KUMAR, P. Antibacterial potential of different extracts of pineapple peel against gram-positive and gram-negative bacterial strains. **Asian Journal of Pharmacy and Pharmacology**, v. 5, n. S1, p. 66–70, 2019.

MAS, A. *et al.* Acetic acid bacteria and the production and quality of wine vinegar. **The Scientific World Journal**, v. 2014, p. 1–6, 2014.

MILLER, G. L. Use of Dinitrosalicylic Acid reagent for determination of reducing sugar. **Analytical Chemistry**, v. 31, n. 3, p. 426–428, 1959.

MIRANDA, L. C. R. *et al.* Acetic acid fermentation of soybean molasses and characterisation of the produced vinegar. **Food Technology and Biotechnology**, v. 58, n. 1, p. 84–90, 2020.

MOHAMAD, N. E. *et al.* Antioxidant effects of pineapple vinegar in reversing of

paracetamol-induced liver damage in mice. **Chinese Medicine (United Kingdom)**, v. 10, n. 1, p. 1–10, 2015.

MOHANTY, S.; RAMESH, S.; MURALIDHARAN, N. P. Antimicrobial efficacy of apple cider vinegar against *Enterococcus faecalis* and *Candida albicans*: An in vitro study. **Journal of Advanced Pharmacy Education and Research**, v. 7, n. 2, p. 137–141, 2017.

NCCLS (National committee for clinical laboratory standards). **Methods for dilution antimicrobial susceptibility tests for bacteria that grow aerobically: approved standard**. Sexta Edição. [s.l.: s.n.]. v. 23, 2003.

CONAB (Compania Nacional de Abastecimento). A participação do abacaxi no desenvolvimento econômico nas regiões produtoras. **Compêndio de Estudos Conab**. v. 24. Brasília: CONAB, 2020.

NISSOLA, C. *et al.* Hydrogel containing (1 → 6)- β -D-glucan (*lasiodiplodan*) effectively promotes dermal wound healing. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 183, p. 316–330, 2021.

OUSAAID, D. *et al.* An investigation of Moroccan vinegars: their physicochemical properties and antioxidant and antibacterial activities. **Journal of Food Quality**, v. 2021, 2021.

OZTURK, I. *et al.* Antioxidant, antimicrobial, mineral, volatile, physicochemical and microbiological characteristics of traditional home-made Turkish vinegars. **Lwt - Food Science and Technology**, v. 63, n. 1, p. 144–151, 2015.

PINO, J. A.; QUERIS, O. Analysis of volatile compounds of pineapple wine using solid-phase microextraction techniques. **Food Chemistry**, v. 122, n. 4, p. 1241–1246, 2010.

PRISACARU, A. E. *et al.* Physicochemical characteristics of vinegar from banana peels and commercial vinegars before and after In vitro digestion. **Processes**, v. 9, n. 7, 2021.

PURUSHOTHAMAN, A. *et al.* A study on antimicrobial and anthelmintic activity of methanolic leaf extracts of *Syzygium malaccense* (L.) Merr. & Perry. **Journal of Chemical and Pharmaceutical Research**, v. 7, n. 4, p. 838–841, 2015.

QI, N. *et al.* Production and quality evaluation of pineapple fruit wine. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 100, 2017.

QUEIROZ, G. A. DE; RABELO, A. G. S.; SANTOS, S. K. DE M. Characterization and optimization of production process of alcoholic fermentation of pineapple. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 23, 2019.

RAJI, Y. O. *et al.* Production of Vinegar From pineapple Peel. **International Journal of Advanced Scientific Research And Technology**, v. 3, n. 2, p. 656–666, 2012.

REINHARDT, D. H. R. C. *et al.* Advances in pineapple plant propagation. **Rev. Bras. Frutic.**, v. 40, n. 6, p. 1–22, 2018.

RODA, A. *et al.* Metabolite profiling and volatiles of pineapple wine and vinegar obtained from pineapple waste. **Food Chemistry**, v. 229, p. 734–742, 2017.

RUFINO, M. DO S. M. *et al.* Metodologia científica: determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre ABTS. **Comunicado técnico**, p. 0–3, 2007.

SARKAR, T.; NAYAK, P.; CHAKRABORTY, R. Review pineapple [*Ananas comosus* (L.)] product processing techniques and packaging : a review. **IIOAB Journal**, v. 9, n.4, p. 6–12, 2018.

SAVI, A. *et al.* Bioactive compounds from *Syzygium malaccense* leaves : optimization of the extraction process , biological and chemical characterization. **Acta Scientiarum Technology**, v. 42, p. 1–9, 2020.

SAVITHA, R. C.; PADMAVATHY, S.; SUNDHARARAJAN, A. Invitro Antioxidant Activities on Leaf Extracts of *Syzygium Malaccense* (L.) Merr and Perry. **Anc. Sci. Life**, v. 30, n. 4, p. 110–113, 2011.

SINGH, A. K. Overview of vinegar production. **PalArch's Journal of Archaeology of Egypt/Egyptology**, v. 17, n. 6, p. 4027–4037, 2020.

SINGLETON V.L, ORTHOFER R, LAMUELA-RAVENTOS, R. M. 3,5-di-Tert-butyl-4-hydroxytoluene (BHT) as an artifact from diethyl ether. **Methods In Enzymology**, v. 299, n. 6, p. 561, 1999.

STOKES, M.; FAIRCHILD, M. D.; BERNS, R. S. Precision requirements for digital color reproduction. **ACM Transactions on Graphics**, v. 11, n. 4, p. 406–422, 1992.

TANAMOO, V.; CHANTARANGSEE, M.; SOEMPHOL, W. Simultaneous vinegar fermentation from a pineapple by-product using the co-inoculation of yeast and thermotolerant acetic acid bacteria and their physiochemical properties. **3 Biotech**, v.

10, n. 3, 2020.

THINATHAYALAN, D. *et al.* The effects of apple cider vinegar on weight , blood pressure , blood glucose level and heart rate of 60 MMMC medical students randomized controlled trial. **Medicine Journal**, v. 6, n. 3, p. 88–100, 2019.

VH, E. S. *et al.* Phytochemical screening of honey pineapple peel extract and its application as an antibacterial additive in dish soap formulation. **Jurnal Kimia dan Pendidikan Kimia**, v. 6, n. 1, p. 49–58, 2021.

VIROLI, S. L. M. *et al.* Production and characterization of acetic fermentation with different fruit peels. **Research, Society and Development** v.10, n. 14, 2021.

VUOLO, M. M. *et al.* Red-jambo peel extract shows antiproliferative activity against HepG2 human hepatoma cells. **Food Research International**, v. 124, n. Sl., p. 93–100, 2019.

WOOTTON-BEARD, P. C.; MORAN, A.; RYAN, L. Stability of the total antioxidant apacity and total polyphenol content of 23 commercially available vegetable juices before and after in vitro digestion measured by FRAP, DPPH, ABTS and Folin-Ciocalteu methods. **Food Research International**, v. 44, n. 1, p. 217–224, 2011.

YÜCELŞENGÜN, İ.; KILIÇ, G. Total phenolic content and antibacterial activity of homemade fig and mulberry vinegar. **Eskişehir Technical University Journal of Science and Technology C- Life Sciences and Biotechnology**, v. 9, n. 1, p. 89–97, 2020.

ZHANG, L. *et al.* Physicochemical characterization of pineapple peel wine. **IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.**, v. 546, n. 4, 2020.