



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
FACULDADE DE FARMÁCIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DE ALIMENTOS

LORENA SANTOS DE ALMEIDA

**INFLUÊNCIA DO ULTRASSOM DE ALTA INTENSIDADE NO
PROCESSAMENTO DA POLPA DE DIFERENTES ESPÉCIES
DE MARACUJÁ: PERFIL FÍSICO-QUÍMICO, COMPOSTOS
BIOATIVOS, ATIVIDADE DA ASCORBATO OXIDASE E
QUALIDADE MICROBIOLÓGICA**

UFBA

SALVADOR

2024



LORENA SANTOS DE ALMEIDA

**INFLUÊNCIA DO ULTRASSOM DE ALTA INTENSIDADE NO
PROCESSAMENTO DA POLPA DE DIFERENTES ESPÉCIES
DE MARACUJÁ: PERFIL FÍSICO-QUÍMICO, COMPOSTOS
BIOATIVOS, ATIVIDADE DA ASCORBATO OXIDASE E
QUALIDADE MICROBIOLÓGICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos (PGAl) da Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciência de Alimentos.

Prof^ª. Dr^ª. Alini Tinoco Fricks
Orientador

SALVADOR

2024

Dados internacionais de catalogação-na-publicação
(SIBI/UFBA/Biblioteca Universitária Reitor Macedo Costa)

Almeida, Lorena Santos de.

Influência do ultrassom de alta intensidade no processamento da polpa de diferentes espécies de maracujá: perfil físico-químico, compostos bioativos, atividade da ascorbato oxidase e qualidade microbiológica / Lorena Santos de Almeida. - 2024.

81 f.: il.

Orientadora: Profa. Dra. Alini Tinoco Fricks.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal da Bahia, Faculdade de Farmácia, Salvador, 2024.

1. Tecnologia de alimentos. 2. Alimentos - Análise. 3. Alimentos - Conservação. 4. Antioxidantes. 5. Maracujá. 6. Passiflora. I. Fricks, Alini Tinoco. II. Universidade Federal da Bahia. Faculdade de Farmácia. III. Título.

CDD - 664.8

CDU - 664.85



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
FACULDADE DE FARMÁCIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DE ALIMENTOS

TERMO DE APROVAÇÃO

LORENA SANTOS DE ALMEIDA

INFLUÊNCIA DO ULTRASSOM DE ALTA INTENSIDADE NO PROCESSAMENTO DE POLPAS DE DIFERENTES ESPÉCIES DE MARACUJÁ: PERFIL FÍSICO-QUÍMICO, COMPOSTOS BIOATIVOS, ATIVIDADE ASCORBATO OXIDASE E QUALIDADE MICROBIOLÓGICA

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos (nível Mestrado Acadêmico) da Faculdade de Farmácia da Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para a obtenção do título de mestre em Ciência de Alimentos.

Aprovada em 10 de outubro de 2024.

BANCA EXAMINADORA

Drª. ALINI TINOCO FRICKS (ORIENTADORA)
Universidade Federal da Bahia (UFBA, BA)

Dr. FÁBIO DE SOUZA DIAS (EXAMINADOR)
Universidade Federal da Bahia (UFBA, BA)

Drª. MARIA BEATRIZ DE ABREU GLÓRIA (EXAMINADORA)
Universidade Federal da Bahia (UFBA, BA)

Meus agradecimentos,

À Deus, que, por Sua graça me instruiu e capacitou em cada detalhe, me deu coragem nas adversidades e trouxe paz aos meus anseios.

À minha família, em especial aos meus pais, Luciene e Rogerio, por todo o suporte, incentivo e amor incondicional durante essa etapa. Saibam que os esforços de vocês tornaram este sonho possível.

Ao meu namorado, Tiago, pela cumplicidade, por me incentivar, e trazer segurança e amor nos momentos de aflição. Seu apoio foi fundamental durante esse processo.

À minha orientadora, Professora Alini Fricks, pela paciência, orientação e confiança depositada em mim durante a construção deste trabalho.

À Dra. Ronielli Reis e ao Dr. Onildo Jesus pela colaboração e disponibilidade, que foram indispensáveis para que essa pesquisa acontecesse.

Aos meus queridos colegas do grupo de pesquisa, Bruna, Luciana, Larissa e Luciano, agradeço a colaboração e alegria durante a construção dessa pesquisa.

À Fernanda e Camila, em especial, agradeço imensamente pela doação e apoio durante a Iniciação Científica.

À minha querida amiga, Joseane Alencar, sou profundamente grata pela parceria, pelas risadas nos momentos de aflição, por sempre estar ao meu lado e cuidar de mim como uma irmã.

Ao Prof. Dr. Bruno Paulino, agradeço a colaboração, pela motivação e por sempre ser tão solícito quando precisei.

À Me. Jaciene Assis, pela paciência e por todo auxílio prestado nas etapas iniciais desse trabalho. A você, sou imensamente grata por me instruir com tanta sabedoria desde o início da minha trajetória científica.

À Dra. Joselene Nascimento, por me auxiliar na realização das análises microbiológicas e, principalmente, pelo carinho e cuidado comigo durante essa etapa.

Aos meus amigos, em especial Emilli, Ivan, Vitória, Tácio, Júlia, Iuri, Dr. Márcio Canto, Belinda Pereira, Meire, agradeço a todos pelo incentivo.

Aos meus professores, colegas do PGAlI e do Lapesca, agradeço por todas as contribuições.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento do projeto (nº do processo: 405707/2023-1. Edital Chamada CNPq/MCTI Nº 10/2023 - Faixa A - Grupos Emergentes - Universal).

À Coordenação Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos concedida (nº do processo: 88887.711174/2022-00).

Por fim, agradeço a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para que eu pudesse vivenciar este momento.

RESUMO

O maracujá é uma fruta que possui uma grande e diversa quantidade de substâncias bioativas. As frutas são naturalmente afetadas pela sazonalidade e possuem uma elevada perecibilidade por ação de micro-organismos e de algumas enzimas indesejáveis, exigindo métodos de conservação capazes de promover segurança alimentar e preservar a qualidade nutricional do alimento. O objetivo do estudo foi avaliar o efeito do processamento ultrassom de alta intensidade em diferentes condições de temperatura e da técnica clássica de pasteurização nos parâmetros de cor, nas propriedades físico-químicas, na retenção dos compostos bioativos, capacidade antioxidante, atividade enzimática e na qualidade microbiológica da polpa de *Passiflora edulis* Sims, *Passiflora setacea* e *Passiflora cincinnata*. As condições ideais foram relacionadas com o tempo e a temperatura de processamento, e obtiveram como índice da qualidade do processo, a retenção do ácido ascórbico e a inativação enzimática da ascorbato oxidase (ASO) durante 7 dias de armazenamento. Foram adotadas em análises futuras as condições de 5 minutos de processamento comum (60°C) e com controle de temperatura (20°C). Para efeito de comparação, a técnica clássica de pasteurização (63°C / 30 min) também foi avaliada. Os processamentos não demonstraram efeito expressivo nas características de pH, sólidos solúveis e acidez da polpa das espécies avaliadas. Por outro lado, houve alterações significativas nos parâmetros de luminosidade (L*), verde/vermelho (a*), azul/amarelo (b*), refletidas na diferença total de cor (ΔE). Foi observada uma eficiente preservação dos carotenoides e dos compostos fenólicos totais proporcionado pelo processamento ultrassom, e conteúdos diversificados foram encontrados nas espécies avaliadas. Após 63 dias de estocagem, o tratamento ultrassom foi responsável pela retenção do ácido ascórbico em torno de 30%-60%, valor superior ao avaliado nas amostras submetidas a pasteurização. A preservação de compostos atribuídos a atividades biológicas contribuiu para a manutenção das propriedades antioxidantes, mensurados nas diferentes espécies através dos ensaios de captura do radical DPPH e dos radicais ABTS⁺. Além disso, a aplicação do ultrassom foi eficiente na inativação parcial da ASO e apresentou resultados satisfatórios na diminuição da carga microbiológica, reduzindo bolores e leveduras em pelo menos 1 log UFC/mL. Em geral, o estudo comprovou a eficiência do processamento ultrassom na preservação dos compostos bioativos e na inativação enzimática de forma rápida e com baixo custo energético. Os resultados obtidos representam a possibilidade de desenvolvimento e inovação para a indústria de alimentos, mostrando-se promissor para ser inserido na cadeia alimentar e apoiar a economia sustentável.

Palavras-chave: *Maracujá; Conservação de alimentos; Antioxidantes; Tratamento não-térmico.*

ABSTRACT

Passion fruit is a fruit with a large and diverse array of bioactive substances. These fruits are naturally affected by seasonality and have high perishability due to the action of microorganisms and some undesirable enzymes, necessitating preservation methods that ensure food safety and maintain nutritional quality. The aim of the study was to evaluate the effect of high-intensity ultrasound processing under different temperature conditions and the classic pasteurization technique on color parameters, physicochemical properties, bioactive compound retention, antioxidant capacity, enzymatic activity, and the microbiological quality of the pulp of *Passiflora edulis* Sims, *Passiflora setacea*, and *Passiflora cincinnata*. Optimal conditions were determined based on processing time and temperature, focusing on ascorbic acid retention and the enzymatic inactivation of ascorbate oxidase (ASO) over 7 days of storage. Future analyses adopted conditions of 5 minutes of conventional processing (60°C) and temperature-controlled processing (20°C). For comparison purposes, the classic pasteurization technique (63°C / 30 min) was also evaluated. The processing methods did not significantly affect the pH, soluble solids, or acidity characteristics of the pulp from the evaluated species. On the other hand, significant changes were observed in lightness (L*), green/red (a*), and blue/yellow (b*) parameters, reflected in the total color difference (ΔE). High-intensity ultrasound processing efficiently preserved carotenoids and total phenolic compounds, with varying content among the evaluated species. After 63 days of storage, ultrasound treatment retained ascorbic acid at levels ranging from 30% to 60%, a higher value than those observed in pasteurized samples. The preservation of compounds associated with biological activities contributed to maintaining antioxidant properties, measured across different species using DPPH and ABTS+ radical scavenging assays. Additionally, ultrasound application effectively partially inactivated ASO and reduced the microbial load, lowering mold and yeast counts by at least 1 log CFU/mL. Overall, the study demonstrated the efficiency of ultrasound processing in preserving bioactive compounds and achieving rapid enzymatic inactivation with low energy costs. The results suggest potential development and innovation opportunities for the food industry, showing promise for integration into the food supply chain and supporting sustainable economic growth.

Keywords: *Passion fruit; Food preservation; Antioxidants; Non-thermal treatment.*

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|--|---|-----------|
| <i>CAPÍTULO I – Influência do ultrassom de alta intensidade no processamento da polpa de diferentes espécies de maracujá: Perfil físico-químico, compostos bioativos, atividade da ascorbato oxidase e qualidade microbiológica</i> | | 12 |
| Figura 1 | Híbridos de <i>Passiflora edulis</i> Sims com diferentes tons de casca..... | 19 |
| Figura 2 | Frutos de <i>Passiflora setacea</i> | 21 |
| Figura 3 | Fruto e flor de <i>Passiflora cincinnata</i> | 22 |
| Figura 4 | Fluxograma do modelo operacional convencional de obtenção de polpa de fruta..... | 33 |
| Figura 5 | Mecanismo de ação do ultrassom..... | 35 |
| Figura 6 | Retenção do ácido ascórbico em polpa de maracujá tratada por ultrassom em diferentes tempos e temperaturas..... | 47 |
| Figura 7 | Atividade residual da ASO em polpa de maracujá tratada por ultrassom em diferentes condições..... | 48 |
| Figura 8 | Efeito do tratamento ultrassom e da pasteurização na polpa de <i>Passiflora</i> spp..... | 52 |
| Figura 9 | Perfil do ácido ascórbico e da ASO durante a estocagem por 63 dias..... | 60 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|---|---|-----------|
| <i>CAPÍTULO I – Influência do ultrassom de alta intensidade no processamento da polpa de diferentes espécies de maracujá: Perfil físico-químico, compostos bioativos, atividade da ascorbato oxidase e qualidade microbiológica.....</i> | | 12 |
| Tabela 1 | Compostos bioativos identificados na polpa das espécies <i>Passiflora edulis</i> Sims, <i>Passiflora setacea</i> e <i>Passiflora cincinnata</i> | 27 |
| Tabela 2 | Padrão de identidade e qualidade da polpa de maracujá (<i>Passiflora</i> spp.)..... | 33 |
| Tabela 3 | Lista de frutos de <i>Passiflora</i> utilizados..... | 38 |
| Tabela 4 | Parâmetros utilizados nos testes iniciais de processamento ultrassom..... | 39 |
| Tabela 5 | Parâmetros dos tratamentos aplicados na polpa de diferentes espécies de maracujá..... | 40 |
| Tabela 6 | Efeito do processamento ultrassom e da pasteurização no pH, sólidos solúveis, acidez total e cor da polpa de diferentes espécies de maracujá..... | 51 |
| Tabela 7 | Efeito do processamento ultrassom e da pasteurização nos compostos bioativos e atividade antioxidante da polpa de diferentes espécies de maracujá..... | 56 |
| Tabela 8 | Contagem de mesófilos aeróbios, bolores e leveduras, coliformes totais, coliformes termotolerantes, <i>Escherichia coli</i> e <i>Salmonella</i> spp. da polpa de <i>Passiflora</i> spp..... | 65 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|---------|--|
| ABTS | 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfônico) |
| ANOVA | Análise de variância |
| Anvisa | Agência Nacional de Vigilância Sanitária |
| APHA | American Public Health Association |
| ASO | Ascorbato oxidase |
| CLS | Caldo Lactose Simples |
| DCNTs | Doenças Crônicas Não Transmissíveis |
| DPPH | 2,2-difenil-1-picril-hidrazila |
| DRBC | Dichloran Rose Bengal Chloramphenicol Agar |
| E-MB | Eosin methylene blue |
| Embrapa | Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária |
| FRAP | Ferric Reducing Antioxidant Power |
| HDL | High Density Lipoprotein |
| HE | Hektoen Enteric |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| LST | Lauryl Tryptose Broth |
| LTLT | Low Temperature Long Time |
| Mapa | Ministério da Agricultura e Pecuária |
| NMP | Número mais provável |
| Nrf2 | Fator 2 de transcrição nuclear eritroide-2-relacionado |
| ORAC | Oxygen Radical Absorbance Capacity |
| PCA | Ágar Plate Count |
| PS | Pasteurização |
| ROS | Reactive oxygen species |
| RV | Rappaport-Vassiliadis |
| SS | Salmonella Shigella |
| TT | Tetrationato |
| US | Ultrassom |
| UV | Ultravioleta |
| XLD | Xylose lysine Deoxycholate |

SUMÁRIO

| | | |
|--|--|-----------|
| <i>CAPÍTULO I – Influência do ultrassom de alta intensidade no processamento da polpa de diferentes espécies de maracujá: Perfil físico-químico, compostos bioativos, atividade da ascorbato oxidase e qualidade microbiológica</i> | | 12 |
| 1 | INTRODUÇÃO | 13 |
| 2 | OBJETIVOS | 16 |
| 2.1 | Objetivo geral..... | 16 |
| 2.2 | Objetivos específicos..... | 16 |
| 3 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 17 |
| 3.1 | Maracujá: Aspectos gerais..... | 17 |
| 3.1.1 | <i>Passiflora edulis</i> Sims..... | 18 |
| 3.1.2 | <i>Passiflora setacea</i> | 20 |
| 3.1.3 | <i>Passiflora cincinnata</i> | 22 |
| 3.2 | Compostos bioativos e propriedades funcionais de <i>Passiflora</i> spp..... | 23 |
| 3.3 | Atividade antioxidante de <i>Passiflora</i> spp. | 25 |
| 3.3.1 | Ácido ascórbico..... | 29 |
| 3.3.2 | Compostos fenólicos..... | 30 |
| 3.3.3 | Carotenoides..... | 31 |
| 3.4 | Parâmetros de identidade, qualidade e processamento da polpa de <i>Passiflora</i> spp..... | 32 |
| 3.5 | Uso do ultrassom em alimentos..... | 34 |
| 3.6 | Uso do ultrassom em polpa de fruta..... | 36 |
| 4 | MATERIAL E MÉTODOS | 38 |
| 4.1 | Material vegetal e obtenção da polpa..... | 38 |
| 4.2 | Processamento da polpa..... | 38 |
| 4.2.1 | Definição dos parâmetros de processamento ultrassom..... | 38 |
| 4.2.2 | Processamento ultrassom e pasteurização..... | 39 |
| 4.3 | Parâmetros de cor..... | 40 |
| 4.4 | pH, sólidos solúveis e acidez total..... | 40 |
| 4.5 | Determinação de ácido ascórbico..... | 41 |
| 4.6 | Atividade da ascorbato oxidase (ASO)..... | 41 |
| 4.7 | Determinação dos carotenoides totais..... | 42 |
| 4.8 | Compostos fenólicos totais e Capacidade antioxidante..... | 42 |
| 4.8.1 | Obtenção do extrato..... | 42 |
| 4.8.2 | Determinação dos compostos fenólicos totais..... | 43 |
| 4.8.3 | Ensaio de eliminação do radical DPPH..... | 43 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 4.8.4 | Captura dos radicais ABTS ⁺ | 43 |
| 4.9 | Análise microbiológica..... | 44 |
| 4.10 | Análise estatística..... | 45 |
| 5 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 46 |
| 5.1 | Testes preliminares dos parâmetros de processamento ultrassom em polpa de maracujá..... | 46 |
| 5.2 | pH, acidez total e sólidos solúveis de diferentes espécies de polpa de maracujá..... | 49 |
| 5.3 | Parâmetros de cor..... | 52 |
| 5.4 | Carotenoides totais..... | 55 |
| 5.5 | Compostos fenólicos e propriedade antioxidante..... | 57 |
| 5.6 | Retenção do ácido ascórbico e atividade residual da ascorbato oxidase (ASO) durante a estocagem..... | 59 |
| 5.7 | Quantificação de microrganismos..... | 63 |
| 6 | CONCLUSÃO | 66 |
| | REFERÊNCIAS | 67 |

Capítulo I

***Influência do processamento ultrassom de alta intensidade na polpa de Passiflora spp.:
Perfil físico-químico, compostos bioativos, atividade da ascorbato oxidase e qualidade
microbiológica***

1 INTRODUÇÃO

A biodiversidade brasileira é considerada uma das maiores riquezas ecológicas do planeta. As espécies encontradas nos diferentes ecossistemas representam um vasto reservatório de substâncias bioativas, fundamentais para a saúde humana (Bolzani, 2016). Nesse contexto, o gênero *Passiflora* L. apresenta ampla variabilidade genética e destaca-se como o mais relevante economicamente dentro da família Passifloraceae (Carvalho *et al.*, 2017; Pereira *et al.*, 2019). Estima-se que o Brasil seja o maior produtor e consumidor mundial de maracujá, com aproximadamente 150 espécies nativas, das quais cerca de 70 são comestíveis (Junghans *et al.*, 2022).

A espécie com maior representatividade comercial e valor socioeconômico é o maracujá amarelo ou azedo (*Passiflora edulis* Sims), anteriormente classificado como *Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Degener, responsável por cerca de 90% da produção anual brasileira. Este maracujá também possui a maior aceitação no mercado internacional entre os frutos do gênero *Passiflora*, devido ao alto rendimento e qualidade sensorial (Faleiro *et al.*, 2019; Jesus *et al.*, 2023). Em 2023, os pomares brasileiros produziram aproximadamente 711.278 toneladas de maracujá, com a produção distribuída em todos os estados do país (IBGE, 2023).

Os frutos de *Passiflora edulis* Sims variam em coloração, desde o amarelo até o roxo avermelhado e o roxo intenso. Apesar de pertencerem à mesma espécie, os frutos de casca roxa apresentam características químicas distintas em relação aos amarelos, como a polpa mais adocicada (Jesus *et al.*, 2023). A Embrapa Mandioca e Fruticultura tem se dedicado à seleção e ao melhoramento genético do maracujá, visando a obtenção de híbridos com qualidade físico-química superior e melhores atributos organolépticos para atender à demanda comercial local e internacional (Jesus *et al.*, 2016; Jesus *et al.*, 2023).

Espécies nativas dos biomas Cerrado e Caatinga são alvo de estudos tecnológicos, especialmente relacionados com a sua composição nutricional (Bolzani, 2016). A combinação de baixa umidade com temperaturas elevadas caracteriza o clima desses biomas, proporcionando às plantas nativas uma grande resistência ao estresse, o que intensifica o metabolismo secundário e aumenta a produção de compostos antioxidantes (Siqueira *et al.*, 2013).

Passiflora setacea é uma importante espécie silvestre nativa do Cerrado, conhecida por seus frutos extremamente aromáticos e de sabor adocicado (Sanchez *et al.*, 2020). Popularmente chamada de maracujá do Cerrado ou maracujá-do-sono, essa espécie é valorizada por sua

atuação na modulação do sono (Oliveira *et al.*, 2022). Seu potencial para a alimentação é notável especialmente devido ao sabor agradável (Sanchez *et al.*, 2020).

Outra espécie silvestre em destaque é *Passiflora cincinnata*, conhecida como maracujá da Caatinga ou maracujá-do-mato, que cresce quase espontaneamente nesse bioma (Araujo *et al.*, 2016; Santos *et al.*, 2024). Essa espécie apresenta alta tolerância a ambientes áridos e resistência a pragas. Seus frutos possuem aroma e sabor exóticos, além de interessante valor nutricional. Apesar de suas características únicas, a produção extrativista do fruto tem se restringido a cooperativas, pequenos agricultores e comunidades locais (Santos *et al.*, 2021).

Estudos recentes evidenciaram o potencial tecnológico dos compostos bioativos presentes na polpa das espécies de *Passiflora*, associando-os a diversos benefícios para a saúde, como efeitos anti-inflamatórios, propriedades antitumorais, poderes sedativo e ansiolítico, e atividade hipoglicêmica (Corrêa *et al.*, 2016; Lavor *et al.*, 2018; Loizzo *et al.*, 2019; Mota *et al.*, 2018).

Entretanto, a alta perecibilidade pós-colheita, decorrente de reações enzimáticas e ações microbianas, aliada à sazonalidade, limita a disponibilidade dos frutos ao longo do ano (Sanchez *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2017). Dessa forma, o processamento torna-se essencial para garantir o consumo contínuo, especialmente em áreas urbanas. A pasteurização, um método tradicional de conservação, utiliza altas temperaturas e promove a inativação enzimática e a redução da carga microbiana de maneira simples e econômica. No entanto, o principal impacto negativo desse processamento térmico é a perda de nutrientes, principalmente devido a processos oxidativos, o que compromete a retenção de compostos bioativos (Sanchez *et al.*, 2020; Souza *et al.*, 2019).

Em contrapartida, o uso de ultrassom tem se mostrado promissor para o aprimoramento tecnológico e nutricional de alimentos (Araújo *et al.*, 2021). Trata-se de uma técnica não térmica que utiliza ondas ultrassônicas para gerar forças mecânicas que são aplicadas à matriz alimentícia, promovendo ciclos acelerados de compressão e implosão de bolhas que se propagam através do alimento, induzindo a ruptura dos tecidos vegetais (Kumar *et al.*, 2021). Em consequência das mudanças repentinas de pressão, ocorre um fenômeno denominado "cavitação acústica", que favorece a porosidade celular e a formação de radicais livres, resultando no aumento das transferências de massa para o meio extracelular (Araújo *et al.*, 2021; Fellows, 2019).

Diversos estudos demonstram os efeitos benéficos do processamento por ultrassom de alta intensidade (18 – 100 kHz) na redução da carga microbiológica e na inativação de enzimas deteriorantes, sem causar danos térmicos à matriz alimentícia (Araújo *et al.*, 2021; Oliveira *et al.*, 2018; Souza *et al.*, 2019). Nesse contexto, essa técnica se apresenta como uma alternativa

eficaz para a inativação de enzimas indesejáveis e a inibição do crescimento de microrganismos, ao mesmo tempo em que preserva as características de qualidade inicial da polpa de maracujá.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

- ✓ Avaliar a influência do processamento ultrassom de alta intensidade nas propriedades físico-químicas, na retenção dos compostos bioativos, capacidade antioxidante, atividade enzimática e na qualidade microbiológica da polpa de diferentes espécies de maracujá.

2.2 Objetivos específicos

- ✓ Determinar as melhores condições experimentais do processamento ultrassom em relação ao tempo de tratamento e a temperatura;
- ✓ Analisar o impacto do processamento ultrassom e da pasteurização no perfil físico-químico (cor, pH, sólidos solúveis e acidez total) da polpa de diferentes espécies de maracujá imediatamente processadas;
- ✓ Avaliar o efeito do processamento ultrassom e da pasteurização no teor de compostos bioativos (carotenoides totais e fenólicos totais) e na atividade antioxidante (DPPH e ABTS) da polpa de diferentes espécies de maracujá imediatamente processadas;
- ✓ Analisar a influência do processamento ultrassom e da pasteurização na qualidade microbiológica polpa de diferentes espécies de maracujá imediatamente processadas;
- ✓ Determinar o teor de ácido ascórbico e a atividade da ascorbato oxidase (ASO) na polpa de diferentes espécies de maracujá armazenadas à -18°C, durante 63 dias.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Maracujá: Aspectos gerais

Maracujá é o nome popular dado no Brasil a diversos frutos pertencentes ao gênero *Passiflora*. Atualmente, o gênero possui mais de 500 espécies já catalogadas, e engloba os frutos de maior relevância econômica dentre os 12 gêneros da família Passifloraceae. Embora haja uma ampla distribuição global de espécies de maracujá, o cultivo dos frutos ocorre com maior intensidade nas regiões de clima tropical, onde o Brasil e a Colômbia lideram em produção e diversidade, com aproximadamente 150 e 170 espécies nativas catalogadas, respectivamente (Fonseca *et al.*, 2022; Pereira *et al.*, 2023; Dos Reis *et al.*, 2018).

Apesar das flores de *Passiflora* já serem comuns aos nativos sul-americanos, os relatos documentados em 1553 atribuíram sua descoberta ao explorador espanhol Pedro Cieza de León, durante a era colonial espanhola na América do Sul. Os documentos que descrevem as flores desde sua descoberta, a relacionaram com a crença cristã de que suas características morfológicas simbolizam a crucificação de Cristo. A crença nessa simbologia perpetuou-se de maneira intensa naquele período, fazendo com que em 1753 o botânico Linnaeus, conhecido como pai da taxonomia, nomeasse o gênero de *Passiflora* através da junção dos termos “*Passio*” e “*flora*”, que significa “flor do sofrimento” (Bernacci *et al.*, 2008; Yockteng *et al.*, 2011).

Em termos botânicos, o maracujazeiro é classificado como planta herbácea, trepadeira lenhosa, perene. A maior parte das espécies de *Passiflora* são utilizadas apenas para fins ornamentais, e aproximadamente 60 espécies são comestíveis (Song *et al.*, 2022). Apesar da variabilidade genética do gênero *Passiflora*, a espécie de maracujazeiro cultivada com maior expressividade nos pomares brasileiros é a *Passiflora edulis* Sims, popularmente denominada de maracujá azedo ou maracujá amarelo, a qual representa aproximadamente 90% do cultivo mundial de maracujá (Junghans *et al.*, 2022).

O Brasil é o país que mais produz e consome maracujá no mundo, sendo responsável por aproximadamente 50% a 60% da produção global (Oliveira *et al.*, 2016). De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2023 a produção brasileira de maracujá foi de 711.278 toneladas, gerando uma receita de 2.389.199 mil reais para o país. Atualmente, a Bahia lidera o ranking nacional com o cultivo de 253.857 toneladas do fruto. O protagonismo da cultura do maracujá no Brasil tem impacto no cenário socioeconômico do país, especialmente na geração de empregos na mão de obra do campo, no setor de distribuição de insumos, além de representar uma opção para fruticultores que operam em pequena, média e larga escala, principalmente para os agropecuaristas associados a agricultura familiar (Melletti, 2011).

A ampla utilização dos frutos de *Passiflora* pode ser explicada principalmente pelo seu sabor característico e pela sua versatilidade, atributos amplamente valorizados entre os consumidores de frutas frescas em todo o mundo. O consumo de maracujá é prevalente em diversas preparações culinárias, especialmente na forma de suco ou néctar. Em resposta à elevada demanda comercial, os frutos de maracujá são frequentemente empregados na indústria alimentícia na formulação de iogurtes, geleias, sorvetes, bolos, vinhos e vinagres, visando atender à crescente busca dos consumidores por produtos ricos em nutrientes, com características sensoriais agradáveis e provenientes de sistemas de produção sustentável (Ning *et al.*, 2022).

Além disso, estudos recentes demonstraram que além da polpa dos frutos as outras partes botânicas e os seus subprodutos apresentam um enorme potencial tecnológico. As utilizações dos frutos variam entre obtenção de pectina, utilização como matéria prima de produtos alimentícios, obtenção de óleos, em síntese de nanopartículas, em formulação de cosméticos e como agente no controle de patologias (Araújo *et al.*, 2024; Corrêa *et al.*, 2016; Ning *et al.*, 2021; Prasertsri *et al.*, 2024; Santos *et al.*, 2023; Zheng *et al.*, 2024).

Atualmente, a espécie de maracujazeiro mais cultivada no Brasil é a *Passiflora edulis* Sims, popularmente denominada de maracujá azedo ou maracujá amarelo. No entanto, existem outras espécies do gênero que ainda são pouco utilizadas como as espécies de maracujá silvestre *Passiflora cincinnata* e *Passiflora setacea* (Sanchez *et al.*, 2020; Viera *et al.*, 2022).

3.1.1 *Passiflora edulis* Sims

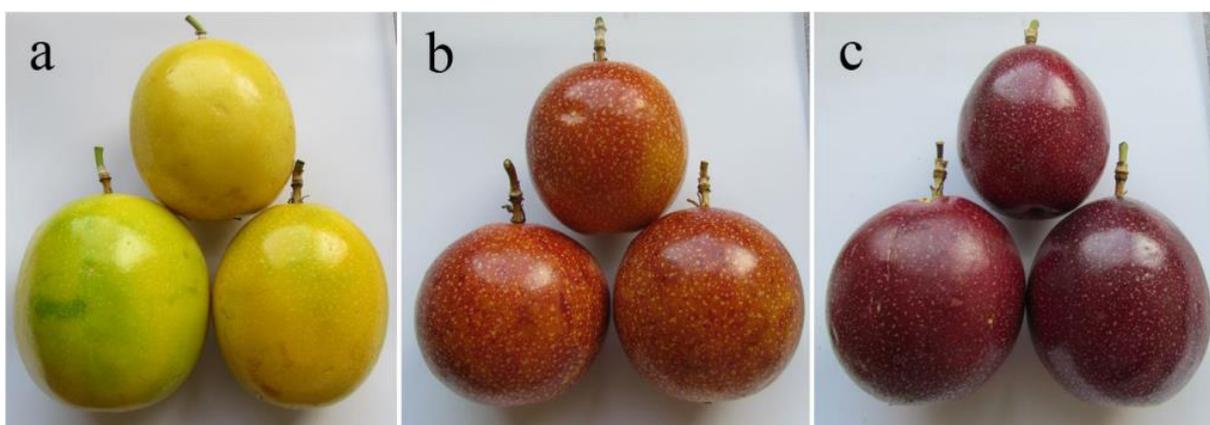
A *Passiflora edulis* Sims, popularmente conhecida como maracujá azedo, é uma espécie de frutos extremamente aromáticos que cresce na região da floresta Amazônica, com cultivo comercial em todos os estados do Brasil. Estimativas sugerem que a produção dessa espécie representa cerca de 90% da produção mundial de maracujá, sendo que 80% dessa produção ocorre apenas no Brasil. As principais características dessa espécie são a qualidade agrônômica e o bom rendimento da polpa, perfil que a torna apreciada no comércio local e internacional (IBGE, 2023; Junghans *et al.*, 2022).

Os frutos de *Passiflora edulis* Sims pesam aproximadamente 232 g e possuem, em média, 9,5 cm de comprimento. As sementes e a casca dessa espécie representam cerca de 51,38%, enquanto a polpa compõe, em média, 48,62% da massa total do fruto. A polpa apresenta coloração amarelo-alaranjada e sabor marcante. Com um número médio de 400 sementes, que juntas pesam cerca de 9,2 g, os frutos de *Passiflora edulis* Sims podem apresentar

casca de coloração amarela, roxo púrpura ou roxo intenso (Figura 1), com peso aproximado de 110 g (Junghans *et al.*, 2022).

Embora pertençam a mesma espécie, as frutas de *Passiflora edulis* Sims de casca roxa possuem características químicas distintas dos frutos amarelos. Nesse sentido, a Embrapa Mandioca e Fruticultura está desenvolvendo a seleção e recombinação dos frutos, os quais foram denominados de maracujá vermelho brilhante, a fim de estabelecer frutos de maracujá roxo dentro da espécie *Passiflora edulis* Sims com cor da casca uniforme, atributos físico-químicos e organolépticos aprimorados, o que irá possibilitar a produção e comercialização dos frutos em larga escala (Jesus *et al.*, 2023).

Figura 1 – Híbridos de *Passiflora edulis* Sims com diferentes tons de casca



Os híbridos selecionados pela Embrapa Mandioca e Fruticultura (a-c) – obtidos através do cruzamento intraespecífico (*P. edulis* x *P. edulis*). **a)** Híbrido de maracujá de casca amarela (sem pigmentação antociânica); **b)** Híbrido de maracujá de casca roxo claro (pigmentação antociânica fraca ou moderada); **c)** Híbrido de maracujá de casca roxo escuro (pigmentação antociânica forte).

Fonte: Araújo *et al.* (2017).

Nos frutos selecionados de maracujá de casca roxa (*Passiflora edulis* Sims), observou-se uma boa produtividade e uma casca mais resistente. A coloração da casca varia do roxo avermelhado ao roxo escuro, com brilho intenso, enquanto a polpa apresenta tonalidade laranja-amarelada, além de maior doçura quando comparada à polpa dos frutos de maracujá amarelo da mesma espécie. Essa característica torna o fruto atrativo tanto para o mercado local quanto para o internacional de frutas frescas, criando uma oportunidade para o nicho de exportação de frutas no Brasil (Jesus *et al.*, 2023).

De acordo com um estudo desenvolvido por Jesus *et al.* (2023), os híbridos de maracujá vermelho brilhante apresentam valor de pH na faixa de 1,76 a 3,87, o perfil de acidez total varia entre 0,88 e 4,84% de ácido cítrico e o conteúdo de sólidos solúveis situa-se entre 9,18 e 16,90 °Brix. Do ponto de vista industrial, frutos que apresentam um elevado teor de sólidos solúveis são mais favoráveis para a formulação de sucos e bebidas, o que sugere a aptidão dos híbridos de *Passiflora edulis* Sims para este segmento (Costa, 2008).

Seguindo a mesma tendência, os frutos de maracujá amarelo apresentam alguns atributos físico-químicos similares aos híbridos de maracujá de casca roxa desenvolvidos dentro da mesma espécie. De acordo com Araújo *et al.* (2017), a acidez total da polpa de maracujá amarelo apresenta em média 5,38% de ácido cítrico, o valor de pH situa-se em 2,78 e o nível de sólidos solúveis é em média 13,00 °Brix.

Além da espécie *Passiflora edulis* Sims, a espécie *Passiflora edulis* Sims f. *edulis*, popularmente conhecida como gulupa, também produz frutos de casca roxa. No entanto, as duas espécies apresentam inúmeras diferenças como as características químicas do fruto (maior doçura e menor acidez da polpa do *Passiflora edulis* Sims), bem como aspectos morfológicos da planta, fruto, semente e das folhas. De forma similar, as plantas destas duas espécies possuem ramos de cor verde-arroxeadada, porém o comprimento e largura foliar da planta de *Passiflora edulis* Sims f. *edulis* são menores. Apesar do potencial agrônomico evidente em ambas as espécies, esses frutos ainda são pouco explorados no Brasil (Jesus *et al.*, 2023; Oliveira *et al.*, 2019).

Além dos frutos selecionados de maracujá de casca roxa (*Passiflora edulis* Sims), estudos recentes relatam o perfil promissor de outras espécies pertencentes ao mesmo gênero. Além das características agrônomicas que oportunizam o seu cultivo, essas espécies também apresentam um perfil físico-químico singular, que são interessantes especialmente para o mercado de frutas exóticas (Santos *et al.*, 2021).

3.1.2 *Passiflora setacea*

O maracujá do Cerrado, maracujá-do-sono ou sururuca é um fruto de maracujá silvestre da espécie *Passiflora setacea* (figura 2), nativa do Cerrado brasileiro, com incidência na Caatinga e no semiárido, e representa um importante recurso econômico para o sustento da população local. De acordo com o conhecimento popular, as folhas e os frutos de *Passiflora setacea* possuem propriedades calmantes, pois auxiliariam na prevenção da insônia, crença que originou o seu nome popular “maracujá-do-sono”. Os frutos apresentam um grande potencial

de produção em escala comercial devido ao sabor agradável e adocicado (Campos, 2010; Sanchez *et al.*, 2020).

Normalmente, é possível obter flores a partir de 7 a 8 meses após o plantio. As flores de *Passiflora setacea* são de tamanho médio (7,5 cm de diâmetro), de antese noturna, ou seja, geralmente abrem durante a noite até o início da manhã, o que sugere que os polinizadores são de hábitos noturnos (morcegos e mariposas) (Faleiro *et al.*, 2005).

Quando maduros, a casca dos frutos de *Passiflora setacea* possui coloração esverdeada com listras verticais de cor verde-claro e apresentam formato ovalado. A massa média desse fruto é de 51,1 g (varia entre 38,4 g e 71 g), e o comprimento e diâmetro do fruto é de em média 5,7 cm e 4,1 cm, respectivamente (Junghans *et al.*, 2022; Silva *et al.*, 2022).

A casca de maracujá do Cerrado possui massa média de 19,4 g, o que corresponde a aproximadamente 37,97% da massa do fruto. O número médio de sementes que esse fruto apresenta é de 242 unidades (massa média de 2,9 g), o que representa por volta de 5,67% da massa média total. Enquanto, a polpa dessa espécie equivale a aproximadamente 56,36% da massa média total do fruto (Junghans *et al.*, 2022).

Figura 2 – Frutos de *Passiflora setacea*



Fonte: Guimarães *et al.* (2013).

A polpa de *Passiflora setacea* possui coloração amarelo-claro, e além do sabor intenso, a polpa dessa espécie ainda apresenta características físico-químicas interessantes para a indústria de alimentos, tal qual o bom rendimento e a elevada concentração de sólidos solúveis (em média 14,40 °Brix). O valor de pH fica em torno de 3,15 e a acidez total é de em média 2,73 g de ácido cítrico/100 g de polpa (Bomtempo *et al.*, 2016; Rinaldi *et al.*, 2017).

3.1.3 *Passiflora cincinnata*

O *Passiflora cincinnata* também conhecido como maracujá-do-mato ou maracujá da Caatinga (figura 3), é uma espécie silvestre nativa do bioma da Caatinga, amplamente visto no nordeste brasileiro e caracterizado como material de subsistência de pequenos produtores locais. Devido ao seu ecossistema, essa espécie possui natureza perene e apresenta resistência ao estresse hídrico, portanto, locais sujeitos a inundações e irrigações excessivas não são propensos para o cultivo do *Passiflora cincinnata* (Neto *et al.*, 2017).

A planta desta espécie possui caule cilíndrico, flores axilares de em média 8 cm de diâmetro de cor violeta ou azul-rosada e cheiro marcante. As flores são de antese diurna, e encontram-se abertas de 6h00 até as 18h00. Além disso, essa espécie apresenta um longo período de floração e boa tolerância a pragas, e a sua reprodução ocorre entre cinco e seis meses após a sementeira. (Coelho *et al.*, 2016; Junghans *et al.*, 2022; Kiill *et al.*, 2010).

Apesar de maduros, a casca dos frutos de *Passiflora cincinnata* apresentam coloração esverdeada, são globóides ou ovalados e amadurecem entre quatro e cinco meses após o período de floração. Estudos desenvolvidos relataram que os frutos desta espécie possuem em média 5,6 cm de comprimento e 6,2 cm de diâmetro. A massa do fruto é de 101 g em média, variando entre 71 g e 135 g (Junghans *et al.*, 2022).

Figura 3 – Fruto e flor de *Passiflora cincinnata*



Fonte: Google imagens (2024).

Ainda segundo Junghans e colaboradores (2022), a casca de *Passiflora cincinnata* possui em média de 36 g (variando entre 27 g e 49 g), as quais representam aproximadamente 35,64% da massa total do fruto. Esse estudo também pontua que o fruto pode obter em média 288 sementes, podendo variar entre 151 e 366 unidades, e a média equivalente a massa de 288 sementes é de 8,64 g que correspondem a 8,55% da massa do fruto, aproximadamente.

A polpa de *Passiflora cincinnata* possui coloração amarelo-esbranquiçada, aroma característico e marcante e sabor exótico. Os frutos de *Passiflora cincinnata* são caracterizados como climatéricos e apresentam durabilidade de até 90 dias pós-colheita. Devido a suas características, a polpa de maracujá da Caatinga pode ser considerada uma importante fonte de nutrientes, logo que o seu padrão de identidade está de acordo com o que foi preconizado para a polpa de maracujá amarelo na Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO) (Aidar *et al.*, 2016; Araújo *et al.*, 2009).

Em frutos maduros, a polpa de *Passiflora cincinnata* apresenta uma acidez elevada (em média 3,36% de ácido cítrico), um teor de sólidos solúveis de em média 10,80 °Brix e valor de pH na faixa de 3,07. Além disso, essa espécie possui boa concentração de minerais, demonstrando-se, inclusive, superior ao conteúdo identificado na espécie de maracujá comercial (*Passiflora edulis* Sims). Os frutos maduros de *Passiflora cincinnata* possuem um elevado teor de potássio (413,34 mg 100 g⁻¹), e boa concentração de Cálcio e Magnésio (24,55 mg 100g⁻¹ e 10,41 mg 100g⁻¹, respectivamente) (Silva *et al.*, 2020).

Além das propriedades já citadas, estudos demonstram que os frutos de *Passiflora* são fonte de compostos com capacidade antioxidante e atividade biológica. Assim, considerando a relação direta que existe entre o acesso a alimentação de qualidade, saúde e a segurança alimentar e nutricional, espécies vegetais ganharam notoriedade entre pesquisadores de diversas linhas de pesquisa, com o objetivo de explorar os fitoquímicos presentes nessas matrizes e suas diversas aplicações (Mateus *et al.*, 2024).

3.2 Compostos bioativos e propriedades funcionais de *Passiflora* spp.

Os últimos anos marcaram uma crescente busca dos consumidores por alimentos minimamente processados e que auxiliem o processo de nutrição, saúde e bem-estar. Percebendo essa tendencia, a indústria de alimentos tem se adaptado ao perfil do consumidor através de novos mecanismos de produção que proporcionem alimentos com melhores características sensoriais, que contemplem um valor energético moderado e que promovam benefícios fisiológicos adicionais, além da nutrição básica. Nessa perspectiva, o termo “alimentos funcionais” é fortemente associado a veículos promotores de nutrientes capazes de

reduzir o risco de doenças e outros prejuízos que interfiram na qualidade de vida dos indivíduos (Safraid *et al.*, 2022).

Conforme o estabelecido pela portaria nº 398, de 30 de abril de 1999, é justificada a propriedade funcional de um alimento ou ingrediente quando este apresenta capacidade de promover efeitos metabólicos ou fisiológicos especiais que podem ser condicionados à saúde. Assim, a comprovação da alegação da propriedade funcional de um alimento está sujeita a apresentação da finalidade e de recomendações de consumo estabelecidos pelo fabricante, além da apresentação de evidências científicas internacionalmente reconhecidas sobre as propriedades e características do produto (Brasil, 1999).

Evidências recentes demonstraram o potencial antioxidante de *Passiflora* spp., bem como diversas propriedades biológicas. Em um estudo realizado por Sukketsiri *et al.* (2023), ao avaliarem o efeito *in vitro* do extrato da polpa liofilizada de *Passiflora edulis*, os autores relataram ação antioxidante, anti-inflamatória, vasodilatadora, além da inibição da lipase e da enzima colesterol esterase. Essas descobertas foram associadas a uma ação hipolipimiente, sugerindo que a sua utilização pode prevenir o surgimento da hipertensão.

Costa *et al.* (2020) relataram ação antimicrobiana associada aos frutos de *Passiflora cincinnata*. Segundo os autores, a adição do extrato aquoso de maracujá-do-mato promoveu a diminuição de *Listeria* spp., *Staphylococcus aureus* e *Staphylococcus aureus* multirresistente. Além disso, ao adicionarem maracujá-do-mato moído em queijo de cabra tipo coalho, os autores também relataram redução da contagem de *Staphylococcus aureus*, embora essa diferença não tenha sido significativa.

Duarte *et al.* (2020), investigaram o efeito do consumo agudo da polpa de *Passiflora setacea* no metabolismo de indivíduos com sobrepeso. Os resultados da pesquisa indicaram uma redução nos níveis de insulina, aumento dos níveis de lipoproteína de alta densidade (HDL), e um aumento na expressão de genes associados ao processo inflamatório, de adesão celular ou receptor de citocina-citocina, após o consumo do suco. Com isso, este estudo sugeriu que o consumo do suco de *Passiflora setacea* pode auxiliar na prevenção de doenças cardiometabólicas.

A valorização das espécies de *Passiflora* e suas propriedades funcionalidade está diretamente relacionada à presença de moléculas biologicamente ativas. Os frutos de *Passiflora* spp. são uma fonte percussora antioxidantes que previnem ou regulam o organismo humano de possíveis danos oxidativos (Zhang *et al.*, 2023).

3.3 Atividade antioxidante de *Passiflora* spp.

O consumo de alimentos ricos em compostos antioxidantes é um meio não farmacológico de manutenção do estado de saúde do corpo humano. No entanto, os últimos anos marcaram um progressivo desenvolvimento de Doenças Crônicas Não Transmissíveis (DCNTs), perfil que segundo estudos, tem causa multifatorial e está diretamente relacionado a hábitos alimentares inadequados, ao comportamento sedentário e a elevada exposição a substâncias químicas. Tais hábitos que comportam o modo de vida contemporâneo são um cenário propício para a condição biológica de estresse oxidativo (Sharifi-Rad *et al.*, 2020).

O estresse oxidativo é conceituado como um desequilíbrio fisiológico entre compostos oxidantes e antioxidantes em favor dos oxidantes, culminando no efeito disruptivo de sinalização e controle redox e/ou no dano molecular. Os radicais livres ou espécies reativas de oxigênio (ROS), são moléculas altamente instáveis que possuem um elétron desemparelhado em sua camada externa. O elevado poder reativo dessas moléculas associado a busca por estabilidade promove o processo de oxidação de outros componentes metabólicos essenciais, tal como lipídeos, proteínas, DNA e RNA. As principais espécies reativas de oxigênio com atividade radical são o radical hidroxila (OH•) e o superóxido (O₂•-). O peróxido de hidrogênio (H₂O₂) é uma molécula não-radical, portanto, apresenta maior estabilidade (Kumar *et al.*, 2015; Torres *et al.*, 2006).

A produção de radicais livres pelo organismo pode ser controlada através de dois mecanismos: (i) O organismo se encarrega de produzir naturalmente antioxidantes (antioxidantes endógenos); (ii) Por meio de alguns alimentos ricos em compostos biologicamente ativos (antioxidantes exógenos). O processo de síntese de antioxidantes pelo organismo é a primeira resposta fisiológica para combater os radicais livres, e os elementos envolvidos nesse processo normalmente possuem natureza enzimática. As principais enzimas que desempenham papel protetor são dismutase, catalase, glutathione peroxidase e glutathione reductase, reguladas principalmente pelo fator 2 de transcrição nuclear eritroide-2-relacionado (Nrf2) (Mota *et al.*, 2023).

Por sua vez, os antioxidantes exógenos são elementos provenientes principalmente de vegetais, e compreendem as vitaminas (C e E), minerais (zinco e selênio), carotenoides (carotenos e xantofilas) e compostos fenólicos (flavonoides, ácidos fenólicos, antocianinas, lignanas e estilbenos). O mecanismo de ação dos antioxidantes dietéticos é elucidado pela literatura por meio da iniciação ou propagação da reação oxidativa em cadeia, atuando como redutores, neutralizadores de radicais livres, quelantes de metais pró-oxidativos e supressores de oxigênio singlete (Baiano; Del Nobile, 2016; Xu *et al.*, 2017).

Os métodos analíticos mais utilizados para avaliar a capacidade antioxidante de alimentos é o método de captura do radical DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazila), seguido pelo ensaio de captura dos radicais ABTS⁺ (2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfônico)). A popularidade do ensaio DPPH refere-se principalmente ao baixo custo e a facilidade operacional que o método proporciona, além da afinidade com compostos hidrossolúveis. De maneira similar, o ensaio ABTS⁺ é um marcador confiável por sua elevada estabilidade e reprodutibilidade metodológica, e pode ser aplicado tanto em amostras hidrossolúveis quanto lipossolúveis (Mota *et al.*, 2023; Sucupira *et al.*, 2012).

Os radicais DPPH e ABTS⁺ são produtos orgânicos e sintéticos que em sua forma oxidada apresentam as cores púrpura e azul-esverdeado, respectivamente. Estes compostos, ao serem reduzidos na presença de antioxidantes, passam por uma despigmentação, processo que é proporcional a capacidade antioxidante da amostra. Normalmente, os ensaios antioxidantes são avaliados por meio da técnica espectrofotométrica, sobretudo pela facilidade e o baixo custo empregados no método (Becker, 2019).

Santos *et al.* (2021) avaliaram a capacidade antioxidante da polpa fresca de *Passiflora edulis* Sims por meio dos ensaios de sequestro dos radicais livres, e obtiveram as médias 1,43 e 1,47 mmol TE kg⁻¹ para DPPH e ABTS⁺, respectivamente. Com base nos resultados, os autores afirmaram que o conteúdo antioxidante de uma amostra depende tanto da composição do analito quanto da escolha do método de avaliação utilizado. Seguindo o mesmo raciocínio, Pérez-Jiménez *et al.* (2008) recomendaram a utilização de pelo menos dois ensaios combinados, a fim de que os pontos fortes e fracos, assim como a aplicabilidade do método, sejam considerados, garantindo maior confiabilidade dos resultados.

Silva *et al.* (2020) também avaliaram o potencial antioxidante da polpa de *Passiflora cincinnata* a partir dos métodos de captura do radical DPPH, pela capacidade de absorção de radicais de oxigênio (ORAC) e pelo poder antioxidante redutor do ferro (FRAP). O teor dos compostos antioxidantes encontrados pelo método do DPPH foi de 314,3 µMol TEAC 100 g⁻¹ para a polpa de frutos maduros de *Passiflora cincinnata*. Já pelos métodos ORAC e FRAP, o teor foi de 609,8 µMol TEAC 100 g⁻¹ e 167,3 µMol TEAC 100 g⁻¹, respectivamente.

Sanchez *et al.* (2020) avaliaram a atividade antioxidante pelos métodos do DPPH, FRAP e ORAC em polpa de *Passiflora setacea*. A concentração de antioxidantes encontrados na espécie a partir do método de sequestro do radical DPPH foi de 777,36 µMol TE 100 g⁻¹. O teor obtido a partir do método ORAC foi de 136,42 µMol TE 100 g⁻¹, já pelo método FRAP a

concentração foi de 69,09 $\mu\text{Mol TE } 100 \text{ g}^{-1}$. A capacidade antioxidante relatada na polpa do maracujá pode contribuir em vários níveis na manutenção da saúde.

A Tabela 1 mostra os principais compostos bioativos identificados na polpa *Passiflora edulis* Sims, *Passiflora setacea* e *Passiflora cincinnata* descritos na literatura.

Tabela 1 – Compostos bioativos identificados na polpa das espécies *Passiflora edulis* Sims, *Passiflora setacea* e *Passiflora cincinnata*

| Compostos | Concentração | Espécie | Fórmula molecular | Referências |
|-------------------------|------------------------------|------------------------|--|-------------------------------|
| Ácido Ascórbico | | | | |
| | 17,67 mg 100 g ⁻¹ | <i>P. cincinnata</i> | C ₆ H ₈ O ₆ | Silva <i>et al.</i> , 2020. |
| | 37,66 mg 100 g ⁻¹ | <i>P. setacea</i> | | Sanchez <i>et al.</i> , 2020. |
| | 30 mg 100 g ⁻¹ | <i>P. edulis</i> Sims* | | USDA, 2019. |
| Ácidos fenólicos | | | | |
| Ácido cafeico | 1,31 $\mu\text{g g}^{-1}$ | <i>P. cincinnata</i> | C ₉ H ₈ O ₄ | Silva <i>et al.</i> , 2020. |
| Ácido caftárico | 6,14 $\mu\text{g g}^{-1}$ | <i>P. cincinnata</i> | C ₁₃ H ₁₂ O ₉ | Silva <i>et al.</i> , 2020. |
| Ácido ferúlico | 2,87 $\mu\text{g g}^{-1}$ | <i>P. cincinnata</i> | C ₁₀ H ₁₀ O ₄ | Silva <i>et al.</i> , 2020. |
| Ácido gálico | 6,07 $\mu\text{g g}^{-1}$ | <i>P. cincinnata</i> | C ₇ H ₆ O ₅ | Silva <i>et al.</i> , 2020. |
| Ácido p-cumárico | 3,55 $\mu\text{g g}^{-1}$ | <i>P. cincinnata</i> | C ₉ H ₈ O ₃ | Silva <i>et al.</i> , 2020. |
| Carotenoides | | | | |

| | | | | |
|--------------------|--|------------------------|--|--------------------------------|
| α -caroteno | 86,43 $\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ | <i>P. edulis</i> Sims* | $\text{C}_{40}\text{H}_{56}$ | Dos Reis <i>et al.</i> , 2018. |
| β -caroteno | 16,62 $\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ | <i>P. cincinnata</i> | $\text{C}_{40}\text{H}_{56}$ | Silva <i>et al.</i> , 2020. |
| | 1334 $\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ | <i>P. edulis</i> Sims* | | Dos Reis <i>et al.</i> , 2018. |
| Criptoxantina | 254,38 $\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ | <i>P. edulis</i> Sims* | $\text{C}_{40}\text{H}_{56}\text{O}$ | Dos Reis <i>et al.</i> , 2018. |
| Luteína | 44,28 $\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ | <i>P. edulis</i> Sims* | $\text{C}_{40}\text{H}_{56}\text{O}_2$ | Dos Reis <i>et al.</i> , 2018. |
| Zeaxantina | 65,51 $\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ | <i>P. edulis</i> Sims* | $\text{C}_{40}\text{H}_{56}\text{O}_2$ | Dos Reis <i>et al.</i> , 2018. |

Flavonoides

| | | | | |
|---------------|------------------------------------|------------------------|---|--------------------------------|
| Epicatequina | 848,11 mg 100 g^{-1} | <i>P. setacea</i> | $\text{C}_{15}\text{H}_{14}\text{O}_6$ | Sanchez <i>et al.</i> , 2020. |
| | 1 | | | |
| Hesperidina | 14,55 mg 100 g^{-1} | <i>P. setacea</i> | $\text{C}_{28}\text{H}_{34}\text{O}_{15}$ | Sanchez <i>et al.</i> , 2020. |
| Isoorientina | 211,60 mg 100 g^{-1} | <i>P. setacea</i> | $\text{C}_{21}\text{H}_{20}\text{O}_{11}$ | Sanchez <i>et al.</i> , 2020. |
| | 1 | | | |
| Isoquercetina | 25,56 $\mu\text{g } \text{g}^{-1}$ | <i>P. cincinnata</i> | $\text{C}_{21}\text{H}_{20}\text{O}_{12}$ | Silva <i>et al.</i> , 2020. |
| Isovitexina | 57,80 mg 100 g^{-1} | <i>P. setacea</i> | $\text{C}_{21}\text{H}_{20}\text{O}_{10}$ | Sanchez <i>et al.</i> , 2020. |
| Kaempferol | 199,66 mg 100 g^{-1} | <i>P. edulis</i> Sims* | $\text{C}_{15}\text{H}_{10}\text{O}_6$ | Dos Reis <i>et al.</i> , 2018. |
| | 1 | | | |
| Orientina | 19,83 mg 100 g^{-1} | <i>P. setacea</i> | $\text{C}_{21}\text{H}_{20}\text{O}_{11}$ | Sanchez <i>et al.</i> , 2020. |
| Piceatannol | 1,37 $\mu\text{g } \text{g}^{-1}$ | <i>P. cincinnata</i> | $\text{C}_{14}\text{H}_{12}\text{O}_4$ | Silva <i>et al.</i> , 2020 |
| Quercetina | 506,45 mg 100 g^{-1} | <i>P. edulis</i> Sims* | $\text{C}_{15}\text{H}_{10}\text{O}_7$ | Dos Reis <i>et al.</i> , 2018. |
| | 1 | | | |

| | | | | |
|----------|-----------------------------|---------------------|---|-------------------------------|
| Rutina | 7,46 $\mu\text{g g}^{-1}$ | <i>P. cinnamata</i> | $\text{C}_{27}\text{H}_{30}\text{O}_{16}$ | Silva <i>et al.</i> , 2020 |
| Vitexina | 5,45 mg 100 g^{-1} | <i>P. setacea</i> | $\text{C}_{21}\text{H}_{20}\text{O}_{10}$ | Sanchez <i>et al.</i> , 2020. |

Fonte: Dos Reis *et al.* (2018); Sanchez *et al.* (2020); Silva *et al.* (2020).

*Nomenclatura anteriormente utilizada “*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa*”.

3.3.1 Ácido ascórbico

O ácido ascórbico ou vitamina C é um nutriente exógeno, conhecido por sua atividade antioxidante, é requisitado por ser essencial para a saúde humana. Pertencente ao grupo dos poli-hidroxiálcoois insaturados, o ácido ascórbico é uma cetona hidrossolúvel considerado um cofator enzimático participante de inúmeras reações devido a sua capacidade de doar hidrogênio ou elétrons. Sua estrutura é formada por seis átomos de carbono, duas duplas ligações e quatro grupos hidroxila, o que fornece ao ácido ascórbico uma forte propriedade redutora (Geçotek; Skrzydlewska, 2022).

Além da atividade antioxidante, o ácido ascórbico ainda possui papel fundamental no funcionamento da noradrenalina (3,4-dihidroxifeniletilamina) devido a sua participação na hidroxilação molecular desse hormônio, bem como propriedade anti-inflamatória identificada em vários níveis da função celular. Dentre tais propriedades, é possível destacar a sua contribuição no mecanismo de ativação dos sistemas antioxidantes intracelulares, possibilitando a atuação de outros antioxidantes, onde a partir desse mecanismo, as vias pró-inflamatórias são silenciadas e os radicais livres são diretamente eliminados (Geçotek; Skrzydlewska, 2022; Li *et al.*, 2019; May *et al.*, 2013).

Estudos recentes identificaram que o ácido ascórbico também interage estimulando a biossíntese e ativação de enzimas antioxidantes como a catalase e a glutathione peroxidase, enzimas de extrema importância para o bom funcionamento do corpo humano, pois atuam na proteção celular através do mecanismo de degradação do peróxido de hidrogênio. Nesse sentido, é notório a relevância que o ácido ascórbico possui para a manutenção da saúde humana, fator que põe as frutas ricas nesse composto em lugar de prestígio (Jomova *et al.*, 2023).

Embora sua atuação ocupe lugar de prestígio no grupo dos compostos bioativos, o ácido ascórbico é altamente sensível a degradação por influência direta de enzimas ou de fatores extrínsecos a sua natureza como oxigênio, luz ultravioleta e temperatura elevada. Dentre eles,

encontra-se a enzima ascorbato oxidase (ASO), que possui atuação direta na degradação do ácido ascórbico em frutas. A forma química em que o ácido ascórbico apresenta 100% da sua atividade biológica é o ácido-L-ascórbico. A sua oxidação produz um composto pouco estável, porém, que apresenta a mesma atividade biológica, o ácido L-dehidroascórbico. Entretanto, após a formação desse composto, ocorre a reação de abertura do anel para a formação do ácido 2,3-diceto-L-gulônico, que ocorre quase instantaneamente em pH alcalino. A degradação do ácido L-dehidroascórbico em ácido 2,3-diceto-L-gulônico promove à perda da atividade biológica (CHITARRA; CHITARRA, 2005; JACOMINO *et al.*, 2008).

De acordo com um estudo realizado por Sanchez e colaboradores (2020), a polpa de *Passiflora setacea* possui concentração de ácido ascórbico de 37,66 mg/100 g. As espécies de *Passiflora edulis* Sims e *Passiflora cincinnata* apresentaram 30 mg/100 g e 17,67 mg/100 g, respectivamente. Em geral, a polpa dos frutos citados são boas fontes de vitamina C, visto que a ingestão recomendada desse composto para adultos saudáveis é de 45 mg/dia (Brasil, 2005).

3.3.2 Compostos fenólicos

Os compostos fenólicos são os principais compostos derivados do metabolismo especial das plantas e são encontrados em inúmeras espécies vegetais. Esses compostos têm despertado cada vez mais o interesse da comunidade científica por serem nutrientes não energéticos que podem apresentar efeitos positivos a saúde, além de possuírem diversas aplicações industriais e tecnológicas (Albuquerque *et al.*, 2020; Gómez-Maqueo *et al.*, 2020).

Quanto a sua estrutura química, podem ter um ou mais anéis aromáticos ligados a no mínimo um grupo hidroxila, e graças a este perfil molecular esses compostos possuem atividade antioxidante. Os compostos fenólicos são classificados como: flavonoides, ácidos fenólicos, cumarinas, estilbenos, taninos, lignanas e ligninas, sendo as duas primeiras classificações identificadas nas espécies citadas nesta revisão (Araújo *et al.*, 2021; Vinogradova *et al.*, 2023).

Os flavonoides são os componentes mais abundantes da classe dos compostos fenólicos, apresentando mais de 8000 compostos. Responsáveis por proteger as plantas contra o estresse de variadas naturezas, esses compostos são amplamente encontrados em diversas matrizes alimentares e são divididos em seis subgrupos: as flavonas, os flavonóis, as flavononas, os flavonoides, os isoflavonoides e as antocianinas (Albuquerque *et al.*, 2020; Vinogradova *et al.*, 2023).

Composto por dois anéis aromáticos, os ácidos fenólicos possuem dois subgrupos: os ácidos hidroxicinâmicos e os ácidos hidroxibenzóicos. De acordo com estudos, os ácidos

fenólicos são comuns em frutas, em especial o ácido cafeico, que é o ácido hidroxicinâmico mais encontrado em frutas, representando 75% a 100% desta subclasse (El Gharras, 2009; Gómez-Maqueo *et al.*, 2020; Proestos *et al.*, 2013).

Dentre os flavonoides, a epicatequina foi o composto de maior concentração (848,11 mg/100 g) determinado na polpa de *Passiflora setacea*, que também apresentou 211,60 mg/100 g de isoorientina. A quercetina apresentou concentração elevada na de *Passiflora edulis* Sims (506,45 mg/100 g) a qual também apresentou boa concentração de kaempferol (199,66 mg/100 g). Compostos como isoquercetina, piceatannol e rutina também foram encontrados na polpa de *Passiflora cincinnata* (Dos Reis *et al.*, 2018; Sanchez *et al.*, 2020; Silva *et al.*, 2020)

Silva e colaboradores (2020), avaliaram a concentração de ácido fenólicos na polpa de maracujá da Caatinga (*Passiflora cincinnata*) em dois estágios de maturação (intermediário e maduro). O estudo constatou que o ácido caftárico foi o ácido em maior concentração na polpa de maracujá da Caatinga, especialmente em frutos no estágio intermediário de maturação. Os demais ácidos analisados, ácido cafeico, ácido ferúlico, ácido gálico e ácido p-cumárico tiveram seu conteúdo aumentado na polpa de frutos maduros.

3.3.3 Carotenoides

A coloração dos frutos é um indicativo do seu do seu frescor e qualidade, além de ser um marcador ideal de seu estágio de maturação, o que torna essa característica indispensável para o manejo pós-colheita. Conforme o desenvolvimento fisiológico do fruto acontece, é possível observar mudanças na sua coloração devido a biossíntese e degradação de alguns pigmentos (Solovchenko *et al.*, 2019; Wrolstad; Culver, 2012).

Os carotenoides são uma classe de pigmentos tetraterpenóides, lipossolúveis, responsáveis por exibir as cores amarelo, laranja e vermelho em plantas e outros organismos fotoautotróficos. Alguns compostos dessa classe como o α -caroteno e β -caroteno possuem em sua estrutura um anel β -ionona, característica que confere a esses compostos atividade pró-vitamina A, a qual é fundamental para a o bom funcionamento da visão, da imunidade e contribui para a reprodução humana (Maoka, 2020).

Atualmente já foram encontrados mais de 800 compostos dessa classe, os quais são divididos, conforme sua composição, em dois subgrupos: os carotenos e as xantofilas. Os carotenos são caracterizados pela fórmula molecular $C_{40}H_{56}$, e fazem parte desse grupo o α -caroteno, o β -caroteno e o licopeno. As xantofilas por sua vez apresentam oxigênio em sua

composição, e são classificados a partir das fórmulas moleculares $C_{40}H_{56}O_2$ ou $C_{40}H_{56}O$, composto pela criptoxantina, luteína, zeaxantina e outros (Maoka, 2020; Solovchenko *et al.*, 2019).

Quanto a identificação e a quantificação de carotenoides, Dos Reis e colaboradores (2018), evidenciariam uma elevada concentração de β -caroteno na polpa de *Passiflora edulis* Sims (1334 $\mu\text{g}/100\text{ g}$). Os autores também relataram boa concentração de criptoxantina (254,38 $\mu\text{g}/100\text{ g}$), e ainda destacaram a presença de α -caroteno, luteína e zeaxantina na polpa dessa espécie.

Silva e colaboradores (2020) também estudaram a presença de β -caroteno em polpa de *Passiflora cincinnata* nos estágios de maturação intermediário e maduro. Em frutos maduros, a concentração de β -caroteno foi de 16,62 $\mu\text{g}/100\text{ g}$, quantidade inferior ao que é relatado por Dos Reis e colaboradores (2018) na polpa de *Passiflora edulis* Sims. Os autores relatam que essa diferença na concentração do β -caroteno acontece pela menor pigmentação da polpa de *Passiflora cincinnata* com amarelo-alaranjado, coloração que é comum em polpa de *Passiflora edulis* Sims.

3.4 Parâmetros de identidade, qualidade e processamento da polpa de *Passiflora* spp.

A produção de polpa é a atividade agroindustrial mais básica envolvida no processamento de frutas frescas. Uma das vantagens do processamento de polpa de fruta é a redução das perdas pós-colheita que ocorrem naturalmente em frutas classificadas como climatéricas, como é o caso do maracujá. A industrialização de polpa de fruta ainda permite a valorização da biodiversidade ao representar a possibilidade consumo de frutas regionais em larga escala, além de viabilizar o abastecimento de outros nichos da indústria alimentícia. O processamento industrial de polpa de frutas tem impactos econômicos significativos no setor de alimentos e bebidas, pois constitui uma forma alternativa de comércio e renda para pequenos, médios e macro produtores (Silva; Abud, 2017).

Os termos de padronização, classificação e fiscalização da produção e comércio de polpa de fruta são regulados pela Lei n° 8.918, de 14 de julho de 1994, que descreve polpa de fruta como produto não fermentado, não concentrado, obtido de fruta polposa através de processamentos adequados, submetida a métodos tecnológicos adequados, atendendo aos limites mínimos estabelecidos de sólidos em suspensão. Segundo Moraes (2006), as etapas operacionais do processamento convencional de polpa de frutas são: recepção de matéria-prima, limpeza, seleção, despulpamento, tratamento térmico e congelamento (figura 4).

Figura 4 – Fluxograma do modelo operacional convencional de obtenção de polpa de fruta

Fonte: Sanchez (2020).

O padrão de identidade e qualidade de polpa de fruta é determinado através da instrução normativa nº 37, de 1º de outubro de 2018 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). A polpa de maracujá (*Passiflora* spp.) é caracterizada pela parte comestível do fruto e a composição ideal é regulada através de parâmetros químicos pré-existentes que garantem ao produto um bom desempenho industrial, além de evitar a comercialização de produtos fraudulentos (tabela 2).

Tabela 2 – Padrão de identidade e qualidade da polpa de maracujá (*Passiflora* spp.)

| Parâmetro | Mínimo |
|---|--------|
| Sólidos solúveis em °Brix, a 20°C | ≥ 11,0 |
| Sólidos Totais (g/100g) | ≥ 11,5 |
| pH | ≥ 2,7 |
| Acidez Total expressa em ácido cítrico (g/100g) | ≥ 2,5 |

Fonte: Brasil (2018).

Embora o ramo da fruticultura ocupe lugar de prestígio na indústria alimentícia brasileira, o processamento agroindustrial de polpa de fruta enfrenta alguns desafios nos sistemas de produção e conservação do produto. De acordo com estudo, as principais justificativas para essas deficiências são a ausência de mão-de-obra qualificada, de protocolos de padronização operacional, de boas práticas de fabricação, e a carência de métodos

tecnológicos de conservação que sejam adequados, seguros nutricionalmente, e que preservem as características primárias de qualidade da polpa (Silva; Abud, 2017).

O termo “vida de prateleira” é definido como intervalo de tempo em que o alimento apresenta segurança alimentar, regulada através dos padrões físico-químicos, sensoriais e microbiológico estabelecidos para o produto, e que demonstra preservação das informações nutricionais descritas no rótulo (Nicoli, 2012).

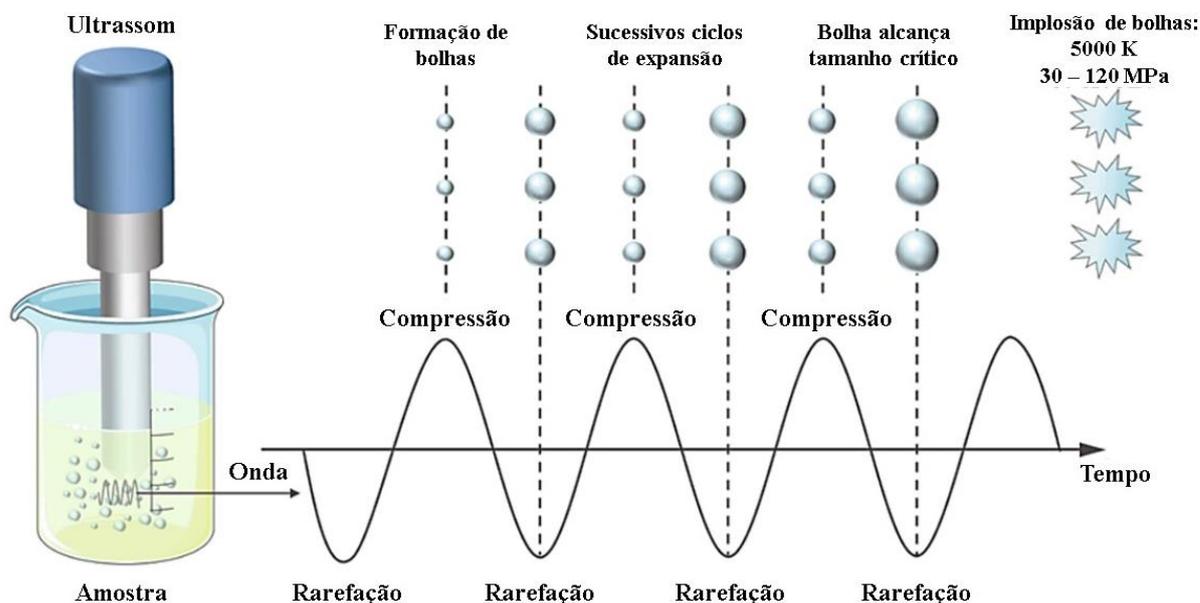
A polpa de maracujá é ácida e apresenta uma elevada atividade de água, fornecendo o cenário ideal para o crescimento de microrganismos deteriorantes. Além disso, fatores como quantidade de oxigênio disponível, composição nutricional, reações bioquímicas, especialmente as enzimáticas são fatores que diminuem da vida de prateleira de produtos *in natura* e/ou minimamente processados. O vencimento da polpa também pode ser afetado por fatores extrínsecos a sua natureza, como, contagem de microrganismos ambientais durante o processamento, umidade relativa, condição de armazenamento e embalagem e a aplicação de parâmetros inadequados de processamento térmico ou não-térmico (Alegbeleye *et al.*, 2022; Mohapatra *et al.*, 2017; Rolfe; Daryaei, 2020).

Os obstáculos que envolvem o controle de qualidade de alimentos ultrapassam o setor agroindustrial, mas resulta uma questão de saúde pública, tendo em vista o número de casos de intoxicação por alimentos contaminados. Nesse sentido, os avanços científicos e tecnológicos em alimentos viabilizam abordagens inovadoras para o processamento de polpa (Bernardes *et al.*, 2018).

3.5 Uso do ultrassom em alimentos

O processamento ultrassom tem demonstrado grande potencial na promoção de alimentos seguros, mais palatáveis e nutricionalmente adequados. O ultrassom é caracterizado por produzir os efeitos de cavitação acústica, cujo fundamento consiste em ondas de pressão ultrassônica que promovem ciclos de compressão e descompressão de microbolhas. Os ciclos de compressão e expansão de microbolhas se movem continuamente através do líquido até que a bolha atinja um ponto crítico de ressonância, elevando instantaneamente a temperatura em até 5000 K, gerando o aumento da pressão entre 30 e 120 MPa, resultando em uma onda de cisalhamento (figura 5). De acordo com o colapso ou não da microbolha, esse efeito pode ser classificado como cavitação estável ou cavitação transitória (Chen *et al.*, 2022; Fellows, 2019).

Figura 5 – Mecanismo de ação do ultrassom



Fonte: *Chen et al. (2022), com adaptações.*

No processamento de alimentos, o ultrassom é dividido em duas categorias: (i) ultrassom de baixa intensidade e alta frequência (5 a 10 MHz), que pode ser utilizado como um método analítico não destrutivo com o intuito de obter informações sobre a composição, estrutura ou taxa de fluxo do alimento; (ii) ultrassom de alta intensidade e baixa frequência (10 a 100 kHz) que induz a ruptura física dos tecidos e pode promover alterações físicas, químicas, mecânicas e bioquímicas nos alimentos (Carrillo-Lopez *et al.*, 2021).

Os efeitos físicos gerados pelo processo de cisalhamento incluem fortes perturbações, alta pressão, ondas de choque e microjatos que se misturam durante a sonicação aumentando a porosidade celular, tornando viável as transferências de oxigênio para o interior das células, resultando no aumento das transferências de massa. Ao mesmo tempo, os efeitos físicos promovidos pelo ultrassom resultam na quebra entre as ligações covalentes da molécula de água resultando na formação de radicais livres ($H\cdot$, $OH\cdot$ ou até mesmo H_2O_2) que podem alterar macromoléculas presentes no meio (Abdulstar *et al.*, 2023; Carrillo-Lopez *et al.*, 2021; Fioruz *et al.*, 2019).

O ultrassom de alta intensidade já foi utilizado em alimentos com o intuito de quebrar espumas ou emulsões, promover um ritmo de cristalização uniforme de gordura e açúcares e modificação da microestrutura e propriedades texturais de alimentos compostos por gordura, degaseificação de bebidas fermentadas, diminuir o tempo de congelamento e de secagem de alimentos, alterar a função proteica, inativar enzimas e limpar equipamentos (Fellows, 2019).

3.6 Uso do ultrassom em polpa de fruta

A ampla possibilidade de aplicações de ultrassom em alimentos representa uma via tecnológica sustentável que oportuniza a inovação para o setor de polpa de frutas. Atualmente, o tratamento térmico em temperaturas elevadas por tempo determinado é o método mais utilizado para promover inativação enzimática e reduzir a atividade microbiana nestes produtos. Contudo, estudos associam o emprego de tecnologias térmicas em polpa de fruta a perda da qualidade nutricional e a depreciação sensorial, tornando o produto indesejável (Araújo *et al.*, 2021; Xu *et al.*, 2023).

Com base nisso, pesquisas buscam aprimorar a eficácia do tratamento ultrassom em polpa de fruta a partir de diferentes frequências, potências, tempos e temperaturas de processamento com o intuito de compreender sua implicação nas propriedades físicas, químicas e de segurança alimentar do produto. Esses efeitos são monitorados principalmente através da qualidade físico-química da polpa, da influência na retenção ou aumento de compostos bioativos, na promoção da inativação/redução da atividade de enzimas indesejáveis e da redução da deterioração microbiana (Chemat *et al.*, 2017; Guimarães *et al.*, 2021).

Xing *et al.* (2023b) avaliaram o efeito do processamento ultrassom em polpa de morango tratada durante 20 minutos de forma pulsada (5s *on/off*) a 810 W. Os parâmetros utilizados promoveram melhor aparência de cor e menor turbidez ao produto, além de aumentar a concentração de fenólicos totais, antocianinas e flavonoides. Os autores atribuíram essa melhora a mudanças microestruturais na polpa de morango.

De maneira similar, Ismail *et al.* (2021) avaliaram a polpa de baobá tratada por ultrassom durante 5 minutos de forma contínua, a 687,5 W. Neste estudo, foi verificado um aumento no conteúdo de fenólicos totais e retenção do ácido ascórbico e dos flavonoides totais, resultando no aumento da atividade antioxidante revelada através do Poder Antioxidante Redutor Férrico (FRAP).

Em outro estudo desenvolvido por Oliveira *et al.* (2018), foi observado o efeito do processamento ultrassom quanto a atividade enzimática e a carga microbiológica do suco de açaí tratado por ultrassom durante 5 minutos, de maneira constante, a 350 e 700 J/cm³. Os autores relatam diminuição da atividade enzimática da peroxidase, bem como uma diminuição significativa da contagem de bactérias mesófilas e de fungos e leveduras do suco tratado.

A garantia de sucesso da aplicação do ultrassom em polpa de fruta é fortemente dependente dos parâmetros de processamento adotados. Além disso, o sinergismo entre o processamento ultrassom e o tratamento térmico moderado, denominado termossonicação,

representa um cenário de maior efetividade na inativação microbiológica e enzimática, ao mesmo tempo em que retém os compostos bioativos e preserva a qualidade sensorial do alimento tratado (Anaya-Esparza *et al.*, 2017; Guimarães *et al.*, 2021).

Dessa maneira, novos estudos referentes a aplicação do ultrassom e a sua influência na polpa de matrizes como o maracujá são indispensáveis, pois possibilitam a valorização da biodiversidade e proporcionam uma opção de desenvolvimento tecnológico para o setor de bebidas, ao suprir os desafios agroindustriais contemporâneos. Em especial, a otimização dessa técnica poderá ofertar alimentos seguros, nutricionalmente adequados e com uma estabilidade de prateleira que beneficie o público-alvo.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Material vegetal e obtenção da polpa

Foram avaliadas polpas extraídas de frutos maduros de maracujá amarelo (*Passiflora edulis* Sims), maracujá da Caatinga (*Passiflora cincinnata*) e maracujá do Cerrado (*Passiflora setacea*), os quais foram adquiridos entre setembro de 2023 e fevereiro de 2024 em diferentes regiões do estado da Bahia, Brasil (Tabela 3). Avaliou-se também um mix de polpas de dois genótipos selecionados pela Embrapa Mandioca e Fruticultura, provenientes de cruzamentos intraespecíficos (*P. edulis* x *P. edulis*), com foco no rendimento da polpa, menor acidez e maior conteúdo de sólidos solúveis. Os híbridos selecionados foram chamados de Maracujá Vermelho Brilhante e apresentam casca de coloração roxo avermelhado relacionada com a presença de antocianinas.

Os frutos foram selecionados a partir da ausência de cortes na pele, áreas amassadas ou outra deformação visível. Após a seleção, os frutos foram sanitizados em 200 mg/L de hipoclorito de sódio por 15 minutos e despulpados com o auxílio de uma peneira de aço inoxidável. A polpa sem tratamento de cada espécie foi utilizada como controle.

Tabela 3 – Lista de frutos de *Passiflora* utilizados

| Nome popular | Espécie | Origem |
|-----------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Maracujá Vermelho Brilhante | <i>Passiflora edulis</i> Sims. | Cruz das Almas, Bahia, Brazil. |
| Maracujá Amarelo | <i>Passiflora edulis</i> Sims. | Simões Filho, Bahia, Brazil. |
| Maracujá do Cerrado | <i>Passiflora setacea</i> | Lençóis, Bahia, Brazil. |
| Maracujá da Caatinga | <i>Passiflora cincinnata</i> | Uauá, Bahia, Brazil. |

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

4.2 Processamento da polpa

4.2.1 Definição dos parâmetros de processamento ultrassom

Para obter as melhores condições de processamento ultrassom para a polpa de maracujá, testes preliminares foram aplicados. Quatro tratamentos foram pré-estabelecidos para definir os parâmetros de temperatura e densidade energética (J/cm^3) que melhor preservaram o teor de ácido ascórbico e promoveram a inativação enzimática (Tabela 4). Foi utilizado um ultrassom de 20 kHz com sonda de 13 mm (modelo Vibra-Cell VCX-500, Sonics) configurado de forma pulsada (30 s on /30 s off), em amplitude de 50%, obtendo o alcance de 40 W de potência. Amostras de polpa de maracujá amarelo (*Passiflora edulis* Sims) foram fracionadas (50mL) e submetidas ao processamento ultrassom em diferentes tempos (5 e 10 minutos). Devido ao calor

gerado pelo ultrassom, um banho de gelo foi utilizado para o efeito de manutenção da temperatura inicial ($21 \pm 0.2^\circ\text{C}$). Os mesmos parâmetros foram aplicados nas amostras sem controle de temperatura, que após 5 e 10 minutos de processamento, alcançaram a temperatura final 60°C e 65°C , respectivamente. Após o processamento, as amostras foram armazenadas em frasco de polipropileno de cor âmbar e congeladas (-18°C) até as análises futuras.

Tabela 4 – Parâmetros utilizados nos testes iniciais de processamento ultrassom

| Código dos tratamentos | Potência (Watts) | Densidade energética (J/cm^3) | Tempo (min) | Temperatura inicial ($^\circ\text{C}$) | Temperatura final ($^\circ\text{C}$) |
|------------------------|------------------|---|-------------|--|--|
| Sem tratamento | - | - | - | - | - |
| US1 | 40 | 213,10 | 5 | 19,0 | 51,0 |
| US2 | 40 | 230,60 | 5 | 19,0 | 23,0 |
| US3 | 40 | 381,10 | 10 | 19,0 | 65,0 |
| US4 | 40 | 407,70 | 10 | 20,0 | 21,0 |

4.2.2 Processamento ultrassom e pasteurização

Após determinar as melhores condições de processamento ultrassom, alíquotas de polpa (50 mL) acondicionadas em béquer de vidro foram tratadas por ultrassom durante 5 minutos, de forma pulsada (30s on 30s off), em amplitude de 50%, alcançando as temperaturas de $20 \pm 3^\circ\text{C}$ (US-20) e $60 \pm 4^\circ\text{C}$ (US-60). A sonda foi submersa em aproximadamente 25 mm de profundidade na amostra. Valores de intensidade e densidade energética do tratamento ultrassônico foram descritos na Tabela 5.

As amostras sem tratamento e as pasteurizadas foram utilizadas como os controles do experimento. Para obtenção da polpa de maracujá (50mL) pasteurizada, o processo empregado foi o *Low Temperature Long Time* (LTLT) realizado em banho maria. As amostras dispostas em banho aquecido a 63°C e foram mantidas em aquecimento durante 30 minutos (PS-63). Em seguida, as amostras foram imediatamente resfriadas em banho de gelo até alcançar a temperatura de 7°C , conforme o método descrito por Sanchez *et al.* (2020). O registro da temperatura foi feito durante o processamento utilizando um termômetro. Após serem processadas, as polpas foram colocadas em garrafas de polipropileno de cor âmbar e armazenadas em congelador ($-18 \pm 1^\circ\text{C}$) para análises futuras. Todas as análises foram realizadas em triplicata.

Tabela 5 – Parâmetros dos tratamentos aplicados na polpa de diferentes espécies de maracujá

| Espécies | Código/ Tratamentos | Potência (Watts) | Densidade energética (J/cm ³) | Tempo (min) | Temperatura inicial (°C) | Temperatura final (°C) |
|---|------------------------|---------------------|---|----------------|-----------------------------|---------------------------|
| Maracujá Vermelho Brilhante (<i>Passiflora edulis</i> Sims) | Sem tratamento | - | - | - | - | - |
| | PS-63 | - | - | 30 | 22,0 | 63,0 |
| | US-60 | 40 | 211,12 | 5 | 24,0 | 59,5 |
| | US-20 | 40 | 228,87 | 5 | 20,3 | 23,3 |
| Maracujá amarelo (<i>Passiflora edulis</i> Sims) | Sem tratamento | - | - | - | - | - |
| | PS-63 | - | - | 30 | 21,0 | 63,0 |
| | US-60 | 40 | 212,37 | 5 | 22,8 | 59,17 |
| | US-20 | 40 | 227,68 | 5 | 20,3 | 23,0 |
| Maracujá do Cerrado (<i>Passiflora setacea</i>) | Sem tratamento | - | - | - | - | - |
| | PS-63 | - | - | 30 | 19,0 | 63,0 |
| | US-60 | 40 | 212,97 | 5 | 22,8 | 56,2 |
| | US-20 | 40 | 228,34 | 5 | 19,6 | 20,6 |
| Maracujá da Caatinga (<i>Passiflora cincinnata</i>) | Sem tratamento | - | - | - | - | - |
| | PS-63 | - | - | 30 | 21,0 | 63,0 |
| | US-60 | 40 | 214,6 | 5 | 22,7 | 56,0 |
| | US-20 | 40 | 230,7 | 5 | 17,0 | 19,6 |

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

4.3 Parâmetros de cor

A cor da polpa de maracujá foi determinada utilizando o colorímetro (modelo CR-410, Konica Minolta, Japão). Para mensurar a mudança de cor, antes e após o processamento foram medidos os parâmetros CIE-Lab: L* (Luminosidade), a* (avermelhado/esverdeado), b* (azulado/amarelado). A diferença da cor da polpa pós-tratamento foi calculada conforme a equação abaixo (Santos *et al.*, 2024):

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2}$$

Em que: L₀, a₀ e b₀ são os parâmetros da polpa sem tratamento.

4.4 pH, sólidos solúveis e acidez total

A análise do pH da polpa de maracujá foi realizada utilizando um medidor de pH digital (Bel Engineering, modelo PHS3BW). Após a calibração do equipamento, o eletrodo foi imergido na polpa de maracujá em temperatura ambiente. Para a determinação dos Sólidos

Solúveis, utilizou-se o refratômetro (modelo HI96800, Hanna) a 25°C, e os resultados foram expressos em °Brix. Para a análise de acidez total diluiu-se 5g polpa de maracujá em 40mL de água destilada. Em seguida as amostras foram tituladas com NaOH 0,1M utilizando como indicador a fenolftaleína 1%. Os resultados foram expressos em % de ácido cítrico.

4.5 Determinação de ácido ascórbico

A determinação do ácido ascórbico foi realizada conforme o método descrito por Oliveira (2010). A polpa de maracujá (5g) foi homogeneizada com a solução de ácido oxálico 0,4% em balão volumétrico de 25 mL. Em seguida, a amostra foi filtrada em papel filtro e uma alíquota (1 mL) foi utilizada na reação do ácido ascórbico com o reagente DCFI 3% (2,6-diclorofenol indofenol). A detecção foi realizada por espectrofotômetro (modelo UV-1800, Shimadzu) a um comprimento de onda de 520 nm. O conteúdo de ácido ascórbico da polpa de maracujá armazenada (-18°C ± 0,1) foi monitorado a cada 7 dias durante 63 dias. Os resultados obtidos foram expressos em média residual (%).

$$\text{Média residual (\%)} = 100 \times \frac{M_t}{M_0}$$

Onde M_t é o teor de ácido ascórbico expresso em mg/100g da amostra tratada e M_0 é o teor de ácido ascórbico expresso em mg/100g da amostra não tratada.

4.6. Atividade da ascorbato oxidase (ASO)

Para a determinação da ascorbato oxidase (ASO), os procedimentos foram conduzidos de acordo com Cardello e Cardello (1998), com modificações. Amostras de 2 g da polpa de maracujá foram diluídas em 20 mL de tampão fosfato de sódio 0,1 M (pH 5,5). O extrato foi homogeneizado e centrifugado (Himac, modelo CR22N) a 15.000g por 30 minutos a 4°C, o sobrenadante foi reservado. Para o ensaio, 160µL do extrato foi incubado com 400µL do tampão fosfato de sódio 0,1 M (pH 5,5) e 400µL da solução de ácido ascórbico 1,0 mM à temperatura ambiente. A reação foi interrompida pela adição de 2,4mL de ácido clorídrico 0,2 N a cada 30 segundos por 3 minutos, totalizando 7 leituras. A absorbância foi medida a 244 nm no espectrofotômetro (modelo UV-1800, Shimadzu). A atividade residual da enzima da polpa de maracujá armazenada (-18°C ± 0.1) foi mensurada durante 63 dias. Os resultados obtidos foram expressos em atividade residual (%).

$$\text{Média residual (\%)} = 100 \times \frac{M_t}{M_0}$$

Onde M_t é a atividade da ascorbato oxidase expressa em U/g da amostra tratada e M_0 é a atividade da ascorbato oxidase expressa em U/g da amostra não tratada.

4.7 Determinação dos carotenoides totais

Os carotenoides totais foram determinados de acordo com a metodologia descrita por Rodriguez-Amaya *et al.*, 2004. Amostras de 5 g de polpa de maracujá foram pesadas, e com o auxílio de um pistilo de porcelana, homogeneizadas em 5g de celite 545 e cerca de 100 mL de acetona para a etapa de extração. Em seguida, o extrato cetônico foi filtrado em bomba a vácuo e transferido para um funil de separação (500 mL), com 30 ou 40 mL de hexano e 15 mL água destilada. Ao conteúdo foi adicionado 300 mL de solução salina 0,41% para remoção da acetona e deixou-se descansar por 15 minutos, a etapa de remoção foi repetida três vezes. A filtragem foi feita utilizando um algodão coberto com sulfato de sódio anidro, o extrato foi coletado em balão volumétrico âmbar de 25 ou 50 mL e o volume foi completado com hexano. A absorvância foi medida no espectrofotômetro (UV-1800, Shimadzu) a 450 nm e os resultados expressos em $\mu\text{g/g}$ de β -caroteno em peso fresco e a 470 nm para resultados expressos em $\mu\text{g/g}$ de licopeno em peso fresco. O conteúdo de carotenoides totais foi calculado de acordo com a equação:

$$\text{Carotenoides totais } (\mu\text{g/g}) = \frac{(A \times V \times 10^4)}{A_{1\text{cm}} \times W}$$

Onde A é a absorvância medida, V é o volume final do extrato (25 ou 50 mL), $A_{1\text{cm}}$ é o coeficiente de absorção em β -caroteno (2592) e em licopeno (3450) e W é o peso da amostra (g).

4.8. Compostos fenólicos totais e Capacidade antioxidante

4.8.1. Obtenção do extrato

O extrato foi obtido de acordo com a metodologia descrita por Larrauri, Rupérez, e Saura-Calixto (1997) com adaptações. 5g de amostra foi diluída em 15 mL de uma solução contendo metanol e água destilada (50%). Em seguida, o conteúdo foi homogeneizado e imerso em banho ultrassom de 25 kHz (modelo USC-1800, Unique) por 20 minutos em temperatura ambiente.

Após a extração, a mistura foi centrifugada (modelo CR22N, Himac) a 15.000 rpm, por 15 minutos em temperatura ambiente, e o sobrenadante 1 obtido foi coletado. Ao resíduo adicionou-se 15 mL de uma solução de acetona (70%) e o conteúdo foi novamente extraído, e após a centrifugação, o sobrenadante 2 foi coletado. Por fim, os sobrenadantes foram adicionados em balão volumétrico (50 mL) de cor âmbar, o volume foi completado com água destilada, e armazenado em congelador (-18°C). O extrato obtido foi utilizado para determinar os teores de polifenóis extraíveis totais e a capacidade antioxidante.

4.8.2 Determinação dos compostos fenólicos totais

A determinação dos compostos fenólicos totais foi realizada de acordo com o método utilizado por Obanda, Owuor e Taylor (1997) com adaptações. Para o ensaio, 1 mL do extrato hidrometanólico foi adicionado a 1 mL da solução de Folin-Ciocalteu 25%, 2 mL de carbonato de sódio 20%, 2 mL de água destilada, e incubado por 30 minutos ao abrigo da luz em temperatura ambiente. Após o período de reação, a absorbância foi medida a 700 nm em espectrofotômetro UV-Vis (modelo UV-1800, Shimadzu). Os resultados obtidos foram expressos em mg equivalente em ácido gálico (GAE) g⁻¹.

4.8.3 Ensaio de eliminação do radical DPPH

O ensaio de sequestro do radical DPPH foi feito a partir do método descrito por Rufino *et al.*, (2010) com adaptações. O ensaio foi realizado a partir de 100 µL do extrato adicionado a 3,9 mL da solução de DPPH 0,06 mM com absorbância inferior a 0,70. A mistura foi incubada por 1 hora no escuro em temperatura ambiente. Após a reação, a absorbância foi registrada em espectrofotômetro (modelo UV-1800, Shimadzu) a 517 nm. Os resultados obtidos foram expressos em µM trolox equivalente (TE) g⁻¹.

4.8.4 Captura dos radicais ABTS⁺

O ensaio de captura dos radicais 2,2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) ABTS⁺ foi realizado de acordo com a metodologia descrita por Rufino *et al.*, (2010) com modificações. A formação dos radicais ABTS⁺ ocorreu a partir da reação de 5 mL de ABTS 77 mM com 88 µL de persulfato de potássio 140 mM, a mistura foi incubada por 16 horas ao abrigo da luz em temperatura ambiente. Após o período de reação, uma alíquota do radical foi solubilizada em água destilada e a absorbância foi ajustada para 0,70±0,02 em

espectrofotômetro (modelo UV-1800, Shimadzu) a 734 nm. Para o ensaio, 30 µL do extrato foi adicionado a 3 mL da solução diluída de ABTS⁺ e incubado por 6 minutos em temperatura ambiente. Após a reação, a absorbância foi registrada e os resultados expressos em µM TE g⁻¹.

4.9 Análise microbiológica

As amostras de polpa foram analisadas quanto à contagem de bactérias aeróbias mesófilas, bolores e leveduras, à determinação do Número Mais Provável (NMP) de coliformes totais e termotolerantes, *Escherichia coli* e à presença de *Salmonella* spp., de acordo com os métodos analíticos estabelecidos pela *American Public Health Association* (APHA). Alíquotas de 1 mL de polpa foram diluídas em série (nas proporções de 10⁰, 10⁻¹ e 10⁻² amostra – diluente) em água peptonada a 0,1%, sendo homogeneizadas em agitador tipo Vortex (Phoenix, Araraquara, SP, Brasil) por dois minutos em velocidade normal.

Para a contagem de bactérias aeróbias mesófilas, 1 mL de cada uma das diluições preparadas foi plaqueada em profundidade no meio Ágar Plate Count (PCA) (Difco™, Detroit, USA) e incubada invertida em estufa bacteriológica a 35°C por 48 horas. A contagem de bolores e leveduras foi realizada por semeadura em superfície, onde 0,1 mL de cada diluição foi inoculado na superfície do Agar Base Dicloran Rosa Bengala Cloranfenicol (DRBC) (KASVI, Campinas, SP, Brasil), e espalhada com o auxílio da alça de Drigalski. As placas foram incubadas sem inversão em câmara B.O.D a 25°C por 5 dias. Para a contagem de bactérias aeróbias mesófilas, bem como de bolores e leveduras foi utilizado um contador de colônias (Phoenix® modelo CP 600 Plus), sendo os resultados expressos em logarítmicos de Unidades Formadoras de Colônias (UFC) por mililitro (log UFC/mL).

A determinação de coliformes totais e termotolerantes foi realizada utilizando a técnica de NMP por tubos múltiplos. Para o teste de coliformes totais, 1 mL de cada diluição foi inoculado em tubos contendo 10 mL de Caldo Lauril Sulfato Triptose (LST) (KASVI, Campinas, SP, Brasil), incubados a 35°C por 48 horas. Os tubos que apresentaram resultado presuntivo positivo, indicado pela presença de gás nos tubos de Durhan, foram submetidos à confirmação para coliformes totais e termotolerantes. Uma alçada foi inoculada em Caldo Bile Verde Brilhante (KASVI, Campinas, SP, Brasil), incubado a 35°C por 48 horas para coliformes totais, e em Caldo EC (KASVI, Campinas, SP, Brasil), incubados a 44,5°C por 48 horas em banho maria para coliformes termotolerantes. A produção de gás nos tubos de Durhan confirmou a presença de coliformes totais, e os resultados foram expressos em NMP/mL. Os tubos positivos para coliformes termotolerantes foram então submetidos ao isolamento em Agar Eosina de Metileno (E-MB) pela técnica de esgotamento por estriamento. No entanto, as

colônias obtidas não apresentaram as características típicas de *Escherichia coli*, como o brilho metálico verde, eliminando a necessidade de prova bioquímica. Os resultados também foram expressos NMP/mL.

A pesquisa de *Salmonella* spp. foi realizada mediante pré-enriquecimento em Caldo Lactose Simples (CLS) (Merck KGaA, Darmstadt, Germany), onde 10mL das amostras foram inoculados em 90mL de CLS por 24 horas a 36°C, seguido de enriquecimento seletivo em caldo Rappaport-Vassiliadis (RV) e Caldo Tetrionato (TT) (Merck KGaA, Darmstadt, Germany) e posterior plaqueamento seletivo diferencial. Uma alçada do inóculo foi estriado nos meios Ágar Entérico de Hectoen (HE), Ágar *Salmonella* Shigela (SS) e Ágar Xylose lysine Deoxycholate (XLD)) (Difco™, Detroit, USA). As placas foram incubadas a 36°C por 24 horas e os resultados foram expressos como ausência em 25mL.

4.10 Análise estatística

O estudo foi realizado utilizando o delineamento completamente casualizado. Todas as análises foram feitas em triplicata e os resultados obtidos foram expressos como média \pm desvio padrão. Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e comparação das médias pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância ($p \leq 0,05$) utilizando o software Statistica versão 12.0 (Statsoft, 2013).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Testes preliminares dos parâmetros de processamento ultrassom em polpa de maracujá

A preservação da qualidade nutricional e a inativação de enzimas são indicativos da efetividade de métodos de processamento de alimentos. Partindo dessa compreensão, é importante entender que a adequação dos parâmetros de processamento ultrassom está inteiramente relacionada com a qualidade final do alimento processado (Santos *et al.*, 2024). Para definir a temperatura (°C) e o tempo (min.) do processamento do ultrassom em polpa de maracujá foram realizados testes preliminares e para definição dos parâmetros considerou-se a retenção de ácido ascórbico (AA) e atividade residual da enzima ascorbato oxidase (ASO) após o processamento.

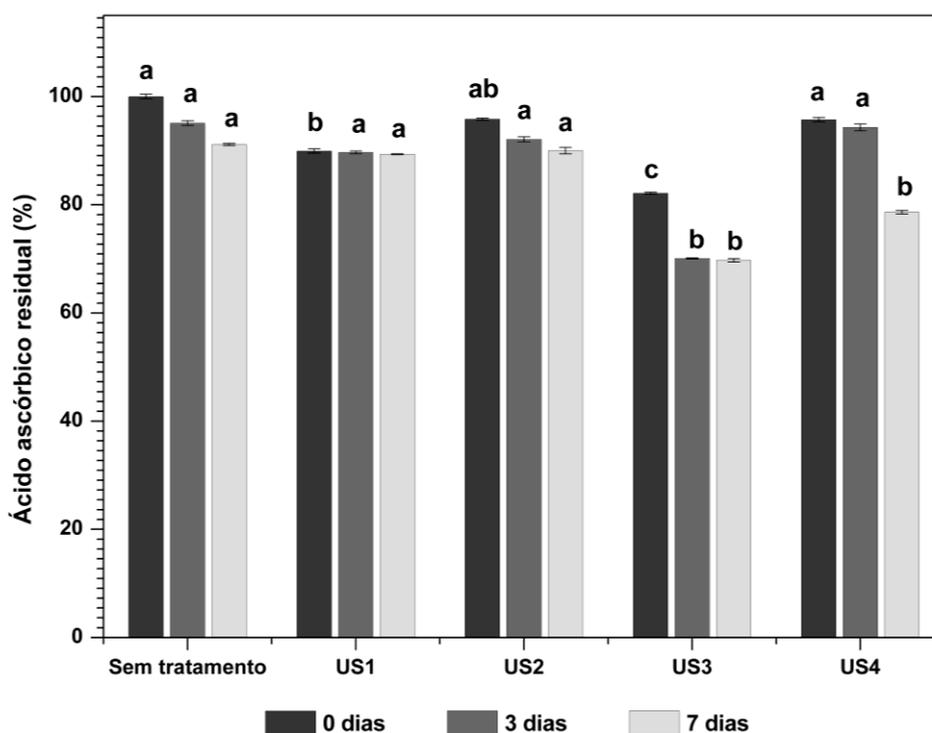
A Figura 6 apresenta a retenção em % de ácido ascórbico nas polpas de maracujá amarelo não tratada e processadas por ultrassom durante 5 e 10 minutos, com e sem controle de temperatura, estocada por 7 dias ($-18 \pm 0.1^\circ\text{C}$). Imediatamente após o despulpamento, foi observado na polpa sem tratamento um teor de ácido ascórbico de $15,58 \pm 0,44$ mg/100g (100%), valor que após 3 e 7 dias de armazenamento foi reduzido para 95,10% e 91,14%, respectivamente. As amostras US1 (5 min / 60°C) e US3 (10 min / 65°C) registraram uma menor retenção do ácido ascórbico residual, e uma redução de 10,07% e 17,85%, respectivamente dessa vitamina, em relação à polpa não tratada. As mesmas amostras apresentaram uma pequena redução no teor ácido ascórbico após 3 dias de estocagem, e demonstraram retenção do composto após 7 dias de estocagem. O tratamento US1 apresentou maior estabilidade do ácido ascórbico ao fim dos 7 dias de estocagem da polpa, (redução de 0,60% em relação ao controle).

Já na amostra US3, observou-se uma redução mais pronunciada após 7 dias de estocagem (redução de 11,06% em relação ao controle). Por outro lado, as amostras US2 (5 min / 23°C) e US4 (10 min / 21°C), processadas em temperatura controlada, apresentaram maior retenção do ácido ascórbico após o processamento e não apresentaram diferença significativa em relação a amostra sem tratamento. No entanto, após 7 dias de estocagem a amostra US4 apresentou uma redução significativa no teor de ácido ascórbico (redução de 17,09% em relação a amostra não tratada).

Assim, é possível observar que apenas as amostras US1 e US2 (processadas por 5 minutos) apresentaram teor de ácido ascórbico iguais a amostra não tratada após 7 dias de estocagem, sugerindo que existe uma maior retenção do ácido ascórbico na polpa de maracujá durante a estocagem quando processada em menor tempo, e conseqüentemente em menor

densidade energética. O ácido ascórbico é um composto facilmente sujeito à oxidação principalmente por ação da temperatura e do oxigênio. A retenção do ácido ascórbico é constantemente utilizada como parâmetro de qualidade para a avaliação da degradação global do produto após o processamento e durante a estocagem (Giannakourou e Taoukis, 2021).

Figura 6 – Retenção do ácido ascórbico em polpa de maracujá tratada por ultrassom em diferentes tempos e temperaturas



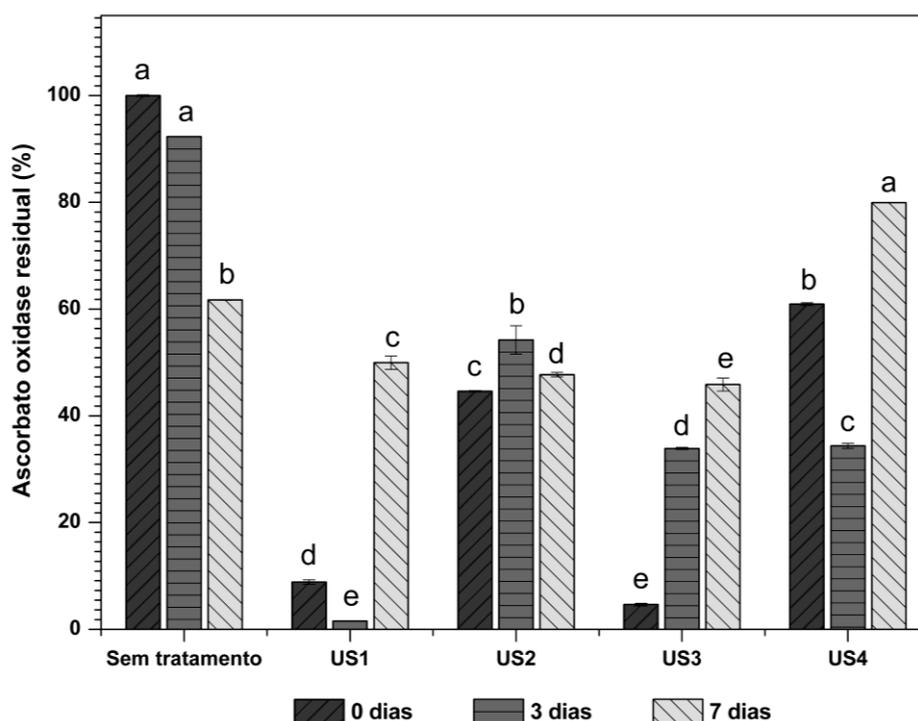
US1: 5 minutos sem banho de gelo (Temperatura final: 60°C); **US2:** 5 minutos com banho de gelo (Temperatura final: 23°C); **US3:** 10 minutos sem banho de gelo (Temperatura final: 65°C); **US4:** 10 minutos com banho de gelo (Temperatura final: 21°C).

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Foi possível verificar que o processamento por ultrassom foi um método eficaz para reduzir a atividade da ASO, enzima que atua diretamente na degradação do ácido ascórbico (Figura 7). A atividade inicial da ASO na polpa não tratada foi $0,66 \pm 0,15$ U/g (100%), havendo uma redução da atividade de 7,7% e 38,3% após 3 e 7 dias de estocagem, respectivamente. As polpas processadas durante 5 e 10 minutos com o uso do calor tiveram uma redução mais expressiva da atividade da ASO. As polpas US1 (5 min / 60°C) e US3 (10 min / 65°C)

apresentaram redução de 91,16% e 95,36% da atividade da ASO, respectivamente, em comparação com a polpa não tratada. Apesar de não fazer o uso do calor, a polpa US2 (5 min / 23°C) também apresentou uma redução considerável após o processamento (55,41% em relação a amostra não tratada). As mesmas amostras (US1, US2 e US3) após 7 dias de estocagem mantiveram a atividade enzimática da ASO inferior a 50%. Por outro lado, o processamento ultrassom em tempo prolongado e sem o uso do calor não foi eficaz na redução da atividade da ASO. A polpa US4 (10 min / 21°C) foi a amostra que apresentou menor redução da atividade da ASO logo após o processamento (39,06 %) e ao fim da estocagem (20,05%), em relação a amostra não tratada).

Figura 7 – Atividade residual da ASO em polpa de maracujá tratada por ultrassom em diferentes condições



US1: 5 minutos sem banho de gelo (Temperatura final: 60°C); **US2:** 5 minutos com banho de gelo (Temperatura final: 23°C); **US3:** 10 minutos sem banho de gelo (Temperatura final: 65°C); **US4:** 10 minutos com banho de gelo (Temperatura final: 21°C).

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Dessa forma, o menor tempo de processamento ultrassom (5 min) aplicado com e sem o uso do calor foram adotados para as análises futuras, devido à maior retenção do ácido ascórbico

e à menor atividade da ASO, parâmetros que representam a manutenção da qualidade da polpa pós-processamento.

5.2 pH, acidez total e sólidos solúveis de diferentes espécies de polpa de maracujá

Os ácidos orgânicos e os açúcares são constituintes básicos da polpa de maracujá e juntos performam não só as características organolépticas e os aspectos de sabor, mas também são determinantes para a avaliação do grau de maturação da fruta (Zou *et al.*, 2024). A tabela 6 descreve os valores de pH, sólidos solúveis e acidez total da polpa de maracujá vermelho brilhante e maracujá amarelo (*Passiflora edulis* Sims), maracujá do Cerrado (*Passiflora setacea*) e maracujá da Caatinga (*Passiflora cincinnata*). Como pode ser observado, as variedades de *Passiflora edulis* Sims tiveram o valor de pH aumentado após os tratamentos US-60, US-20 e PS-63.

Na variedade de maracujá vermelho brilhante o pH aumentou ligeiramente de 2,66 para 2,71-2,73, e na variedade de maracujá amarelo o valor de pH aumentou de 2,44 para 2,75-2,79. Alterações pós-processamento também foram observadas no teor de sólidos solúveis das polpas de *Passiflora edulis* Sims tratadas por ultrassom sem controle de temperatura (US-60). A polpa de maracujá vermelho brilhante apresentou pós-tratamento ultrassom (5 min / 60°C) um aumento de 5,5% dos sólidos solúveis em relação com a amostra não tratada. Na polpa de maracujá amarelo, o aumento foi de 4,67% em comparação com a amostra não tratada.

Em relação a polpa de *Passiflora setacea*, o valor de pH aumentou de 3,07 para 3,17-3,23 após os tratamentos. Porém, não houve alteração significativa no teor de sólidos solúveis da polpa pós-processamento, obtendo valor médio de 15,22°Brix. O pH da polpa processada de *Passiflora edulis* Sims e *Passiflora setacea* apresentou um aumento entre 1,88% e 14,34%, em comparação com a polpa não tratada, o que evidencia que o processamento ultrassom apresentou um efeito mínimo no pH da polpa de maracujá.

Pratap-Singh e Mandal (2024) destacaram que o pH do suco de melancia tratado em reator de luz UV pulsada de fluxo contínuo variou minimamente o valor de pH em 5,04 a 5,16, e sugeriram que a intensidade do processamento aplicado não foi eficaz para modular o equilíbrio iônico do suco de melancia, cenário que possivelmente explica o pequeno aumento no valor de pH da polpa processada de *Passiflora edulis* Sims e *Passiflora setacea*.

As mudanças no teor de sólidos solúveis da polpa processada de *Passiflora edulis* Sims podem ser explicadas pelo efeito cavitação acústica gerada pelo ultrassom bem como do processamento térmico (pasteurização), processos no qual componentes de pectina insolúvel

podem ser transformados em pectina solúvel, resultando no aumento do conteúdo de sólidos solúveis da polpa de maracujá (Guo *et al.*, 2022; Xing *et al.*, 2023a). As alterações dos sólidos solúveis também foram relatadas em estudos recentes por outros autores. Araújo *et al.* (2021) avaliaram o efeito do processamento ultrassom de 19 kHz em densidade energética de 7000 J g⁻¹ na polpa de araçá-boi, os autores observaram uma redução no pH de 1,56% e um aumento no teor de sólidos solúveis 16%, em comparação com a polpa não tratada. Resultados semelhantes também foram relatados por Xing *et al.* (2023b) onde foi observada uma diminuição no valor de pH e aumento no teor de sólidos solúveis da polpa de morango tratada por ultrassom de forma pulsada (5s on 5s off).

Em contraste com as outras espécies analisadas, o processamento ultrassom e a pasteurização *LTLT* não apresentaram efeito no valor de pH da polpa de *Passiflora cincinnata*, apresentando valor médio de 2,80. Entretanto, o teor de sólidos solúveis diminuiu de 10,10 para 9,97-9,90, após os tratamentos. A redução do conteúdo de sólidos solúveis observada na polpa tratada de *Passiflora cincinnata* foi de apenas 1,98% em relação com a amostra não tratada, o que demonstra que o processamento ultrassom apresentou um efeito mínimo nos sólidos solúveis da polpa dessa espécie.

Similar ao resultado obtido nesse estudo, Ismail *et al.* (2021) avaliaram o efeito da pasteurização (30 min/63°C) e do processamento ultrassom em diferentes potências na polpa do fruto de baobá, e não houve diferença no teor de sólido solúveis após os tratamentos aplicados. Com relação a acidez total, estudos anteriores demonstraram que um dos ácidos orgânicos de maior prevalência no maracujá é o ácido cítrico (Zou *et al.*, 2024).

Os processamentos realizados não apresentaram efeito significativo na acidez total da polpa das espécies avaliadas, e a média obtida para a polpa de *Passiflora edulis* Sims (maracujá vermelho brilhante e maracujá amarelo), *Passiflora setacea* e *Passiflora cincinnata*, foi de 4,01%, 4,09%, 1,96% e 4,15% de ácido cítrico, respectivamente. A doçura é uma característica muito apreciada determinante para o consumo de frutas. A associação entre o elevado teor de sólidos solúveis com a baixa acidez confere ao fruto a percepção de um sabor mais adocicado (Jesus *et al.*, 2023).

Nesse estudo, foi possível observar que as espécies *Passiflora setacea* e *Passiflora edulis* Sims (maracujá vermelho brilhante) possuem atributos que sugerem maior doçura da polpa. Alterações relacionadas a acidez total da polpa ocorrem devido a sucessão de alguns processos bioquímicos como a hidrólise e a oxidação de compostos. No entanto, devido à natureza não destrutiva do processamento ultrassom, é possível verificar que não houve alterações entre as

Tabela 6 – Efeito do processamento ultrassom e da pasteurização no pH, sólidos solúveis, acidez total e cor da polpa de diferentes espécies de maracujá

| | tratamento | pH | Sólidos solúveis (°Brix) | Acidez total (%) | L* | a* | b* | ΔE |
|--|-------------|---------------|--------------------------|------------------|---------------|----------------|----------------|---------------|
| Maracujá Vermelho Brilhante (<i>Passiflora edulis</i> Sims) | Não tratada | 2,66 ± 0,02b | 14,00 ± 0,10c | 3,95 ± 0,11a | 45,10 ± 0,08c | 20,25 ± 0,42ab | 26,50 ± 0,69b | - |
| | US-60 | 2,71 ± 0,01a | 14,77 ± 0,06a | 4,06 ± 0,01a | 48,33 ± 0,57a | 20,86 ± 0,28a | 28,29 ± 1,15ab | 3,78 ± 1,07a |
| | US-20 | 2,73 ± 0,01a | 14,20 ± 0,10bc | 3,93 ± 0,06a | 46,88 ± 0,10b | 20,03 ± 0,44ab | 29,05 ± 0,39ab | 3,13 ± 0,23a |
| | PS-63 | 2,71 ± 0,01a | 14,37 ± 0,15b | 4,09 ± 0,08a | 46,58 ± 0,01b | 19,29 ± 0,03b | 29,57 ± 0,04a | 3,53 ± 0,04a |
| Maracujá amarelo (<i>Passiflora edulis</i> Sims) | Não tratada | 2,44 ± 0,04b | 12,20 ± 0,10bc | 3,98 ± 0,11a | 45,22 ± 0,01b | 18,56 ± 0,01a | 23,62 ± 0,17ab | - |
| | US-60 | 2,79 ± 0,03a | 12,77 ± 0,06a | 4,13 ± 0,08a | 44,48 ± 0,46b | 17,79 ± 0,16b | 22,26 ± 0,76b | 1,74 ± 0,86b |
| | US-20 | 2,77 ± 0,01a | 12,03 ± 0,06c | 4,08 ± 0,02a | 45,79 ± 0,18b | 18,02 ± 0,01ab | 24,46 ± 0,24a | 1,15 ± 0,26b |
| | PS-63 | 2,75 ± 0,01a | 12,33 ± 0,06b | 4,20 ± 0,00a | 51,69 ± 0,49a | 12,57 ± 0,24c | 18,06 ± 0,18c | 10,42 ± 0,54a |
| Maracujá do Cerrado (<i>Passiflora setacea</i>) | Não tratada | 3,07 ± 0,01c | 14,93 ± 0,06a | 1,96 ± 0,00a | 45,36 ± 0,03b | 8,89 ± 0,06b | 22,26 ± 0,03a | - |
| | US-60 | 3,23 ± 0,03a | 15,40 ± 0,26a | 1,92 ± 0,00a | 40,86 ± 0,06c | 9,14 ± 0,05ab | 15,54 ± 0,08c | 8,09 ± 0,10a |
| | US-20 | 3,21 ± 0,02ab | 15,17 ± 0,21a | 2,00 ± 0,06a | 41,25 ± 0,02c | 9,33 ± 0,02a | 16,19 ± 0,01c | 7,35 ± 0,02a |
| | PS-63 | 3,17 ± 0,02b | 15,40 ± 0,26a | 1,96 ± 0,01a | 47,97 ± 0,49a | 7,78 ± 0,15c | 18,73 ± 0,47b | 4,53 ± 0,70b |
| Maracujá da Caatinga (<i>Passiflora cincinnata</i>) | Não tratada | 2,92 ± 0,16a | 10,10 ± 0,06a | 4,09 ± 0,09a | 59,30 ± 0,12b | -0,45 ± 0,04c | 17,81 ± 0,05b | - |
| | US-60 | 2,84 ± 0,10a | 9,90 ± 0,10b | 4,19 ± 0,02a | 61,49 ± 0,94a | 0,30 ± 0,02a | 19,23 ± 0,29a | 2,77 ± 0,72ab |
| | US-20 | 2,72 ± 0,00a | 9,97 ± 0,06ab | 4,13 ± 0,01a | 58,48 ± 0,30b | 0,17 ± 0,04b | 17,95 ± 0,11b | 1,05 ± 0,28b |
| | PS-63 | 2,73 ± 0,01a | 9,90 ± 0,00b | 4,19 ± 0,05a | 63,15 ± 0,58a | 0,28 ± 0,00a | 18,09 ± 0,05b | 3,93 ± 0,57a |

Valores com letras diferentes na mesma coluna (a-c) representam diferença estatística entre os tratamentos ($P \leq 0,05$).

ligações covalentes, proporcionando a manutenção da acidez inicial da polpa de maracujá (Mukhopadhyay *et al.*, 2017).

5.3 Parâmetros de cor

A cor é um indicativo direto do frescor e qualidade das frutas, característica que tem forte influência na satisfação do consumidor. Mudanças relacionadas a coloração é um marcador ideal da biossíntese e/ou degradação de fitoquímicos responsáveis pelo pigmento das frutas (Solovchenko; Yahia; Chen *et al.*, 2019; Wrolstad; Culver, 2012). A tabela 6 mostra a influência do processamento ultrassom e da pasteurização *LTLT* nos parâmetros de cor da polpa de maracujá.

Como pode ser observado, a polpa do maracujá vermelho brilhante (*Passiflora edulis* Sims) apresentou um aumento nos valores de L* (Luminosidade) após os tratamentos, principalmente na polpa processada sem controle de temperatura (US-60), que apresentou maior brilho ($48,33 \pm 0,57$). Verificou-se também um aumento da intensidade da cor amarela nas polpas tratadas, observada pela coordenada b* (blueness/yellowness), característica pode estar relacionada com a liberação de compostos intracelulares, como carotenoides, que expressam a cor amarelo na polpa de *Passiflora edulis* Sims (Wang *et al.*, 2020).

O aumento dos parâmetros L* e a* na amostra US-60 de maracujá vermelho brilhante (*Passiflora edulis* Sims), está de acordo com os resultados encontrados por Shen *et al.* (2021) em suco de maçã típico tratado por ultrassom a 60°C por 12 minutos, onde verificou-se que o aumento dos parâmetros L* e a* ocorreu principalmente pela elevação da temperatura, resultando na melhora das características de cor suco.

De forma similar, a elevação da temperatura também resultou no aumento do parâmetro L* da polpa de maracujá amarelo (*Passiflora edulis* Sims) na amostra PS-63 ($51,69 \pm 0,49$), no entanto as coordenadas a* e b* diminuíram expressivamente ($12,57 \pm 0,24$ e $18,06 \pm 0,18$, respectivamente). Esse resultado indica que a polpa de maracujá amarelo PS-63 foi mais clara, porém, menos amarelada e relativamente mais esverdeada comparado com as outras amostras da espécie. Da mesma forma, a polpa de *Passiflora setacea* também expressou um aumento da coordenada L* na amostra PS-63. No entanto, os tratamentos US-60 e US-20 diminuíram os valores dos parâmetros blueness/yellowness (b*), indicando redução do amarelo após o tratamento ultrassom. Por sua vez, a polpa de *Passiflora cincinnata* foi mais clara (L*) e mais avermelhada (a*) nos tratamentos US-60 e PS-63, o que sugere que principalmente a alta temperatura promoveu alterações expressivas na cor da polpa dessa espécie.

A diferença total de cor (ΔE) é um índice avaliativo que permite mensurar as mudanças globais de cor em frutas e seus subprodutos. Entende-se como alteração visual expressiva da cor quando o valor de ΔE é igual ou superior a 1,5 (Marszałek, Mitek e Skąpska, 2015; Zou *et al.*, 2024). Como pode ser observado na tabela 6, os tratamentos apresentaram diferentes intensidades de alterações na cor (ΔE) entre as espécies. Alterações na coloração indicadas pelos critérios de ΔE foram observadas em todos os tratamentos, onde é possível distinguir visualmente a polpa tratada, com exceção das amostras US-20 da polpa de *Passiflora edulis* Sims (maracujá amarelo) e *Passiflora cincinnata* (figura 8).

A preservação da coloração pode ser explicada principalmente pela manutenção da temperatura ambiente durante o processamento ultrassom, condição que possivelmente preservou os pigmentos termolábeis e minimizou reações de escurecimento não-enzimáticas, como a reação de Maillard (Souza *et al.*, 2019).

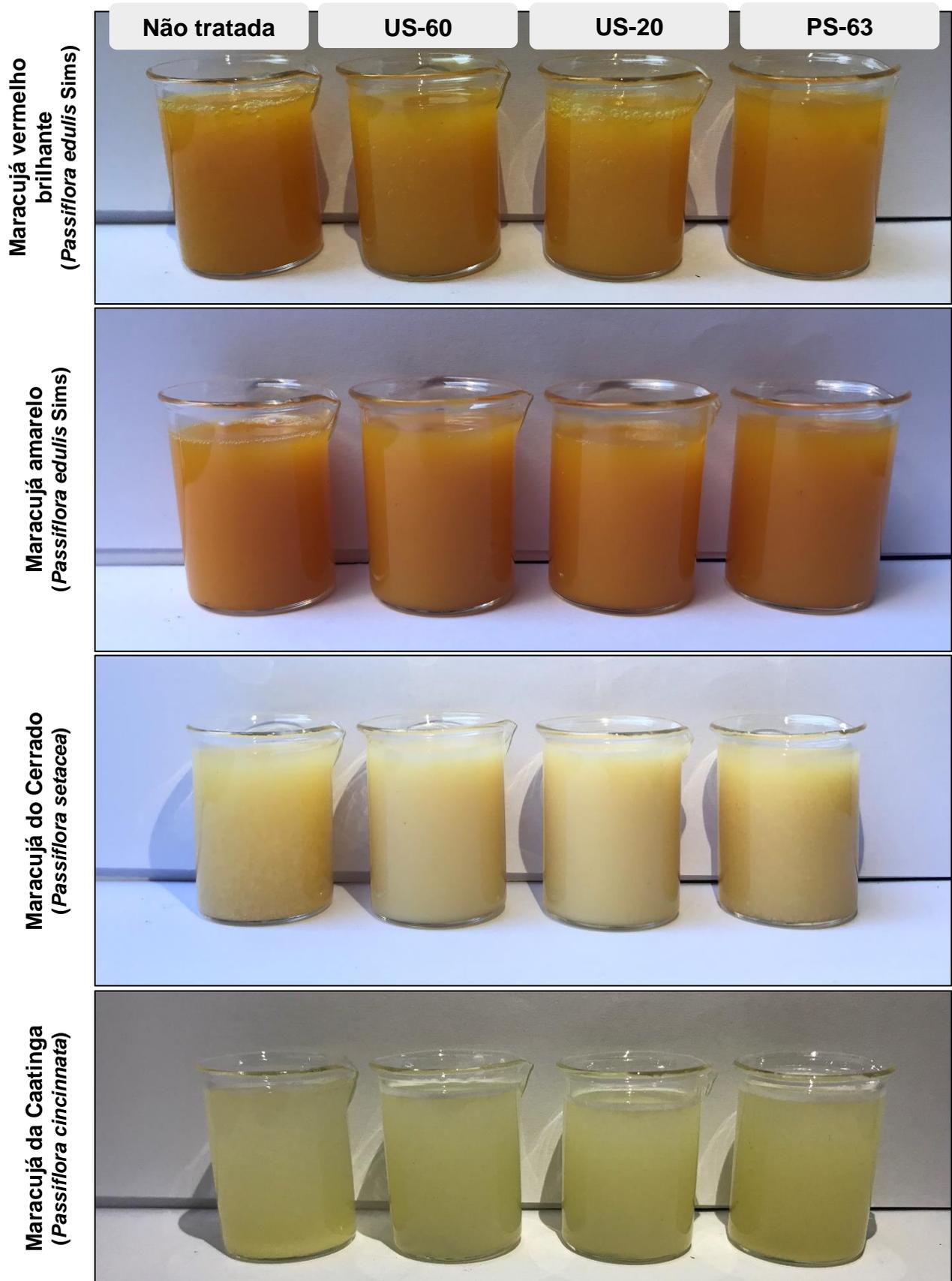
Em resposta ao tratamento em altas temperaturas e em tempo prolongado, a polpa PS-63 de *Passiflora edulis* Sims (maracujá amarelo) teve o maior valor de ΔE ($10,42 \pm 0,54$) dentre as espécies. Por outro lado, o processamento ultrassom (US-60 e US-20) foi responsável por valores expressivos de ΔE ($8,09 \pm 0,10$ e $7,35 \pm 0,02$, respectivamente) na polpa de *Passiflora setacea*, alteração que pode ser explicada pela energia de cavitação gerada pelo processamento ultrassom desencadeando o processo de quebra de partículas suspensas, resultando em uma maior homogeneidade da polpa (Oliveira *et al.*, 2018).

Wang *et al.* (2020) avaliaram suco de kiwi submetido a ultrassom de 20 kHz durante 4, 8, 12 e 16 minutos, e em todos os tempos aplicados foram observados valores expressivos de ΔE ($> 1,5$), concluindo que o tratamento ultrassom por até 16 minutos foi capaz de melhorar a qualidade da cor do suco de kiwi, através do aumento dos parâmetros a^* e b^* .

Resultados semelhantes foram encontrados por Ramirez-Corona *et al.* (2024), que avaliaram o suco de laranja processado por ultrassom em temperatura controlada (15°C) por 20 minutos e observaram alterações perceptíveis na cor ($\Delta E > 1,5$), onde o aumento no parâmetro a^* foi mais expressivo, embora alterações em L^* e b^* também tenham sido avaliadas. De acordo com os autores, as alterações encontradas estão relacionadas com reações de oxidação de pigmentos promovida por radicais livres, que foram formados durante o processamento ultrassom. No caso do suco de laranja, os autores sugerem que os carotenoides que compõem a cor amarelada do suco foram degradados.

Wang *et al.*, (2019) avaliaram em suco de morango que o tratamento ultrassom por até 12 minutos é capaz de preservar as características de cor, enquanto a partir de 16 minutos ocorreu o escurecimento do suco, demonstrado a partir da diminuição da luminosidade (L^*).

Figura 8 – Efeito do tratamento ultrassom e da pasteurização na polpa de *Passiflora* spp.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Os autores explicam que processos oxidativos também podem ser ocasionados em polpa tratada por ultrassom devido a ruptura celular gerada pela cavitação acústica, causando a liberação de substratos oxidativos intracelulares que influenciam na cor do produto.

5.4 Carotenoides totais

Carotenoides é uma classe de pigmentos lipossolúveis, responsáveis por exibir as cores amarelo, laranja e vermelho em frutas e outros organismos fotoautotróficos, Além de serem corantes naturais, alguns carotenoides são considerados elementos biologicamente ativos, pois promovem benefícios a saúde além da nutrição básica (Maoka, 2020). Nesse estudo observou-se (tabela 7) que os tratamentos preservaram os carotenoides das polpas de maracujá vermelho brilhante e maracujá amarelo (*Passiflora edulis* Sims). As médias dos carotenoides, expressos em β -caroteno, foram de $16,35 \pm 0,63$ e $13,73 \pm 0,74$ β -caroteno $\mu\text{g g}^{-1}$, respectivamente, enquanto os teores de carotenoides, expressos em licopeno, foram substancialmente menores ($9,02 \pm 0,22$ e $6,93 \pm 0,32$ licopeno $\mu\text{g g}^{-1}$, respectivamente). Normalmente, os compostos bioativos ficam armazenados no interior da célula vegetal através de ligações físicas e químicas (Wang *et al.*, 2020). Com o processamento ultrassom, mudanças de pressão geradas pela força de cisalhamento podem promover o rompimento das ligações celulares e a liberação dos compostos. Com base nessas afirmações, uma hipótese que pode explicar a preservação dos carotenoides na polpa de *Passiflora edulis* Sims é a alta estabilidade entre as ligações intracelulares e os carotenoides da polpa para a potência energética na qual foi submetida durante o processamento. Ordóñez-Santos; Martínez-Girón; Arias-Jaramillo (2017) relatam que a estabilidade dos carotenoides também pode estar associada com a degradação de outros antioxidantes, como o ácido ascórbico, que atua sobre os radicais livres formados durante o processamento ultrassom.

A coloração laranja-amarelado da polpa de *Passiflora edulis* Sims é o resultado da biossíntese de carotenoides durante o desenvolvimento fisiológico do fruto, especialmente de β -caroteno (Dos Reis *et al.*, 2018). Através da análise de cor é possível verificar menores valores dos parâmetros a^* e b^* nas polpas de *Passiflora setacea* e *Passiflora cincinnata*, em comparação com os outros frutos analisados. Essa distância cromática exibe uma baixa concentração de pigmentos de avermelhados e amarelados, justificando a baixa concentração de carotenoides totais nas espécies. Os tratamentos não promoveram alterações significativas dos carotenoides totais, expressos em β -caroteno, da polpa de *Passiflora setacea*, em comparação com a amostra não tratada.

Tabela 7 – Efeito do processamento ultrassom e da pasteurização nos compostos bioativos e atividade antioxidante da polpa de diferentes espécies de maracujá

| | Condição/ tratamento | Carotenoides Totais (β -caroteno $\mu\text{g g}^{-1}$) | Carotenoides Totais (licopeno $\mu\text{g g}^{-1}$) | Polifenóis totais (mg GAE 100g^{-1}) | DPPH ($\mu\text{M TE g}^{-1}$) | ABTS ($\mu\text{M TE g}^{-1}$) |
|--|-------------------------|---|---|---|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Maracujá Vermelho Brilhante (<i>Passiflora edulis</i> Sims) | Não tratada | 15,94 \pm 0,06a | 9,02 \pm 0,13a | 44,42 \pm 0,01c | 1,66 \pm 0,04ab | 3,76 \pm 0,00a |
| | US-60 | 17,19 \pm 0,09a | 9,13 \pm 0,23a | 48,92 \pm 0,16a | 1,51 \pm 0,02b | 3,79 \pm 0,20a |
| | US-20 | 16,07 \pm 0,53a | 8,84 \pm 0,52a | 46,04 \pm 0,67b | 1,67 \pm 0,06a | 3,71 \pm 0,18a |
| | PS-63 | 16,21 \pm 1,85a | 9,09 \pm 0,00a | 47,71 \pm 0,19a | 1,51 \pm 0,01ab | 3,65 \pm 0,07 a |
| Maracujá amarelo (<i>Passiflora edulis</i> Sims) | Não tratada | 15,02 \pm 0,11a | 7,44 \pm 0,18a | 42,74 \pm 0,36ab | 1,05 \pm 0,07a | 3,10 \pm 0,03a |
| | US-60 | 13,25 \pm 1,10a | 6,41 \pm 0,57a | 43,64 \pm 0,73a | 1,09 \pm 0,06a | 3,14 \pm 0,06a |
| | US-20 | 12,91 \pm 0,93a | 6,93 \pm 0,42a | 41,43 \pm 0,70b | 1,17 \pm 0,09a | 3,19 \pm 0,16a |
| | PS-63 | 13,73 \pm 0,82a | 6,93 \pm 0,12a | 42,54 \pm 0,06ab | 1,18 \pm 0,00a | 3,14 \pm 0,18a |
| Maracujá do Cerrado (<i>Passiflora setacea</i>) | Não tratada | 2,01 \pm 0,03ab | 0,77 \pm 0,04b | 66,79 \pm 0,13a | 1,94 \pm 0,02a | 3,77 \pm 0,54a |
| | US-60 | 1,62 \pm 0,04b | 1,03 \pm 0,02a | 65,58 \pm 2,79ab | 1,99 \pm 0,01a | 3,81 \pm 0,20a |
| | US-20 | 1,59 \pm 0,05b | 1,06 \pm 0,09a | 62,09 \pm 0,21ab | 2,01 \pm 0,04a | 4,06 \pm 0,13a |
| | PS-63 | 2,31 \pm 0,29a | 0,70 \pm 0,07b | 60,04 \pm 0,76b | 1,99 \pm 0,07a | 3,74 \pm 0,17a |
| Maracujá da Caatinga (<i>Passiflora cincinnata</i>) | Não tratada | 0,68 \pm 0,15b | 0,53 \pm 0,18a | 46,72 \pm 0,81a | 1,67 \pm 0,03a | 3,94 \pm 0,06b |
| | US-60 | 0,40 \pm 0,08b | 0,22 \pm 0,06a | 48,01 \pm 0,00a | 1,68 \pm 0,00a | 4,00 \pm 0,00ab |
| | US-20 | 1,65 \pm 0,24a | 1,59 \pm 0,65a | 48,18 \pm 1,03a | 1,67 \pm 0,08a | 4,17 \pm 0,02a |
| | PS-63 | 0,62 \pm 0,04b | 0,32 \pm 0,08a | 44,69 \pm 1,36a | 1,22 \pm 0,03b | 3,98 \pm 0,09ab |

Valores com letras diferentes na mesma coluna (a-c) representam diferença estatística entre os tratamentos ($P \leq 0,05$).

Por outro lado, os tratamentos por ultrassom aumentaram significativamente os carotenoides, expressos em licopeno, nas polpas tratadas por ultrassom, US-60 e US-20 (35,71% em comparação com a amostra não tratada). De modo diferente, o tratamento US-20 aumentou o teor de carotenoides expressos em β -caroteno da polpa de *Passiflora cincinnata* (142,65% em comparação com a amostra não tratada). No entanto, não houve alteração significativa dos carotenoides expressos em licopeno (a média geral foi $0,67 \pm 0,97$ licopeno $\mu\text{g g}^{-1}$).

Wang *et al.* (2019) avaliaram suco de manga submetido ao processamento ultrassom combinado com a luz UV, e relataram que o processamento foi eficaz para aumentar o teor de carotenoides na condição de 10 minutos a 400W. No entanto, em condições de processamento onde a potência é maior que 400W, por mais de 10 minutos, o conteúdo de carotenoides do suco é reduzido.

Guerrouj *et al.* (2016) relataram um aumento no conteúdo de β -caroteno e licopeno do suco de laranja tratado por ultrassom principalmente na condição 43,3°C durante 10 minutos de processamento. Maiores teores de carotenoides podem estar relacionados com os efeitos físicos e químicos da cavitação acústica, que resulta na desnaturação de enzimas, como a lipoxigenase, envolvida na oxidação de compostos lipídicos (Ordóñez-Santos; Martínez-Girón; Arias-Jaramillo, 2017).

5.5 Compostos fenólicos e propriedade antioxidante

Compostos fenólicos são moléculas derivadas do metabolismo especial das plantas responsáveis por inúmeras atividades biológicas, em resposta ao seu poder antioxidante (Albuquerque *et al.*, 2020; Gómez-Maqueo *et al.*, 2020). O teor de compostos fenólicos e a atividade antioxidante estão apresentados na Tabela 7. Nesse estudo foi possível observar que a aplicação do ultrassom aumentou o teor de compostos fenólicos da polpa de maracujá vermelho brilhante (*Passiflora edulis* Sims) após o tratamento US-60 (aumento de 10,13% em comparação com a amostra não tratada).

Wang *et al.* (2019) analisaram o suco de morango tratado por ultrassom durante 12 minutos a uma potência de 400 W, e revelaram que o conteúdo de fenólicos também aumentou significativamente. Resultado similar também foi encontrado por Araújo *et al.* (2021) ao avaliarem a polpa de araçá-boi tratada por ultrassom durante 8,75 minutos a 400 W de potência, onde observaram um aumento de 13,53% em comparação com a polpa sem tratamento. O conteúdo aumentado de compostos fenólicos pode ser explicado pela formação de poros na membrana celular vegetal após o tratamento ultrassom favorece o aumento das transferências

de massa. Além disso, ondas de cisalhamento podem provocar o rompimento entre as ligações intracelulares e os compostos fenólicos, resultando em um maior conteúdo de fenólicos extracelular na amostra tratada por ultrassom (Oliveira *et al.*, 2018).

No entanto, o aumento dos compostos fenólicos relatado nesse estudo não refletiu na capacidade antioxidante observada nos ensaios de DPPH e ABTS, onde as médias obtidas para os tratamentos não apresentaram diferença significativa em comparação com a amostra não tratada. Estudos revelaram que a capacidade antioxidante da polpa de espécies de *Passiflora* está fortemente associada aos compostos fenólicos e elementos químicos de moléculas fenólicas (Rotta *et al.*, 2019; Silva *et al.*, 2020; Zou *et al.*, 2016).

Embora os ensaios de compostos fenólicos totais e atividade antioxidante realizados nesse estudo sejam tradicionais e não específicos, uma possível explicação para o aumento dos compostos fenólicos não exercerem efeito na atividade antioxidante da polpa de maracujá vermelho brilhante, é que a maior influência antioxidante pode estar associada a presença de outros compostos, como os carotenoides que não sofreram alterações após os tratamentos.

Para as polpas de maracujá amarelo (*Passiflora edulis* Sims) e *Passiflora setacea*, não houve alterações significativas dos compostos fenólicos entre os tratamentos e a amostra não tratada. Da mesma forma, os tratamentos não apresentaram efeito na atividade antioxidante avaliada pelos testes DPPH e ABTS. Dentre as espécies avaliadas, a polpa de *Passiflora setacea* destaca-se por possuir um conteúdo de compostos fenólicos mais expressivo, cerca de 30% a mais em relação com as outras espécies. Estudos anteriores relatam que a quantidade elevada de compostos bioativos de frutas do semiárido, tem associação com as condições amenas e a exposição solar em que são cultivadas (de Carvalho; de Oliveira; Costa, 2018; Santos *et al.*, 2021).

Em relação a polpa de *Passiflora cincinnata*, os tratamentos aplicados não demonstraram alterações significativas quando aos compostos fenólicos. Entretanto, o tratamento US-20 demonstrou maior capacidade antioxidante para o ensaio ABTS (+5,84% em relação com a amostra não tratada), enquanto o teste DPPH expressou diminuição da atividade antioxidante na polpa PS-63 (-26,95% em comparação com a amostra não tratada). A diminuição na atividade antioxidante da amostra PS-63 de *Passiflora cincinnata* pode estar relacionada com a sensibilidade dos compostos bioativos a degradações induzidas pelo processamento térmico.

Ismail *et al.* (2021) avaliaram o processamento ultrassom durante 30 minutos a 42°C, e relataram que essa condição manteve o conteúdo de compostos fenólicos da polpa do fruto de baobá. Ao analisarem o suco de açaí tratado por ultrassom (19 kHz) por 5 minutos em temperatura controlada (Oliveira *et al.*, 2018), os autores perceberam que o aumento da

densidade energética ($350 - 700 \text{ J mL}^{-1}$) de processamento ultrassom aumentou a quantidade de compostos fenólicos e manteve a capacidade antioxidante pelo ensaio do DPPH, no entanto, houve uma redução significativa pelo método de captura do radical ABTS.

5.6 Retenção do ácido ascórbico e atividade residual da ascorbato oxidase (ASO) durante a estocagem

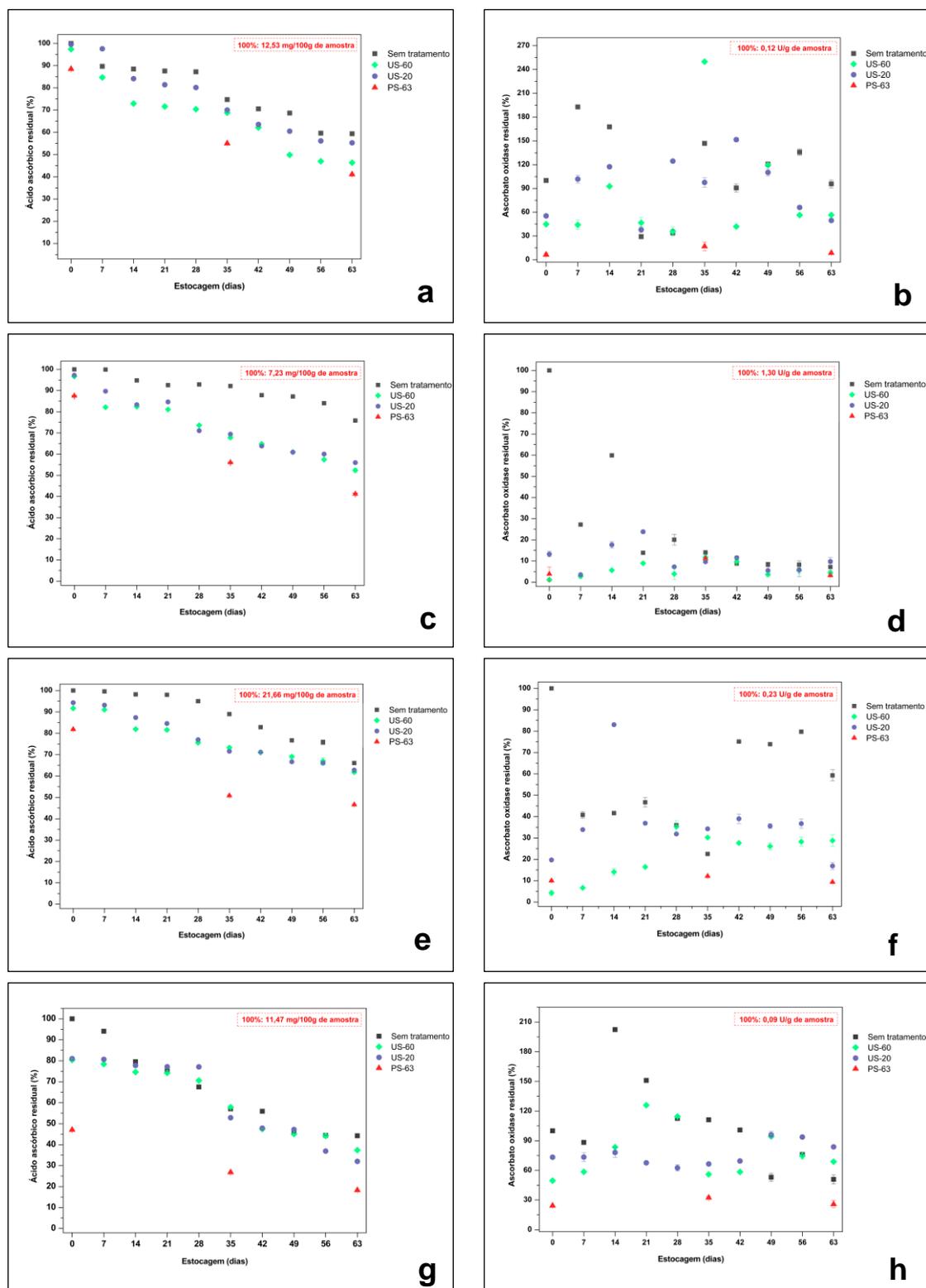
O ácido ascórbico (vitamina C) é um antioxidante essencial para a saúde humana, que pode ser facilmente degradado por ação do oxigênio, temperaturas elevadas e/ou pela ação de catalítica de enzimas, como a ascorbato oxidase (ASO) (Gęgotek; Skrzydlewska, 2022).

A retenção do ácido ascórbico e a atividade residual da ascorbato oxidase (ASO) foram demonstrados na figura 9. Houve uma redução proeminente do ácido ascórbico da polpa de maracujá vermelho brilhante (*Passiflora edulis* Sims) com o aumento do tempo de armazenamento a -18°C . Até 7 dias de armazenamento, a polpa processada em temperatura controlada (US-20) foi a condição que reteve melhor o ácido ascórbico (97,60%), teor 12,89% maior que o verificado na polpa não tratada após 7 dias. Uma degradação mais expressiva foi observada após 14 dias de armazenamento na amostra US-60 (72,97%). No entanto, a partir de 35 dias de armazenamento houve uma retomada expressiva da degradação em todas as condições avaliadas, permaneceram entre 74,75% (não tratada), 68,81% (US-60), 70,03% (US-20) e 55,03 (PS-63). Após 63 dias de estocagem, a amostra US-20 reteve 55,49% do ácido ascórbico (apenas -4,09% em relação a amostra não tratada após 63 dias).

Uma inativação menos expressiva foi observada na polpa de maracujá vermelho brilhante. A ASO apresentou um aumento da atividade entre os dias 7 e 14 de armazenamento, principalmente na amostra não tratada (192,82% - 167,64%, respectivamente). Em reflexo ao perfil de degradação do ácido ascórbico, após 35 dias de armazenamento observou-se uma retomada expressiva da atividade enzimática da ASO, mantendo-se entre 146,85% (não tratada), 249,90% (US-60), 97,58% (US-20). A atividade da ASO manteve-se inferior a 60% após 63 dias de armazenamento nas amostras submetidas ao processamento ultrassom (US-60 e US-20).

Redução expressiva no teor de ácido ascórbico também foi verificada na polpa de maracujá amarelo (*Passiflora edulis* Sims) durante o armazenamento. Uma degradação mais proeminente foi encontrada após o sétimo e o vigésimo oitavo dia de armazenamento, apenas nas amostras submetidas a algum dos processamentos. O teor de ácido ascórbico após 28 dias manteve-se entre 73,61% (US-60) e 71,07% (US-20), conteúdo 19,28% e 21,82% menor que o teor exibido pela amostra não tratada após 28 dias de armazenamento, respectivamente.

Figura 9 – Perfil do ácido ascórbico e da ASO durante a estocagem por 63 dias



Teor residual do ácido ascórbico e atividade residual da ASO respectivamente, em: a) - b) Maracujá Vermelho Brillhante (*Passiflora edulis* Sims); c) - d) Maracujá amarelo (*Passiflora edulis* Sims); e) - f) *Passiflora setacea*; g) - h) *Passiflora cincinnata*. A linha tracejada em vermelho (---) identifica a média geral da amostra não tratada em 0 dias de estocagem (100%).

O perfil de degradação do ácido ascórbico na polpa de maracujá amarelo manteve-se de forma similar até 63 dias de estocagem, permanecendo superior a 50% nas amostras tratadas por ultrassom.

De maneira oposta aos resultados obtidos na outra variedade de *Passiflora edulis* Sims, a atividade da ASO foi mais pronunciada (1,30 U/g), porém apresentou pouca relação com a degradação do ácido ascórbico na polpa de maracujá amarelo. Para essa amostra foi obtido percentuais de atividade residual variando entre 7,19% e 59,90% (não tratada), 1,15% e 11,73% (US-60), 3,54% e 23,83% (US-20), 3,20% e 11,24% (PS-63).

Quanto ao teor de ácido ascórbico na polpa de *Passiflora setacea*, foi observada uma degradação mais expressiva em 14 dias e entre os dias 28 e 35 de estocagem. A retenção dos níveis de ácido ascórbico após 35 dias permaneceu entre 88,96% (não tratada), 73,31% (US-60), 71,58% (US-20) e 50,83% (PS-63). Também foi verificado que após 63 dias de estocagem as amostras não tratada, US-60 e US-20 mantiveram o teor de ácido ascórbico entre 61,84% e 66,08%. No caso da atividade residual da ASO na polpa de *Passiflora setacea*, houve uma redução imediata no percentual residual das amostras submetidas ao processamento ultrassom. Embora a atividade residual da ASO tenha apresentado pouco impacto no teor de ácido ascórbico, no décimo quarto dia foi observada uma retomada da atividade na amostra US-20, seguido por um declínio progressivo a partir do vigésimo primeiro dia de estocagem. Entre 21 e 63 dias, a atividade residual da ASO manteve-se entre 22,50% e 79,73% na amostra não tratada, enquanto nas amostras submetidas ao ultrassom manteve-se inferior a 40%.

Para a polpa de *Passiflora cincinnata*, observou-se uma proeminente redução imediatamente após o processamento (-20%, aproximadamente). Um retorno da degradação foi observado entre 35 e 42 dias de armazenamento em todas as condições avaliadas. O percentual de ácido ascórbico manteve-se entre 44,24% (não tratada), 37,37% (US-60), 32,03% (US-20) e 18,28% (PS-63).

Quanto a atividade residual da ASO, uma redução da atividade foi observada até o sétimo dia de armazenamento nas amostras processadas por ultrassom, percentuais entre 49,59% e 58,51% foram verificados na amostra US-60 e 73,33% – 73,43% na amostra US-20 nesse período. Houve uma retomada na atividade residual superior a 100% na amostra US-60 entre 21 e 28 dias de armazenamento, entretanto, o aumento da atividade da ASO demonstrou pouco impacto na degradação do ácido ascórbico. Após 63 dias de armazenamento, a atividade residual da ASO foi de 50,83% (não tratada), 68,76% (US-60), 83,79% (US-20), 25,75% (PS-63).

Esses resultados foram semelhantes aos de Alam *et al.* (2023) que relataram redução de 34,30% no conteúdo de ácido ascórbico após 14 dias de armazenamento ($4 \pm 1^\circ\text{C}$), em suco de lichia tratado por ultrassom a 28°C durante 10 minutos. Anjaly *et al.* (2022) também observaram resultados similares ao avaliarem suco de abacaxi tratado em banho ultrassônico durante 30 minutos combinado com ultravioleta a uma dosagem de $1,0 \text{ J/cm}^2$, os autores relataram diminuição no teor de ácido ascórbico de 46,1 mg/100g de amostra para 44,6 mg/100 de amostra.

Embora houvesse menor atividade enzimática residual da ASO nas amostras PS-63, em todas as espécies avaliadas foi possível observar maior preservação do conteúdo de ácido ascórbico nas amostras tratadas por ultrassom em comparação ao tratamento térmico convencional. O ácido ascórbico é uma vitamina facilmente degradada por reações de oxidação gerado por processos que envolvem elevadas temperaturas, como pode ser observado nos resultados obtidos por Ordóñez-Santos; Martínez-Girón; Arias-Jaramillo (2017), ao verificarem uma degradação mais acentuada do ácido ascórbico no suco de groselha do Cabo pasteurizado a 80°C por 10 minutos, em comparação com a amostra submetida ao processamento ultrassom.

A degradação do ácido ascórbico durante a estocagem pode ser explicada pelo efeito da cavitação promovido pelo processamento ultrassom, que faz com que moléculas de oxigênio presentes na matriz interajam com os compostos bioativos resultando na oxidação aeróbica do ácido ascórbico. O ácido-L-ascórbico que representa a atividade máxima do ácido ascórbico, durante processos oxidativos é transformado no produto ácido L-desidroascórbico, que após sua formação é imediatamente hidrolisado em 2,3-diceto-L-gulônico levando a perda da atividade biológica do ácido ascórbico (Ordóñez-Santos; Martínez-Girón; Arias-Jaramillo, 2017). O segundo fator preponderante para a diminuição dessa vitamina durante a estocagem é causado pela interação do ácido ascórbico com os radicais livres ($\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}^\bullet + \text{HO}^\bullet$) formados durante a sonólise das moléculas de água (Alam *et al.*, 2023).

De acordo com os dados obtido nesse estudo, a ASO foi parcialmente inativada após o processamento ultrassom e retomou parcialmente a atividade durante o armazenamento, no entanto, é possível observar que a atividade dessa enzima apresentou pouca influência no perfil de degradação do ácido ascórbico. Fonteles *et al.* (2012), relataram diminuição da atividade da ASO ao aplicar o tratamento ultrassom em potência superior a 226 W/cm^2 no suco de melão, enquanto essa mesma potência por 6 minutos promoveu o aumento da atividade enzimática. Os autores também afirmam que essa enzima foi mais instável que outras peroxidases avaliadas no estudo.

O processamento ultrassom, através da cavitação também é capaz de desnaturar as proteínas promovendo a inativação de enzimas, entretanto, a utilização de uma potência de processamento moderada pode proporcionar o aumento da atividade enzimática. Os radicais livres gerados pelo processo de expansão e implosão de bolhas no líquido durante o processamento ultrassom, também podem promover a inativação de enzimas (Araújo *et al.*, 2021; Ordóñez-Santos; Martínez-Girón; Arias-Jaramillo, 2017).

5.7 Contagem de microrganismos

A quantificação dos microrganismos (bactérias mesófilas e aeróbias, bolores e leveduras, coliformes totais e termotolerantes, *Escherichia coli* e *Salmonella* spp.) foi descrita na Tabela 8. Os tratamentos não demonstraram efeito na contagem de mesófilos e aeróbios da polpa de *Passiflora edulis* Sims (valor médio 1,77 log UFC/mL). O uso do ultrassom reduziu em pelo menos 1,00 log UFC/mL os bolores e leveduras em todas as espécies avaliadas, e o resultado apresentado está abaixo do limite preconizado pela legislação brasileira (≤ 4 log UFC/mL) (ANVISA, 2022). O ultrassom apresentou resultados satisfatórios na inativação dos coliformes totais e termotolerantes identificados na polpa de maracujá amarelo (*Passiflora edulis* Sims). Não houve o crescimento de colônias suspeitas de *Escherichia coli* nas amostras submetidas a investigação bioquímica. Em relação ao diagnóstico de *Salmonella* spp., foi evidenciada a ausência em todas as amostras avaliadas.

O pH ácido da polpa de *Passiflora* spp. pode retardar ou inibir o crescimento de bactérias patogênicas, tornando o seu consumo relativamente seguro para o consumo direto (Bhat *et al.*, 2011; Calderón-Martínez *et al.*, 2021). A redução dos microrganismos na polpa de *Passiflora* spp. após o tratamento ultrassom pode ser atribuída aos efeitos físicos, químicos e mecânicos que ocorrem durante a cavitação (Guerrouj *et al.*, 2016). Durante a cavitação, ocorre o mecanismo de colisão das microbolhas que podem atuar na superfície hidrofóbica de microrganismos, resultando em danos severos a parede celular e consequente inativação microbiana. Além disso, estruturas celulares microbianas mais rígidas podem ser inativadas por meio dos radicais livres formados durante a sonólise da molécula de água, ocasionando a exposição e alterações no DNA microbiano (Calderón-Martínez *et al.*, 2021).

A presença de coliformes totais e termotolerantes na polpa de maracujá amarelo (*Passiflora edulis* Sims) não tratada pode estar associada a fatores extrínsecos como a presença de microrganismos ambientais, tempo de armazenamento e condições de embalagem (Rolfe; Daryaei, 2020). Ramírez-Corona *et al.* (2024) avaliaram o efeito do processamento ultrassom de 20 kHz, operando de forma contínua durante 0, 5, 10, 15 e 20 minutos em suco de laranja e

no néctar de manga. Diferente desse estudo, os autores relataram que os fungos são mais resistentes ao tratamento ultrassom do que as bactérias, contudo, foi evidenciado que o aumento do tempo de tratamento foi fundamental na maior redução de bactérias aeróbias e mesófilas e de bolores e leveduras nas amostras de suco e néctar.

Tabela 8 – Contagem de mesófilos aeróbios, bolores e leveduras, coliformes totais, coliformes termotolerantes, *Escherichia coli* e *Salmonella* spp. da polpa de *Passiflora* spp.

| | Tratamentos | Mesófilos aeróbios (log UFC/mL) | Bolores e leveduras (log UFC/mL) | Coliformes totais (NMP/mL) | Coliformes termotolerantes (NMP/mL) | <i>Escherichia coli</i> (NMP/mL) | <i>Salmonella</i> spp. |
|---|-------------|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|------------------------|
| Maracujá amarelo (<i>Passiflora edulis</i> Sims) | Não tratada | 1,50 ± 0,28a | 2,29 ± 0,20a | 0,4 | 0,4 | <0,3* | Ausente |
| | US-60 | 2,24 ± 0,14a | 0,00 ± 0,00c | <0,3* | <0,3* | <0,3* | Ausente |
| | US-20 | 1,72 ± 0,60a | 0,00 ± 0,00c | <0,3* | <0,3* | <0,3* | Ausente |
| | PS-63 | 1,60 ± 0,43a | 1,24 ± 0,34b | <0,3* | <0,3* | <0,3* | Ausente |
| Maracujá vermelho brilhante (<i>Passiflora edulis</i> Sims) | Não tratada | 0,00 ± 0,00a | 1,83 ± 0,49a | <0,3* | <0,3* | <0,3* | Ausente |
| | US-60 | 0,00 ± 0,00a | 1,35 ± 0,49c | <0,3* | <0,3* | <0,3* | Ausente |
| | US-20 | 0,00 ± 0,00a | 1,69 ± 0,12b | <0,3* | <0,3* | <0,3* | Ausente |
| | PS-63 | 0,00 ± 0,00a | 1,39 ± 0,12c | <0,3* | <0,3* | <0,3* | Ausente |
| Maracujá do Cerrado (<i>Passiflora setacea</i>) | Não tratada | 0,00 ± 0,00a | 1,77 ± 0,10a | <0,3* | <0,3* | <0,3* | Ausente |
| | US-60 | 0,00 ± 0,00a | 0,00 ± 0,00c | <0,3* | <0,3* | <0,3* | Ausente |
| | US-20 | 0,00 ± 0,00a | 0,00 ± 0,00c | <0,3* | <0,3* | <0,3* | Ausente |
| | PS-63 | 0,00 ± 0,00a | 1,15 ± 0,21b | <0,3* | <0,3* | <0,3* | Ausente |
| Maracujá da Caatinga (<i>Passiflora cincinnata</i>) | Não tratada | 0,00 ± 0,00a | 1,15 ± 0,21a | <0,3* | <0,3* | <0,3* | Ausente |
| | US-60 | 0,00 ± 0,00a | 0,00 ± 0,00b | <0,3* | <0,3* | <0,3* | Ausente |
| | US-20 | 0,00 ± 0,00a | 1,00 ± 0,00a | <0,3* | <0,3* | <0,3* | Ausente |
| | PS-63 | 0,00 ± 0,00a | 0,00 ± 0,00b | <0,3* | <0,3* | <0,3* | Ausente |

Valores com letras diferentes na mesma coluna representam diferença estatística entre os tratamentos ($P \leq 0,05$). *Dados estimados.

6 CONCLUSÃO

Neste estudo, foi avaliada a influência do processamento ultrassom de alta intensidade e da pasteurização nos parâmetros de cor, nas propriedades físico-químicas, na retenção dos compostos bioativos, na capacidade antioxidante, na atividade enzimática e na qualidade microbiológica da polpa de diferentes espécies de maracujá.

Em geral, o tratamento por ultrassom, nas condições US-60 e US-20 (5 minutos), foi mais eficaz na retenção de carotenoides totais, compostos fenólicos, atividade antioxidante e na redução da carga microbiológica, quando comparado ao tratamento PS-63. O perfil de retenção de ácido ascórbico na polpa tratada por ultrassom apresentou valores em torno de 30% a 60%, demonstrando maior eficiência do processo em comparação com o tratamento térmico (PS-63).

O ultrassom de alta intensidade também se mostrou um método eficaz na redução da atividade enzimática da ASO, de forma similar ao tratamento térmico (PS-63), e apresentou resultados satisfatórios na diminuição da carga microbiológica, reduzindo bolores e leveduras em pelo menos 1 log UFC/mL. Os tratamentos utilizados apresentaram pouco efeito na modulação do pH, dos sólidos solúveis e da acidez total. Por outro lado, o processamento por ultrassom alterou minimamente os parâmetros de cor da polpa das espécies avaliadas, em comparação ao tratamento térmico (PS-63).

Portanto, é possível concluir que o tratamento por ultrassom de alta intensidade pode ser um método promissor para aplicação em escala industrial, atuando na conservação da qualidade da polpa de *Passiflora* spp., podendo prolongar a vida de prateleira sem afetar, de forma negativa, a qualidade da polpa de maracujá. O desempenho dessa técnica requer menor custo energético e menor tempo de processamento em comparação com a pasteurização clássica, representando uma otimização de processos em larga escala.

REFERÊNCIAS

ABDULSTAR, A. R.; ALTEMIMI, A. B.; AL-HILPHY, A. R. Exploring the power of thermosonication: a comprehensive review of its applications and impact in the food industry. **Foods**, v. 12, n. 7, p. 1459, 2023.

AIDAR, S. T. *et al.* Plantas frutíferas. In: *Cadernos do Semiárido: Riquezas e Oportunidades, Recife*, v. 5, n. 1, p. 30-34, 2016.

Agência Nacional De Vigilância Sanitária (ANVISA). Instrução Normativa nº 161, de 1º de julho de 2022. Estabelece procedimentos e requisitos para o registro de produtos de higiene pessoal, cosméticos e perfumes. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 4 jul. 2022.

ALAM, S. M. S. *et al.* Effects of ultrasound, microwave, and their combined treatments on the shelf life and quality characteristics of fresh litchi juice. **Future Foods**, v. 8, p. 100254, 2023.

ALBUQUERQUE, B. R. *et al.* Phenolic compounds: Current industrial applications, limitations and future challenges. **Food & function**, v. 12, n. 1, p. 14-29, 2021.

ALEGBELEYE, O. *et al.* Microbial spoilage of vegetables, fruits and cereals. **Applied Food Research**, v. 2, n. 1, p. 100122, 2022.

ANAYA-ESPARZA, L. M. *et al.* Thermosonication: An alternative processing for fruit and vegetable juices. **Trends in Food Science & Technology**, v. 61, p. 26-37, 2017.

ANJALY, M. G. *et al.* Design consideration and modelling studies of ultrasound and ultraviolet combined approach for shelf-life enhancement of pine apple juice. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 90, p. 106166, 2022.

ARAÚJO, A. *et al.* Caracterização físico-química da polpa de maracujá do mato. In: ENCONTRO NACIONAL DE ANALISTAS DE ALIMENTOS - ENAAL, 16.; CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE ANALISTAS DE ALIMENTOS, 2, Belo Horizonte. *Alimento seguro: desafios da intersectorialidade*. São Paulo: SBAAL, 2009.

ARAÚJO, A. S. *et al.* Chitosan hydrochloride-gum Arabic-passion fruit seed oil nanoparticle edible coating to control fungal infection and maintain quality parameters of strawberries.

Food Control, p. 110360, 2024.

ARAÚJO, F. F. D. *et al.* Influence of high-intensity ultrasound on color, chemical composition and antioxidant properties of araçá-boi pulp. **Food chemistry**, v. 338, p. 127747, 2021.

ARAÚJO, F. P. *et al.* **Produção de mudas do maracujazeiro silvestre: *Passiflora cincinnata* Mast. BRS Sertão Forte (BRS SF)**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2016.

ARAÚJO, L. S. *et al.* Effect of time and storage conditions on the physical and physico-chemical characteristics of the pulp of yellow and purple passion fruit. **Food Science and Technology**, v. 37, n. 3, p. 500-506, 2017.

BAIANO, A.; DEL NOBILE, M. A. Antioxidant compounds from vegetable matrices: Biosynthesis, occurrence, and extraction systems. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 56, n. 12, p. 2053-2068, 2016.

BECKER, M. M. *et al.* Determination of the antioxidant capacity of red fruits by miniaturized spectrophotometry assays. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 30, n. 5, p. 1108-1114, 2019.

BERNACCI, L. C. *et al.* *Passiflora edulis* Sims: the correct taxonomic way to cite the yellow passion fruit (and of others colors). **Revista Brasileira de fruticultura**, v. 30, p. 566-576, 2008.

BERNARDES, N. B. *et al.* Intoxicação alimentar: um problema de Saúde Pública. **ID on line. Revista de psicologia**, v. 12, n. 42, p. 894-906, 2018.

BHAT, R. *et al.* Sonication improves kasturi lime (*Citrus microcarpa*) juice quality. **Ultrasonics sonochemistry**, v. 18, n. 6, p. 1295-1300, 2011.

BOLZANI, V. S. Biodiversidade, bioprospecção e inovação no Brasil. **Ciência e Cultura**, v. 68, n. 1, p. 04-05, 2016.

BOMTEMPO, L. L. *et al.* Bioactive amines in *Passiflora* are affected by species and fruit development. **Food Research International**, v. 89, p. 733-738, 2016.

BRASIL. Instrução Normativa nº 37, de 1º de outubro de 2018. *Diário Oficial da União*, Brasília, 2 out. 2018.

BRASIL. Lei nº 8.918, de 14 de julho de 1994. Dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas, autoriza a criação da Comissão Intersetorial de Bebidas e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, 15 jul. 1994.

BRASIL. Portaria nº 398, de 30 de abril de 1999. Dispõe sobre as Diretrizes básicas para análise e comprovação de propriedades funcionais e ou de saúde alegadas em rotulagem de alimentos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 30 abr. 1999.

BRASIL. Resolução – RDC nº 269, de 22 de setembro de 2005. Regulamento técnico sobre a ingestão diária recomendada (IDR) de proteína, vitaminas e minerais. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, 22 set. 2005. Disponível em: <https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2005/rdc0269_22_09_2005.html>. Acesso em: 31 de março de 2024.

CALDERÓN-MARTÍNEZ, V. *et al.* Effect of pretreatment with low-frequency ultrasound on quality parameters in gulupa (*Passiflora edulis* Sims) pulp. **Applied Sciences**, v. 11, n. 4, p. 1734, 2021.

CAMPOS, A. V. S. **Características físico-químicas e composição mineral da polpa de *Passiflora setacea***. 2010.

CARDELLO, H. M. A. B.; CARDELLO, L. Teor de vitamina C, atividade de ascorbato oxidase e perfil sensorial de manga (*Mangifera indica* L.) var. Haden, durante o amadurecimento. **Food Science and Technology**, v. 18, p. 211-217, 1998.

CARRILLO-LOPEZ, L. M. *et al.* Recent advances in the application of ultrasound in dairy products: Effect on functional, physical, chemical, microbiological and sensory properties. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 73, p. 105467, 2021.

CARVALHO, P. P. *et al.* Regeneração in vitro de *Passiflora miniata* Mast. **Ornamental Horticulture**, v. 23, n. 1, p. 88-95, 2017.

CHEMAT, F. *et al.* Ultrasound assisted extraction of food and natural products. Mechanisms, techniques, combinations, protocols and applications. A review. **Ultrasonics sonochemistry**, v. 34, p. 540-560, 2017.

CHEN, W. *et al.* Recent advances in modified food proteins by high intensity ultrasound for enhancing functionality: Potential mechanisms, combination with other methods, equipment innovations and future directions. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 85, p. 105993, 2022.

COELHO, M. S. E. *et al.* Cytogenetic characterization of the *Passiflora edulis* Sims × *Passiflora cincinnata* Mast. interspecific hybrid and its parents. **Euphytica**, v. 210, p. 93-104, 2016.

CORRÊA, R. C. G. *et al.* The past decade findings related with nutritional composition, bioactive molecules and biotechnological applications of *Passiflora* spp. (passion fruit). **Trends in Food Science & Technology**, v. 58, p. 79-95, 2016.

COSTA, A. M. C. *et al.* **Características físico-química-funcional da polpa de *Passiflora setacea* recém processada e congelada.** Embrapa Cerrados, 2008.

COSTA, C. F. *et al.* Potential use of passion fruit (*Passiflora cincinnata*) as a biopreservative in the production of coalho cheese, a traditional Brazilian cheese. **Journal of dairy science**, v. 103, n. 4, p. 3082-3087, 2020.

DE CARVALHO, M. V. O.; DE OLIVEIRA, L. L.; COSTA, A. M. Effect of training system and climate conditions on phytochemicals of *Passiflora setacea*, a wild *Passiflora* from Brazilian savannah. **Food Chemistry**, v. 266, p. 350-358, 2018.

DOS REIS, L. C. R. *et al.* Antioxidant potential and physicochemical characterization of yellow, purple and orange passion fruit. **Journal of Food Science and Technology**, v. 55, p. 2679-2691, 2018.

DUARTE, I. A. E. *et al.* Acute effects of the consumption of *Passiflora setacea* juice on metabolic risk factors and gene expression profile in humans. **Nutrients**, v. 12, n. 4, p. 1104, 2020.

EL GHARRAS, H. Polyphenols: food sources, properties and applications—a review. **International journal of food science & technology**, v. 44, n. 12, p. 2512-2518, 2009.

FALEIRO, F. G. *et al.* Advances in passion fruit (*Passiflora* spp.) propagation. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 41, p. e-155, 2019.

FALEIRO, F. G.; JUNQUEIRA, N. T. V.; BRAGA, M. F. **Maracujá: germoplasma e melhoramento genético**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2005.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do Processamento de Alimentos-: Princípios e Prática**. Artmed Editora, 2019.

FIROUZ, M. S. *et al.* Recent advances in ultrasound application as a novel technique in analysis, processing and quality control of fruits, juices and dairy products industries: A review. **Ultrasonics sonochemistry**, v. 57, p. 73-88, 2019.

FONSECA, A. M. A. *et al.* Purple passion fruit (*Passiflora edulis* f. *edulis*): A comprehensive review on the nutritional value, phytochemical profile and associated health effects. **Food Research International**, v. 160, p. 111665, 2022.

FONTELES, T. V. *et al.* Power ultrasound processing of cantaloupe melon juice: Effects on quality parameters. **Food Research International**, v. 48, n. 1, p. 41-48, 2012.

GĘGOTEK, A.; SKRZYDLEWSKA, E. Antioxidative and anti-inflammatory activity of ascorbic acid. **Antioxidants**, v. 11, n. 10, p. 1993, 2022.

GIANNAKOUREOU, M. C.; TAOUKIS, P. S. Effect of alternative preservation steps and storage on vitamin C stability in fruit and vegetable products: Critical review and kinetic modelling approaches. **Foods**, v. 10, n. 11, p. 2630, 2021.

GÓMEZ-MAQUEO, A. *et al.* Phenolic compounds in mesoamerican fruits— Characterization, health potential and processing with innovative technologies. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 21, n. 21, p. 8357, 2020.

GUERROUJ, K. *et al.* Sonication at mild temperatures enhances bioactive compounds and microbiological quality of orange juice. **Food and Bioproducts Processing**, v. 99, p. 20-28, 2016.

GUIMARÃES, J. T. *et al.* Current applications of high-intensity ultrasound with microbial inactivation or stimulation purposes in dairy products. **Current Opinion in Food Science**, v. 42, p. 140-147, 2021.

GUIMARÃES, T. G. *et al.* Recomendações técnicas para o cultivo de *Passiflora setaceae* BRS Pérola do Cerrado. **Comunicado técnico**, 2013.

GUO, Z. *et al.* A novel colorimetric indicator film based on watermelon peel pectin and anthocyanins from purple cabbage for monitoring mutton freshness. **Food Chemistry**, v. 383, p. 131915, 2022.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sistema IBGE de recuperação automática – Sidra. Produção agrícola municipal: produção de maracujá no ano de 2023. Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/maracuja/br>>. Acesso em: 23 de junho de 2024.

ISMAIL, B. B. *et al.* High-intensity ultrasound processing of baobab fruit pulp: Effect on quality, bioactive compounds, and inhibitory potential on the activity of α -amylase and α -glucosidase. **Food Chemistry**, v. 361, p. 130144, 2021.

JESUS, O. N. D. *et al.* Bright red passion fruit-evaluation of colorimetry and physicochemical quality for the fresh fruit market. **Scientia Horticulturae**, v. 317, p. 112016, 2023.

JESUS, O. N. *et al.* Evaluation of intraspecific hybrids of yellow passion fruit in organic farming. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 24, p. 2129-2138, 2016.

JOMOVA, K. *et al.* Reactive oxygen species, toxicity, oxidative stress, and antioxidants: Chronic diseases and aging. **Archives of toxicology**, v. 97, n. 10, p. 2499-2574, 2023.

JUNGHANS, T. G. *et al.* **Espécies de maracujazeiro: uma riqueza do Brasil**. Cruz das Almas, BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2022.

KIILL, L. H. P. *et al.* **Biologia reprodutiva de *Passiflora cincinnata* Mast.(passifloraceae) na região de Petrolina (Pernambuco, Brazil)**. 2010.

KUMAR, V. *et al.* Role of oxidative stress in various diseases: Relevance of dietary antioxidants. **J Phytopharm**, v. 4, n. 2, p. 126-32, 2015.

LARRAURI, J. A.; RUPÉREZ, P.; SAURA-CALIXTO, F. Effect of drying temperature on the stability of polyphenols and antioxidant activity of red grape pomace peels. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 45, n. 4, p. 1390-1393, 1997.

LAVOR, E. M. *et al.* Ethanolic extract of the aerial parts of *Passiflora cincinnata* Mast. (Passifloraceae) reduces nociceptive and inflammatory events in mice. **Phytomedicine**, v. 47, p. 58-68, 2018.

LI, Y. *et al.* Identification of lead-produced lipid hydroperoxides in human HepG2 cells and protection using rosmarinic and ascorbic acids with a reference to their regulatory roles on Nrf2-Keap1 antioxidant pathway. **Chemico-Biological Interactions**, v. 314, p. 108847, 2019.

LOIZZO, M. R. *et al.* Native Colombian fruits and their by-products: Phenolic profile, antioxidant activity and hypoglycaemic potential. **Foods**, v. 8, n. 3, p. 89, 2019.

MAOKA, T. Carotenoids as natural functional pigments. **Journal of natural medicines**, v. 74, n. 1, p. 1-16, 2020.

MARSZALEK, K.; MITEK, M.; SKĄPSKA, S. The effect of thermal pasteurization and high pressure processing at cold and mild temperatures on the chemical composition, microbial and enzyme activity in strawberry purée. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 27, p. 48-56, 2015.

MATEUS, A. R. S.; PENA, A.; SANCHES-SILVA, A. Unveiling the Potential of Bioactive Compounds in Vegetable and Fruit By-Products: Exploring Phytochemical Properties, Health Benefits, and Industrial Opportunities. **Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry**, p. 100938, 2024.

MAY, James M. *et al.* Ascorbic acid efficiently enhances neuronal synthesis of norepinephrine from dopamine. **Brain research bulletin**, v. 90, p. 35-42, 2013.

MELETTI, L. M. M. Avanços na cultura do maracujá no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, p. 83-91, 2011.

MORAES, I. V. M. Produção de polpa de fruta congelada e suco de frutas. **Rio de Janeiro: REDETEC (SBRT–Serviço Brasileiro de Normas Técnicas)–Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro**, 2006.

MOTA, J. C. *et al.* Far from being a simple question: The complexity between in vitro and in vivo responses from nutrients and bioactive compounds with antioxidant potential. **Food chemistry**, v. 402, p. 134351, 2023.

MOTA, N. S. R. S. *et al.* In vivo antitumor activity of by-products of *Passiflora edulis* f. flavicarpa Deg. Rich in medium and long chain fatty acids evaluated through oxidative stress markers, cell cycle arrest and apoptosis induction. **Food and Chemical Toxicology**, v. 118, p. 557-565, 2018.

MUKHOPADHYAY, S. *et al.* Effect of high hydrostatic pressure processing on the background microbial loads and quality of cantaloupe puree. **Food Research International**, v. 91, p. 55-62, 2017.

NETO, B. P. C. *et al.* **Comportamento ecofisiológico de *Passiflora cincinnata* e seu desempenho como porta-enxerto de *Passiflora edulis* sob deficit hídrico.** 2017.

NICOLI, M. C. (Ed.). **Shelf life assessment of food.** CRC Press, 2012.

NING, X. *et al.* Evaluation of passion fruit mesocarp flour on the paste, dough, and quality characteristics of dried noodles. **Food Science & Nutrition**, v. 10, n. 5, p. 1657-1666, 2022.

NING, X. *et al.* Fortification of set yogurt with passion fruit juice: Effects on fermentation kinetics, physicochemical properties, and functionality. **Journal of Dairy Science**, v. 104, n. 4, p. 4084-4093, 2021.

OBANDA, M.; OWUOR, P. O.; TAYLOR, S. J. Flavanol composition and caffeine content of green leaf as quality potential indicators of Kenyan black teas. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 74, n. 2, p. 209-215, 1997.

OLIVEIRA, A. F. A. *et al.* Non-thermal combined treatments in the processing of açai (*Euterpe oleracea*) juice. **Food Chemistry**, v. 265, p. 57-63, 2018.

OLIVEIRA, A. F. A. *et al.* Non-thermal combined treatments in the processing of açai (*Euterpe oleracea*) juice. **Food Chemistry**, v. 265, p. 57-63, 2018.

OLIVEIRA, J. S.; FALEIRO, F. G.; JUNQUEIRA, N. T. V. Avaliação de descritores na caracterização de seleções de espécies de *Passiflora* spp. com potencial comercial. **Magistra**, v. 30, p. 391-405, 2019.

OLIVEIRA, L. A. Manual de laboratório: análises físico-químicas de frutas e mandioca. **Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura**, 2010.

OLIVEIRA, L. L. *et al.* Shelf life and retention of bioactive compounds in storage of pasteurized *Passiflora setacea* pulp, an exotic fruit from Brazilian savannah. **LWT**, v. 159, p. 113202, 2022.

ORDÓÑEZ-SANTOS, L. E *et al.* Effect of ultrasound treatment on visual color, vitamin C, total phenols, and carotenoids content in Cape gooseberry juice. **Food chemistry**, v. 233, p. 96-100, 2017.

PEREIRA, P. P. A. *et al.* Initial vegetative growth and survival analysis for the assessment of Fusarium wilt resistance in *Passiflora* spp. **Crop Protection**, v. 121, p. 195-203, 2019.

PEREIRA, Z. C. *et al.* Passion fruit (*Passiflora* spp.) pulp: A review on bioactive properties, health benefits and technological potential. **Food Research International**, v. 166, p. 112626, 2023.

PÉREZ-JIMÉNEZ, J. *et al.* Updated methodology to determine antioxidant capacity in plant foods, oils and beverages: Extraction, measurement and expression of results. **Food research international**, v. 41, n. 3, p. 274-285, 2008.

PRASERTSRI, P. *et al.* Immediate effects of passion fruit juice supplementation on working ability and attention in healthy participants. **Current Research in Physiology**, p. 100120, 2024.

PRATAP-SINGH, A.; MANDAL, R. Non-thermal processing of watermelon and red grape juices in thin-profile continuous-flow pulsed UV light reactors: Effect on microbiological safety and nutritional value. **LWT**, v. 191, p. 115516, 2024.

PROESTOS, C. *et al.* Antioxidant capacity of selected plant extracts and their essential oils. **Antioxidants**, v. 2, n. 1, p. 11-22, 2013.

RAMÍREZ-CORONA, N. *et al.* Effect of combining ultrasound and UVC treatments for processing orange juice and mango nectar on their microbiological, physicochemical, and sensory characteristics. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 94, p. 103686, 2024.

RINALDI, M. M. *et al.* Conservação pós-colheita de frutos de *Passiflora setacea* DC. submetidos a diferentes sanitizantes e temperaturas de armazenamento. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, p. e2016046, 2017.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. *et al.* **HarvestPlus handbook for carotenoid analysis**. Washington: International Food Policy Research Institute (IFPRI), 2004.

ROLFE, C.; DARYAEI, H. Intrinsic and extrinsic factors affecting microbial growth in food systems. **Food Safety Engineering**, p. 3-24, 2020.

ROTTA, E. M. *et al.* Determination of phenolic compounds and antioxidant activity in passion fruit pulp (*Passiflora* spp.) using a modified QuEChERS method and UHPLC-MS/MS. **LWT**, v. 100, p. 397-403, 2019.

RUFINO, M. D. S. *et al.* Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. **Food chemistry**, v. 121, n. 4, p. 996-1002, 2010.

SAFRAID, G. F. *et al.* Perfil do consumidor de alimentos funcionais: identidade e hábitos de vida. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 25, p. e2021072, 2022.

SANCHEZ, B. A. O. *et al.* Pasteurization of passion fruit *Passiflora setacea* pulp to optimize bioactive compounds retention. **Food chemistry: X**, v. 6, p. 100084, 2020.

SANTOS, I. S. *et al.* Genetic parameters and prediction of genotypic values in a segregating population of *Passiflora* BC3 [(*P. edulis* x *P. cincinnata*) x *P. edulis*] for fruit quality and resistance to cowpea aphid-borne mosaic virus using REML/BLUP. **Scientia Horticulturae**, v. 330, p. 113023, 2024.

SANTOS, J. C. C. *et al.* Influence of intensity ultrasound on rheological properties and bioactive compounds of araticum (*Annona crassiflora*) juice. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 105, p. 106868, 2024.

SANTOS, M. R.; MENDES, R. M. L.; RIBEIRO, E. Effects of pulp and pectin concentrations of passion fruit from Caatinga (*Passiflora cincinnata* Mast.) on the production of symbiotic beverages. **Food Chemistry Advances**, v. 3, p. 100450, 2023.

SANTOS, R. T. S. *et al.* Physicochemical characterization, bioactive compounds, in vitro antioxidant activity, sensory profile and consumer acceptability of fermented alcoholic beverage obtained from Caatinga passion fruit (*Passiflora cincinnata* Mast.). **Lwt**, v. 148, p. 111714, 2021.

SANTOS, T. B. *et al.* Phytochemical compounds and antioxidant activity of the pulp of two Brazilian passion fruit species: *Passiflora cincinnata* Mast. and *Passiflora edulis* Sims. **International Journal of Fruit Science**, v. 21, n. 1, p. 255-269, 2021.

SHARIFI-RAD, M. *et al.* Lifestyle, oxidative stress, and antioxidants: back and forth in the pathophysiology of chronic diseases. **Frontiers in physiology**, v. 11, p. 694, 2020.

SHEN, Y. *et al.* Effects of temperature-controlled ultrasound treatment on sensory properties, physical characteristics and antioxidant activity of cloudy apple juice. **LWT**, v. 142, p. 111030, 2021.

SILVA, C. E. F.; ABUD, A. K. S. Tropical fruit pulps: processing, product standardization and main control parameters for quality assurance. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 60, 2017.

SILVA, C. N. *et al.* Aspectos da fenologia das progênies de maracujá silvestre BRS Maracujá Maçã, BRS Pérola do Cerrado e BRS Sertão Forte. **Revista de la Facultad de Agronomía**, v. 121, n. 1, p. 7, 2022.

SILVA, G. D. S. *et al.* Physicochemical quality, bioactive compounds and in vitro antioxidant activity of a new variety of passion fruit cv. BRS Sertão Forte (*Passiflora cincinnata* Mast.) from Brazilian Semiarid region. **Scientia Horticulturae**, v. 272, p. 109595, 2020.

SIQUEIRA, E. M. A. *et al.* Brazilian savanna fruits contain higher bioactive compounds content and higher antioxidant activity relative to the conventional red delicious apple. **PloS one**, v. 8, n. 8, p. e72826, 2013.

SOLOVCHENKO, A.; YAHIA, E. M.; CHEN, C. Pigments. In: ***Postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables***. Woodhead publishing, p. 225-252, 2019.

SONG, S. *et al.* Genome-wide identification and expression analyses of the aquaporin gene family in passion fruit (*Passiflora edulis*), revealing PeTIP3-2 to be involved in drought stress. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 23, n. 10, p. 5720, 2022.

SOUZA, F. C. D. A. *et al.* Thermosonication applied on camu–camu nectars processing: Effect on bioactive compounds and quality parameters. **Food and Bioproducts Processing**, v. 116, p. 212-218, 2019.

STATSOFT, I. N. C. STATISTICA (data analysis software system), ver. 12. **Tulsa, OK, USA**, 2013.

SUCUPIRA, N. R. *et al.* Métodos para determinação da atividade antioxidante de frutos. **Journal of Health Sciences**, v. 14, n. 4, 2012.

SUKKETSIRI, W. *et al.* Chemical characterization of *Passiflora edulis* extracts and their in vitro antioxidant, anti-inflammatory, anti-lipid activities, and ex-vivo vasodilation effect. **Journal of King Saud University-Science**, v. 35, n. 1, p. 102431, 2023.

TORRES, M. A.; JONES, J. D. G.; DANGL, J. L. Reactive oxygen species signaling in response to pathogens. **Plant physiology**, v. 141, n. 2, p. 373-378, 2006.

U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE. FoodData Central: Passion fruit, Raw. 2019. Disponível em: <<https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/1102676/nutrients>>. Acesso em: 19 de setembro de 2024.

VIERA, W. *et al.* Phytochemical composition and antioxidant activity of *Passiflora* spp. germplasm grown in Ecuador. **Plants**, v. 11, n. 3, p. 328, 2022.

VINOGRADOVA, N. *et al.* Phenolic compounds of the medicinal plants in an anthropogenically transformed environment. **Molecules**, v. 28, n. 17, p. 6322, 2023.

WANG, J. *et al.* High-intensity ultrasound processing of kiwifruit juice: Effects on the microstructure, pectin, carbohydrates and rheological properties. **Food Chemistry**, v. 313, p. 126121, 2020.

WANG, J. *et al.* Influence of high-intensity ultrasound on bioactive compounds of strawberry juice: Profiles of ascorbic acid, phenolics, antioxidant activity and microstructure. **Food control**, v. 96, p. 128-136, 2019.

WROLSTAD, R. E.; CULVER, C. A. Alternatives to those artificial FD&C food colorants. **Annual review of food science and technology**, v. 3, p. 59-77, 2012.

XING, Y. *et al.* Pectin-interactions and the digestive stability of anthocyanins in thermal and non-thermal processed strawberry pulp. **Food chemistry**, v. 424, p. 136456, 2023a.

XING, Y. *et al.* Non-thermal treatments of strawberry pulp: The relationship between quality attributes and microstructure. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 98, p. 106508, 2023b.

XU, B. *et al.* Recent development in high quality drying of fruits and vegetables assisted by ultrasound: A review. **Food Research International**, v. 152, p. 110744, 2022.

XU, D. *et al.* Natural antioxidants in foods and medicinal plants: Extraction, assessment and resources. **International journal of molecular sciences**, v. 18, n. 1, p. 96, 2017.

YOCKTENG *et al.* Passiflora. In: KOLE, C. (Ed.). *Wild crop relatives: genomic and breeding resources*. Berlin: Springer, 2011. p. 129-171.

ZHANG, J. *et al.* Ethylene control technologies in extending postharvest shelf life of climacteric fruit. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 65, n. 34, p. 7308-7319, 2017.

ZHANG, J. *et al.* Phytochemistry, nutritional composition, health benefits and future prospects of *Passiflora*: A review. **Food Chemistry**, p. 136825, 2023.

ZHENG, L. *et al.* Volatile aroma compounds of passion fruit seed Oils: HS-GC-IMS analysis and interpretation. **Food Chemistry: X**, p. 101212, 2024.

ZOU, W. *et al.* Passion fruit juicing with or without seeds treated by high-pressure processing and thermal pasteurization: Effects on the storage stability of enzymes and quality properties. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 91, p. 103554, 2024.

ZOU, Z. *et al.* Antioxidant activity of Citrus fruits. **Food chemistry**, v. 196, p. 885-896, 2016.

1
2
3