



**CRISTIANE NUNES DA SILVA**

**EFEITO SINERGÍSTICO DA TERMOSSONICAÇÃO NA  
ESTABILIDADE DOS COMPOSTOS BIOATIVOS E  
ATIVIDADE ANTIOXIDANTE EM SUCO DE AMORA**

**LAVRAS – MG**

**2022**

**CRISTIANE NUNES DA SILVA**

**EFEITO SINERGÍSTICO DA TERMOSSONICAÇÃO NA  
ESTABILIDADE DOS COMPOSTOS BIOATIVOS E ATIVIDADE  
ANTIOXIDANTE EM SUCO DE AMORA**

Dissertação apresentado à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós Graduação em Nutrição e Saúde, área de concentração em Nutrição e Saúde, para obtenção do título de Mestre.

Profa. Dr<sup>a</sup>. Sabrina Carvalho Bastos

Orientadora

Profa. Dr<sup>a</sup>. Vanessa Rios de Souza

Co-orientadora

**LAVRAS – MG**

**2022**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Silva, Cristiane Nunes da.

Efeito sinérgico da termossonicação na estabilidade dos  
compostos bioativos e atividade antioxidante em suco de amora /  
Cristiane Nunes da Silva. - 2022.

90 p.: il.

Orientador(a): Sabrina Carvalho Bastos.

Coorientador(a): Vanessa Rios de Souza.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de  
Lavras, 2022.

Bibliografia.

1. Suco de Amora. 2. Compostos Bioativos. 3.  
Termossonicação. I. Bastos, Sabrina Carvalho. II. Souza, Vanessa  
Rios de. III. Título.

**CRISTIANE NUNES DA SILVA**

**EFEITO SINERGÍSTICO DA TERMOSSONICAÇÃO NA  
ESTABILIDADE DOS COMPOSTOS BIOATIVOS E ATIVIDADE  
ANTIOXIDANTE EM SUCO DE AMORA**

**SYNERGISTIC EFFECT OF THERMOSSONICATION ON THE  
STABILITY OF BIOACTIVE COMPOUNDS AND ANTIOXIDANT  
ACTIVITY IN BLACKBERRY JUICE**

Dissertação apresentado à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós Graduação em Nutrição e Saúde, área de concentração em Nutrição e Saúde, para obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 30 de março de 2022 por:

Dr<sup>a</sup>. Sabrina Carvalho Bastos/UFLA

Dr<sup>a</sup>. Cleiton Antônio Nunes/UFLA

Dr<sup>a</sup>. Patrícia Aparecida Pimenta Pereira/UFOP

Profa. Dr<sup>a</sup>. Sabrina Carvalho Bastos

Orientadora

Profa. Dr<sup>a</sup>. Vanessa Rios de Souza

Co-orientadora

**LAVRAS – MG**

**2022**

*Dedico à minha **MÃE**...Que me inspira sempre...E me dá motivos todos os dias para nunca desistir...Que sempre me apoiou e não mediu esforços para que este sonho se tornasse **REALIDADE**...!*

## AGRADECIMENTOS

Dizer simplesmente obrigada Deus por tudo, é pouco, para expressar o tamanho da minha gratidão. Por me presentear com o dom da vida, da saúde, e por fortalecer-me com as virtudes da perseverança, paciência e da fé, as quais me motivaram para a conclusão de mais uma jornada. Era um sonho que se tornou realidade, então serei por toda a eternidade grata e fiel a Ti... Obrigado Deus!

Agradeço a minha Mãe Noilsa, pela paciência, amor, preocupação, carinho, sacrifícios e por todo o apoio durante toda a minha jornada. Me proporcionando uma boa educação e motivação para sempre continuar com os estudos, me especializado cada vez mais, sem nunca desistir. Mãe a senhora meu agradecimento eterno! As minhas irmãs, Priscila e Siliana pelo apoio!

A minha amiga G, que sempre esteve do meu lado nos momentos mais difíceis e decisivos da minha vida, sempre me apoiando e me motivando a nunca desistir, mas a batalhar pelos meus sonhos! Obrigada, por seus conselhos e por sua amizade, que foram especiais na minha vida e em cada decisão tomada!

Agradeço a minha orientadora Sabrina, pela atenção e apoio, que esteve me conduzindo e sempre procurando enriquecer o projeto. A minha co-orientadora Vanessa, pelo apoio, dedicação, parceria e por ter me aceitado como sua orientada, sempre me guiando pelos caminhos do conhecimento. Enfim, agradeço a vocês, por cada linha corrigida ou acrescentada, pelas trocas de ideias, pelas orientações, por tudo! Obrigada!

Agradeço a Universidade Federal de Lavras, ao Programa de Pós-Graduação em Nutrição e Saúde pela oportunidade de estar cursando o mestrado em Nutrição e, ao Departamento de Ciência dos Alimentos, por todo o material cedido e me permitir realizar as análises deste projeto.

Aos irmãos da Igreja Evangélica Assembleia de Deus Missões – Central em Lavras, pela preocupação, carinho, cuidado, por me acolherem de uma forma especial, me proporcionando momentos ímpares e pela oportunidade de fazer parte desta família. Como também aos irmãos da Igreja Evangélica da minha cidade, que sempre estiveram me apoiando e orando por mim! Que Deus possa os abençoar grandemente!

Finalmente, a todos aqueles que não estão aqui mencionados, mas que de alguma forma me ajudaram a alcançar este objetivo na minha vida!

**Muito Obrigado!**

*“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito.*

*Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”.*

***Marthin Luther King***

## RESUMO

A termossonicação, combinação do ultrassom com o calor, é uma técnica promissora de conservação de alimentos devido ao comprovado potencial em proporcionar o aumento da taxa de inativação enzimática e microbiológica em comparação ao tradicional tratamento térmico, o que pode minimizar consideravelmente a exposição do produto ao calor e as perdas nutricionais indesejáveis. Entretanto, os estudos que investigam o efeito da termossonicação na estabilidade nutricional dos alimentos ainda são pouco conclusivos. Neste contexto, o objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito sinérgico do ultrassom com a temperatura (termossonicação) na estabilidade dos compostos bioativos e atividade antioxidante em suco de amora. O experimento foi conduzido com base no delineamento Composto Central Rotacional (DCCR), variando os fatores, temperatura e tempo. As amostras foram submetidas ao tratamento térmico convencional, com os binômios de tempo X temperatura definidos pelo delineamento. Para avaliar o efeito da combinação do ultrassom com o calor, as amostras foram submetidas a termossonicação. Após, os tratamentos, foi determinado o teor total de compostos fenólicos, antocianinas, assim como a atividade antioxidantes pelo método de ABTS, DPPH e sistema  $\beta$ -caroteno. Os resultados foram submetidos a análise de componentes principais para estimar o efeito sinérgico da termossonicação as amostras foram submetidas ao teste de média t-student entre os tratamentos. Como resultado, o processamento por termossonicação (60%) contribuiu para minimizar a degradação na atividade antioxidante (ABTS e  $\beta$ -caroteno) no suco de amora. Os melhores resultados para as antocianinas e os compostos fenólicos totais foi obtido nos sucos termossonicados à 60% de amplitude, no binômio de 75 °C por 30s. Esta condição de tratamento pode ser considerada o melhor resultado por proporcionar a menor degradação no teor de compostos fenólicos totais e antocianinas no suco de amora. Com isso, a termossonicação pode ser uma alternativa aos métodos de conservação tradicionais, entretanto, os potenciais efeitos desta técnica é altamente dependente dos fatores tempo, temperatura e amplitude aplicados no suco de amora, os quais devem ser investigados para se estabelecer as condições ideais e particulares de conservação.

**Palavras-chaves:** Suco de Amora. Antocianinas. Compostos Fenólicos. Tratamento Térmico. Ultrassom.

## ABSTRACT

Thermosonication, a combination of ultrasound with mild temperatures, is a promising technique for food preservation due to its proven potential in providing an increase in the rate of enzymatic and microbiological inactivation compared to traditional heat treatment, which can considerably minimize product exposure to heat, heat and undesirable nutritional losses. However, studies that investigate the effect of thermosonication on the nutritional stability of foods are still inconclusive. In this context, the aim of the present study was to evaluate the synergistic effect of ultrasound with temperature (thermosonication) on the stability of bioactive compounds and antioxidant activity in blackberry juice. The experiment was conducted based on the Central Composite Rotational (DCCR) design, varying the factors, temperature and time. The samples were submitted to conventional heat treatment, with the binomials of time X temperature defined by the design. To evaluate the effect of the combination of ultrasound and heat, the samples were subjected to thermosonication. After the treatments, the total content of phenolic compounds, anthocyanins, as well as the antioxidant activity was determined by the method of ABTS, DPPH and  $\beta$ -carotene system. The results were submitted to principal component analysis and to estimate the synergistic effect of thermosonication the samples were submitted to the t-student mean test between treatments. As a result, thermosonication processing (60%) contributed to minimize the degradation of antioxidant activity (ABTS and  $\beta$ -carotene) in blackberry juice. The best results for anthocyanins and total phenolic compounds were obtained in thermosonicated juices at 60% amplitude, in the binomial of 75 °C for 30s. This treatment condition can be considered the best result as it provides the lowest degradation in the content of total phenolic compounds and anthocyanins in the blackberry juice. Thus, thermosonication can be an alternative to traditional conservation methods, however, the potential effects of this technique are highly dependent on the time, temperature and amplitude factors applied to the blackberry juice, which must be investigated to establish the ideal and particular conditions for conservation.

**Keywords:** Blackberry Juice. Anthocyanins. Phenolic Compounds. Heat Treatment. Ultrasound.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b> – Evolução do Consumo Brasileiro de Suco de Frutas.....	19
<b>Figura 2</b> – Amora ( <i>Rubus spp</i> ).....	22
<b>Figura 3</b> – Subdivisão dos Compostos Bioativos presentes em Alimentos de Origem..	24
<b>Figura 4</b> – Estrutura Química dos Principais Tipos de Flavonóides.....	27
<b>Figura 5</b> – Estrutura Química da Antocianina.....	29
<b>Figura 6</b> – Frequência das Ondas Sonoras.....	35
<b>Figura 7</b> – Mecanismos da Cavitação Ultrassônica.....	36
<b>Figura 8</b> – Banho Ultrassônico.....	37
<b>Figura 9</b> – Sonda Ultrassônica.....	38
<b>Figura 10</b> – Mecanismo de Rompimento de Células por Ultrassom.....	39

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Variáveis codificadas para os fatores amplitude e tempo de acordo com o delineamento DCCR.....	63
<b>Tabela 2</b> – Energia acústica específica (SAE) dos sucos de amora termossonicados.....	66
<b>Tabela 3</b> – Efeitos isolados e combinados das variáveis (tempo e temperatura) no suco de amora tratados por termossonicação e tratamento térmico convencional.....	83

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

**ABIR** – Associação das Indústrias de Refrigerantes e de Bebidas Não Alcolólicas

**ABTS** – 2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolina) 6-ácido sulfônico

**AIJN** – Associação Européia de Suco de Frutas

**ANOVA** – Análise de Variância

**AT** – Acidez Titulável

**CITRUSBR** – Associação Nacional de Exportadores de Sucos Cítricos

**DCA** – Departamento de Ciência dos Alimentos

**CDF** – Departamento de Ciências Florestais

**DCCR** – Delineamento Composto Central Rotacional

**DPPH** – 2,2-difenil-1-picrilhidrazila

**EAE** – Energia Acústica Específica

**PCA** – Análise dos Componentes Principais

**PF** – Peso Fresco

**SST** – Sólidos Solúveis Totais

**TS** – Termossonicação

**TT** – Tratamento Térmico

**UFPA** – Universidade Federal de Lavras

**UV** – Luz Ultravioleta

## SUMÁRIO

	<b>PRIMEIRA PARTE.....</b>	<b>15</b>
1	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>16</b>
2	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>19</b>
2.1	<b>Suco de frutas.....</b>	<b>19</b>
2.2	<b>Suco de frutas vermelhas.....</b>	<b>21</b>
2.3	<b>Compostos bioativos.....</b>	<b>24</b>
2.3.1	<b>Atividade antioxidante.....</b>	<b>25</b>
2.3.2	<b>Compostos fenólicos.....</b>	<b>27</b>
2.3.3	<b>Antocianinas.....</b>	<b>29</b>
2.3.4	<b>Tratamento térmico.....</b>	<b>31</b>
2.4	<b>Tecnologias emergentes.....</b>	<b>34</b>
2.4.1	<b>Tecnologia ultrassom.....</b>	<b>35</b>
2.4.2	<b>Efeito da termossonicação nos compostos bioativos.....</b>	<b>42</b>
3	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>43</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>44</b>
	<b>SEGUNDA PARTE: ARTIGO.....</b>	<b>62</b>
	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>64</b>
	<b>MATERIAL E METODOS.....</b>	<b>66</b>
	<b>Matéria prima.....</b>	<b>66</b>
	<b>Preparação do suco de amora.....</b>	<b>66</b>
	<b>Delineamento experimental.....</b>	<b>66</b>
	<b>Tratamento térmico.....</b>	<b>67</b>
	<b>Termossonicação.....</b>	<b>68</b>
	<b>Potência ultrassônica.....</b>	<b>68</b>
	<b>Caracterização do suco de amora .....</b>	<b>69</b>
	<b>Características físico-químicas.....</b>	<b>69</b>
	<b>Compostos bioativos.....</b>	<b>69</b>
	<b>Obtenção dos extratos.....</b>	<b>69</b>
	<b>Antocianinas.....</b>	<b>70</b>
	<b>Compostos fenólicos totais.....</b>	<b>70</b>
	<b>Atividade antioxidante.....</b>	<b>71</b>

<b>Análise estatística.....</b>	<b>71</b>
<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>72</b>
<b>Análise exploratória do efeito da termossonicação em relação ao tratamento térmico convencional.....</b>	<b>72</b>
<b>Análise dos compostos bioativos e atividade antioxidante.....</b>	<b>75</b>
<b>Antocianinas.....</b>	<b>75</b>
<b>Compostos fenólicos.....</b>	<b>77</b>
<b>Atividade antioxidante.....</b>	<b>79</b>
<b>Análise dos efeitos tempo e temperatura para termossonicação e tratamento térmico.....</b>	<b>84</b>
<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>86</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>86</b>

**PRIMEIRA PARTE:**

**INTRODUÇÃO GERAL**

## 1 INTRODUÇÃO

O crescente aumento da demanda por produtos mais saudáveis, com alegações funcionais e características similares ao naturais vem impulsionando o crescimento do mercado de suco de frutas em todo mundo (CURI et al., 2017). Bebidas à base de frutas vem atraindo cada vez mais o interesse dos consumidores por ser uma opção prática, conveniente e saudável de consumo, além de características sensoriais agradáveis (ABOUNTIOLAS; NUNES, 2018; SCHIASSI et al., 2018a; TREMARIN et al., 2019). De acordo com a Associação Brasileira das Indústrias de Refrigerantes e de Bebidas Não Alcoólicas, o consumo per capita de sucos, polpas e néctar vem de fato aumentando a cada ano em virtude exatamente desta tendência mundial dos consumidores por alimentos que ofereçam melhorias na qualidade de vida (ABIR, 2022).

Os sucos de frutas vermelhas se destacam não somente pelas suas características de cor e sabor desejáveis, mas também pela riqueza nutricional, relacionado com a presença de compostos bioativos, em especial, os compostos fenólicos, que são substâncias biologicamente ativas, ditas como extranutricionais que oferecem benefícios adicionais à saúde em função das suas propriedades funcionais associadas à prevenção de doenças (WEBER; LARSEN, 2017; PÉREZ-GRIJALVA et al., 2018; BARDIN et al., 2020).

Dentre a classe dos compostos fenólicos se destacam as antocianinas, que são pigmentos pertencente ao grupo dos flavonoides responsáveis pela cor característica destes pequenos frutos que varia do vermelho, roxo ao azul (VUOLO; LIMA; JUNIOR, 2018). Diversos estudos vêm demonstrando que esses pigmentos estão relacionados com a prevenção de doenças neurodegenerativas, cardiovasculares cancerígenas e retardação no envelhecimento, pelo alto poder antioxidante, que atuam na oxido-redução, sequestrando os radicais livres que são promotores do estresse oxidativo e responsáveis pelos danos causados as células (CERLETTI et al., 2017; FIBIGR; ŠATÍNSKÝ; SOLICH, 2017; KHOO et al., 2017).

O tratamento térmico convencional é um dos métodos de conservação mais efetivo e amplamente aplicado nas bebidas à base de frutas visando sua segurança alimentar e extensão da vida útil por promover a inativação enzimática e eliminação da carga microbiana (PÉREZ-GRIJALVA et al., 2018; SARKIS et al., 2019). Entretanto, vários estudos têm relatado que o calor está associado a degradação dos nutrientes presentes nos alimentos, além de mudanças nas características sensoriais e,

consequentemente perda na qualidade desses produtos (ALVES et al., 2020; KATARIYA; ARYA; PANDIT, 2020; KRUSZEWSKI; ZAWADA; KARPIŃSKI, 2021; WU et al., 2021). Os compostos fenólicos, em especial, as antocianinas, estão entre os compostos bioativos que sofrem as maiores perdas durante o tratamento térmico, sendo maior com a rigurosidade do tratamento (WEBER; LARSEN, 2017; PÉREZ-GRIJALVA et al., 2018; SARKIS et al., 2019; BADIN et al., 2020; KRUSZEWSKI; ZAWADA; KARPIŃSKI, 2021).

Com o intuito de se obter alimentos seguros, com apropriada extensão da vida útil, mas ao mesmo tempo atender o anseio dos consumidores por produtos mais saudáveis, as técnicas de conservação vêm sendo modificadas ou desenvolvidas para minimizar a rigurosidade dos métodos convencionais, visando obter assim produtos com mais alta qualidade (ILLERA et al., 2018; ALP; BULANTEKIN, 2021; BHARGAVA et al., 2021). Dentre esses métodos de conservação estão as tecnologias emergentes térmicas e não-térmicas, que são métodos alternativos que vem se destacando por oferecer produtos com maior qualidade, promovendo perdas mínimas nas características sensoriais e nutricionais do alimento (BRUGOS; GUT; TADINI, 2018; DANTAS et al., 2021; MÜLLER et al., 2021; OLADUNJOYE et al., 2021).

A tecnologia de ultrassom é um método não-térmico, que consiste no emprego de ondas sonoras com frequências que excede o limite humano de audição, em torno de 20 kHz (PERERA; ALZHRANI, 2021). Está técnica promove a inativação microbiológica e enzimática através do fenômeno de cavitação, que envolve a formação, crescimento e implosão de bolhas quando um meio é submetido a oscilações irregulares (KHAIRE; THORAT; GOGATE, 2021; SINGLA; SIT, 2021). O colapso dessas bolhas de cavitação leva a efeitos mecânicos e químicos, relacionados as ações locais (temperaturas de até 5.000 K e pressões de até 50.000 kPa) (DOLAS; SARAVANAN; KAUR, 2019) que promove a desintegração das estruturas celulares dos microrganismos e a desnaturação enzimática (FAN; WU; CHEN, 2021; NAKONECHNY; NISNEVITCH, 2021). Embora esta tecnologia vem apresentando potencial para substituir o tradicional tratamento térmico por minimizar as alterações sensoriais e nutricionais causados pelas altas temperaturas, vem sendo relatado que é necessário a combinação do ultrassom com outras técnicas, como o calor, para que resultados satisfatórios sejam alcançados (TREMARIN et al., 2019; ALP; BULANTEKIN, 2021; GUIMARÃES et al., 2021). Inúmeros estudos vêm claramente elucidando o efeito sinérgico do ultrassom com o calor (termossonicação) no aumento da taxa de inativação enzimática e microbiológica, e

consequentemente, demonstrando o potencial de redução da rigorosidade do tratamento térmico (binômio tempo e/ou temperatura) (RIBEIRO et al., 2017; TREMARIN et al., 2019; MANZOOR et al., 2021; WAHIA et al., 2021; WU et al., 2021). Entretanto, para se avaliar por completo o potencial dessa técnica, faltam estudos na literatura que investiguem, assim como para a inativação enzimática e microbiológica, o efeito da termossonicação na degradação nutricional dos alimentos. Caso o efeito sinérgico do ultrassom com o calor reflita também em um aumento da taxa de degradação dos compostos bioativos e atividade antioxidante, essa técnica precisará ser mais bem avaliada e adequadamente otimizada para de fato refletir em um produto final de maior qualidade. Caso o efeito sinérgico do ultrassom com o calor não afete ou afete positivamente a estabilidade dos compostos bioativos e atividade antioxidante, isso reforçará ainda mais o potencial desta técnica.

Neste estudo foi escolhido no suco de amora como matriz alimentícia pelo fator da amora ser altamente reconhecida pela sua riqueza em compostos bioativos, destacando por ser uma das maiores fontes de compostos fenólicos, particularmente de antocianinas e alta atividade antioxidante (SCHULZ; CHIM, 2019; ROBINSON et al., 2020; TOMAS et al., 2020). Dessa forma, no suco de amora se constitui uma boa base para se avaliar o efeito sinérgico do ultrassom combinado com o calor na estabilidade dos compostos nutricionais. Diante disto, objetivo deste projeto foi avaliar o efeito sinérgico do ultrassom com a temperatura (termossonicação), na estabilidade dos compostos bioativos (fenólicos e antocianinas), bem como da atividade antioxidante presentes no suco de amora.

## **2 REFERENCIAL TEORICO**

### **2.1 Suco de Frutas**

O mercado de bebidas à base de frutas tem crescido nitidamente, pela praticidade, inovação, conveniência e pelas características sensoriais que torna esses alimentos atrativos na dieta, em função da diversidade de cor, sabor e textura (ABOUNTIOLAS; NUNES, 2018; SCHIASSI et al., 2018a). A tendência de preocupação com a saúde tem motivado o aumento na busca por alimentos que ofereçam melhor qualidade de vida, com a ingestão de alimentos saudáveis, fontes naturais de nutrientes e com alegações funcionais, levando o suco a ser uma das bebidas mais consumida e apreciada em todo o mundo (CARBONELL-CAPELLA et al., 2015; CURI et al., 2017; TREMARIN et al., 2019).

Segundo a Associação Europeia de Sucos de Frutas (AIJN, 2022), o consumo mundial de suco de frutas e néctar, registrou um total de 35.934 milhões de litros em 2018, com a União Europeia ocupando a segunda posição no ranking mundial, atrás apenas da América do Norte. A União Europeia apresentou um consumo de 9,067 milhões de litros de suco e néctar em 2018, totalizando um consumo per capita de 15,7 litros, levado pelos maiores mercados, Chipre e Malta, com o consumo per capita de 30,9 e 29,4 litros, respectivamente (AIJN, 2022).

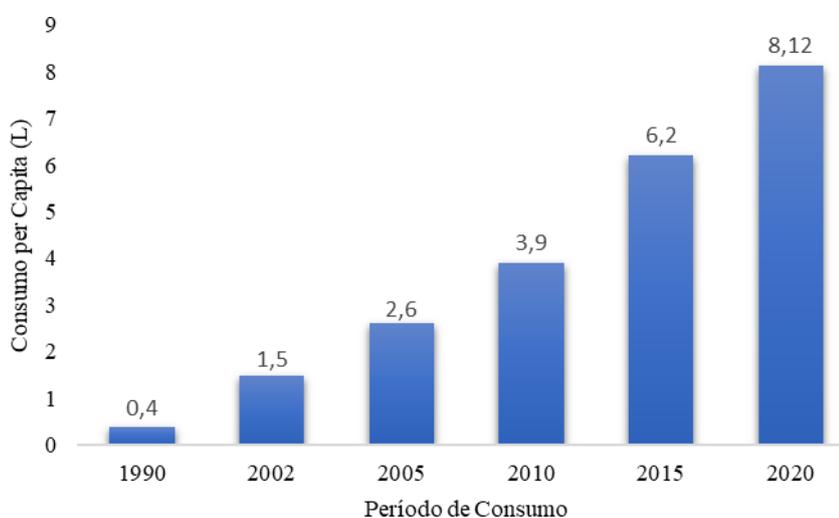
O mercado brasileiro de sucos de frutas apresenta um grande impacto no mercado mundial, por meio da produção do suco de laranja (CISTRUSBR, 2022). O Brasil é o maior produtor e exportador de suco de laranja, ocupando o primeiro lugar no ranking mundial desde 1980 (CISTRUSBR, 2022). De acordo com a Associação Nacional de Exportadores de Sucos Cítricos (CITRUSBR, 2022), o Brasil responde por 79% do suco de laranja comercializado no mundo, com produção de 837.465 toneladas de suco de laranja em 2021, exportando mais 592.802 toneladas do suco produzido. A União Europeia e os Estados Unidos são os principais importadores do suco de laranja brasileiro, importando em torno de 86,8%, do suco produzido (CITRUSBR, 2022).

De acordo com a Associação Brasileira das Indústrias de Refrigerantes e de Bebidas Não Alcoólicas (ABIR, 2022), que expressa os dados dos demais sucos produzidos no Brasil, o mercado brasileiro apresentou uma produção com volume de 1.718.408 litros de sucos prontos produzidos em 2021, apresentando uma maior produção comparada com os índices obtidos nos anos anteriores. O Brasil vem despertando o interesse do mercado interno e externo, pela produção de sucos tropicais e de frutas

nativas brasileiras, diante disto, espera-se um crescimento maior na produção de sucos de frutas (CITRUSBR, 2022).

A população brasileira vem apresentando mudanças nos hábitos alimentares, buscando alimentos saborosos, práticos e que ofereçam benefícios à saúde, levando ao aumento na busca de sucos e néctares que apresentem características sensoriais similares a fruta *in natura* (CURI et al., 2017; RAJAURIA; TIWARI, 2018). Diante disto, têm-se observado o aumento nos índices de consumo de néctares pela população brasileira aos longos dos últimos anos, como demonstrado na Figura 1.

Figura 1 – Evolução do Consumo Brasileiro de Sucos de Frutas.



Fonte: Do Autor (2021).

Segundo a Legislação (Decreto nº 6.871/2009), suco ou sumo é a bebida não concentrada, não fermentada e não diluída, destinada ao consumo, obtida de fruta sã e madura, ou parte do vegetal de origem, por processamento tecnológico adequado, sujeito a tratamento que assegure a sua apresentação e conservação até o momento do consumo (BRASIL, 2009). Os sucos devem atender aos requisitos mínimos estabelecidos pela legislação específica, estando de acordo com a definição, classificação, registro, padronização e requisitos de qualidade, devendo também atender à legislação sobre rotulagem de alimentos embalados (BRASIL, 1997).

Os sucos de frutas são considerados fontes naturais de macro e micronutrientes, que promovem benefícios a saúde humana (RAJAURIA; TIWARI, 2018). Dentre os principais nutrientes estão, as vitaminas A, C e E (E (AHMED; DAS; UDDIN, 2019;

FRACKIEWICZ, 2021) e vitaminas do complexo B (B1, B2, B3 e B12), os minerais (cálcio, magnésio, ferro, zinco, fósforo, potássio, sódio) - componentes nutricionais indispensáveis para o desenvolvimento e funcionamento do organismo por desempenhar funções vitais nos processos metabólicos (JIMÉNEZ-SÁNCHEZ et al., 2015; AHMED; DAS; UDDIN, 2019; SALEHI, 2020).

Apresentam em sua constituição diversos açúcares, como glicose, sacarose, frutose e nistose, e ácidos orgânicos, como, o ácido cítrico, málico, tartárico, gálico, oxálico e ácido ascórbico, este último encontrado principalmente nos suco de frutas cítricas (SALEHI, 2020; FRACKIEWICZ, 2021). Além disto, estas bebidas são fontes de fibras alimentares, importante componente na dieta humana por promover o bom funcionamento do trato gastrointestinal (JIMÉNEZ-SÁNCHEZ et al., 2015; AHMED; DAS; UDDIN, 2019). De modo geral, o suco apresenta baixa quantidade de proteínas, lipídios e a maioria apresentam baixo valor calórico (FRACKIEWICZ, 2021).

Os sucos são considerados excelentes fontes de compostos bioativos, se destacando como uma importante fonte desses nutrientes na alimentação, o que tem motivado o aumento na procura desses produtos (KHANDPUR, GOGATE, 2015; CURTI et al., 2017; AHMED; DAS; UDDIN, 2019). Esses compostos são responsáveis por inúmeros benefícios à saúde em função das suas propriedades funcionais, como atividade antioxidante, que atua nos processos de oxi-redução, sequestrando os radicais livres, e evitando danos celulares (BHARDWAJ et al., 2014; PETRUZZI et al., 2017).

## **2.2 Suco de Frutas Vermelhas**

As frutas vermelhas pertencem à família das rosáceas (SKROVANKOVA et al., 2015). São frutos pequenos, constituídos por pequenas bagas, delicadas, carnosas, suculentas, de baixo valor energético e geralmente arredondados, oriundas de regiões com o clima temperado, como os países europeus (KUBOTA et al., 2012; LAVEFVE; HOWARD; CARBONERO, 2020). Dentre as frutas vermelhas se incluem a amora-preta (*Morus nigra L*), cereja (*Prunus aviuml*), framboesa (*Rubus idaeus*), morango (*Fragaria vesca*) e mirtilo (*Vaccinium myrtillus*) (SEERAM, 2008; VITTORI et al., 2018).

As frutas vermelhas se destacam pela riqueza nutricional, sendo boa fonte de vitaminas, minerais e compostos bioativos com importantes propriedades biológicas, como atividade antioxidante dos compostos fenólicos (SKROVANKOVA et al., 2015; LORENZO et al., 2018) Esses compostos bioativos têm impacto positivo na saúde

humana, pelos benefícios adicionais que oferecidos quando são consumidos nas dietas alimentares (SEERAM, 2008; KUBOTA et al., 2012; COSME et al., 2022). As frutas vermelhas são as mais importantes fontes de compostos fenólicos nas dietas alimentares, constituindo uma excelente fonte de ácidos fenólicos, flavonoides, taninos, estilbenos e antocianinas (DI VITTORI et al., 2018; NEMZER et al., 2020). Vários estudos têm afirmado que os compostos fenólicos podem auxiliar na prevenção ao risco de doenças crônicas cardiovasculares, neurodegenerativas, cancerígenas e retardar o envelhecimento (SIDHU; ZAFAR, 2018; VERRUCK et al., 2018; LAVEFVE; HOWARD; CARBONERO, 2020).

Além do valor nutricional, as frutas vermelhas apresentam excelentes características sensoriais que são atrativas para o consumidor no momento da compra desses pequenos frutos, dentre essas características se destacam o aroma frutado, sabor, textura e cor que pode variar do vermelho, roxo e azul (DI VITTORI et al., 2018; ULASZEWSKA et al., 2020) sendo que geralmente as frutas com maior intensidade na coloração (mais escuras) são aquelas com maior valor nutricional (NEMZER et al., 2020; ROBINSON et al., 2020). Diante do reconhecido valor nutricional e características sensoriais agradáveis, as indústrias alimentícias, vem investindo no desenvolvimento de novos produtos a partir desses pequenos frutos, visando atender a demanda da população, que busca por alimentos nutritivos, saudáveis e com alegações funcionais (BARBIERI; VIZZOTTO, 2012; HIDALGO; ALMAJANO, 2017). Dentre esses produtos estão o licor, geleias, purê, polpa, smoothies e o suco de frutas vermelhas (NEMZER et al., 2020; COSME et al., 2022).

O suco é um dos principais alimentos produzidos a partir das frutas vermelhas, obtido a partir do processo de prensagem a frio, retirando-lhe os sólidos em suspensão, podendo ser clarificado para a eliminação da turbidez do suco (RAJAURIA; TIWARI, 2018). Vêm se destacando com o aumento nos índices de consumo, pelas excelentes características sensoriais, como aparência atraente, aroma, sabor e textura agradáveis e devido aos impactos positivos a saúde pelos nutrientes presentes em sua composição (DI VITTORI et al., 2018; GASPARRINI et al., 2021).

O cultivo de frutas vermelhas no Brasil tem ganhado destaque no mercado brasileiro, em virtude do valor agregado e a procura pela população por estas frutas devido ao seu reconhecido valor nutricional e a demanda por produtos naturais na dieta alimentar (SOUZA et al., 2021). A amora (*Rubus sp*) é a segunda fruta vermelha de maior cultivo no Brasil, sendo o Sul (Rio Grande do Sul e Paraná) e o Sudeste (Minas Gerais), as regiões

de maior produção dessas frutas (SOUZA et al., 2021). São pequenas bagas reconhecidas no mundo todo, principalmente por suas características sensoriais agradáveis e por sua riqueza nutricional (SCHULZ; CHIM, 2019). Possuem cor vermelha-escuro e um aroma agradável, suculência e sabor agridoce, podendo ser consumida fresca ou utilizada no desenvolvimento de novos produtos, como, polpa, suco e geleia (Fig.2) (ROBINSON et al., 2020; ZANNOU; KOCA, 2022).



Figura 2 – Amora (*Rubus spp*)

Fonte: Carvalho (2019)

As amoras são uma excelente fonte de minerais, vitaminas e compostos bioativos, como, os compostos fenólicos antocianinas, flavonóis e flavanóis) (ROBINSON et al., 2020; TOMAS et al., 2020), taninos (proantocianidinas, elagitaninos e galotaninos), estilbenos (resveratrol) e ácidos fenólicos (derivados do ácido hidroxibenzóico e hidroxicinâmicos) (MORAES et al., 2020; GASPARRINI et al., 2021). Dentre os compostos bioativos, as antocianinas são os compostos fenólicos de maior abundância nas frutas vermelhas, responsáveis pela cor e alta atividade antioxidante (SCHULZ; CHIM, 2019; MORAES et al., 2020). Por essas características, a amora vem despertando o interesse dos produtores e consumidores, principalmente pelo potencial de consumo estar associado a inúmeras ações promotoras à saúde, dentre elas, na prevenção de inúmeras doenças (ROBINSON et al., 2020; GASPARRINI et al., 2021).

No Brasil, o consumo de frutas vermelhas ainda é pequeno em comparação aos países europeus e os Estados Unidos, que apresentam um maior consumo dessas frutas na alimentação (DE SOUZA et al., 2014; ALBUQUERQUE et al., 2021). Entretanto, vários estudos vêm afirmando os benefícios destes produtos na dieta alimentar e a procura da população por alimentos ricos nutricionalmente pode contribuir para o aumento do

consumo das frutas vermelhas e seus produtos nos próximos anos (BAKURADZE et al., 2019; QUESADA-MORUÁ et al., 2020; ULASZEWSKA et al., 2020).

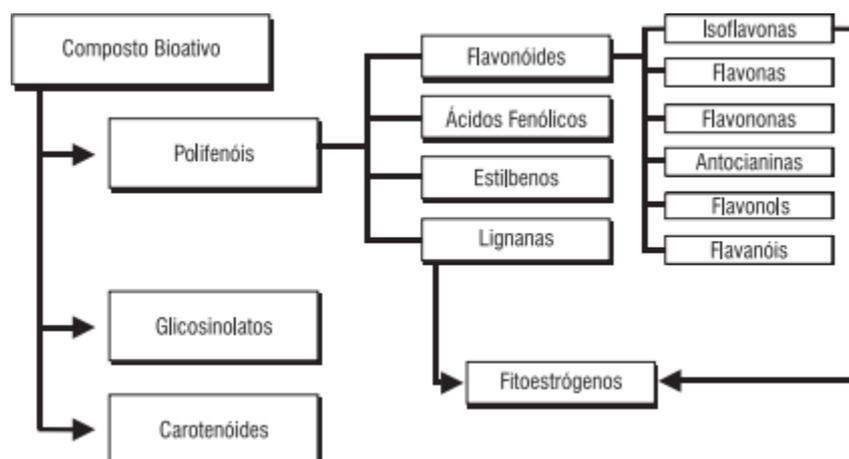
### 2.3 Compostos Bioativos

Segundo a Resolução RDC n°.2, de 07 de janeiro de 2002, os compostos bioativos compreendem, além dos nutrientes, substâncias não-nutrientes, que possuem ação metabólica ou fisiológica específica (ANVISA, 2002). Os compostos bioativos são constituintes biologicamente ativos, sintetizados em pequenas quantidades e decorrentes do metabolismo das plantas, que apresenta em sua estrutura um anel aromático com uma ou mais hidroxilas (SEPTEMBRE-MALATERRE; REMIZE; POUCHERET, 2018). A presença dos compostos bioativos nos alimentos de origem vegetal varia de acordo com o clima, a genética e os fatores ambientais (MOREIRA-ARAÚJO et al., 2019), que atuam como mecanismos de defesa aos agentes deterioradores dos vegetais (VERRUCK et al., 2018; MOREIRA-ARAÚJO et al., 2019).

Os compostos bioativos também são conhecidos como fitoquímicos (ERNAWATI et al., 2019). Dentre esses compostos estão os polifenóis (ácidos fenólicos, flavonoides, estilbenos e ligninas), os carotenoides (licopeno, b-caroteno, luteína e zeaxantina), além dos glicosinolatos e ácidos graxos (SEPTEMBRE-MALATERRE; REMIZE; POUCHERET, 2018). Esses compostos possuem propriedades funcionais que além de fornecer os nutrientes básicos para dieta alimentar, apresentam benefícios que são fundamentais para a manutenção do bom funcionamento do sistema fisiológico e metabólico (GORZYNIK-DEBICKA et al., 2018; ERNAWATI et al., 2019).

Os compostos bioativos são ordenados em classes e subclasses (CAO et al., 2021). As classes são ordenadas de acordo com a estrutura dos compostos bioativos, nas subclasses estão dispostos quanto a posição, o número de hidroxilas e de outras substâncias presentes na molécula, como os ácidos fenólicos e os flavonoides (MELLO et al., 2010; DEL RIO et al., 2013; FRACKIEWICZ, 2021). A Figura 3 representa as principais classes dos compostos bioativos presentes nos alimentos de origem vegetal.

Figura 3 – Subdivisão dos Compostos Bioativos presentes em Alimentos de Origem.



Fonte: Horst e Lajolo (2007).

Os compostos bioativos são amplamente reconhecidos por sua atividade antioxidante (DEL RIO et al., 2013; GORZYNIK-DEBICKA et al., 2018). Estudos têm demonstrado que os compostos bioativos com alta capacidade antioxidante estão diretamente relacionados com a capacidade de prevenir problemas associados as ações dos radicais livres, ao envelhecimento, doenças inflamatórias, neurodegenerativas, cardiovasculares e cancerígenas (DEL RIO et al., 2013; GORZYNIK-DEBICKA et al., 2018). Segundo Canuto et al. (2010), a quantidade de compostos bioativos nas frutas e seus produtos processados, está diretamente associado com a sua atividade antioxidante, pois as frutas que apresentam altas concentrações desses compostos, conseqüentemente apresentam alta atividade antioxidante.

### 2.3.1 Atividade Antioxidante

Os antioxidantes são substâncias químicas que desempenham um papel importante para o corpo, pois atuam na oxidação, inibindo/reduzindo os efeitos causados pelo estresse oxidativo (produção em excesso de substâncias reativas com o oxigênio), proporcionado pela ação dos radicais livres (MOREIRA-ARAÚJO et al., 2019; NEHA et al., 2019). Os antioxidantes combatem os radicais livres, tornando-os indisponíveis nas reações de oxido-redução para a produção de substâncias oxidantes e conseqüentemente, levando a menores danos oxidativos as células moleculares e prevenindo o risco de doenças cancerígenas, cardiovasculares, neurodegenerativas e o envelhecimento (SKROVANKOVA et al., 2015; JIAO et al., 2018; NEHA et al., 2019).

Os radicais livres são moléculas instáveis produzidas durante o processo de oxido-redução, com alta reatividade em função da quantidade de um ou mais elétrons desemparelhados na última camada eletrônica (SKROVANKOVA et al., 2015; KHOO et al., 2017). A formação dos radicais livres é um processo natural, mais quando são produzidos em excesso podem trazer problemas a saúde, pois os mecanismos de defesa não são capazes de neutralizar suas ações reativas (LOBO et al., 2010; MOREIRA-ARAÚJO et al., 2019). Reagem com as moléculas do DNA, RNA, com substâncias proteicas, lipídicas e outros constituintes oxidantes, visando promover a estabilidade da molécula (LOBO et al., 2010; MALTA et al., 2012).

As espécies reativas incluem todos os compostos que reagem com o oxigênio e nitrogênio, incluindo os radicais livres e não radicais que participam das reações em cadeias para a formação desses compostos (KHOO et al., 2017; SIDHU; ZAFAR, 2018). Os principais radicais livres e demais compostos reativos são originados pelas rotas metabólicas contínuas no sistema humano, podendo ser de fonte exógena (poluentes ambientais) e endógenas (processos inflamatórios, íons metálicos livres) (NEHA et al., 2019). Dentre eles estão, o peróxido de hidrogênio, superóxido, óxido nítrico, o radical hidroxila e a peroxila (KHOO et al., 2017; SIDHU; ZAFAR, 2018).

O estresse oxidativo é causado quando ocorre um desequilíbrio entre a formação dos radicais livres e sua inativação pelos antioxidantes (NEHA et al., 2019; ANSARI; AHMAD; HAQQI, 2020). Este desequilíbrio leva a formação excessiva de radicais livres que promovem danos as estruturas celulares, levando conseqüentemente, a indução da peroxidação lipídica, com formação de compostos que vão alterar as estruturas e funções celulares, modificações dos ácidos nucleicos, oxidação das proteínas, inativação enzimática, geração de compostos mutagênicos, promoção da atividade aterogênica e morte celular (REZAYIAN; NIKNAM; EBRAHIMZADEH, 2019; ANSARI; AHMAD; HAQQI, 2020).

Dentre os compostos bioativos se destacam os compostos fenólicos, constituindo o maior grupo presente nos alimentos de origem de vegetal (GÓMEZ-MAQUEO; ESCOBEDO-AVELLANEDA; WELTI-CHANES, 2020). Esses compostos apresentam reconhecimento mundial, pelas suas propriedades funcionais que são relatadas em vários estudos como promotores de benefícios adicionais a saúde (CERLETTI et al., 2017; FIBIGR; ŠATÍNSKÝ; SOLICH, 2017; KHOO et al., 2017). Os compostos fenólicos estão entre as principais fontes de antioxidantes naturais na dieta alimentar (SCHIASI

et al., 2018b), estando interligado no controle e redução da formação em cadeias de radicais livres, e aos danos causados por estes compostos as estruturas celulares do corpo humano, impedindo a ocorrência das reações de oxido-redução em cadeia (KUMAR; GOEL, 2019; REZAYIAN; NIKNAM; EBRAHIMZADEH, 2019).

### 2.3.2 Compostos Fenólicos

Os compostos fenólicos estão amplamente distribuídos nos vegetais em quantidades diferentes para cada composto e com propriedades biológicas variadas (GÓMEZ-MAQUEO; ESCOBEDO-AVELLANEDA; WELTI-CHANES, 2020). São metabólitos secundários das plantas, derivados da via do acetatomalonato e ácido chiquímico e apresenta em sua estrutura no mínimo uma hidroxila ligada a um anel aromático (SKROVANKOVA et al., 2015; SEPTEMBRE-MALATERRE et al., 2018). Possui variabilidade na estrutura, com compostos fenólicos simples como os ácidos hidrobenczoicos e complexos como os taninos com alto peso molecular (KUMAR; GOEL, 2019). As hidroxilas presentes no anel aromático promovem a eliminação dos radicais livres pela formação de radicais fenoxil, que atuam como antioxidante, no qual as hidroxilas retêm os elétrons desemparelhados dos produtos intermediário formados, sem causar danos as estruturas celulares (SOARES et al., 2015; KUMAR; GOEL, 2019).

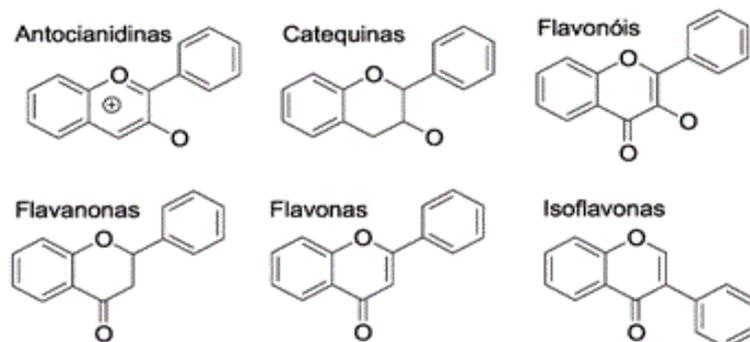
Os compostos fenólicos estão relacionados com as características sensoriais, desempenhando papéis essenciais no aroma, sabor, cor, adstringência, acidez e amargor dos frutos (SOARES et al., 2015; VERRUCK et al., 2018). Estes também apresentam impactos positivos à saúde em função de suas propriedades, principalmente a capacidade antioxidante que atuam neutralizando a formação de compostos reativos durante o metabolismo e na eliminação dos radicais livres (MALTA et al., 2012; DE SOUZA, 2014; SOARES et al., 2015). Além disto, esses compostos apresentam outras funções que são fundamentais para a manutenção e o bom funcionamento do corpo humano, tais como, anti-inflamatório, antimicrobiano (SEYYEDEBRAHIMI et al., 2018), anticâncer (CALEJA et al., 2017; DURAZZO et al., 2019), neuroprotetor (KENT et al., 2017; ABDEL-MONEIM et al., 2018), cardioprotetor (DURAZZO et al., 2019) e na regulação da concentração de colesterol no sangue (ZHANG et al., 2016).

Os compostos fenólicos são divididos em classes de acordo com sua estrutura, dentre elas, os flavonóides (flavonóides e antocianinas), ácidos fenólicos (ácidos clorogênico, ácido gálico, ácido cumárico), estilbenos (resveratrol) e taninos

(SHINWARI; RAO, 2018; KUMAR; GOEL, 2019). Os flavonóides constituem o maior grupo dos compostos fenólicos, apresentando uma ampla distribuição na natureza com mais 8000 compostos identificados (AHMED et al., 2016; ALBUQUERQUE et al., 2021). São moléculas que possui baixos pesos moleculares e caracterizados pela presença de dois anéis benzênicos em sua estrutura que está ligado a um anel pirano, substituintes em uma ou mais hidroxilas (DZIAŁO et al., 2016). A posição e a quantidade de substituintes de hidroxilas no anel pirano, podem influenciar na capacidade dos flavonóides na doação dos elétrons nas reações de oxidação e na eliminação dos radicais livres formados nas reações (KUMAR; GOEL, 2019; TENA; MARTÍN; ASUERO, 2020).

Os flavonóides são classificados como flavanóis (epicatequina, galocatequina), flavonas (apigenina, luteolína), flavanonas (naringenina, herperitina), isoflavonas (genisteína, daidzeína), flavonóis (quercetina, miricetina), chalconas e antocianinas (cianidina e pelargonidina) (SHEN et al., 2022). Na Figura 4 está ilustrada a estrutura química dos principais flavonóides.

Figura 4 – Estrutura Química dos Principais Tipos de Flavonóides.



Fonte: Março, Poppi e Scaminio (2008).

Os flavonóides são constituintes capazes de sequestrar os compostos reativos com oxigênio e nitrogênio durante o processo de oxido-redução tais como, o peróxido de hidrogênio, superóxido, óxido nítrico e radical de hidroxila (SOARES et al., 2015; KHOO et al., 2017). Segundo Soares et al. (2015) e Khoo et al. (2017), os flavonóides são os antioxidantes presentes nos alimentos de origem vegetal, com maior eficiência no sequestro dos radicais livres, em comparação com as vitamina C e E, em função da sua estrutura molecular apresentar um elevado potencial de oxidação e redução, que atuam como agentes redutores e sequestradores dos radicais livres.

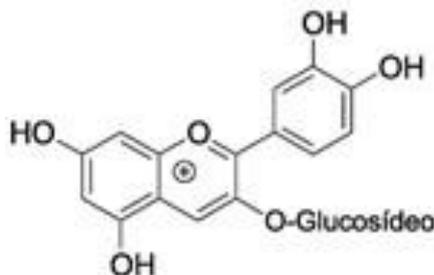
As frutas vermelhas são excelentes fontes de compostos fenólicos, dentre eles se destacam as antocianinas, que se apresenta em grande abundância nesses pequenos frutos (KUBOTA et al., 2012; SKROVANKOVA et al., 2015). Vários estudos têm demonstrando a riqueza deste pigmento nas frutas vermelhas e os benefícios adicionais à saúde provenientes do consumo na dieta de alimentos que são fontes de compostos antociânicos (KUBOTA et al., 2012; DI VITTORI et al., 2018; LORENZO et al., 2018; NEMZER et al., 2020; SHEN et al., 2022).

### **2.3.3 Antocianinas**

São pigmentos naturais presentes nos alimentos, encontrados em abundância na dieta alimentar, responsável pela coloração características das frutas vermelhas e dos produtos obtidos a partir do processamento dessas frutas que varia do vermelho, roxo e azul (JARA-PALACIOS et al., 2019; SHEN et al., 2022). A antocianina em função das variedades de cores é muito utilizada pelas indústrias de alimentos como corantes alimentares na formulação de diversos produtos (KHOO et al., 2017; DANGLES; FENGER, 2018). Além disto, esses pigmentos naturais apresentam funções que são essenciais para o corpo humano, em destaque, a atividade antioxidante, como também anti-inflamatória, vasodilatadora e proteção contra as doenças cardiovasculares e cancerígenas (TENA; MARTÍN; ASUERO, 2020).

As antocianinas pertencem à família dos flavonóides, na forma de glicosídeos de antocianidinas sendo compostos hidrossolúveis (KHOO et al., 2017; QI et al., 2022). Derivada do cátion flavilium (cátion 2-fenilbenzopirílio), que apresenta em sua estrutura geral, dois anéis aromáticos que estão ligados por uma unidade de três carbonos, condensado por um oxigênio (DANGLES; FENGER, 2018; SHEN et al., 2022), como ilustrado na Figura 4. Além disto, é composta por um grupo de agliconas, açúcares e de compostos orgânicos, que varia conforme o grau de metilação desses grupos e o número de hidroxilas (KHOO et al., 2017; QI et al., 2022).

Figura 4 – Estrutura Química da Antocianina.



Fonte: Março, Poppi e Scaminio (2008).

As antocianinas estão presentes no reino vegetal na forma de 22 agliconas, mas, a cianidina, malvidina, delphinidina, peonidina, pelargonidina e petunidina, são as seis agliconas mais abundantes na natureza (LORENZO et al., 2018; TENA; MARTÍN; ASUERO, 2020). Os monossacarídeos e dissacarídeos comumente ligados as agliconas são, glicose, galactose, xilose e arabinose, que são responsáveis por conferir maior solubilidade e estabilidade a esses pigmentos, mas podem se ligar a outros açúcares, levando a formação de diferentes tipos de antocianinas (NEMZER et al., 2020).

As frutas vermelhas são importantes fontes de antocianinas, dentre elas, a amora-preta, framboesa, mirtilo e morango, além dessas frutas (ALBUQUERQUE et al., 2020; LORENZO et al., 2018), outras também são fontes desse pigmento, tais como, uvas, cenoura, sabugueiro, beterraba, rabanete, romãs, jabuticaba, açaí e repolho roxo (QI et al., 2022). As antocianinas presentes nas frutas vermelhas têm sido o foco de vários estudos em virtude da alta capacidade antioxidante, que está diretamente relacionada com a coloração dessas frutas, sendo que geralmente os frutos com coloração mais intensa os que apresentam maior acúmulo de antocianinas e consequentemente, maior poder antioxidante (TENG et al., 2017; ALBUQUERQUE et al., 2020). Segundo Espín et al. (2000), as antocianinas apresentam alta atividade antioxidante, sendo o poder antioxidante desses pigmentos superior ao de outros encontrados nos alimentos de origem vegetal.

A estabilidade das antocianinas pode ser influenciada por diversos fatores, incluindo o pH, ácido ascórbico, temperatura, estrutura molecular, presença de oxigênio, degradação por enzimas, as interações com componentes dos alimentos, como os íons metálicos, açúcares e pigmentos naturais do alimento (MORAES et al., 2020; CAO et al., 2021). Dentre esses fatores vale destacar a temperatura, que é um importante fator a ser considerado, pois os sucos de frutas durante as etapas do processamento, tais como,

extração, pasteurização ou esterilização, são submetidos ao calor, em especial, para inativação microbiológica e enzimática, e, aumento no tempo de vida útil (PATRAS et al., 2010). No entanto, a aplicação do calor nas etapas do processamento está associado à degradação das antocianinas, pois interfere na estabilidade desses pigmentos, além de levar à perda na coloração característica desses compostos e nas propriedades funcionais (SEEREM; BOURQUIN; NAIR, 2001; PATRAS et al., 2010).

A degradação térmica das antocianinas pode ocorrer sob duas formas, com formação de chalconas e glicosídeos, e, consequente formação de aldeídos e derivados de ácido benzoico (SEERAM; BOURQUIN; NAIR, 2001). A formação de chalconas e glicosídeos, ocorre com a clivagem e consequentemente, a perdas dos glicosídeos ligados às antocianinas, posteriormente, as moléculas de antocianinas passam por outros processos de clivagem, que levam a formação de aldeídos e derivados do ácido benzoico (PATRAS et al., 2010; SEERAM; BOURQUIN; NAIR, 2001). Mas segundo Hakkinem et al. (2000), a degradação térmica das antocianinas pode ser causada pela aceleração da reação de polimerização e condensação dos compostos fenólicos após o rompimento das células e aumento da temperatura em conjunto com a exposição ao oxigênio.

A degradação das antocianinas pode levar à formação de outros compostos, estando diretamente interligado com a rigorosidade e tipo de aquecimento aplicado ao alimento, enquanto a estabilidade está relacionada com a estrutura química das antocianinas, dependendo do número de hidroxilas ligadas a este pigmento e do grau de metilação, da posição dos glicosídeos e do número de açúcares ligado as moléculas fenólicas (SEERAM; BOURQUIN; NAIR, 2001).

Alguns autores relataram em seus estudos que a degradação das antocianinas pela temperatura durante o processamento apresentaram redução significativa de 43% a 91,67% no teor de antocianinas, demonstrando perdas consideráveis deste pigmento no suco de amora (WANG; XU, 2007; BROWNMILLER; HOWARD; PRIOR, 2008; GANCEL et al., 2011; ARANCIBIA-AVILA et al., 2012; DE SOUZA et al., 2015). Outros estudos demonstraram que as antocianinas são estáveis até 60°C, mais quando foram submetidas à temperaturas superiores no processamento térmico, ocorreu uma redução significativa de 50% no conteúdo de antocianinas presentes nos suco de mirtilo e amora (WANG; XU, 2007; BUCKOW et al., 2010).

### **2.3 Tratamento Térmico**

Segundo Fellows (2006), o tratamento térmico é um dos métodos mais importantes utilizados no processamento de alimentos, por ser um tratamento que apresenta efeito de conservação nos alimentos, e conseqüentemente prolongar o tempo de vida útil dos produtos, como também promove a disponibilidade de alguns nutrientes, a digestibilidade das proteínas e destruição dos componentes antinutricionais. O tratamento térmico é aplicado nos alimentos principalmente para a segurança alimentar e conservação, através da inativação dos microrganismos patógenos e deterioradores, como também na inativação da ação enzimática (ACHIR et al., 2016; ALTEMIMI et al., 2019), que podem levar a alterações indesejáveis nas características sensoriais dos alimentos e perda dos componentes nutricionais e conseqüentemente na redução do tempo de vida útil (ALVES et al., 2020; KATARIYA et al., 2020; KRUSZEWSKI et al., 2021; WU et al., 2021).

Os sucos de frutas são fontes de nutrientes, compostos orgânicos e inorgânicos, além de apresentar alta atividade de água, constituindo um ótimo substrato para o crescimento microbiano, dentre eles as bactérias, leveduras e bolores (BATRA; SHARMA; AGARWAL, 2018; ZHU et al., 2018). Estes microrganismos quando presentes nos sucos de frutas levam a deterioração e conseqüentemente, a mudanças nas características sensoriais e nutricionais pela produção de compostos indesejáveis como etanol e CO<sub>2</sub>, que alteram a cor, sabor e o pH dos produtos, levando a perda da qualidade e inaceitabilidade do produto pelo consumidor (BATRA; SHARMA; AGARWAL, 2018; ZHU et al., 2018). Além disto, os microrganismos patógenos são veiculadores de doenças alimentares, que podem levar a toxi-infecção ou intoxicação, em conseqüência, do consumo de alimentos contaminados com estes microrganismos e/ou toxinas produzidas por eles (AHMED; DAS; UDDIN, 2019).

A presença de certas enzimas quando não controladas podem trazer alterações nas características dos alimentos através do escurecimento enzimático, causado pela ação das enzimas peroxidase e polifenoloxidase (MARSZALEK et al., 2017; ILLERA et al., 2018), que promove a formação de quinonas altamente reativas que participam das reações de polimerização, levando a formação de pigmentos escuros denominados melaninas, quando ocorre o rompimento das estruturas celulares e o contato dessas enzimas com os substratos (compostos bioativos), durante o processamento ou danos mecânicos aos alimentos vegetais (CHOW et al., 2011; ILLERA et al., 2018). O escurecimento é dos principais problemas em suco de frutas, proporcionando características sensoriais indesejáveis, perdas nutricionais e o comprometimento na

qualidade dos sucos de frutas dificultando sua aceitação pelo consumidor (CHOW et al., 2011; HEMACHANDRAN et al., 2017).

Dentre os principais processos térmicos empregados aos sucos de frutas pelas indústrias tem-se a pasteurização e esterilização (GÓMEZ-MAQUEO; ESCOBEDO-AVELLANEDA; WELTI-CHANES, 2020). Nestes processos térmicos o calor é gerado na parte externa do alimento e transferido para o interior através dos mecanismos de convecção e condução (MAKROO; RASTOGI; SRIVASTAVA, 2020).

A pasteurização é o método mais utilizado no processamento de suco de frutas (ZAWAWI et al., 2022). Consiste na aplicação de temperaturas inferiores à 100 °C, para a redução de 5 ciclos logarítmicos de microrganismos e a inativação das enzimas deterioradoras, visando estender o tempo de vida útil e promover a segurança destes produtos (MILLER; SILVA, 2012; CHEN; YU; RUPASINGHE, 2013). O binômio tempo-temperatura empregado na pasteurização, depende da resistência dos microrganismos e enzimas presentes no suco e da sensibilidade dos nutrientes ao tratamento térmico (OLIVEIRA; SANTOS, 2015).

Na esterilização, ocorre a aplicação de temperaturas superiores à 100 °C, por um curto período de tempo, geralmente em segundos e, com o controle do binômio tempo-temperatura (MILLER; SILVA, 2012). A temperatura empregada promove a inativação das enzimas e a destruição dos microrganismos na forma vegetativa e esporulada, levando ao maior tempo de vida útil em comparação com os sucos pasteurizados (MILLER; SILVA, 2012). Além disto, a esterilização permite que os produtos, como os sucos de frutas, sejam estocados na temperatura ambiente, garantindo sua segurança ao consumidor (MILLER; SILVA, 2012).

O tratamento térmico é um método eficiente na inativação dos microrganismos e na inativação enzimática durante o processamento do suco de frutas (ILLERA et al., 2018; ZAWAWI et al., 2022), no entanto, o emprego de altas temperaturas pode levar a perdas nos componentes nutricionais e alterações indesejáveis das características sensoriais, o que pode ser atribuído à destruição das vitaminas, compostos fenólicos como as antocianinas, formação de sabores indesejáveis, modificações na cor, dentre outras alterações, constituindo um problema para a aceitação do produto pelos consumidores (ALVES et al., 2020; KATARIYA et al., 2020; KRUSZEWSKI et al., 2021; WU et al., 2021). Vários estudos têm demonstrado os impactos negativos do tratamento térmico sobre a qualidade sensorial e nos componentes funcionais dos sucos de frutas.

Zhu et al. (2017) relataram em seus estudos que a aplicação do tratamento térmico convencional promoveu uma redução de 5,51% (60 °C por 10 min) e 17,36% (80 °C, 10 min) no conteúdo de antocianinas, com o aumento da temperatura de aquecimento do suco de mirtilo. Reque et al. (2016), Makila et al. (2017) e Cervantes-Elizarrarás et al. (2017), verificaram maiores reduções para antocianinas, de 49% para o suco de mirtilo (80 °C), 42% no suco de groselha preta (95 °C, 20-30 min) e 26,58% no suco de amora (90 °C por 15s). Cervantes-Elizarrarás et al. (2017) também observaram perdas de 31,12% no teor de ácido ascórbico, 6,59% nos compostos fenólicos totais e 22,09% na atividade antioxidante no suco de amora. Já Chitgar et al. (2018), verificaram reduções significativas para as antocianinas (7,54-26,46%) e na atividade antioxidante (1,43-3,23%) do suco de bérberis tratados termicamente à 90 °C por 1 min. Katariya et al. (2020), observaram que a pasteurização (90 °C por 30s), resultou na degradação de 24,75% na vitamina C e 8,39% na atividade antioxidante do suco de laranja. Summen e Erge, (2014), para a polpa de framboesa obteve uma redução de 44% de ácido ascórbico, 22,8% de compostos fenólicos e um decréscimo de 18,2% na cor.

## **2.4 Tecnologias Emergentes**

As tecnologias emergentes surgem em um contexto onde as indústrias de alimentos estão buscando atender a demanda dos consumidores por alimentos seguros, com extensão de vida útil e de mais alta qualidade, com características sensoriais e nutricionais semelhantes aos naturais (DOLAS; SARAVANAN; KAUR, 2019; MORALES-DE LA PEÑA; WELTI-CHANES; MARTÍN-BELLOSO, 2019). Essas novas técnicas de conservação têm atraído o interesse das indústrias pelas vantagens oferecidas, como, menor tempo de processamento, baixas condições de temperatura, garantia da qualidade dos produtos, que atenda a preferência dos consumidores e que possa ser uma técnica alternativa ou complementar dos métodos convencionais de conservação de alimentos (RAJAURIA; TIWARI, 2018; GÓMEZ-MAQUEO; ESCOBEDO-AVELLANEDA; WELTI-CHANES, 2020).

As tecnologias emergentes dividem-se em térmicas e não-térmicas (GÓMEZ-LÓPEZ et al., 2021). As tecnologias térmicas são alternativas promissoras aos métodos convencionais de processamento, que são consideradas formas volumétricas de aquecimento por ondas eletromagnéticas, sendo a energia térmica gerada dentro do próprio alimento (BRUGOS; GUT; TADINI, 2018; KUBO et al., 2020). São tecnologias

que permitem o aquecimento uniforme, o controle do tempo e da temperatura, requer menos tempo para que o produto alcance a temperatura desejada e comparando com os métodos convencionais, apresenta menores alterações sensoriais e perdas nutricionais (DE COMAPA et al., 2019; MÜLLER et al., 2021). Dentre as térmicas estão, o microondas, radiofrequência e o aquecimento ôhmico (KUBO et al., 2020; GÓMEZ-LÓPEZ et al., 2021).

As tecnologias não-térmicas, vêm sendo as mais adotadas pelas indústrias, pois são métodos de conservação que não consiste na aplicação de calor ao alimento, mais o emprego de outros princípios como, radiações ionizantes, alta pressão, ondas sonoras, pulsos elétricos entre outros, que promovem a inativação enzimática e microbiológica e o aumento no tempo de vida útil (GÓMEZ-LÓPEZ et al., 2021; KHOURYIEH, 2021).

Essas tecnologias apresentam várias vantagens, dentre elas, alta retenção de nutrientes, baixa utilização de energia e temperatura de processamento, produtos com características similares aos naturais e com maior qualidade pelas perdas mínimas nas características nutricionais e manutenção dos atributos sensoriais (ORTEGA-RIVAS, 2012; SUN, 2014). As tecnologias não-térmicas são, alta pressão hidrostática, irradiação, ultrassom, campo elétrico pulsado, pulsos elétricos, radiação ultravioleta entre outras (KHAN et al., 2018; KHOURYIEH, 2021).

Dentre as tecnologias emergentes térmicas e não-térmicas mais aplicadas no processamento de suco de frutas estão, o aquecimento ôhmico (DOAN et al., 2021; MÜLLER et al., 2021), alta pressão hidrostática (ENGMANN; MA; SANFUL, 2020; BULUT; KARATZAS, 2021), campo elétrico pulsado (DZIADEK et al., 2019; LEE et al., 2021), radiação ultravioleta (GARCÍA CARRILLO et al., 2020; XIANG et al., 2020), microondas (BRUGOS; GUT; TADINI, 2018; DE COMAPA et al., 2019), luz pulsada (CHAKRABORTY et al., 2020; VOLLMER et al., 2020), plasma frio (DANTAS et al., 2021; ILLERA et al., 2019) e ultrassom (OLADUNJOYE et al., 2021; TREMARIN et al., 2019).

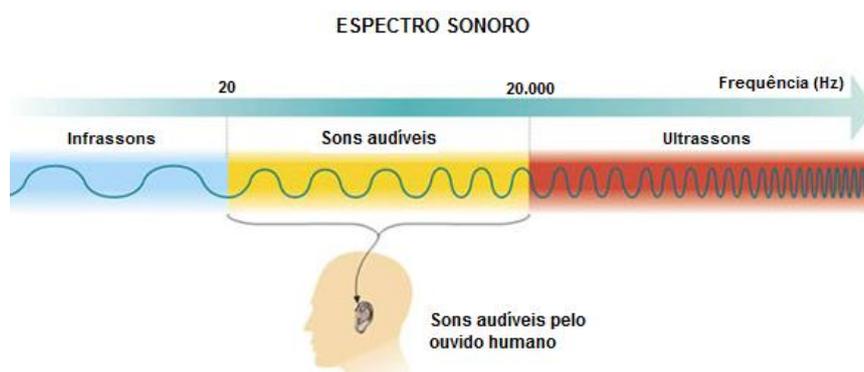
#### **2.4.1 Tecnologia de Ultrassom**

O ultrassom é uma tecnologia emergente não térmica que consiste em ondas sonoras que apresentam frequências que excede o limite humano de audição, em torno de aproximadamente 20 kHz (ZIA et al., 2019; BHARGAVA et al., 2021), que ao ser transmitida a uma estrutura biológica leva a ciclos de compressão e a expansão das

moléculas, que conseqüentemente, permite a propagação de maiores quantidade de energia (DASH; PATHAK; PRADHAN, 2021). Esta tecnologia emergente pode ser uma alternativa inovadora ao processamento térmico por apresentar efeitos positivos no processamento dos alimentos, como minimizar as perdas nutricionais e alterações nos atributos sensoriais no processamento e promover a segurança alimentar (AWAD et al., 2012; AADIL et al., 2015; TREMARIN et al., 2019).

O ultrassom apresenta frequências sonoras que podem ser divididas em baixa e alta energia (SINGLA; SIT, 2021). A baixa energia consiste em frequência sonoras maiores que 100 kHz e intensidades abaixo de  $1 \text{ W/cm}^2$ , estando relacionado com a alta potência e intensidade das ondas sonoras, como demonstrado na Figura 6 (BHARGAVA et al., 2021).

Figura 6 – Frequência das Ondas Ultrassônicas.



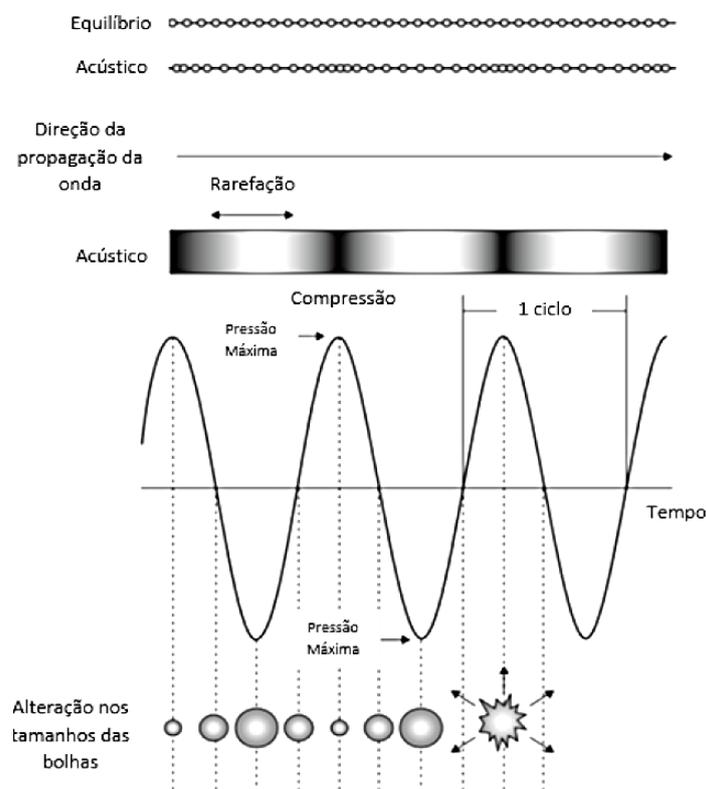
Fonte: Menegotto (2014).

A baixa energia é aplicada no controle de qualidade de produtos frescos (frutas e hortaliças) e processados (queijos e óleos alimentares), na detecção de produtos adulterados, como o mel, com também na avaliação do tipo e no tamanho das proteínas (HASHEMI MOOSAVI et al., 2021). A alta energia está relacionado com intensidade superiores a  $1 \text{ W/cm}^2$  e frequências entre 20 a 500 kHz, que corresponde a uma baixa potência e intensidade (BHARGAVA et al., 2021). Aplicada no processamento dos alimentos para preservação e segurança alimentar, em virtude de suas propriedades bioquímicas como também aos seus efeitos mecânicos e físicos (ASTRÁIN-REDÍN et al., 2020). Além disto, têm sido aplicado na modificação dos atributos sensoriais como a textura de produtos gordurosos, propriedades funcionais das proteínas, na extração de compostos bioativos e outros constituintes dos alimentos e na inativação da ação

enzimática e proliferação microbiana (KUMARI et al., 2017; GALLO; FERRARA; NAVIGLIO, 2018).

O ultrassom quando apresenta alta potência com baixas frequências entre 20 a 100 kHz, levam ao processo denominado de cavitação, capaz de promover a destruição microbiana e a inativação da atividade enzimática, como demonstrando na Figura 7 (BI et al., 2015; GALLO; FERRARA; NAVIGLIO, 2018). A cavitação é um processo que ocorre a partir de uma série de ondas sonoras de rarefação (pressão negativa) e compressão (pressão positiva) que são induzidas nas moléculas, visando atingir uma alta energia que faz com que o processo de rarefação exceda a força de atração entre as moléculas do meio líquido levando a formação de bolhas de cavitação, que são formadas devido à instabilidade do meio e ao colapso (DASH; PATHAK; PRADHAN, 2021; SINGLA; SIT, 2021), que promove a energia para os processos mecânicos e químicos, como desnaturação de proteínas e enzimas, desintegração das células e melhorias na qualidade dos produtos (DASH; PATHAK; PRADHAN, 2021; MOOSAVI et al., 2021).

Figura 7 – Mecanismos de Cavitação Ultrassônica.

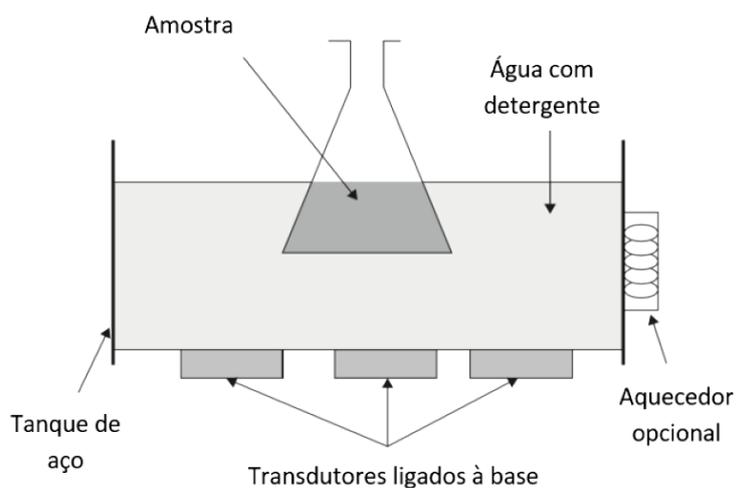


Fonte: Adaptado de Tiwari e Mason (2012).

O ultrassom pode ser aplicado sob duas formas no alimento, por meio de dois equipamentos, a sonda ou pelo uso do banho ultrassônico, ambos utilizam um transdutor piezoelétrico (SINGLA; SIT, 2021). O banho ultrassônico é o mais reconhecido entre os equipamentos, operar a uma frequência geralmente em torno de 40-45 kHz e consiste em um tanque de aço inoxidável com um ou mais transdutores ultrassônicos ligados a base do tanque (DASH; PATHAK; PRADHAN, 2021), como demonstrado na Figura 8. Neste equipamento, as ondas ultrassônicas são transmitidas pelo líquido dentro do equipamento e depois pela parede do recipiente contendo a amostra (BERNARDI et al., 2021). Portanto, devido a forma indireta de transmissão das ondas ao alimento, têm-se uma menor intensidade e reprodutibilidade (BERNARDI et al., 2021).

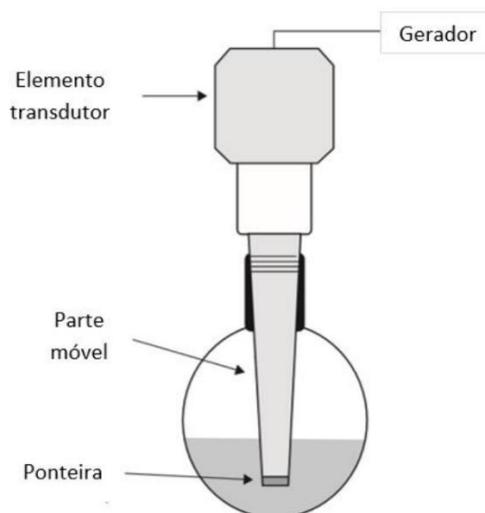
A sonda ultrassônica é um equipamento que opera em uma frequência em torno de 20 kHz (SINGLA; SIT, 2021). Por ser um equipamento que permite a transmissão direta das ondas sonoras ao alimento, por meio da imersão da sonda na amostra, (ASTRÁIN-REDÍN et al., 2020), apresentar maiores vantagens em relação ao banho ultrassônico, tais como, maior transferência de massa, melhora a reprodutibilidade, permitem menor tempo e temperatura de processo (DASH; PATHAK; PRADHAN, 2021). Ao comparar com o tradicional tratamento térmico estes equipamentos apresentam inúmeras vantagens dentre elas, permitem menor tempo de processamento e temperatura, maior rendimento, menores alterações nas características sensoriais e degradação dos componentes nutricionais do produto e maior qualidade no produto final (SUN, 2014; PANIWNYK, 2014). A sonda ultrassônica está demonstrada na Figura 9.

Figura 8 – Banho Ultrassônico.



Fonte: Adaptado de Paniwyk (2014).

Figura 9 – Sonda Ultrassônica.



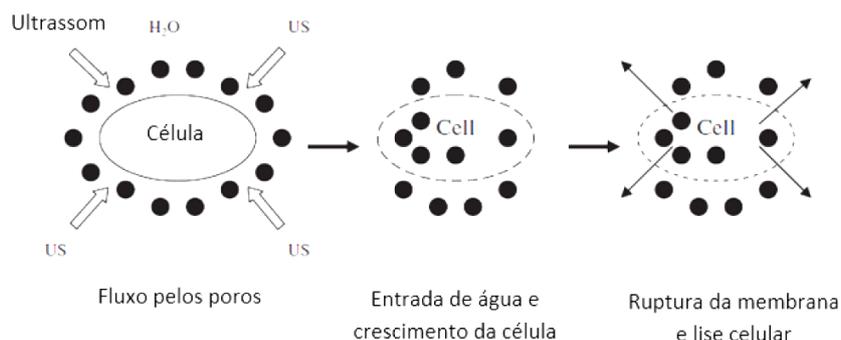
Fonte: Adaptado de Paniwyk (2014).

O ultrassom é uma tecnologia não-térmica que tem contribuído na melhoria da qualidade dos sucos de frutas, prevenindo perdas nos componentes nutricionais e sensoriais. Alguns estudos têm demonstrado que a sonicação tem contribuído para o aumento no teor de compostos bioativos e na atividade antioxidante em suco de frutas. Ordonez-Santos et al. (2017), verificaram em seus estudos um aumento de 14,60% no teor de compostos fenólicos e nos carotenoides sendo, 24,84-90,20% em  $\beta$ -caroteno; 39,91- 96,24% em  $\alpha$ -caroteno e 38,36-117,81% em licopeno no suco de groselha tratado por ultrassom (42 kHz, 240 W, 20-40 min) em relação a amostra controle. Nadeem et al., (2018), observaram que a sonicação por 6 min (20 kHz, 525 W), resultou no aumento significativo de 20,17% nos compostos fenólicos, 67,52% de flavonóides e 55% na atividade antioxidante total no suco de cenoura e uva. Wang et al. (2018), verificaram que o tratamento por ultrassom (20 kHz, 400 W, 12 min), resultou no aumento de 66,25% de antocianinas, 20,17% nos compostos fenólicos, 67,52% de flavonóides e 55% na atividade antioxidante total no suco de morango. Yildiz et al., (2021), observaram que o ultrassom (24 kHz, 120  $\mu$ m, 3 min) manteve o conteúdo fenólico e proporcionou um aumento de 8,9% no teor de antocianinas no suco de morango.

A inativação dos microrganismos pela tecnologia do ultrassom é através da aplicação de alta intensidade que promove a cavitação das células internas que em função da força de cisalhamento leva ao rompimento das membranas celulares comprometendo sua funcionalidade (KHAIRE; THORAT; GOGATE, 2021). No processo de cavitação ocorre a formação de bolhas com vapor ou gás, que sofrem ciclos de oscilações irregulares

levando a implosão das bolhas, que leva a produção altas temperaturas e pressão intracelular que promove a desintegração das estruturas celulares dos microrganismos (FAN; WU; CHEN, 2021; NAKONECHNY; NISNEVITCH, 2021), como demonstrado na Figura 10.

Figura 10 – Mecanismo de Rompimento de Células por Ultrassom.



Fonte: Adaptado de Chemat; Huma; Khan, (2011).

A inativação enzimática pelo ultrassom consiste na desnaturação das proteínas pela habilidade cavitacional das ondas ultrassônicas que através da pressão e altas temperaturas produzida na estrutura interna do alimento levar a implosão das bolhas cavitacionais, que gerar energia promovendo assim a inativação enzimática, como também podem ser desnaturadas pelos efeitos químicos dos radicais livres que são produzidos durante o processo de sonólise da moléculas da água (CHEMAT et al., 2017; CHANTAPAKUL et al., 2020). Segundo Tiwari e Mason, (2012), os efeitos do ultrassom sobre as proteínas são complexos e depende de maiores tempo de exposição dos alimentos as ondas ultrassônicas para que as estruturas globulares das proteínas sejam desnaturadas.

Alguns fatores podem influenciar a inativação da carga microbiana e enzimática dentre eles, o tempo de exposição do produto as ondas ultrassônicas, tipo de microrganismos ou enzima, amplitude das ondas ultrassônicas, estrutura de conformação, volume do alimento a ser processado e a composição (TIWARI; MASON, 2012; ANAYA-ESPARZA et al., 2017; URANGO et al., 2022).

No entanto, vários estudos têm demonstrado que a aplicação do ultrassom de forma isolada pode não ser eficiente na redução da carga microbiana, reduzindo poucos ciclos logarítmicos de microrganismos e não ser efetivo na inativação da atividade enzimática nos alimentos (TREMARIN; BRANDÃO; SILVA, 2017; TREMARIN et al.,

2019; SCUDINO et al., 2020). Contudo, a combinação do ultrassom com outras técnicas tem apresentando eficiência na inativação microbiológica, dentre essas combinações está a termossonicação, que consiste na aplicação de ondas ultrassônicas e altas temperaturas ao alimento (ANAYA-ESPARZA et al., 2017; DOLAS; SARAVANAN; KAUR, 2019; URANGO et al., 2022).

A combinação do ultrassom com altas temperaturas pode acelerar a inativação dos alimentos, assim como a redução no tempo de duração e intensidade do tratamento térmico e conseqüentemente, a alterações causadas no alimento (ILLERA et al., 2018; URANGO et al., 2022). Outras combinações incluem a manossonicação (combinação do ultrassom com a pressão) e a manotermossonicação (combinação do ultrassom, pressão e calor) (DOLAS; SARAVANAN; KAUR, 2019; TREMARIN et al., 2019).

Estudos têm demonstrado o efeito sinérgico do ultrassom com a temperatura, e conseqüentemente o potencial da termossonicação para a redução da rigidez do tratamento térmico convencional. Ribeiro et al. (2017), apontaram que o efeito sinérgico do ultrassom com a temperatura (termossonicação), acelerou a redução da atividade enzimática em água de coco de (60 a 100%), comparado com o tratamento térmico convencional, que reduziu apenas (28 a 40%). Assim como, Anaya-Esparza et al. (2017), relataram que a termossonicação por 10 min com temperatura de 60 °C apresentou desempenho superior na inativação da polifenoloxidase em néctar de graviola ao tratamento convencional por 30 min à 65 °C. Enquanto Zhu et al. (2017), verificaram que o efeito sinérgico do ultrassom com o calor, promoveu a completa inativação da peroxidase à 60 °C, em relação a pasteurização por 80 °C por 20 min no suco de mirtilo.

Kiang et al. (2013), observaram que a termossonicação foi eficiente para otimizar o tempo de processamento do suco de manga, promovendo maior redução na carga microbiana em até 7,0 ciclos logarítmicos em 3 a 7 minutos na temperatura de 60 °C, comparado com tratamento térmico convencional que reduziu 4,4 ciclos à mesma temperatura e tempo. O mesmo foi relatado por Tremarin et al. (2019), para suco de maçã, com redução de 5,5 ciclos por 10 minutos à temperatura de 60 °C, por termossonicação e 4,0 ciclos por 30 minutos pelo tratamento térmico convencional à mesma temperatura. Lafarga et al. (2019), verificou que a termossonicação (35 kHz, 60 °C, 5 min) resultou numa taxa de inativação 3 vezes maior dos microrganismos mesófilos aeróbios totais no suco de tomate enriquecido com torta de morango em relação ao tratamento térmico (80 °C, 1 min).

### 2.5.2. Efeitos da Termossonicação nos Compostos Bioativos

A presença dos compostos bioativos nos sucos de frutas e vegetais melhora o consumo desses produtos, além do seu valor nutricional (FARHADI CHITGAR et al., 2018; HASHEMI et al., 2018). No entanto, a maioria dos compostos funcionais são sensíveis e podem ser facilmente degradados devido à exposição à altas temperaturas durante o processamento térmico dos sucos e néctares de frutas (CERVANTES-ELIZARRARÁS et al., 2017; ZHU et al., 2017; KATARIYA; ARYA; PANDIT, 2020). Nesse contexto, novas técnicas de conservação vêm sendo desenvolvidas pelas indústrias alimentícias, buscando não somente melhorar a estabilidade dos compostos bioativos, mas evitar perdas durante o processamento, e assim atender a demanda dos consumidores por produtos com maior qualidade e com maior qualidade e com alegações funcionais (MORALES-DE LA PEÑA; WELTI-CHANES; MARTÍN-BELLOSO, 2019).

O uso combinado do ultrassom com o calor (termossonicação), vem ganhando destaque não somente por ser uma técnica promissora no aumento das taxas de inativação microbiológica e enzimática, mas por se mostrar eficaz na preservação e na melhoria da biodisponibilidade dos compostos bioativos e na atividade antioxidante dos sucos e néctares de frutas (AMARAL SOUZA et al., 2019; FAN; WU; CHEN, 2021). A termossonicação vem sendo considerada uma técnica alternativa aos métodos de conservação tradicionais, por oferecer produtos com maior qualidade, com características mais próximas do produto *in natura*, além da garantia de segurança (DÜNDAR; AĞÇAM; AKYILDIZ, 2019; WU et al., 2021). A maior biodisponibilidade é devido a maior liberação dos compostos bioativos das matrizes vegetais, causado pela ruptura da parede celular por meio da cavitação acústica no processo de sonicação e pela menor degradação desses compostos funcionais em temperaturas amenas (MANZOOR et al., 2021; OLADUNJOYE et al., 2021; SENTHILNATHAN; MUTHUSAMY, 2022).

Estudos já vêm demonstrando o potencial da termossonicação na preservação e na melhoria da biodisponibilidade dos compostos bioativos em diferentes tipos de sucos e néctares de frutas e vegetais, mostrando valores superiores ao suco *in natura* e tratados pelo tradicional tratamento térmico. Foram relatados aumento de 2,67–25,78% no teor de ácido ascórbico; 16,96–32,11% de antocianinas; 12,74–45,75% de flavonóides; 7,42% de flavonóis; 10,8–16,77% nos compostos fenólicos totais; 4,92–48,5% na atividade antioxidante; 8,14–53,86% nos carotenoides e 20,35% no teor de clorofila nos sucos tratados por termossonicação (ALVES et al., 2020; AMARAL SOUZA et al.,

2019; MANZOOR et al., 2021; NAYAK; CHANDRASEKAR; KESAVAN, 2018; OLADUNJOYE et al., 2021).

Embora os estudos vêm demonstrando os efeitos da termossonicação na estabilidade dos compostos bioativos e na atividade antioxidante dos sucos e néctares de frutas e vegetais, durante o tratamento por termossonicação a estabilidade desses compostos pode ser influenciada por alguns fatores, tais como, a intensidade ultrassônica e o binômio de tempo e temperatura durante o processo de termossonicação (ANAYA-ESPARZA et al., 2017; FAN; WU; CHEN, 2021). Alguns estudos ressaltam que o uso de binômios (tempo e temperatura) amenos com menores níveis de amplitude pode levar a maior retenção, conseqüentemente, menores perdas nos compostos bioativos e na atividade antioxidante nas amostras tratadas por termossonicação (SOUZA et al., 2019; WAHIA et al., 2019; NAYAK et al., 2020).

Nesse contexto, a realização de estudos que investigam o efeito sinérgico da termossonicação na estabilidade dos compostos bioativos e na atividade antioxidante no suco de amora, bem como, o uso de diferentes binômios de tempo e temperatura sob diferentes condições de amplitude, permitirá o conhecimento dos possíveis efeitos da termossonicação sobre os compostos bioativos, além de identificar as condições ideais de processamento para a maior retenção dos compostos funcionais presentes no suco de amora.

### **3 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Os sucos de frutas vermelhas são considerados excelentes fontes de compostos bioativos, tais como, compostos fenólicos e antocianinas, que possuem propriedades benéficas para a saúde humana, devido a potencial atividade antioxidante dessas bagas. No entanto, boa quantidade desses compostos bioativos pode ser facilmente degradada quando são submetidos ao tratamento térmico convencional para a inativação microbiológica e enzimática, que conseqüentemente, leva a perda do valor nutricional e menor aceitação desses produtos. A termossonicação (calor + ultrassom) é uma técnica que tem se mostrado eficaz na manutenção da segurança do produto e na redução da rigidez do tratamento térmico aplicado no processamento dos sucos de frutas. Nesse contexto, a verificação do efeito sinérgico do ultrassom com o calor na estabilidade dos compostos bioativos, não permitiu somente esclarecer quais são os efeitos (positivos,

neutros, negativos), mas contribuir de forma segura para implantação desta técnica no processamento dos sucos de frutas pelas indústrias alimentícias.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AADIL, R. M.; ZENG, X. A.; WANG, M. S.; LIU, Z. W.; HAN, Z.; ZHANG, Z. H.; HONG, J.; JABBAR, S. A potential of ultrasound on minerals, micro-organisms, phenolic compounds and colouring pigments of grapefruit juice. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 50, n. 5, p. 1144–1150, 2015.

ABIR - Associação Brasileira das Indústrias de Refrigerantes e de Bebidas Não Alcolólicas. A Indústria de Refrigerantes e de Bebidas Não Alcolólicas. 2021. Disponível em: <<http://www.abir.org.br/>>. Acesso em: 12 mar. 2022.

ABDEL-MONEIM, A.; AL YOUSEF.; EL-TWAB, S. A.A.; ABDEL-REHEIM, E. S.; ASHOUR, M. B. Gallic acid and p-coumaric acid attenuate type 2 diabetes-induced neurodegeneration in rats. **Metabolic Brain Disease**, v. 32, n. 4, p. 1279–1286, 2017.

ABOUTIOLAS, M.; DO NASCIMENTO NUNES, C. Polyphenols, ascorbic acid and antioxidant capacity of commercial nutritional drinks, fruit juices, smoothies and teas. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 53, n. 1, p. 188–198, 2018.

ACHIR, N.; DHUIQUE-MAYER, C.; HADJAL, T.; MADANI, K.; PAIN, J. P.; DONIER, M. Pasteurization of citrus juices with ohmic heating to preserve the carotenoid profile. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 33, p. 397–404, 2016.

AHMED, S. I.; HAYAT, M. Q.; TAHIR, M.; MANSOOR, Q.; ISMAIL, M.; KECK, K.; BATES, R. B. Pharmacologically active flavonoids from the anticancer, antioxidant and antimicrobial extracts of *Cassia angustifolia* Vahl. **BMC Complementary and Alternative Medicine**, v. 16, n. 1, p. 1–9, 2016.

AHMED, T.; DAS, K. K.; UDDIN, M. A. The Microbiological Quality of Commercial Fruit Juices-Current perspectives. **Bangladesh Journal of Microbiology**, v. 35, n. 2, p. 128–133, 2019.

AIJN - Associação Europeia de Sucos de Frutas. Fruta Líquida: Relatório de Mercados, 2021. Disponível em: <[http://www.citrusbr.com/download/biblioteca/AIJN\\_Market](http://www.citrusbr.com/download/biblioteca/AIJN_Market)>. Acesso em: 12 mar. 2022.

ALBUQUERQUE, B. R.; PINELA, J.; BARROS, L.; OLIVEIRA, M. B.; FERREIRA, I. C. R. F. Anthocyanin-rich extract of jaboticaba epicarp as a natural colorant: Optimization of heat- and ultrasound-assisted extractions and application in a bakery product. **Food Chemistry**, v. 316, p. 126364, 2020.

ALP, D.; BULANTEKIN, Ö. The microbiological quality of various foods dried by applying different drying methods: a review. **European Food Research and Technology**, v. 247, n. 6, p. 1333–1343, 2021.

ALTEMIMI, A.; AZIZ, S. N.; AL-HIPHY, A. R. S.; LAKHSSASSI, N.; WATSON, D. G.; IBRAHIM, S. A. Critical review of radio-frequency (RF) heating applications in food processing. **Food Quality and Safety**, v. 3, n. 2, p. 81–91, 2019.

ALVES, L. DE L.; SANTOS, R. L.; BAYER, B. L.; DEVENS, A. L. M.; CICCHOSKI, A. J.; MENDONÇA, C. R. B. Thermosonication of tangerine juice: Effects on quality characteristics, bioactive compounds, and antioxidant activity. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 44, n. 12, p. 1–9, 2020.

ANAYA-ESPARZA, L. M.; VESLÁQUEZ-ESTRADA, R. M.; ROIG, A. X.; GARCÍA-CALINDO, H. S.; SAYAGO-AYERDI, S. G.; MONTALVO-GONZÁLEZ, E. Thermosonication: An alternative processing for fruit and vegetable juices. **Trends in Food Science and Technology**, v. 61, p. 26–37, 2017.

ANAYA-ESPARZA, L. M.; VELÁSQUEZ-ESTRADA, R. M.; SAYAGO-AYERDI, S. G.; SANCHÉZ-BURGOS, J. A.; RAMÍREZ-MARES, M. V.; RAMÍREZ-MARES, M. V.; GARCÍA-MAGAÑA, M. L.; MONTALVO-GONZÁLEZ, E. Effect of thermosonication on polyphenol oxidase inactivation and quality parameters of soursop nectar. **LWT - Food Science and Technology**, v. 75, p. 545-551, 2017.

ANSARI, M. Y.; AHMAD, N.; HAQQI, T. M. Oxidative stress and inflammation in osteoarthritis pathogenesis: Role of polyphenols. **Biomedicine and Pharmacotherapy**, v. 129, 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. ANVISA. (Brasil). **Resolução RDC nº 2, de 7 de janeiro de 2002**. Aprova o Regulamento Técnico de Substâncias Bioativas e Probióticos Isolados com Alegação de Propriedades Funcionais e ou de Saúde. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*. Brasília, 9 jan. 2002. Disponível em: <<http://e-legis.bvs.br/leisref/public/showAct.php?id=9059> &Word=>. Acesso em: 30 ago. 2019.

ARANCIBIA-AVILA, P.; NAMIESNIK, J.; TOLEDO, F.; WERNER, E.; MARTINEZ-AYALA, A.; ROCHA, N.; GALLEGOS-INFANTE, J. A.; GORINSTEIN, S. The influence of different time durations of thermal processing on berries quality. **Food Control**, v. 26, n. 2, p. 587–593, 2012.

ASTRÁIN-REDÍN, L.; CIUDAD-HIDALGO, S.; RASO, J.; CONDÓN, S.; CEBRIAN, G.; ALVAREZ, I. Application of High-Power Ultrasound in the Food Industry. **Sonochemical Reactions**, 2020.

AWAD, T. S.; MOHARRAM, H. A.; SHALTOUT, O. E.; ASKER, D.; YOUSSEF, M. M. Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food: A review. **Food Research International**, v. 48, n. 2, p. 410–427, 2012.

BADIN, E. E.; ROSSI, Y.; MONTENEGRO, M.; IBARZ, A.; RIBOTTA, P. D.; LESPINARD, A. R. Thermal processing of raspberry pulp: Effect on the color and bioactive compounds. **Food and Bioproducts Processing**, v. 124, p. 469–477, 2020.

BAKURADZE, T. et al. Antioxidative activity and health benefits of anthocyanin-rich fruit juice in healthy volunteers. **Free Radical Research**, v. 53, p. 1045–1055, 2019.

BALTACIOGLU, H. Peach juice thermosonication: investigation of PPO and POD activities, physicochemical changes and bioactive compounds and development of FT-IR-based chemometric models for quality assessment. **International Journal of Food Science and Technology**, 2021.

BARBIERI, R. L.; VIZZOTTO, M. Pequenas frutas ou frutas vermelhas. **Informe Agropecuário**, v. 33, n. 268, p. 7–10, 2012.

BATRA, N. G.; SHARMA, A.; AGARWAL, N. Evaluation of microbiological criteria and quality of packed fruit juices. **International Food Research Journal**, v. 25, n. 2, p. 459–461, 2018.

BAUMANN, A. R.; MARTIN, S. E.; FENG, H. Power ultrasound treatment of *Listeria monocytogenes* in apple cider. **Journal of Food Protection**, v. 68, n. 11, p. 2333–2340, 2005.

BRASIL. **Decreto Federal nº 2.314, de 4 de setembro de 1997**. Regulamenta a Lei nº 8.919, de julho de 1994, que dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 1997. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br>>. Acesso em 10 jun. 2019.

BRASIL. Presidência da República. **Decreto Federal nº 6.871, de 4 de junho de 2009**. Aprova o Regulamento de Registro, a Padronização, a Classificação, a Inspeção e a Fiscalização da Produção e do Comércio de Bebidas. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 4 de jun. 2009. Seção I. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br>>. Acesso em: 05 jun. 2019.

BHARGAVA, N.; MOR, R. S.; KUMAR, K.; SHARANAGAT, V S. Advances in application of ultrasound in food processing: A review. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 70, p. 105293, 2021.

BERKEL KAŞIKCI, M. High Hydrostatic Pressure Treatment of Fruit, Fruit Products and Fruit Juices: a Review on Phenolic Compounds. **Journal of Food and Health Science**, v. 2, n. 1, p. 27–39, 2015.

BERNARDI, S.; LUPATINI-MENEGOTTO, A. L.; KALSCHANE, D. L.; FLORES, E. L. M.; BITTENCOURT, P. R. S.; COLLA, E.; CANAN, C. Ultrasound: a suitable technology to improve the extraction and techno-functional properties of vegetable food proteins. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 76, n. 1, p. 1–11, 2021.

BHARDWAJ, R. L.; NANDAL, U.; PAL, A.; JAIN, S. Compuestos bioactivos y propiedades medicinales de zumos de frutas. **Fruits**, v. 69, n. 5, p. 391–412, 2014.

BI, X.; HERMAR, Y.; BALABAN, M. O.; LIAO, X. The effect of ultrasound on particle size, color, viscosity and polyphenol oxidase activity of diluted avocado puree. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 27, p. 567–575, 2015.

BROWNMILLER, HOWARD, L. R.; PRIOR, R. L. Processing and storage effects on monomeric anthocyanins, percent polymeric color, and antioxidant capacity of processed blueberry products. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 73, n. 5, p. 72–79, 2008.

BULUT, S.; KARATZAS, K. A. G. Inactivation of *Escherichia coli* K12 in phosphate buffer saline and orange juice by high hydrostatic pressure processing combined with freezing. **LWT - Food Science Technology**, v. 136, n. 1, p. 110313, 2021.

BUCKOW, R.; KASTELL, A.; TEREFE, N. S.; VERSTEEG, C. Pressure and temperature effects on degradation kinetics and storage stability of total anthocyanins in blueberry juice. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 58, n. 18, p. 10076–10084, 2010.

BRUGOS, A. F. O.; GUT, J. A. W.; TADINI, C. C. Inactivation kinetics of pectin methyl esterase in the microwave-assisted pasteurization of orange juice. **LWT - Food Science Technology**, v. 97, p. 603–609, 2018.

CALEJA, C.; RIBEIRO, A.; BARREIRO, M. F.; FERREIRA, I. C. R. P. Phenolic compounds as nutraceuticals or functional food ingredients. **Current Pharmaceutical Design**, v. 23, p. 2787, 2017.

CANUTO, G. A. B.; XAVIER, A. A. O.; NEVES, L. C.; BENASSI, M. T. Caracterização físico-química de polpas de frutos da amazônia e sua correlação com a atividade anti-radical livre. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, n. 4, p. 1196–1205, 2010.

CAO, H.; SAROGLU, O.; KARADAG, A.; DIACONEASA, Z.; ZOCCATELLI, G.; JUNIOR, C. A. C.; GONZALEZ-AGUILAR, G. A.; OU, J.; BAI, W.; ZAMAIOLI, C. M.; FREITAS, L. A. P.; SHPIGELMAN, A.; CAMPELO, P. H.; CAPANOGLU, E.; HIL, C. L.; JAFARI, S. M.; QI, Y.; LIAO, P.; WANG, M.; ZOU, L.; BOURKE, P.; SIMAL-GANDARA, J.; XIAO, J. Available technologies on improving the stability of polyphenols in food processing. **Food Frontiers**, v. 2, n. 2, p. 109–139, 2021.

CARBONELL-CAPELLA, J. M.; BUNIOWSKAM, M.; ESTEVE, M. J.; FRÍGOLA, A. Effect of *Stevia rebaudiana* addition on bioaccessibility of bioactive compounds and antioxidant activity of beverages based on exotic fruits mixed with oat following simulated human digestion. **Food Chemistry**, v. 184, p. 122–130, 2015.

CARVALHO, B. **Amora-Silvestre**, 2019. Disponível em: <<https://matonoprato.com.br/2019/10/10/amora-silvestre/>>. Acesso em: 24 mai. 2022.

CERLETTI, C.; CURTIS, A.; BRACONE, F.; DIGESU, C.; MORGANTI, A. G.; LACOVIELLO, L.; GAETANO, G.; DONATI, M. B. Dietary anthocyanins and health: data from FLORA and ATHENA EU projects. **British Journal of Clinical Pharmacology**, v. 83, n. 1, p. 103–106, 2017.

CERVANTES-ELIZARRARÁS, A.; PILONO-MARTINI, J.; RAMÍREZ-MORENO, E.; ALANÍS-GARCÍA, E.; GUEMES-VERA, N.; GÓMEZ-ALDAPA, C. A.; ZAFRA-

ROJAS, Q. Y.; CRUZ-CANSINO, N. S. Enzymatic inactivation and antioxidant properties of blackberry juice after thermoultrasound: Optimization using response surface methodology. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 34, p. 371–379, 2017.

CHAKRABORTY, S.; GHAG, S.; BHALERAO, P. P.; GOKHALE, J. S. The potential of pulsed light treatment to produce enzymatically stable Indian gooseberry (*Emblica officinalis Gaertn.*) juice with maximal retention in total phenolics and vitamin C. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 44, n. 12, p. 1–12, 2020.

CHANTAPAKUL, T.; TAO, W.; CHEN, W.; LIAO, X.; DING, T.; LIU, D. . Manothermosonication: Inactivation and effects on soymilk enzymes. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 64, 2020.

CHEMAT, F.; ROMBAUT, N.; SICAIRE, A. G.; MEULLEMIESTRE, A.; FABIANO-TIXIER, A. S.; ABERT-VIAN, M. Ultrasound assisted extraction of food and natural products. Mechanisms, techniques, combinations, protocols and applications. A review. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 34, p. 540–560, 2017.

CHEMAT, F.; ZILL-E-HUMA; KHAN, M. K. Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 18, n. 4, p. 813–835, 2011.

CHEN, Y.; YU, L. J.; RUPASINGHE, H. V. Effect of thermal and non-thermal pasteurisation on the microbial inactivation and phenolic degradation in fruit juice: A mini-review. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 93, n. 5, p. 981–986, 2013.

CITRUSBR - Associação Nacional dos Exportadores de Sucos Cítricos. Disponível em: <<http://www.citrusbr.com.br>>. Acesso em: 10 abr. 2020.

CHITGAR, M. F.; AALAMI, M.; KADKHODAEI, R.; MAGHSOUDLOU, Y.; MILANI, E. Effect of thermosonication and heat treatments on the phytochemical stability of barberry juice co-pigmented with ferulic acid and licorice extract. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 50, p. 102-111, 2018.

CHOW, Y. N.; LOUARME, L.; BONAZZI, A.; NICOLAS, J.; BILLAUD, C. Apple polyphenoloxidase inactivation during heating in the presence of ascorbic acid and chlorogenic acid. **Food Chemistry**, v. 129, n. 3, p. 761–767, 2011.

COSME, F.; PINTO, T.; AIRES, A.; MORAIS, M. C.; BACELAR, E.; ANJOS, R.; FERREIRA-CARDOSO, J.; OLIVEIRA, I.; VILELA, A.; GONÇALVES, B. Red Fruits Composition and Their Health Benefits—A Review. **Foods**, v. 11, n. 5, 2022.

CURI, P. N.; ALMEIDA, A. B.; TAVARES, B. S.; NUNES, C. A.; PIO, R.; PASQUAL, M.; SOUZA, R. Optimization of tropical fruit juice based on sensory and nutritional characteristics. **Food Science and Technology**, v. 37, n. 2, p. 308–314, 2017.

DANGLES, O.; FENGER, J. A. The chemical reactivity of anthocyanins and its consequences in food science and nutrition. **Molecules**, v. 23, n. 8, 2018.

DANTAS, A. M.; BATISTA, J. D. F.; LIMA, M. S.; FERNANDES, F. A. N.; RODRIGUES, S.; MAGNANI, M.; SILVA.; BORGES, G. S. C. Effect of cold plasma on açai pulp: Enzymatic activity, color and bioaccessibility of phenolic compounds. **LWT - Food Science and Technology**, v. 149, 2021.

DASH, D. R.; PATHAK, S. S.; PRADHAN, R. C. Improvement in novel ultrasound-assisted extraction technology of high value-added components from fruit and vegetable peels. **Journal of Food Process Engineering**, v. 44, n. 4, p. 1–11, 2021.

DE ALBUQUERQUE, B. R.; HELENO, S. A.; OLIVEIRA, M. B. P. P.; BARROS, L.; FERREIRA, I. Phenolic compounds: Current industrial applications, limitations and future challenges. **Food and Function**, v. 12, n. 1, p. 14–29, 2021.

DE COMAPA, S.; CARVALHO, L. M. S.; LAMARÃO, C. V.; SOUZA, F. D. C. A.; AGUIAR, J. P. L.; SILVA, L. S.; MAR, J. M.; SANCHES, E. A.; SANTOS, F.; BEZERRA, J. A.; CAMPELO, P. H. Microwave processing of camu-camu juices: Physicochemical and microbiological parameters. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 43, n. 7, p. 1–11, 2019.

DE SOUZA, V. R.; PEREIRA, P. A. P.; SILVA, T. L. T.; LIMA, C. O.; PIO, R.; QUEIROZ, F. Determination of the bioactive compounds, antioxidant activity and chemical composition of Brazilian blackberry, red raspberry, strawberry, blueberry and sweet cherry fruits. **Food Chemistry**, v. 156, p. 362–368, 2014.

DE SOUZA, V. R.; PEREIRA, P. A. P.; TEIXEIRA, T. R.; SILVA, T. L. T. S.; P, R.; QUEIROZ, F. Influence of processing on the antioxidant capacity and bioactive compounds in jellies from different blackberry cultivars. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 50, n. 7, p. 1658–1665, 2015.

DEL RIO, D.; RODRIGUEZ-MATEOS, A.; SPENCER, J. P. E.; TOGNOLINI, M.; BORGES, G.; CROZIER, A. Dietary (poly)phenolics in human health: Structures, bioavailability, and evidence of protective effects against chronic diseases. **Antioxidants and Redox Signaling**, v. 18, n. 14, p. 1818–1892, 2013.

DI VITTORI, L.; MAZZONI, L.; BATTINI, M.; MEZZETTI, B. Pre-harvest factors influencing the quality of berries. **Scientia Horticulturae**, v. 233, p. 310–322, 2018.

DOAN, K. N.; LAI, D. Q.; LE, P. T. K.; LE, T. N. Inactivation of pectin Methylsterase and Lactobacillus Plantarum by ohmic heating in pomelo juice. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 56, n. 4, p. 1987–1995, 2021.

DOLAS, R.; SARAVANAN, C.; KAUR, B. P. Emergence and era of ultrasonic's in fruit juice preservation: A review. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 58, p. 104609, 2019.

DÜNDAR, B.; AĞÇAM, E.; AKYILDIZ, A. Optimization of thermosonication conditions for cloudy strawberry nectar with using of critical quality parameters. **Food Chemistry**, v. 276, p. 494–502, 2019.

DURAZZO, A.; CALAZZO, E.; LUCARINI, M.; CICALA, C.; IZZO, A. A. E. Polyphenols: a concise overview of chemistry, occurrence and human health. **Phytotherapy Research**, v. 33, n. 9, p. 2221-2243, 2019.

DZIADEK, K.; KOPEC, A.; DRÓZDZ, T.; KIELBASA, P.; OSTAFIN, M.; BULSKI, K.; OZIEMBLOWSKI, M. Effect of pulsed electric field treatment on shelf life and nutritional value of apple juice. **Journal of Food Science and Technology**, v. 56, n. 3, p. 1184–1191, 2019.

DZIAŁO, M.; MIERZIAK, J.; KORZUN, U.; PREISNER, M.; SZOPA, J.; KULMA, A. The potential of plant phenolics in prevention and therapy of skin disorders. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 17, n. 2, p. 1–41, 2016.

ENGMANN, F. N.; MA, Y. K.; SANFUL, R. The impact of high hydrostatic pressure treatment on anthocyanins, colour, microorganisms, and enzyme activity of mulberry (*Morus nigra*) juice. **International Food Research Journal**, v. 27, n. 1, p. 88–95, 2020.

ERNAWATI.; SUPRAYITNO, E.; HARDOKO.; YANUHAR, U. Extraction of bioactive compounds fruit from *Rhizophora mucronata* using sonication method. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 236, n. 1, 2019.

ESPÍN, J. C.; SOLER-RIVAS, C.; WICHERS, H. J.; GARCIA-VIGUERA, C. Anthocyanin-based natural colorants: A new source of antiradical activity for foodstuff. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 48, n. 5, p. 1588–1592, 2000.

FAN, K.; WU, J.; CHEN, L. Ultrasound and its combined application in the improvement of microbial and physicochemical quality of fruits and vegetables: A review. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 80, p. 105838, 2021.

FARAONI, A. S.; RAMOS, A. M.; GUEDES, D. B.; OLIVEIRA, A. N.; LIMA, T. H. S. F.; SOUSA, P. H. M. Desenvolvimento de um suco misto de manga, goiaba e acerola utilizando delineamento de misturas. **Ciencia Rural**, v. 42, n. 5, p. 911–917, 2012.

FARHADI, C. M.; AALAMI, M.; KADKHODAEI, R.; MAGHSOUDLOU, Y.; MILANI, E. Effect of thermosonication and thermal treatments on phytochemical stability of barberry juice copigmented with ferulic acid and licorice extract. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 50, p. 102–111, 2018.

FRACKIEWICZ, J. The nutritional and health value of fruit, vegetable and fruit-vegetable juices. **Advances in Food Processing Technology**, 2021.

FELLOWS, P. J. (2009). **Tecnologia do Processamento de Alimentos: Princípios e Prática**. 2ª ed.

FIBIGR, J.; ŠATÍNSKÝ, D.; SOLICH, P. A UHPLC method for the rapid separation and quantification of anthocyanins in acai berry and dry blueberry extracts. **Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis**, v. 143, p. 204–213, 2017.

GALLO, M.; FERRARA, L.; NAVIGLIO, D. Application of ultrasound in food science and technology: A perspective. **Foods**, v. 7, n. 10, p. 1–18, 2018.

GANCEL, A. L.; FENEUIL, A.; ACOSTA, O.; PÉREZ, A. M.; VAILLANT, F. Impact of industrial processing and storage on major polyphenols and the antioxidant capacity of tropical highland blackberry (*Rubus adenotrichus*). **Food Research International**, v. 44, n. 7, p. 2243–2251, 2011.

GARCÍA CARRILLO, M.; FERRARIO, M.; SCHENK, M.; GUERRERO, S. Effect of an UV-C Light-Based Hurdle Strategy for Carrot-Orange Juice Processing on *Candida parapsilosis* Inactivation and Physiological State: Impact on Juice Sensory and Physicochemical Quality Parameters. **Food and Bioprocess Technology**, v. 13, n. 11, p. 1954–1967, 2020.

GASPARRINI, M.; CIANCIOSI, D.; FORBES, T.; QUILES, J. L. The efficacy of berries against lipopolysaccharide-induced inflammation: A review. **Trends in Food Science and Technology**, v. 117, p. 74–91, 2021.

GÓMEZ-LÓPEZ, V. M.; PATARO, G.; TIWARI, B.; GOZZI, M.; MEIRELES, M. A. A.; WANG, S.; GUAMIS, B.; PAN, Z.; RAMASWAMY, H.; SASTRY, S.; KUNTZ, F.; CULLEN, P. J.; VDYARTHI, S. K.; BOLING.; QUEVEDO, J. M.; STRASSER, A.; VIGNALI, G.; VEGGI, P. C.; GERVILLA, R.; KOTILAINEN, H. M.; PELACCI, M.; VIGANÓ, J.; MORATA, A. Guidelines on reporting treatment conditions for emerging technologies in food processing. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, p. 1–25, 2021.

GÓMEZ-MAQUEO, A.; ESCOBEDO-AVELLANEDA, Z.; WELTI-CHANES, J. Phenolic compounds in mesoamerican fruits—Characterization, health potential and processing with innovative technologies. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 21, n. 21, p. 1–41, 2020.

GORZYNIK-DEBICKA, M.; PRZYCHODZEN, P.; CAPPELLO, F.; KUBAN-JANKOWSKA, A.; GAMMAZZA, A. M.; KNAP, N.; WOZNIAK, M.; GORSKA-PONIKOWSKA, M. Potential health benefits of olive oil and plant polyphenols. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 19, n. 3, 2018.

GUIMARÃES, J. T.; SCUDINO, H.; RAMOS, G. L. P. A.; OLIVEIRA, G. A. R.; MARGALHO, L. P.; COSTA, L. E. O.; FREITAS, M. Q.; DUARTE, C. K. H.; SANTÁNA, A. S.; CRUZ, A. G. 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.

HAGER, T. J.; HOWARD, L. R.; PRIOR, R. L. Processing and storage effects on monomeric anthocyanins, percent polymeric color, and antioxidant capacity of processed blackberry products. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 56, n. 3, p. 689–695, 2008.

HÄKKINEN, S. H.; KARENLAMPI, S. O.; MYKKANEH, H. M.; TORRONEM, R. Influence of domestic processing and storage on flavonol contents in berries. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 48, n. 7, p. 2960–2965, 2000.

HAMINIUK, C. W. I.; MACIEL, G. M.; PLATA-OVIEDO, M. S. V.; PERALTA, R. M. Phenolic compounds in fruits - an overview. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 47, n. 10, p. 2023–2044, 2012.

HASHEMI MOOSAVI, M.; KHANEGHAH, A. M.; JAVANMARDI, F.; HADIDI, M.; HADIAN, A.; JAFARZADEH, S.; HUSEYN, E.; SANTANA, A. A review of recent advances in the decontamination of mycotoxin and inactivation of fungi by ultrasound. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 79, p. 105755, 2021.

HASHEMI, S. M. B.; KHANEGHAH, A. M.; FIDELIS, M.; GRANATO, D. Effects of pulsed thermosonication treatment on fungal growth and bioactive compounds of *Berberis vulgaris* juice. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 53, n. 7, p. 1589–1596, 2018.

HEMACHANDRAN, H.; ANANTHARAMAN, A.; MOHAN, S.; MOHAN, G.; KUMAR, D. T.; DEY, D.; KUMAR, D.; DEY, P.; CHOUDHURY, A.; DOSS, C. G. P.; RAMAMOORTHY, S. Unraveling the inhibition mechanism of cyanidin-3-sophoroside on polyphenol oxidase and its effect on enzymatic browning of apples. **Food Chemistry**, v. 227, p. 102–110, 2017.

HIDALGO, G. I.; ALMAJANO, M. P. Berries: antioxidant extraction, phenolic content and determination of radical scavenging: a review. **Antioxidants**, v. 6, n. 1, p. 7, 2017.

HORST, M. A.; LAJOLO, F. M. Biodisponibilidade de compostos bioativos de alimentos. In: Cozzolino, S. M. S. (Org). **Biodisponibilidade de nutrientes**. 2. ed. São Paulo: Manole, 2007, v. 1, p. 697-731.

ILLERA, A. E.; SANZ, M. T.; BENITO-ROMÁN, O.; VARONA, S.; BELTRÁN, S.; MELGOSA, R.; SOLAESA, A. G. Effect of thermosonication batch treatment on enzyme inactivation kinetics and other quality parameters of cloudy apple juice. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 47, p. 71–80, 2018.

ILLERA, A. E.; CHAPLE, S.; SANZ, M. T.; NG, S.; LU, P.; JONES, J.; CAREY, E.; BOURKE, P. Effect of cold plasma on polyphenol oxidase inactivation in cloudy apple juice and on the quality parameters of the juice during storage. **Food Chemistry**, v. 3, 2019.

JANG, J. H.; MOON, K. D. Inhibition of polyphenol oxidase and peroxidase activities on fresh-cut apple by simultaneous treatment of ultrasound and ascorbic acid. **Food Chemistry**, v. 124, n. 2, p. 444–449, 2011.

JARA-PALACIOS, M. J.; SANTISTEBAN, A.; GORDILLO, B.; HERNANZ, D.; HEREDIA, F. J.; ESCUDERO-GILETE, M. L. Comparative study of red berry pomaces (blueberry, red raspberry, red currant and blackberry) as source of antioxidants and pigments. **European Food Research and Technology**, v. 245, n. 1, p. 1–9, 2019.

JIAO, Y.; KILMMARTIN, P. A.; FAN, M.; QUEK, S. Y. Assessment of phenolic contributors to antioxidant activity of new kiwifruit cultivars using cyclic voltammetry combined with HPLC. **Food Chemistry**, v. 268, p. 77–85, 2018.

JIMÉNEZ-SÁNCHEZ, C.; LOZANO-SÁNCHEZ, J.; MART, N.; SAURA, D.; VALERO, M.; SEGURA-CARRETERO, A.; FERNÁNDEZ, -GUTIÉRREZ, A. Characterization of polyphenols, sugars, and other polar compounds in persimmon juices ~~produced~~ under different technologies and their assessment in terms of compositional variations. **Food Chemistry**, v. 182, p. 282–291, 2015.

KATARIYA, P.; ARYA, S. S.; PANDIT, A. B. Novel, non-thermal hydrodynamic cavitation of orange juice: Effects on physical properties and stability of bioactive compounds. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 62, p. 102364, 2020.

KENT, K.; CHARLTON, K.; ROODENRYS, S.; BATTEERHAM, M.; POTTER, J.; TRAYNOR, V.; GILBERT, H.; MORGAN, O.; RICHARDS, R. Consumption of anthocyanin-rich cherry juice for 12 weeks improves memory and cognition in older adults with mild-to-moderate dementia. **European Journal of Nutrition**, v. 56, n. 1, p. 333–341, 2017.

KHAIRE, R. A.; THORAT, B. N.; GOGATE, P. R. Applications of ultrasound for food preservation and disinfection: A critical review. **Journal of Food Processing and Preservation**, p. 1–25, 2021.

KHAN, M. K.; AHMAD, K.; HASSAN, S.; IMRAN, M.; AHMAD, N.; XU, C. Effect of novel technologies on polyphenols during food processing. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 45, p. 361–381, 2018.

KHANDPUR, P.; GOGATE, P. R. Effect of new ultrasound-based processing on the nutritional quality of different fruit and vegetable juices. **Ultrasonic Sonochemistry**, v. 27, p. 125-136, 2015.

KHOO, H. E.; AZLANN, A.; TANG, S. T.; LIM, M. Anthocyanidins and anthocyanins: colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits. **Food & Nutrition Research**, v. 61, n. 1, p. 1361779, 2017.

KHOURYIEH, H. A. Novel and emerging technologies used by the U.S. food processing industry. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 67, p. 102559, 2021.

KIANG, W. S.; BHAT, R.; ROSMA, A.; CHENG, L. H. Effects of thermosonication on the fate of Escherichia coli O157: H7 and Salmonella Enteritidis in mango juice. **Letters in Applied Microbiology**, v. 56, n. 4, p. 251–257, 2013.

KRUSZEWSKI, B.; ZAWADA, K.; KARPIŃSKI, P. Impact of high-pressure homogenization parameters on physicochemical characteristics, bioactive compounds content, and antioxidant capacity of blackcurrant juice. **Molecules**, v. 26, n. 6, 2021.

KUBO, M. T.; SIGUEMOTO, E. S.; FUNCIA, E. S.; AUGUSTO, P. E. D.; CURET, S.; BOILLEREAUX, L.; SASTRY, S. K.; GUT, J. A. W. Non-thermal effects of microwave and ohmic processing on microbial and enzyme inactivation: a critical review. **Current Opinion in Food Science**, v. 35, p. 36–48, 2020.

KUBOTA, M.; ISHIKAWA, C.; SUGIYAMA, Y.; FUKUMOTO, S.; MIYAGI, T.; KUMAZAWA. Anthocyanins from the fruits of *Rubus croceacanthus* and *Rubus sieboldii*, wild berry plants from Okinawa, Japan. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 28, n. 2, p. 179–182, 2012.

KUMAR, N.; GOEL, N. Phenolic acids: Natural versatile molecules with promising therapeutic applications. **Biotechnology Reports**, v. 24, p. 00370, 2019.

KUMARI, B.; TIWARI, B. K.; HOSSAIN, M. B.; RAI, D. K.; BRUNTON, N. P. Ultrasound-assisted extraction of polyphenols from potato peels: profiling and kinetic modelling. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 52, n. 6, p. 1432–1439, 2017.

LAFARGA, T.; RUIZ-AGUIRRE, I.; ABADIAS, M.; VIÑAS, I.; BOBO, G.; AGUILÓ-AGUAYO, I. Effect of Thermosonication on the Bioaccessibility of Antioxidant Compounds and the Microbiological, Physicochemical, and Nutritional Quality of an Anthocyanin-Enriched Tomato Juice. **Food and BioProcess Technology**, v. 12, p. 147.157, 2019.

LAVEFVE, L.; HOWARD, L. R.; CARBONERO, F. Berry polyphenols metabolism and impact on human gut microbiota and health. **Food and Function**, v. 11, n. 1, p. 45–65, 2020.

LEE, H.; RENNAKER, C.; WROLSTAD, R. E. Effects of pulsed electric field and thermal treatments on microbial reduction, volatile composition, and sensory properties of orange juice, and their characterization by a principal component analysis. **Applied Sciences (Switzerland)**, v. 11, n. 1, p. 1–11, 2021.

LIU, F.; WANG, Y.; LI, R.; BI, X.; LIAO, X. Effects of high hydrostatic pressure and high temperature short time on antioxidant activity, antioxidant compounds and color of mango nectars. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 21, p. 35–43, 2014.

LOBO, V.; PATIL, A.; PHATAK, A.; CHANDRA, N. Free radicals, antioxidants and functional foods: Impact on human health. **Pharmacognosy Reviews**, v. 4, n. 8, p. 118–126, 2010.

LORENZO, J. M.; PATEIRO, M.; DOMINGUEZ, R.; BARBA, F. J.; KOVACEVIC, D. B.; SHPIGELMAN, A.; GRANATO, G.; FARNCO, D. Berries extracts as natural antioxidants in meat products: A review. **Food Research International**, v. 106, p. 1095–1104, 2018.

MAKILA, L.; LAAKSONEN, O.; KALLIO, H.; YANG, B. Effect of processing technologies and storage conditions on the stability of blackcurrant juices with a special focus on phenolic compounds and sensory properties. **Food Chemistry**, v. 221, p. 422–430, 2017.

MAKROO, H. A.; RASTOGI, N. K.; SRIVASTAVA, B. Ohmic heating assisted inactivation of enzymes and microorganisms in foods: A review. **Trends in Food Science and Technology**, v. 97, p. 451–465, 2020.

MALTA, L. G.; GHIRALDINI, F. G.; REIS, R.; OLIVEIRA, M. V. In vivo analysis of antigenotoxic and antimutagenic properties of two Brazilian Cerrado fruits and the identification of phenolic phytochemicals. **Food Research International**, v. 49, n. 1, p. 604–611, 2012.

MANZOOR, M. F.; XU, B.; KHAN, S.; SHUKAT, R.; AHMAD, N.; IMRAN, M.; REHMAN, A.; KARRAR, E.; AADIL, R. M.; KORMA, S. A. Impact of high-intensity thermosonication treatment on spinach juice: Bioactive compounds, rheological, microbial, and enzymatic activities. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 78, p. 105740, 2021.

MARSZAŁEK, K.; WOZNIAK, L.; SKAPSKA, S.; MITEK, M. High pressure processing and thermal pasteurization of strawberry purée: quality parameters and shelf life evaluation during cold storage. *Journal of Food Science and Technology*, v. 54, n.3, p. 832–841, 2017.

MARÇO, P. H.; POPPI, R. J.; SCARMINIO, I. S. Analytical procedures for identifying anthocyanins in natural extracts. **New Chemistry**, v. 31, 5, 2008.

MELLO, B. C. B. S.; PETRUS, J. C. C. .; DUPAS, M.; HUBINGER. Concentration of flavonoids and phenolic compounds in aqueous and ethanolic extracts of propolis by nanofiltration. **Food Engineering Magazine**, v. 96, n.4, p. 533-539, 2010.

MENEGOTTO, F. **Ondas Sonoras**, 2014.

MILLER, F. A.; SILVA, C. L. M. **Efeitos do tratamento térmico em sucos de frutas**. In: RODRIGUES, S.; FAN, F. *Avanços nas tecnologias de processamento de frutas*. Flórida, p. 363 - 83, 2012.

MORAES, D. P.; LOZANO-SANCHEZ, J.; MACHADO, M. L.; LAZZARETTI, M.; LEYVA-JIMENEZ, F. J. J.; SILVEIRA, T.; RIES, E. F.; BARCIA, M. T. Characterization of a new blackberry cultivar BRS Xingu: Chemical composition, phenolic compounds, and antioxidant capacity in vitro and in vivo. **Food Chemistry**, v. 322, p. 126783, 2020.

MORALES-DE LA PEÑA, M.; WELTI-CHANES, J.; MARTÍN-BELLOSO, O. Novel technologies to improve food safety and quality. **Current Opinion in Food Science**, v. 30, p. 1–7, 2019.

MOREIRA-ARAÚJO, R. S. R.; BARROS, N. V. A.; PORTO, R. G. C. L.; BRANDÃO, A. C. A. S.; LIMA, A. Bioactive compounds and antioxidant activity three fruit species from the Brazilian Cerrado. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 41, n. 3, p. 0–2, 2019.

MÜLLER, W. A.; PASIN, M. V. A.; SARKIS, J. R.; MARCZAK, L. D. F. Effect of pasteurization on *Aspergillus fumigatus* in apple juice: Analysis of the thermal and electric effects. **International Journal of Food Microbiology**, v. 338, p. 108993, 2021.

NADEEM, M.; UBAID, N.; QURESCHI, T. M.; MUNIR, M.; MEHMOOD, A. Effect of ultrasound and chemical treatment on total phenol, flavonoids and antioxidant

properties in carrot and grape juice mixture during storage. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 45, p. 1-6, 2018.

NAKONECHNY, F.; NISNEVITCH, M. Different Aspects of Using Ultrasound to Combat Microorganisms. **Advanced Functional Materials**, v. 31, n. 44, p. 1–24, 2021.

NAYAK, P. K.; CHANDRASEKAR, C. M.; KESAVAN, R. K. Effect of thermosonication on the quality attributes of star fruit juice. **Journal of Food Process Engineering**, v. 41, n. 7, p. 1–10, 2018.

NEHA, K.; HAIDER, M. R.; PATHAK, A.; YAR, M, S. Medicinal perspectives on antioxidants: a review. **European Journal of Medicinal Chemistry**, v. 178, p. 687-704, 2019.

NEMZER, B. V.; KALITA, D.; YASHIN, A. Y.; YASHIN, Y. I. Bioactive Compounds, Antioxidant Activities, and Health Beneficial Effects of Selected Commercial Berry Fruits: A Review. **Journal of Food Research**, v. 9, n. 5, 2020.

OLADUNJOYE, A. O.; ADEBOYEJO, F. O.; PKEKUNBI, T. A.; ADERIBIGBE, R. Effect of thermosonication on quality attributes of hog plum (*Spondias mombin L.*) juice. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 70, p. 105316, 2021.

OLIVEIRA, E. N. A.; SANTOS, D. C.; SANTOS, Y. M. G.; ALBUQUERQUE, E. M. B.; LEMOS, D. M.; MARTINS, J. N.; FRAGOSO, S. P. **Tecnologia e processamento de frutas e hortaliças**. Editora Athena, p. 234, 2015.

ORDÓÑEZ-SANTOS, L. E.; MARTÍNEZ-GIRÓN, J.; ARIAS-JARAMILLO, M. E. 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.

ORTEGA-RIVAS, E. (2012). **Ultrasound in Food Preservation**. *Non-thermal Food Engineering Operations*, p. 258-269.

PANIWNYK, L. (2014). **Application of ultrasound**. *Emerging Technologies for Food Processing*. 2 ed., p. 268-288.

PATRAS, A.; BRUNTON, N. P.; O'DONNELL, C.; TIWARI, B. K. Effect of thermal processing on anthocyanin stability in foods; mechanisms and kinetics of degradation. **Trends in Food Science and Technology**, v. 21, n. 1, p. 3–11, 2010.

PERERA, C. O.; ALZHRANI, M. A. J. Ultrasound as a pre-treatment for extraction of bioactive compounds and food safety: A review. **LWT - Food Science and Technology**, v. 142, p. 111114, 2021.

PÉREZ-GRIJALVA, B.; HERRERA-SOTERO, M.; MORA-ESCOBEDO, R.; ZEBADÚA-GARCÍA, J. C.; SILVA-HERNÁNDEZ, E.; OLIART-ROS, R.; PÉREZ-CRUZ, C.; GUZMÁN-GERÓNIMO, R. Effect of microwaves and ultrasound on bioactive compounds and microbiological quality of blackberry juice. **LWT - Food Science and Technology**, v. 87, p. 47–53, 2018.

PETRUZZI, L.; CAMPANIELLO, D.; SPERANZA, B.; CORBO, M. R.; SINIGAGLIA, M.; BEVILACQUA, A. Thermal Treatments for Fruit and Vegetable Juices and Beverages: A Literature Overview. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 16, n. 4, p. 668–691, 2017.

QI, Q.; CHU, M.; YU, X.; XIE, Y.; LI, Y.; DU, D. Anthocyanins and Proanthocyanidins: Chemical Structures, Food Sources, Bioactivities, and Product Development. **Food Reviews International**, p. 1–29, 2022.

QUESADA-MORUÁ, M. S.; HIDALGO, O.; MORERA, J.; ROJAS, G.; PÉREZ, A. M.; VAILLANT, F.; FONSECA, L. Hypolipidaemic, hypoglycaemic and antioxidant effects of a tropical highland blackberry beverage consumption in healthy individuals on a high-fat, high-carbohydrate diet challenge. **Journal of Berry Research**, v. 10, n. 3, p. 459–474, 2020.

RAJAURIA, G.; TIWARI, B. K. **Fruit Juices: An Overview**. Elsevier Inc., 2018.

REQUE, P. M.; STECKERT, E. V.; SANTOS, F. T.; DANELLI, D.; JABLONSKI, A.; FLORES, S. H.; RECH, R.; RIOS, A. O.; JONG, E. V. Blueberry heat processing and its effect on its physicochemical and bioactive properties. **Journal of Food Process Engineering**, v. 30, n. 6, p. 564,572, 2016.

REZAYIAN, M.; NIKNAM, V.; EBRAHIMZADEH, H. Oxidative damage and antioxidative system in algae. **Toxicology Reports**, v. 6, p. 1309–1313, 2019.

RIBEIRO, M. M.; VALDRAMIDIS, V. P.; NUNES, C. A. N.; SOUZA, V. R. Synergistic effect of thermosonication to reduce enzyme activity in coconut water. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 41, p. 404-410, 2017.

ROBINSON, J. A.; BLERWIRTH, J. E.; GREENSPAN, P.; PEGG, R. B. Blackberry polyphenols: Composition, quantity, and health impacts from in vitro and in vivo studies. **Journal of Food Bioactives**, v. 9, p. 40–51, 2020.

SALEHI, F. Physicochemical characteristics and rheological behaviour of some fruit juices and their concentrates. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 14, n. 5, p. 2472–2488, 2020.

SARKIS, J. R.; JAESCHKE, D. P.; MERCALI, G. D.; TESSARO, I. C.; MARCZAK, L. D. F. Degradation kinetics of anthocyanins in blackberry pulp during ohmic and conventional heating. **International Food Research Journal**, v. 26, n. 1, p. 87–97, 2019.

SCHIASSI, M. C. E. V.; LAGO, A. M. T.; SOUZA, V. R.; MELES, J. S.; RESENDE, J. V.; QUEIROZ, F. Mixed fruit juices from Cerrado: Optimization based on sensory properties, bioactive compounds and antioxidant capacity. **British Food Journal**, v. 120, n. 10, p. 2334-2348, 2018a.

SCHIASSI, M. C. E. V.; SOUZA, V. R.; LAGO, A. M. T.; CAMPOS, L. G.; QUEIROZ, F. Fruits from the Brazilian Cerrado region: Physico-chemical characterization, bioactive compounds, antioxidant activities, and sensory evaluation. **Food Chemistry**, v. 245, p. 305–311, 2018b.

SCHULZ, M.; CHIM, J. F. Nutritional and bioactive value of Rubus berries. **Food Bioscience**, v. 31, 2019.

SCUDINO, H.; SILVA, E. K.; GOMES, A.; GUIMARÃES, J. T.; CUNHA, R. L.; SANTANA, A. S.; MEIRELES, A. M. A.; CRUZ, A. G. Ultrasound stabilization of raw milk: Microbial and enzymatic inactivation, physicochemical properties and kinetic stability. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 67, p. 105185, 2020.

SEERAM, N. P. Berry Fruits: Compositional Elements, Biochemical Activities, and the Impact of Their Intake on Human Health, Performance, and Disease. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 56, n. 3, p. 627–629, 2008.

SEERAM, N. P.; BOURQUIN, L. D.; NAIR, M. G. Degradation products of cyanidin glycosides from tart cherries and their bioactivities. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 49, n. 10, p. 4924–4929, 2001.

SENTHILNATHAN, K.; MUTHUSAMY, S. Process optimization & kinetic modeling study for fresh microgreen (*Alternanthera sessilis*) juice treated under thermosonication. **Preparative Biochemistry and Biotechnology**, v. 52, n. 4, p. 433–442, 2022.

SEPTEMBRE-MALATERRE, A.; REMIZE, F.; POUCHERET, P. Fruits and vegetables, as a source of nutritional compounds and phytochemicals: Changes in bioactive compounds during lactic fermentation. **Food Research International**, v. 104, p. 86–99, 2018.

SEYYEDEBRAHIMI, S. S.; KHODABANDEHLOO, H.; NASLI, E.; MESHKANI, R. The effects of resveratrol on markers of oxidative stress in patients with type 2 diabetes: a randomized, double-blind, placebo-controlled clinical trial. **Acta Diabetologica**, v. 55, n. 4, p. 341–353, 2018.

SHEN, N.; WANG, T.; GAN, Q.; LIU, S.; WANG, LI.; JIN, B. Plant flavonoids: Classification, distribution, biosynthesis, and antioxidant activity. **Food Chemistry**, v. 383, p. 132531, 2022.

SHINWARI, K. J.; RAO, P. S. Stability of bioactive compounds in fruit jam and jelly during processing and storage: A review. **Trends in Food Science and Technology**, v. 75, p. 181–193, 2018.

SIDHU, J. S.; ZAFAR, T. A. Bioactive compounds in banana fruits and their health benefits. **Food Quality and Safety**, v. 2, n. 4, p. 183–188, 2018.

SINGLA, M.; SIT, N. Application of ultrasound in combination with other technologies in food processing: A review. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 73, p. 105506, 2021.

SKROVANKOVA, S.; SUMCZYNSKI, D.; MLCEK, L.; JURIKOVA, T.; SOCHOR, J. Bioactive compounds and antioxidant activity in different types of berries. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 16, n. 10, p. 24673–24706, 2015.

SOARES, E. D. R.; MONTEIRO, E. B.; SILVA, R. C.; BATISTA, A.; SOBREIRA, F.; MATTOS, T.; COSTA, C. A.; DALEPRANE, J. B. Compostos bioativos em alimentos, estresse oxidativo e inflamação: uma visão molecular da nutrição. **Revista Hospital Universitário Pedro Ernesto**, v. 14, n. 3, p. 64–72, 2015.

SOUZA, F. C. A.; MOURA, L. G. S.; BEZERRA, K. O.; AGUIAR, J. P. L.; MAR, J. M., SANCHES, E. A.; SANTOS, F. F. S.; BAKRY, A. M.; PAULINO, B. N.; CAMPELO, P. H. Thermosonication applied in the processing of camu nectars – camu: Effect on bioactive compounds and quality parameters. **Food and Bioprocess Processing**, 116, 212-218, 2019.

SOUZA, R. S.; BILHARVA, M. G.; MARCO, R.; ANTUNES, L. C. E.; MARTINS, C. R.; MALGARIM, M. B. Phenological and productive characteristics of blackberry genotypes grown in an organic production system. **Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. v. 93, n. 1, 2021.

SUMMEN, M. A.; ERGE, H. S. Thermal Degradation Kinetics of Bioactive Compounds and Visual Color in Raspberry Pulp. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 38, n. 1, p. 551–557, 2014.

SUN, D. W. (2014). **Emerging Technologies for Food Processing**. 2<sup>a</sup> ed. Elsevier.

TENA, N.; MARTÍN, J.; ASUERO, A. G. State of the art of anthocyanins: Antioxidant activity, sources, bioavailability, and therapeutic effect in human health. **Antioxidants**, v. 9, n. 5, 2020.

TENG, H.; FANG, T.; LIN, Q.; SONG, H.; LIU, B.; CHEN, L. Red raspberry and its anthocyanins: Bioactivity beyond antioxidant capacity. **Trends in Food Science and Technology**, v. 66, p. 153–165, 2017.

TIWARI, B. K.; MASON, T. J. **Ultrasound Processing of Fluid Foods. Novel Thermal and Non-Thermal Technologies for Fluid Foods**, p. 135-165, 2012.

TOMAS, M.; ROCCHETTI, G.; GHISONI, S.; GIUBERTI, G.; CAPANOGLU, E.; LUCINI, L. Effect of different soluble dietary fibres on the phenolic profile of blackberry puree subjected to in vitro gastrointestinal digestion and large intestine fermentation. **Food Research International**, v. 130, 2020.

TREMARIN, A.; CANBAZ, E. A.; BRANDÃO, T. R. S.; SILVA, C. L. M. Modelling Alicyclobacillus acidoterrestris inactivation in apple juice using thermosonication treatments. **LWT - Food Science and Technology**, v. 102, p. 159–163, 2019.

TREMARIN, A.; CANBAZ, T. R. S.; SILVA, C. L. M. Application of ultraviolet radiation and ultrasound treatments for Alicyclobacillus acidoterrestris spores inactivation in apple juice. **LWT - Food Science and Technology**, v. 78, p. 138–142, 2017.

ULASZEWSKA, M.; GARCIA-ALOY, M.; VÁZQUEZ-MANJARREZ, N.; SORIA-FLORIDO, M. T.; LLORACH, R.; MATTIVI, F.; MANACH, C. Food intake biomarkers for berries and grapes. **Genes and Nutrition**, v. 15, n. 1, 2020.

URANGO, A. C. M.; STRIEDER, M. M.; SILVA, E. K.; MEIRELES, M. A. Impact of Thermosonication Processing on Food Quality and Safety: a Review. **Food and Bioprocess Technology**, n. 0123456789, 2022.

VERRUCK, S.; PRUDENCIO, E. S.; SILVEIRA, S. M. Compostos bioativos com capacidade antioxidante e antimicrobiana em frutas. **Revista do Congresso Sul Brasileiro de Engenharia de Alimentos**, v. 1, n. 1, p. 111–124, 2018.

VOLLMER, K.; CHAKRABORTY, S.; BHALERAO, P. P.; CARLE, R.; FRANK, J.; STEINGASS, C. B Effect of Pulsed Light Treatment on Natural Microbiota, Enzyme Activity, and Phytochemical Composition of Pineapple (*Ananas comosus* [L.] Merr.) juice. **Food and Bioprocess Technology**, v. 13, n. 7, p. 1095–1109, 2020.

VUOLO, M. M.; LIMA, V. S.; JUNIOR, M. R. **Phenolic Compounds: Structure, Classification, and Antioxidant Power**. Elsevier Inc., 2018.

WAHIA, H.; ZHOU, C.; FAKAYODE, O. A.; AMANOR-ATIEMOH, R.; ZHANG, L.; MUSTAPHA, A. T.; ZHANG, J.; XU, B.; ZHANG, R.; MA, H. Quality attributes optimization of orange juice subjected to multi-frequency thermosonication: Alicyclobacillus acidoterrestris spore inactivation and applied spectroscopy ROS characterization. **Food Chemistry**, v. 361, p. 130108, 2021.

WANG, W. D.; XU, S. Y. Degradation kinetics of anthocyanins in blackberry juice and concentrate. **Journal of Food Engineering**, v. 82, n. 3, p. 271–275, 2007.

WEBER, F.; LARSEN, L. R. Influence of fruit juice processing on anthocyanin stability. **Food Research International**, v. 100, p. 354–365, 2017.

WROLSTAD, R. E.; DURST, R. W.; LEE, J. Tracking color and pigment changes in anthocyanin products. **Trends in Food Science and Technology**, v. 16, n. 9, p. 423–428, 2005.

WU, Y.; XU, L.; LIU, X.; HASAN, K. M. F.; LI, H.; ZHOU, S.; ZHANG, Q.; ZHOU, Y. Effect of thermosonication treatment on blueberry juice quality: Total phenolics, flavonoids, anthocyanin, and antioxidant activity. **LWT - Food Science and Technology**, v. 150, p. 112021, 2021.

XIANG, Q.; FAN, L.; ZHANG, R.; MA, Y.; LIU, S.; BAI, Y. Effect of UVC light-emitting diodes on apple juice: Inactivation of *Zygosaccharomyces rouxii* and determination of quality. **Food Control**, v. 111, n. 136, p. 107082, 2020.

YILDIZ, S.; UNLUTURK, S.; POKHREL, P.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. Shelf life extension of strawberry juice by equivalent ultrasound, high pressure, and pulsed electric fields processes. **Food Research International**, v. 140, 2021.

ZANNOU, O.; KOCA, I. Greener extraction of anthocyanins and antioxidant activity from blackberry (*Rubus* spp) using natural deep eutectic solvents. **LWT - Food Science and Technology** v. 158, p. 113184, 2022.

ZAWAWI, N. A. F.; HAZMI, N. A. M. D.; COMO, M. S.; KANTONO, K.; SILVA, F. V. M.; SULAIMAN, A. Thermal, High Pressure, and Ultrasound Inactivation of Various Fruit Cultivars' Polyphenol Oxidase: Kinetic Inactivation Models and Estimation of Treatment Energy Requirement. **Applied Sciences (Switzerland)**, v. 12, n. 4, 2022.

ZHANG, Z. H.; WANG, L. H.; ZENNG, X. A.; HAN, Z.; BRENNAN, C. S. Non-thermal technologies and its current and future application in the food industry: a review. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 54, n. 1, p. 1–13, 2019.

ZHU, N.; WANG, Y.; LI, B.; LIU, S.; CHANG, N.; DING, J.; NING, C.; GAO, H.; MENG, X.. Identification of spoilage microorganisms in blueberry juice and their inactivation by a microchip pulsed electric field system. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, p. 1–8, 2017.

ZHU, N.; YU, N.; ZHU, Y.; WEI, Y.; HOU, Y.; ZHANG, H.; SUN, A. D. Identification of spoilage microorganisms in blueberry juice and their inactivation by a microchip pulsed electric field system. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, p. 1–8, 2018.

ZIA, S.; KHAN, M. R.; ZENG, X. A.; SEHRISH.; SHABIR, M. A.; AADIL, R. M. Combined effect of microwave and ultrasonication treatments on the quality and stability of sugarcane juice during cold storage. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 54, n. 8, p. 2563–2569, 2019.

**SEGUNDA PARTE:**

**ARTIGO**

**Normas Referentes ao Periódico Científico Submetido  
(VERSÃO PRELIMINAR, SUJEITO A ALTERAÇÕES)**

**EFEITO SINERGÍSTICO DA TERMOSONICAÇÃO NA ESTABILIDADE DOS  
COMPOSTOS BIOATIVOS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE EM SUCO DE  
AMORA**

**Cristiane Nunes da Silva<sup>1</sup>, Sabrina Carvalho Bastos<sup>1</sup>, Vanessa Rios de Souza<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Departamento de Nutrição, Universidade Federal de Lavras, DNU/UFLA –  
Lavras, Minas Gerais, 37200-000 – Brasil.

E-mail: kristtiane2015@gmail.com

ORCID: 000-0002-2477-3396

<sup>1</sup>Departamento de Nutrição, Universidade Federal de Lavras, DNU/UFLA –  
Lavras, Minas Gerais, 37200-000 – Brasil.

E-mail: sabrinabastos@ufla.br

ORCID: 000-0002-3374-2743

<sup>2</sup>Departamento de Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Lavras,  
DNU/UFLA – Lavras, Minas Gerais, 37200-000 – Brasil

E-mail: vanessa.souza@ufla.br

ORCID: 0000-0003-1377-821X

Autor Correspondente: Cristiane Nunes da Silva, Universidade Federal de Lavras,  
Departamento de Nutrição, Lavras, Minas Gerais, 37200-000 – Brasil

Tel.:+ 55 22 99879-2817

E-mail: kristtiane2015@gmail.com

## RESUMO

Avaliar o efeito sinérgico do ultrassom com o calor (termossonicação), nas características físico-químicas e na estabilidade dos compostos bioativos (compostos fenólicos totais e antocianinas) e atividade antioxidante do suco de amora. O experimento foi conduzido com base no Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR), variando os fatores: tempo e temperatura. As amostras foram submetidas ao tratamento térmico convencional e ao processo por termossonicação (combinação do ultrassom e calor), à 60 e 90% de amplitude, com os binômios de tempo x temperatura definidos pelo delineamento. O tratamento por termossonicação (60%) contribuiu para minimizar a degradação na atividade antioxidante (ABTS e  $\beta$ -caroteno) no suco de amora na maioria dos binômios tempo-temperatura estudados, proporcionando em algumas condições uma maior liberação dos compostos antioxidantes no suco. Os melhores resultados, que proporcionam a menor degradação para as antocianinas e os compostos fenólicos totais foi obtido nos sucos termossonicados à 60% de amplitude, no binômio de 75 °C por 30s. A termossonicação pode ser uma alternativa aos métodos de conservação tradicionais, entretanto, os potenciais efeitos desta técnica na conservação dos nutrientes é altamente dependente dos fatores tempo, temperatura e amplitude aplicados no suco de amora, os quais devem ser investigados para se estabelecer as condições ideais e particulares de conservação.

**Palavras-chave:** Suco de Amora. Antocianinas. Compostos Fenólicos. Tratamento Térmico. Ultrassom.

## INTRODUÇÃO

O consumo de suco de frutas vem crescendo significativamente nos últimos anos, principalmente por suas características sensoriais agradáveis e por ser uma boa fonte vitaminas, minerais e vários constituintes bioativos, se tornando uma alternativa mais saudável<sup>1-2</sup>. A amora é altamente reconhecida pela riqueza em compostos bioativos, se destacando como uma das maiores fontes de compostos fenólicos, particularmente de antocianinas<sup>3-5</sup>. As antocianinas é um dos compostos bioativos mais abundantes nas frutas vermelhas, em especial, nas amoras, responsáveis pela coloração desses frutos e pelo alto potencial antioxidante, que podem oferecer inúmeros impactos positivos à saúde, tais como na prevenção de doenças cardiovasculares, cancerígenas e neurodegenerativas<sup>5-6</sup>. O suco de amora é um dos principais produtos obtidos a partir desses pequenos frutos.

O tratamento térmico convencional é um dos métodos de conservação mais efetivo e amplamente aplicado em bebidas à base de frutas visando sua segurança alimentar e extensão da vida útil por promover a inativação enzimática e eliminação da carga microbiana<sup>7-9</sup>. Entretanto, vários estudos têm relatado que o calor está associado a degradação dos nutrientes presentes nos alimentos, além de mudanças nas características sensoriais e, conseqüentemente perda na qualidade desses produtos<sup>10-12</sup>. Os compostos

fenólicos, em especial, as antocianinas, estão entre os compostos bioativos que sofrem as maiores perdas durante o tratamento térmico convencional, sendo maior com a rigorosidade do tratamento<sup>13-15</sup>.

Com o intuito de se obter alimentos seguros, com apropriada extensão da vida útil, mas ao mesmo tempo atender o anseio dos consumidores por produtos mais saudáveis, as técnicas de conservação vêm sendo modificadas ou desenvolvidas para minimizar a rigorosidade dos métodos convencionais, visando obter assim produtos com mais alta qualidade<sup>16-17</sup>. A tecnologia de ultrassom é um método não-térmico que promove a inativação microbiológica e enzimática através do fenômeno de cavitação, que envolve a formação, crescimento e implosão de bolhas quando um meio é submetido a oscilações irregulares<sup>18</sup>. O colapso dessas bolhas de cavitação leva a efeitos mecânicos e químicos, relacionados as ações locais (temperaturas de até 5.000 K e pressões de até 50.000 kPa)<sup>19</sup>, que promove a desintegração das estruturas celulares dos microrganismos e a desnaturação enzimática<sup>20-21</sup>.

Embora esta tecnologia vem apresentando potencial para substituir o tradicional tratamento térmico por minimizar as alterações sensoriais e nutricionais causados pelas altas temperaturas, vem sendo relatado que é necessário a combinação do ultrassom com outras técnicas, como o calor, para que resultados satisfatórios sejam alcançados<sup>22-24</sup>. Vários estudos vêm demonstrando que a termossonicação tem potencial de fato em aumentar a taxa de inativação enzimática e/ou microbiológica o que reflete na diminuição da rigorosidade do tratamento térmico convencional – tempo e/ou temperatura, o que consequentemente minimiza as alterações nutricionais e depreciação de qualidade do alimento.

A termossonicação proporcionou reduções significativas na atividade da enzima polifenol oxidase no néctar de graviola<sup>25</sup>, na peroxidase em suco de mirtilo<sup>26</sup>, nos microrganismos mesófilos aeróbios totais no suco de tomate enriquecido com torta de morango<sup>27</sup>, nos esporos de *Alicyclobacillus acidoterrestris* no suco de maçã tratados por termossonicação em comparação ao tradicional tratamento térmico<sup>28</sup>.

Embora inúmeros estudos vem demonstrando o efeito sinérgico do ultrassom com o calor (termossonicação), ser uma técnica de conservação eficaz na inativação microbiológica e enzimática em sucos e néctares de frutas. Ainda são limitados os estudos que investigam os potenciais efeitos da termossonicação na estabilidade nutricional dos alimentos. O estudo dessa técnica, permitirá não somente conhecer os potenciais efeitos (negativos, neutro ou positivos), mas a implantação de forma segura, como alternativa

aos métodos de tratamento térmico convencional. Portanto, o objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito sinérgico do ultrassom com a temperatura (termossonicação), na estabilidade dos compostos bioativos (fenólicos e antocianinas), e na atividade antioxidante, bem como, nas características físico-químicas do suco de amora.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Matéria-prima**

As amoras (*Rubus spp.*) utilizadas foram colhidas manualmente no pomar experimental do setor de Fruticultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA, Lavras, MG, Brasil). Os frutos foram imediatamente transportados para o laboratório e selecionados com base no grau de maturação, danos físicos como defeitos e malformações ou danos microbiológicos. Em seguida, as amoras foram inicialmente lavadas, e em seguida, sanitizadas por 20 minutos em solução com hipoclorito de sódio a 0,01%.

### **Preparação do suco de amora**

Os frutos foram homogeneizados com água (proporção 3:7) em liquidificador industrial (Modelo 01 2L 127 V), para obtenção do suco de amora. O suco obtido foi então filtrado em peneira doméstica e depois em tecido tipo organza para a remoção das partes sólidas. Foi também realizado a homogeneização de todos os lotes de suco obtido para a obtenção de uma amostra representativa de todos os frutos. O suco foi então acondicionado em pequenos recipientes plásticos ao abrigo da luz e congelado (Freezer – Electrolux H400) até o momento do tratamento térmico convencional ou por termossonicação.

### **Delineamento experimental**

Com base nos tratamentos térmicos (binômios) usualmente empregados em sucos de frutas, relatados na literatura<sup>29-31</sup>, definiu-se inicialmente a faixa de temperatura e tempo de estudo, que foi de 60 a 90 °C e 1 a 10 min. O experimento foi conduzido de acordo com o Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) 2<sup>2</sup> + 3 pontos centrais + 2 pontos axiais (-1,41 e +1,41) a fim de avaliar o efeito das variáveis independentes: temperatura (x<sub>1</sub>) e tempo (x<sub>2</sub>) sob os compostos nutricionais e atividade antioxidante suco de amora. Os 11 tratamentos definidos pelo delineamento estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1. Variáveis codificadas e reais para os fatores temperatura e tempo de acordo com o delineamento DCCR.

Tratamentos	Temperatura		Tempo	
	Codificada	Real	Codificada	Real
<b>1</b>	-1	64 °C	-1	114 s
<b>2</b>	-1	64 °C	1	517 s
<b>3</b>	1	86 °C	-1	114 s
<b>4</b>	1	86 °C	1	517 s
<b>5</b>	-1,4142	60 °C	0	315 s
<b>6</b>	1,4142	90 °C	0	315 s
<b>7</b>	0	75 °C	-1,4142	30 s
<b>8</b>	0	75 °C	1,4142	600 s
<b>9</b>	0	75 °C	0	315 s
<b>10</b>	0	75 °C	0	315 s
<b>11</b>	0	75 °C	0	315 s

### Tratamento Térmico Convencional

O tratamento térmico convencional foi realizado por meio de um pré-aquecimento da amostra (50 mL de suco de amora acondicionado em béquer de vidro) em banho maria (Modelo Q215S2 – Quimus, Brasil) mantido a 95 °C. Ao atingir a temperatura descrita no delineamento, o béquer contendo a amostra foi transferido para um segundo banho maria, ajustado na temperatura de trabalho, quando se inicia o registro do tempo de tratamento. A temperatura das amostras foi monitorada com auxílio de um termômetro (Kasvi, China), durante todo o processo (aquecimento do suco e tratamento térmico).

O processo por termossonicação resultou no aumento de alguns graus na temperatura, principalmente nas amostras tratadas na maior amplitude, necessitando da replicação no tratamento térmico. Sendo assim, o tratamento térmico foi realizado sob duas formas, o tratamento térmico 60 para refletir a termossonicação à 60% de amplitude, e o tratamento térmico 90 para refletir a termossonicação à 90% de amplitude. Após os tratamentos, as amostras foram imediatamente resfriadas por imersão em banho de gelo, acondicionados em recipientes plásticos ao abrigo da luz e então congeladas à -18 °C (Freezer – Electrolux H400) em tubos de vidro ao abrigo da luz, até análise da estabilidade dos compostos bioativos e atividade antioxidante por espectrofotometria.

### **Termossonicação**

O tratamento por termossonicação foi realizado no ultrassom Q500 QSonica (Ultronique, Brasil), com frequência de 20 kHz, equipado com probe de 1 cm de diâmetro. Os tratamentos foram realizados em duas condições (60 e 90% de amplitude ultrassônica), nas condições de tempo e temperatura conforme descritos pelo delineamento demonstrado na Tabela 1. Inicialmente as amostras (50 mL de suco de amora acondicionado em béquer de vidro) foram pré-aquecidas até a temperatura experimental pela imersão das amostras em banho maria (Modelo Q215S2 – Quimus, Brasil) mantido a 95 °C.

Em seguida, a termossonicação ocorreu pela imersão de 0,5 cm da sonda no béquer de vidro contendo 50 mL de suco de amora pré-aquecido. A temperatura foi monitorada com o auxílio de um termômetro (Kasvi, China) desde o aquecimento do suco de amora até o tratamento por termossonicação. Para a manutenção da temperatura durante todo o processo, foi utilizado um béquer encamisado com circulação de água a temperatura de trabalho. Após cada tratamento, as amostras foram imediatamente resfriadas através de imersão das amostras em banho de gelo, e, então congeladas à -18 °C (Freezer – Electrolux H400), em tubos de vidro ao abrigo da luz até o momento da análise.

### **Cálculo da potência ultrassônica e energia acústica específica**

Para se calcular a potência ultrassônica aplicada, um béquer de vidro contendo 50 mL do suco de amora foi submetido ao tratamento ultrassônico nas duas condições estudadas (amplitude de 60 e 90%) por um tempo mínimo de 5 min à temperatura ambiente (25°C). Com o auxílio de um termômetro (KASVI, CHINA) e um cronômetro, os dados de temperatura e sua respectiva variação em relação ao tempo foram registrados em intervalo de 30 segundos a fim de determinar inicialmente a potência ( $W$ ) e conseqüentemente a energia acústica específica ( $mW/mL$ ) para cada condição. A potência de cada tratamento foi determinada por método calorimétrico através da Equação 1 proposta por Baumann, Martin, Feng <sup>32</sup>.

$$W = mCp\left(\frac{dT}{dt}\right) \quad (1)$$

Onde  $m$  é a massa,  $C_p$  é o calor específico do suco de amora (4052,500 kJ/kg°C) e  $dT/dt$  é a taxa de variação da temperatura durante a sonificação (°C/s).

$$SAE = \left( \frac{MV}{ML} \right) = \frac{W}{ML} \quad (2)$$

A energia acústica específica ( $SAE$ ) para cada tratamento foi obtida em mW/mL pela razão da potência ( $W$ ) pelo volume de suco de amora da amostra ( $mL$ ), conforme Equação 2. A energia acústica específica encontrada para as amostras termossonicadas nas diferentes amplitudes (60 e 90%) e tempos (30, 114, 315, 517 e 600 segundos) encontrou-se na faixa de 414,70–1043,98 mW/mL, sendo que a maior potência foi obtida na amplitude de 60% e tempo de 30 segundos (Tabela 2).

Tabela 2. Energia acústica específica ( $SAE$ ) dos sucos de amora termossonicados.

Tratamentos	Amplitude (%)	Tempo (segundos)	$SAE$ (mW/mL)
1	60	30	1043,98
2	60	114	928,17
3	60	315	580,01
4	60	517	414,70
5	60	600	459,11
6	90	30	825,47
7	90	114	732,48
8	90	315	534,13
9	90	517	486,78
10	90	600	444,78

## Caracterização do suco de amora

### Características físico-químicas

Para caracterizar o suco de amora fresco e tratado (tratamento térmico e termossonicação), as análises de pH, sólidos solúveis e acidez titulável foram determinadas de acordo com a metodologia descrita por Adolfo Lutz<sup>33</sup>. A cor foi determinada usando os parâmetros  $L^*$ ,  $C^*$  e  $h^*$ , avaliados usando um colorímetro CIELAB (CR-300 Chroma, Minolta, Japão)<sup>34</sup>.

### Compostos bioativos

#### Obtenção dos extratos

Os extratos para a análise das antocianinas, compostos fenólicos totais e atividade antioxidante (ABTS, DPPH e  $\beta$ -caroteno) foram preparados de acordo com a metodologia descrita por Larrauri, Ruperez e Saura-Calixto<sup>35</sup>. Foram pesados 5 mL do suco de amora e extraídos sequencialmente com 40 mL de metanol/água (50:50, v/v) em temperatura ambiente durante 1 hora com agitação constante. Após o sobrenadante foi recuperado e 40 mL de acetona/água (70:30, v/v) foram adicionados ao resíduo e novamente foram extraídas nas mesmas condições anteriores. Os extratos de metanol e acetona foram combinados e trazidos a um volume final de 50 mL de água destilada.

### Antocianinas

A determinação das antocianinas totais foi realizada utilizando o método de diferencial de pH<sup>36</sup>. Os extratos foram diluídos em duas soluções tampão com pH 1,0 e pH 4,5. A absorção foi determinada à 510 nm e 700 nm, através de espectrofotômetro VIS 325-1000 nm (Biospectro SP-22; Biospectro, Curitiba, PR, Brasil). O teor total de antocianinas em suco de amora foi calculado através das seguintes equações.

$$A = (A_{510\text{nm}} - A_{700\text{nm}}) \text{pH}_{1,0} - (A_{510\text{nm}} - A_{700\text{nm}}) \text{pH}_{4,5} \quad (3)$$

$$TAC = \frac{A * MM * DF * 10^3}{\epsilon * 1} \quad (4)$$

Onde *TAC*, corresponde ao teor total de antocianinas, *A* corresponde a absorbância calculada pela Eq. 3, *MM* a massa molecular da cianidina-3-glucosídeo (449 g/mol<sup>-1</sup>), *DF* o fator de diluição,  $\epsilon$  o coeficiente de extração molar (L mol<sup>-1</sup> cm<sup>-1</sup>). Os resultados foram expressos em mg de cianidina 3-glucosídeo equivalente por 100 mL.

### Compostos fenólicos

Os compostos fenólicos totais presentes no suco de amora foram determinados segundo a metodologia descrita por Waterhouse<sup>37</sup>. Brevemente, foram adicionados 0,1 mL de extrato da amostra, 0,4 mL de água destilada, 2,5 mL da solução de Folin-Ciocalteau (10%) e 2,0 mL da solução de carbonato de cálcio (4%). A leitura das amostras foi realizada no espectrofotômetro VIS 325–1000 nm (Biospectro SP-22; Biospectro, Curitiba, PR, Brasil) no comprimento de onda de 750 nm. Os resultados foram expressos em mg de ácido gálico equivalente por 100 mL (mg GAEs/100 g de PF).

### **Atividade antioxidante**

Os sucos de amora foram submetidos a atividade antioxidante pelo método ABTS, DPPH e  $\beta$ -caroteno. A atividade antioxidante pelo método ABTS•+, foi determinada de acordo com a metodologia proposta por Re et al<sup>38</sup>, com leitura das amostras no espectrofotômetro à 734 nm. Os resultados foram expressos em  $\mu$ mol de Trolox equivalente por 100 mL ( $\mu$ mol de ETs/g de PF).

A capacidade de eliminação de radicais DPPH, foi determinada mediante a metodologia de Rufino et al<sup>39</sup>. A leitura da absorbância das amostras foi realizada no espectrofotômetro (SP-22, VIS 325-1000 nm, Biospectro, Taboão da Serra, SP, Brasil), à 515 nm. Os resultados foram expressos em EC<sub>50</sub>, que se refere a quantidade de antioxidante necessária para a redução da concentração inicial do radical DPPH em 50% peso fresco de DPPH (EC<sub>50</sub> –g/g de DPPH).

A atividade antioxidante pelo método  $\beta$ -caroteno, foi determinada de acordo com a metodologia de Rufino et al<sup>39</sup>, com algumas modificações. As medições da absorbância foram realizadas no tempo de 2 minutos e 120 minutos à 470 nm. Os resultados foram expressos como % de inibição da oxidação do  $\beta$ -caroteno. Todas as leituras das análises de atividade antioxidante (DPPH, ABTS e  $\beta$ -caroteno), foram realizadas no espectrofotômetro VIS 325-1000 nm (Biospectro SP-22; Biospectro, Curitiba, PR, Brasil).

### **Análise estatística**

Todas as análises foram realizadas em triplicata, com as respectivas médias e desvio padrão. Inicialmente os resultados obtidos no DCCR foram submetidos à análise de regressão linear múltipla, mas como nenhum modelo matemático ajustou satisfatoriamente os dados, em relação ao coeficiente de determinação múltipla ( $R^2$ ), significância do modelo matemático ( $p < 0,05$ ), falta de ajuste de modelo ( $p > 0,05$ ) e significância dos coeficientes de regressão ( $p < 0,05$ ), outras abordagens foram utilizadas para a exploração dos dados.

Em um primeiro momento foi feito uma análise exploratória onde os resultados foram submetidos a Análise de Componentes Principais (PCA), para correlacionar as características físico-químicas, os compostos bioativos (antocianinas e compostos fenólicos) e atividade antioxidante com os tratamentos de termossonicação e tratamento térmico convencional. Os dados foram ordenados numa matriz composta de 6 linhas

(amostras) e 9 colunas (características físico-química, os compostos bioativos e atividade antioxidante), auto escalado e a PCA foi aplicada, através software Sensomaker<sup>40</sup>.

Em seguida, para se avaliar individualmente o efeito da termossonicação comparada ao tratamento térmico convencional, foi plotada um gráfico para cada um dos compostos bioativos e atividade antioxidante onde foi expresso o teor total do composto ou a atividade antioxidante para cada um dos binômios de tempo e temperatura estudados. Foi realizado um teste de média t-student para se comparar o tratamento térmico convencional e a termossonicação<sup>41</sup>. Por fim, os resultados foram submetidos a análise de efeito por meio da utilização da função de desejabilidade visando combinar todos os compostos bioativos (antocianinas e compostos fenólicos) e atividade antioxidante, para determinar os potenciais efeitos da termossonicação na estabilidade desses compostos nutricionais em comparação ao tratamento térmico convencional, através do software Chemoface<sup>42</sup>.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **Análise exploratória do efeito da termossonicação em relação ao tratamento térmico convencional**

Os resultados foram submetidos a análise de componentes principais (PCA), onde se tem a distribuição espacial das amostras tratadas por termossonicação e tratamento térmico em relação as propriedades físico-químicas, compostos bioativos e atividade antioxidante. Na Figura 1a, tem-se a distribuição espacial das amostras (suco de amora não tratado – controle, suco de amora submetido os diferentes tratamentos por termossonicação e tratamento térmico convencional), enquanto na Figura 1b, estão distribuídas as propriedades físico-químicas, compostos bioativos e atividade antioxidante avaliados. Nota-se que a soma dos componentes principais (CP1) e (CP2), explica 49,25% das variações entre as amostras do suco de amora, sendo que o CP1, é responsável por explicar a maior variabilidade dos resultados (31,55%) e CP2 a menor variação (17,70%).



(AA-ABTS); Atividade Antioxidante – DPPH (AA-DPPH); Atividade Antioxidante – Sistema  $\beta$ -caroteno (AA-  $\beta$ -caroteno); Antocianinas (Ant); Compostos Fenólicos (CF); Acidez Titulável (AT); Sólidos Solúveis (SS), pH (pH) e Cor (*L*, *C* e *h*).

Com base no gráfico da Fig. 1a, pode-se visualizar no geral, que as amostras tratadas por termossonicação demonstram ser mais semelhantes a amostra controle (suco de amora não tratado) que o correspondente tratamento térmico, indicando um possível menor grau de alterações no suco de amora em relação as características físico-químicas, compostos bioativos e atividade antioxidante. Para a amplitude de 60%, as amostras tratadas por termossonicação (TS 60%) estão claramente posicionadas mais perto da amostra controle, em relação as amostras tratadas pelo tratamento térmico convencional correspondente – (TT 60%). Na maior amplitude (90%), pode ser observado o mesmo comportamento, e modo que as amostras tratadas por termossonicação à 90% de amplitude (TS 90%), estão visualmente mais perto do controle (suco não tratado) que o equivalente tratamento térmico (TT 60). Além disso, o aumento da amplitude ultrassônica demonstrar aumentar o grau de alteração do suco de amora, visto que as amostras se localizam mais distantes do controle em comparação com as amostras tratadas em amplitude mais baixa (60%).

Pode-se observar pela Fig. 1b, que as maiores semelhanças da TS (60% e 90%) em relação ao suco controle, foram em relação ao teor de sólidos solúveis, acidez total titulável, cor, no teor de antocianinas, compostos fenólicos totais e na atividade antioxidante pelo sistema  $\beta$ -caroteno, que demonstraram apresentar menores alterações após o tratamento por termossonicação. Já para os demais tratamentos (TT 60 e 90), as diferenças se deram principalmente ao pH e atividade antioxidante pelo método ABTS e DPPH, que demonstraram apresentar maiores alterações em relação ao suco de amora não tratado. Portanto, de maneira geral o PCA indica que a TS (60%), demonstrar afetar menos os parâmetros de qualidade do suco de amora do que o equivalente tratamento térmico convencional e o tratamento por termossonicação em maiores amplitudes.

Estudos na literatura, demonstraram que a termossonicação resultou em menores alterações no teor de compostos bioativos e atividade antioxidante em suco de frutas.<sup>7,43</sup>, observaram que as amostras tratadas por termossonicação apresentaram maiores semelhanças com o suco não-tratado, enquanto, o tratamento térmico, resultou em maiores alterações nos compostos bioativos do suco demirtilo. Já<sup>12,44</sup>, relataram que a termossonicação resultou em aumentos significativos ( $p < 0,05$ ) na concentração de

antocianinas, compostos fenólicos totais, flavonóides, carotenoides e na atividade antioxidante, além de melhores características físico-química no suco de ameixa e mirtilo, em comparação as amostras tratadas por tratamento térmico convencional. Resultados semelhantes foram verificados por <sup>45</sup>, que observaram que a termossonicação é uma técnica capaz de melhorar tanto as características físico-químicas (parâmetros de cor, nebulosidade e índice de escurecimento), como nos compostos bioativos (ácido ascórbico, fenólicos, flavonóides e atividade antioxidante) presentes no suco de cajá.

## Análise dos compostos bioativos e atividade antioxidante

### Antocianinas

Os efeitos da termossonicação (TS) e tratamento térmico convencional (TT) no conteúdo de antocianinas no suco de amora estão demonstrados na Figura 2a e 2b. O suco não tratado (C) apresentou teor de antocianinas de  $354,5 \pm 3,23$  mg/ 100 mL. Foram observados que ambos os tratamentos resultaram na diminuição significativa ( $p < 0,05$ ) no teor de antocianinas em todas as condições de tempo e temperatura estudados em relação suco não tratado.

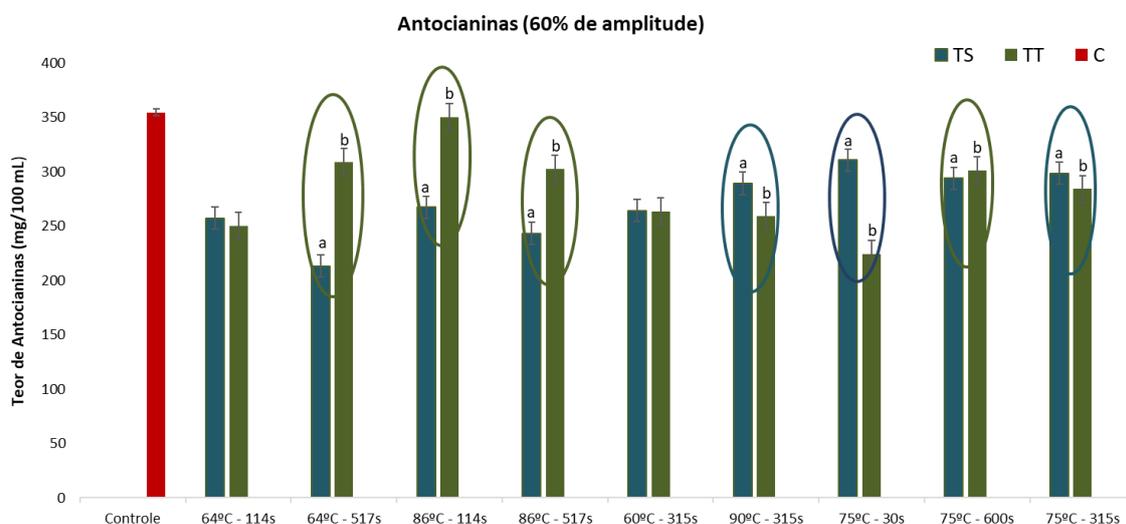


Figura 2a. Efeito do tratamento térmico convencional (TT) e termossonicação (TS) na amplitude ultrassônica de 60% no teor de antocianinas do suco de amora. Médias com letras diferentes na mesma coluna de cores são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).

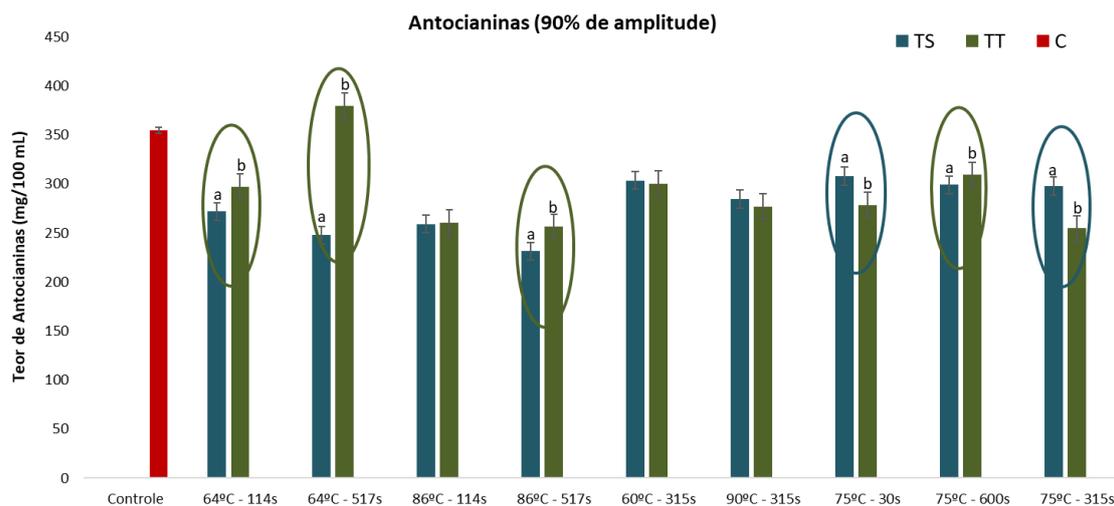


Figura 2b. Efeito do tratamento térmico convencional (TT) e termossonicação (TS) na amplitude ultrassônica de 90% no teor de antocianinas do suco de amora. Médias com letras diferentes na mesma coluna de cores são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).

Os resultados mostraram que a termossonicação, combinação do ultrassom com o calor, resultou na degradação das antocianinas nas amostras tratadas em menor (60%) e maior amplitude ultrassônica (90%), em todos os binômios de tempo e temperatura estudados (Fig. 2a e 2b). O teor de antocianinas variou significativamente ( $p < 0,05$ ), mostrando que há binômios em que a TS apresentou maiores reduções (86 °C/114s), reduções semelhantes (60 °C/315s) e reduções inferiores (75 °C/30s) no conteúdo de antocianinas em relação ao TT convencional. A melhor condição para a TS foi observada no binômio à 75 °C/30s para ambas amplitudes estudadas (60 e 90%), por ter proporcionado uma maior retenção no teor de antocianinas no suco de amora. Embora vários estudos tenham demonstrado que as antocianinas apresentam maiores taxas de degradação em altas temperaturas (65 °C – 90 °C) <sup>46-48</sup>, os resultados deste estudo mostraram que as maiores taxas de retenção foram observadas quando os sucos termossonicados foram tratados em temperaturas de processamento mais altas.

Entretanto, a maior perda desses pigmentos foi observada em menor temperatura de processamento na TS à 60% (60 °C/315s) e 90% de amplitude (64 °C/114s). <sup>49</sup>, observaram uma redução no teor antocianinas com o aumento do tempo e temperatura no suco de morango termossonicados. Já <sup>50</sup>, relataram uma maior retenção das antocianinas em néctar de mirtilo tratado com menor tempo, temperatura e amplitude. A degradação das antocianinas durante a termossonicação tem sido atribuída a sonólise da água durante a cavitação acústica, que por meio da interação dos radicais livres com os grupos

hidroxilas, resultam na reação química de decomposição por abertura dos anéis e formação de chalconas<sup>51-52</sup>. Perdas consideráveis no teor de antocianinas foram observadas por<sup>53</sup>, no suco de maçã termossonicados, no entanto, essas perdas foram menores do que nas amostras tratadas pelo tradicional tratamento térmico. Maiores teores de antocianinas foram encontrados em suco de espinafre<sup>54</sup>, suco de khoonphal<sup>55</sup> e suco de romã<sup>56</sup> após o tratamento por termossonicação.

### Compostos fenólicos

Na Figura 3a e 4b, são mostrados os resultados obtidos para os compostos fenólicos totais no suco de amora não tratado (C), termossonicados (TS) e tratados a partir do tratamento térmico convencional (TT). O suco de amora não tratado apresentou teor de fenólico total de  $149 \pm 7,76$  mg GAE/100 mL. Conforme mostrado na Fig. 3a e 3b, a termossonicação e o tratamento térmico convencional reduziram significativamente ( $p < 0,05$ ) o teor de compostos fenólicos totais em todos os tratamentos no suco de amora em relação ao suco de amora não tratado.

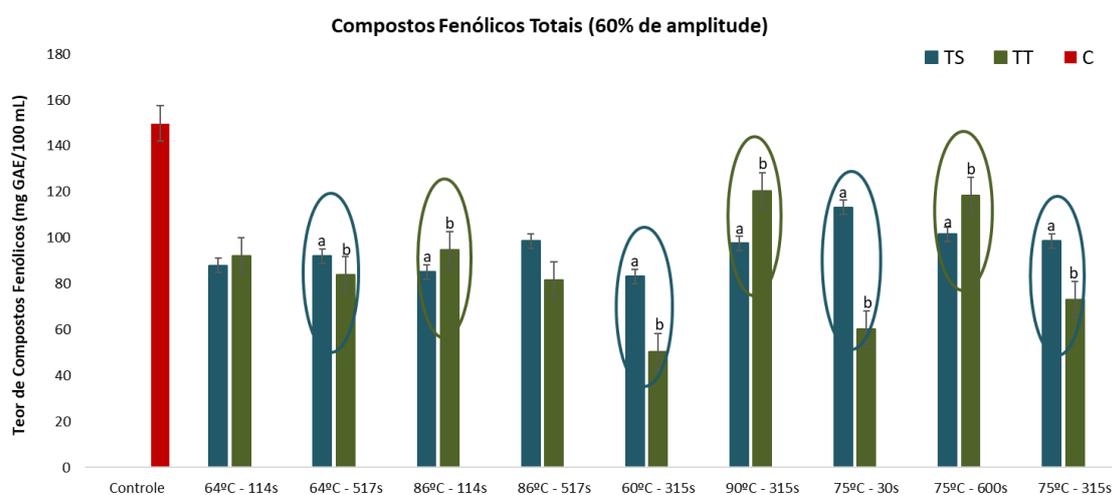


Figura 3a. Efeito do tratamento térmico convencional (TT) e termossonicação (TS) na amplitude ultrassônica de 60% nos compostos fenólicos totais do suco de amora. Médias com letras diferentes na mesma coluna de cores são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).

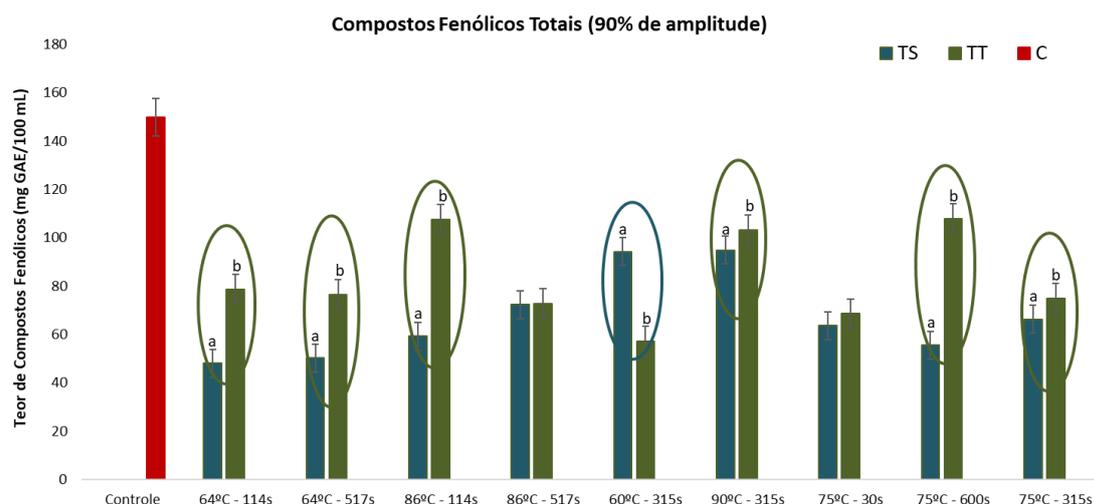


Figura 3b. Efeito do tratamento térmico convencional (TT) e termossonicação (TS) na amplitude ultrassônica de 90% nos compostos fenólicos totais do suco de amora. Médias com letras diferentes na mesma coluna de cores são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).

A TS e o TT convencional reduziram significativamente ( $p < 0,05$ ) os compostos fenólicos totais em todos os binômios de tempo e temperatura estudados no suco de amora (Fig. 3a e 3b). Como base na Fig. 3a, a maior retenção dos compostos fenólicos foi obtida na temperatura à 75 °C e no menor tempo de processo (30s). No entanto, pode ser observado que a maior degradação dos fenólicos ocorreram nas amostras tratadas na menor temperatura (60 °C/315s). Assim, ambos os fatores de processo (tempo e temperatura) causaram um impacto significativo ( $p < 0,05$ ) nos compostos fenólicos dos sucos termossonicados.<sup>57</sup>, observaram que o uso de menor temperatura (30 °C), proporcionaram sucos de maçã com menor teor de compostos fenólicos totais.

Analisando a TS à 90% de amplitude, observa-se que o uso de mais alta amplitude proporcionou um aumento na degradação no conteúdo fenólico em comparação com a TS à 60% de amplitude e ao TT 60 e 90. O que demonstrar que embora o binômio tempo e temperatura exerça um efeito na degradação dos compostos fenólicos, a amplitude é um dos fatores mais importantes, sendo que neste caso, o uso da termossonicação em amplitudes mais baixas resultaram na menor degradação. As maiores perdas observada na termossonicação em maior nível de amplitude pode ser explicada pelo fornecimento de maior quantidade de energia e intensidade, provocando a formação de bolhas cavitacionais maiores, que resultam em temperaturas e pressões mais alta na zona de

cavitação, além da formação de radicais livres, e conseqüentemente, maior degradação dos compostos bioativos<sup>58-59</sup>.

<sup>52,58</sup> observaram uma maior degradação no teor de compostos fenólicos no tratamento por termossonicação do suco de bérberis e suco de pêssego tratados à 100% de amplitude. Assim como, perdas significativas foram relatadas por <sup>60</sup> em suco de melância submetidos a níveis mais altos de amplitude ultrassônica. Resultados diferentes foram obtidos por <sup>50</sup>, que relataram maiores valores de fenólicos totais no néctar de mirtilo tratados em tempos mais longos e com maior amplitude ultrassônica.

### Atividade antioxidante

Nas figuras abaixo são mostrados os resultados obtidos para a atividade antioxidante do suco de amora não tratado (C), termossonicados (TS) e tratados por tratamento térmico convencional (TT) através dos métodos: ABTS, DPPH e  $\beta$ -caroteno/ácido linoleico. Os resultados obtidos para os três métodos estudados, apresentaram diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) para as variáveis analisadas quanto á atividade antioxidante, indicando que o tratamento e as variáveis do processo (tempo, temperatura e amplitude) podem exercer influência na degradação nos compostos antioxidantes.

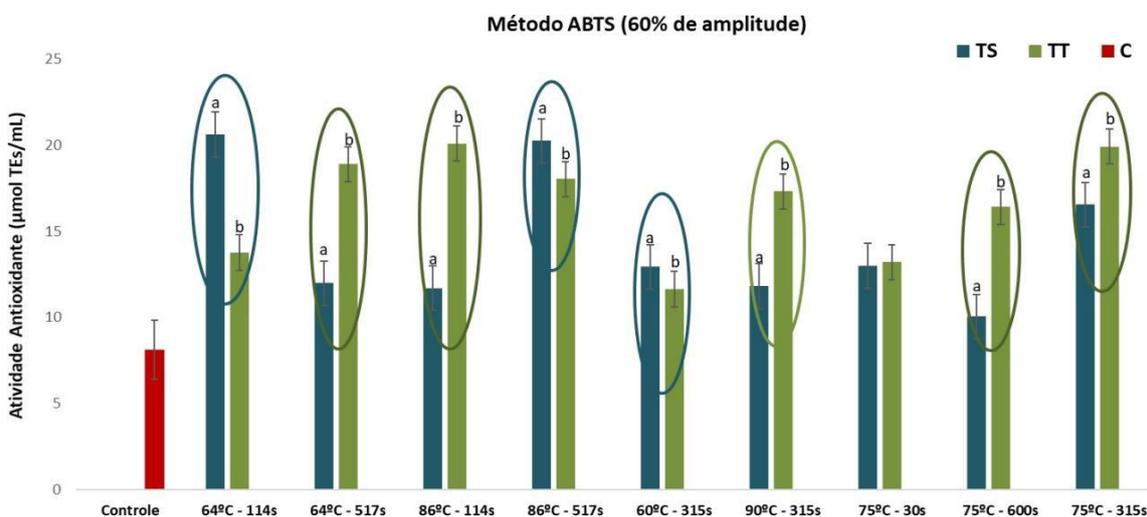


Figura 4a. Efeito do tratamento térmico convencional (TT) e termossonicação (TS) na amplitude ultrassônica de 60% na atividade antioxidante do suco de amora pelo método ABTS. Médias com letras diferentes na mesma coluna de cores são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).

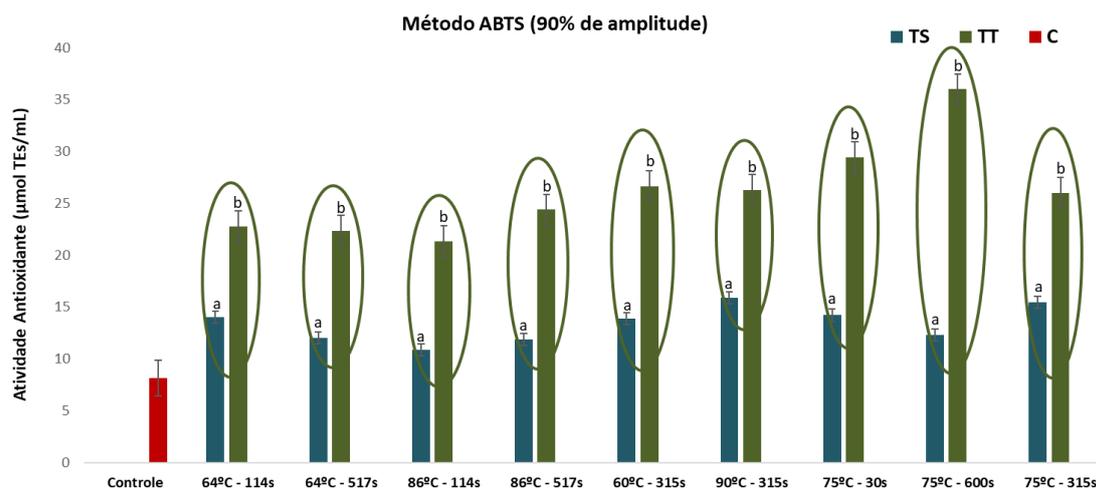


Figura 4b. Efeito do tratamento térmico convencional (TT) e termossônica (TS) na amplitude ultrassônica de 90% na atividade antioxidante do suco de amora pelo método ABTS. Médias com letras diferentes na mesma coluna de cores são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).

Os resultados para o método ABTS (Fig. 4a e 4b), mostraram que o TT e a TS propiciaram o aumento da atividade antioxidante do suco de amora em relação a amostra controle. O tratamento térmico convencional proporcionou claramente maior liberação dos compostos antioxidantes, sendo que no TT (90), houve uma liberação em maior intensidade para todos os binômios de tempo-temperatura estudados. Esse aumento pode ser explicado pela menor degradação dos compostos fenólicos no TT convencional (90), em comparação a TS (90%). Além disso, durante o processamento térmico os compostos fenólicos podem sofrer algum tipo de rearranjo estrutural, que pode levar ao aumento ou redução na atividade antioxidante<sup>61-62</sup>.

Embora a TS, não tenha proporcionado um aumento tão significativo quanto o tradicional TT, o efeito combinado do ultrassom com o calor não promoveu a degradação da atividade antioxidante em nenhum dos binômios estudados. O aumento na atividade antioxidante por termossônica pode ser atribuído à ruptura das membranas celulares durante o processo de cavitação acústica, facilitando assim, a liberação dos compostos antioxidantes das paredes celulares e sua disponibilidade no suco de amora<sup>63-64</sup>. Maior atividade antioxidante foram observados no suco de maçã<sup>64</sup>, suco de beterraba<sup>65</sup> e no suco de laranja<sup>66</sup> tratados por termossônica em comparação com o tradicional tratamento térmico.

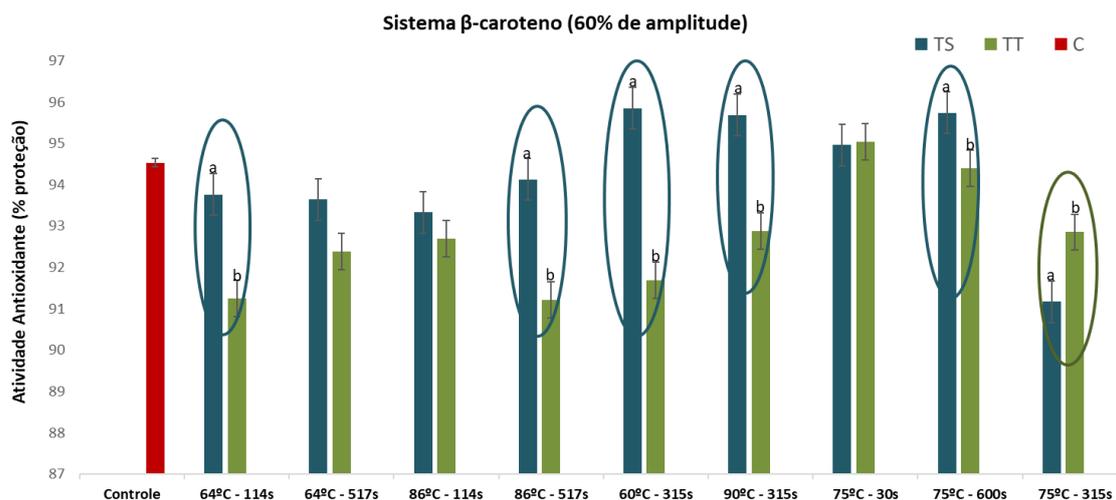


Figura 5a. Efeito do tratamento térmico convencional (TT) e termossonicação (TS) na amplitude ultrassônica de 60% na atividade antioxidante do suco de amora pelo sistema  $\beta$ -caroteno. Médias com letras diferentes na mesma coluna de cores são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).

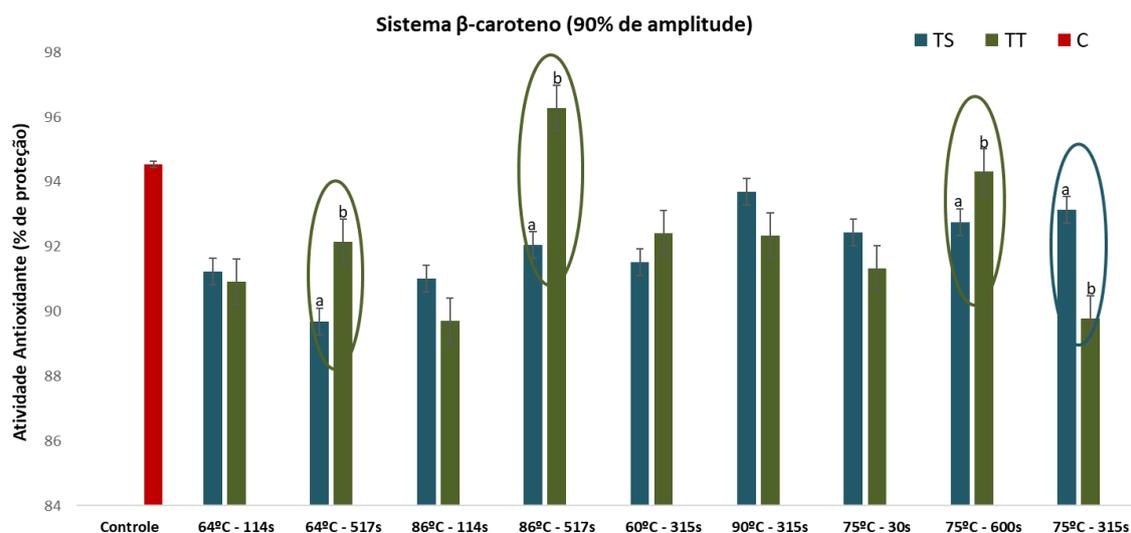
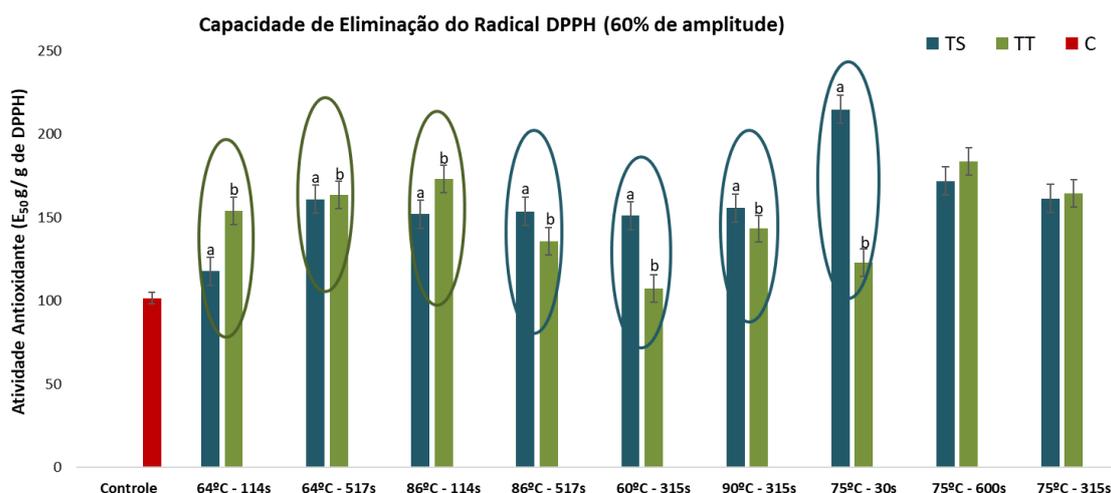


Figura 5b. Efeito do tratamento térmico convencional (TT) e termossonicação (TS) na amplitude ultrassônica de 90% na atividade antioxidante do suco de amora pelo sistema  $\beta$ -caroteno. Médias com letras diferentes na mesma coluna de cores são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).

Para o sistema  $\beta$ -caroteno, as amostras tratadas por termossonicação em menores amplitudes (TS 60%), apresentaram maior proteção à oxidação do  $\beta$ -caroteno em relação ao TT convencional. Com base na Fig. 5a, é possível observar que em alguns binômios estudados (60 °C/315s; 90 °C/315s e 75 °C/30s), a TS à 60% de amplitude propiciou uma

maior atividade antioxidante em comparação ao suco de amora não tratado ( $p < 0,05$ ). A maior liberação dos compostos antioxidantes no suco de amora é devido a desintegração da parede celular pela cavitação acústica durante a termossonicação <sup>59</sup>. Resultados semelhantes foram observados por <sup>67</sup>, observaram uma maior liberação nos compostos antioxidantes no suco de marmelo e suco de quince submetidos à termossonicação em menores níveis de amplitude (50%). O mesmo foi relatado por <sup>50</sup> em néctar de mirtilo termossonicados à 50% de amplitude.

Entretanto, na mais alta amplitude (90%), a TS apresentou uma menor perda na atividade antioxidante em relação ao tradicional TT em apenas uma condição estudada (75 °C/315s). Nos demais binômios, a degradação é semelhante ao TT convencional, e em algumas condições, o TT se destaca por apresentar maior atividade antioxidante em relação a TS (Fig.5b). Resultados similares foram observados por <sup>60</sup> e <sup>62</sup>, que observaram uma maior redução na atividade antioxidante em sucos de frutas submetidos a maiores níveis de amplitudes.



6a. Efeito do tratamento térmico convencional (TT) e termossonicação (TS) na amplitude ultrassônica de 60% na atividade antioxidante do suco de amora pela capacidade de eliminação do radical DPPH. Médias com letras diferentes na mesma coluna de cores são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).

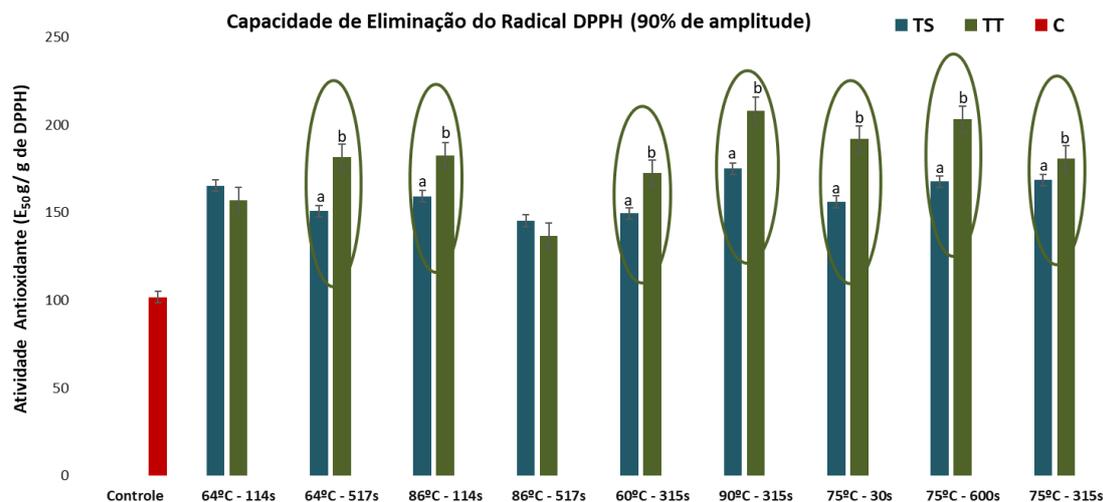


Figura 6b. Efeito do tratamento térmico convencional (TT) e termossonicação (TS) na amplitude ultrassônica de 90% na atividade antioxidante do suco de amora pela capacidade de eliminação do radical DPPH. Médias com letras diferentes na mesma coluna de cores são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).

As Fig. 6a e 6b, mostraram que os valores de  $EC_{50}$  aumentaram para a termossonicação e tratamento térmico em comparação com a amostra controle (101,73  $EC_{50}$  g/g), demonstrando que ambos os tratamentos reduziram a atividade antioxidante no suco de amora. Analisando a TS à 60%, é possível observar que o uso da menor amplitude contribuiu para a maior degradação da atividade antioxidante em relação ao tradicional tratamento térmico, sendo o binômio 75 °C/30s, a condição de tempo e temperatura que apresentou a menor retenção da atividade antioxidante, e 64 °C/114s a condição de maior retenção desses compostos funcionais. Essas perdas na atividade antioxidante podem estar relacionadas com a diminuição no conteúdo fenólico e nas antocianinas durante o processamento por TS. Como também, a energia acústica fornecida durante o processo de termossonicação que pode proporcionar reduções na atividade antioxidante, por meio da produção de hidroxila e assim, oxidar os compostos fenólicos<sup>7,59</sup>.

No entanto, ao comparar a TS em maiores níveis de amplitude (90%), os resultados mostraram que as amostras termossonicadas apresentaram maior atividade antioxidante na maioria dos binômios em relação ao TT (90). A maior retenção dos compostos antioxidantes foi observada nas amostras submetidas a maior faixa de temperatura (90 °C/315s). Neste caso, é possível observar que a amplitude exerce um efeito significativo sobre a atividade antioxidante, mostrando que o uso de maiores amplitudes proporciona uma menor degradação na atividade antioxidante.<sup>65</sup>, observaram um aumento nos valores antioxidantes do suco de beterraba no uso de maior nível de

amplitude (80%). Resultados semelhantes foram obtidos por <sup>58</sup>, em suco de pessego submetidos à 100% de amplitude ultrassônica.

### **Análise dos efeitos tempo e temperatura para a termossonicação e tratamento térmico convencional**

Visando entender os efeitos dos fatores em estudo (tempo e temperatura) nas duas condições avaliadas – TT (tratamento térmico) e TS (termossonicação), em ambas amplitudes (60 e 90), os resultados obtidos foram convertidos em função de desejabilidade. Na Tabela 3 são mostrados os efeitos isolados e combinados das variáveis  $X_1$  (temperatura) e  $X_2$  (tempo) nas amostras tratadas por termossonicação e tratamento térmico, em relação as antocianinas, compostos fenólicos totais e atividade antioxidante.

Tabela 3. Efeitos isolados e combinados das variáveis (tempo e temperatura) no suco de amora tratados por termossonicação e tratamento térmico convencional.

<b>Amplitude 60</b>				
<b>TS</b>			<b>TT</b>	
<b>Variáveis</b>	<b>Efeitos</b>	<b>p-valor</b>	<b>Efeitos</b>	<b>p-valor</b>
<b>Temperatura (X1)</b>	0.10	0.0929	<b>0.17*</b>	0.0024
<b>Tempo (X2)</b>	-0.03	0.6100	0.05	0.3139
<b>X1 x X2</b>	<b>0.39*</b>	0.0001	<b>-0.18*</b>	0.0193
<b>Amplitude 90</b>				
<b>TS</b>			<b>TT</b>	
<b>Variáveis</b>	<b>Efeitos</b>	<b>p-valor</b>	<b>Efeitos</b>	<b>p-valor</b>
<b>Temperatura (X1)</b>	-0.03	0.5652	<b>-0.08*</b>	0.0417
<b>Tempo (X2)</b>	0.08	0.1950	<b>0.10*</b>	0.0137
<b>X1 x X2</b>	0.09	0.2146	0.05	0.3791

\*significativo ( $p < 0,05$ )

Os resultados mostraram que as variáveis ( $X_1$  e  $X_2$ ) estudadas de forma isolada, não apresentaram efeito significativo ( $p < 0,05$ ) na degradação dos compostos bioativos e na atividade antioxidante das amostras tratadas por termossonicação em ambas amplitudes (60 e 90%) estudadas. Entretanto, o efeito combinado das variáveis influenciou positivamente na TS a 60%, demonstrando que a combinação do ultrassom com o calor, apresentou efeito positivo contribuindo para uma maior retenção dos

compostos bioativos (antocianinas e compostos fenólicos totais) e na atividade antioxidante do suco de amora. Não houve diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) nas amostras tratadas por TS à 90%, demonstrando não ter efeito positivo ou negativo (efeito neutro) sobre os compostos funcionais, quando as variáveis tempo-temperatura foram combinadas.

Em relação ao TT convencional (60), a temperatura contribuiu de forma positiva, entretanto, a combinação das variáveis (tempo e temperatura), apresentaram um efeito negativo ( $p < 0,05$ ), indicando que a combinação do tempo e temperatura, no geral, em binômios de tempo-temperatura menores (60 °C/315s e 64°C/114s) pode propiciar uma maior degradação das antocianinas, compostos fenólicos totais e na atividade antioxidante no suco de amora. Ao analisar o TT convencional (90), observou-se que o estudo das variáveis isoladas, mostrou que a temperatura teve um impacto negativo (menor retenção), enquanto o tempo teve efeito positivo (maior retenção) sobre os compostos funcionais no suco. Mas não foram observados efeitos significativos ( $p < 0,05$ ) nos compostos bioativos e na atividade antioxidante nas amostras tratadas por TT 90, na combinação das variáveis tempo-temperatura. Portanto, a combinação das variáveis tempo-temperatura na TS à 90% de amplitude e no TT 90, apresentam efeito neutro sobre os compostos bioativos e atividade antioxidante no suco de amora.

Com base nos resultados, é possível observar que a termossonicação apresenta potencial para minimizar a degradação dos compostos bioativos (compostos fenólicos e antocianinas) e atividade antioxidante no suco de amora, sendo que em menor amplitude (TS 60%), essa técnica pode contribuir para uma maior retenção dos compostos funcionais estudados, em comparação a termossonicação em maiores níveis de amplitude e ao tratamento térmico convencional. A termossonicação pode ser uma alternativa ao tradicional tratamento térmico no processamento de suco de amora, mas os efeitos dessa técnica nos compostos bioativos e atividade antioxidante são altamente dependentes do binômio tempo-temperatura e das condições de amplitude ultrassônica aplicada no processamento. Diversos estudos vêm demonstrando que a termossonicação é uma técnica capaz de contribuir com efeitos positivos na estabilidade dos compostos bioativos (compostos fenólicos totais e antocianinas) e na atividade antioxidante no suco de pêra cacto <sup>1</sup>, néctar de camu-camu <sup>7</sup>, suco de mirtilo <sup>12</sup>, suco de cenoura <sup>43</sup>, suco de ameixa <sup>44</sup>, suco de cajá <sup>45</sup>, suco de espinafre <sup>54</sup>, suco de tangerina <sup>68</sup>, suco de pomelo <sup>69</sup>.

## CONCLUSÃO

No presente estudo o suco de amora foi submetido a termossonicação visando avaliar os efeitos desta técnica sobre os parâmetros de qualidade em relação ao tratamento térmico convencional. Os resultados mostraram que as variáveis (tempo, temperatura e amplitude) tem um efeito significativo na retenção dos compostos bioativos (compostos fenólicos totais e antocianinas) e na atividade antioxidante. No geral, considerando todos os tratamentos por DCCR, a termossonicação em menor nível de amplitude (60%), proporciona uma melhor retenção da atividade antioxidante no suco de amora na maioria dos binômios tempo-temperatura estudados. Os melhores resultados para as antocianinas e os compostos fenólicos totais foi obtido nos sucos termossonicados à 60% de amplitude, no binômio de 75 °C por 30s. Esta condição de tratamento pode ser considerada o melhor resultado por proporcionar a menor degradação no teor de compostos fenólicos totais e antocianinas no suco de amora. Com isso, a termossonicação pode ser uma alternativa aos métodos de conservação tradicionais, entretanto, os potenciais efeitos desta técnica é altamente dependente dos fatores tempo, temperatura e amplitude aplicados no suco de amora, os quais devem ser investigados para se estabelecer as condições ideais e particulares de conservação.

## REFERÊNCIAS

1. Cruz-Cansino NS, Ramirez-Moreni E, León-Rivera JE, Delgado-Olivares L, Alanís-García E, Ariza-Ortega JA, Manríquez-Torres JJ, Jaramillo-Bustos DP. Shelf-life, physicochemical, microbiological and antioxidant properties of purple cactus juice (*Opuntia ficus indica*) after ultrasound treatment. *Ultrason Sonochem.* 2021; 27:277-286. <https://doi.org/10.1016/j.bjm.2016.01.014>
2. Thuy NM, Han LN, Tai NV. Thermal stability of anthocyanin in mixed raspberry-pomegranate banana nectar in the presence of ascorbic acid and citric acid. *J Appl Biol Biotechnol.* 2022;10(01):189-195. 10.7324/JABB.2021.100123
3. Moraes DP, Lozano-Sanchez J, Machado ML, Lazzaretti M, Leyva-Jimenez FJJ, Silveira T, Ries EF, Barcia MT. Characterization of a new blackberry cultivar BRS Xingu: Chemical composition, phenolic compounds, and antioxidant capacity in vitro and in vivo. *Food Chem.* 2020; 322:126783. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126783>
4. Tomas M, Rocchetti G, Ghisoni S, Giuberti G, Capanoglu E, Lucini L. Effect of different soluble dietary fibres on the phenolic profile of blackberry puree subjected to in vitro gastrointestinal digestion and large intestine fermentation. *Food Res Int.* 2020; 20. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108954>
5. Rotili MCC, Villa F, Silva DF, Rosanelli S, Braga GC. Bioactive compounds, bromatological and mineral characterization of blackberries in a subtropical region. *Rev Ceres.* 2022;69(1). <https://doi.org/10.1590/0034-737X202269010003>

6. Robison JÁ, Blerwirth JE, Greenspan P, Pegg RB. Blackberry polyphenols: Composition, quantity, and health impacts from in vitro and in vivo studies. *J Food Bioact.* 2020;9:40–51.
7. De Amaral Souza FC, Moura LGS, Bezerra KO, Aguiar JPL, Mar JM, Sanches EA, Santos, FFS, Bakry AM, Paulino BN, Campelo PH. Thermosonication applied in the processing of camu nectars – camu: Effect on bioactive compounds and quality parameters. *Food Bioprod Process.* 2019; 116:212-218. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2019.06.003>
8. Pérez-Grijalva B, Herrera-Sotero M, Mora-Escobedo R, Zebadúa-García JC, Silva-Hernández E, Oliart-Ros R, Pérez-Cruz C, Guzmán-Gerónimo R. Effect of microwaves and ultrasound on bioactive compounds and microbiological quality of blackberry juice. *Lwt.* 2018; 87:47-53. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.08.059>
9. Scudino H, Silva EK, Gomes A, Guimarães JT, Cunha RL, Santana AS, Meireles AMA, Cruz AG. Ultrasound stabilization of raw milk: Microbial and enzymatic inactivation, physicochemical properties and kinetic stability. *Ultrason Sonochem.* 2020;67:105185. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105185>
10. Katariya P, Arya SS, Pandit AB. Novel, non-thermal hydrodynamic cavitation of orange juice: Effects on physical properties and stability of bioactive compounds. *Innov Food Sci Emerg Technol.* 2020; 62:102-364. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102364>
11. Kruszewski B, Zawada Karpiński P. Impact of high-pressure homogenization parameters on physicochemical characteristics, bioactive compounds content, and antioxidant capacity of blackcurrant juice. *Molecules.* 2021; 26(6):1802. <https://doi.org/10.3390/molecules26061802>
12. Wu Y, Xu L, Liu X, Hasan F, Li H, Zhou S, Zhang Q, Zhou Y. Effect of thermosonication treatment on blueberry juice quality: Total phenolics, flavonoids, anthocyanin, and antioxidant activity. *Lwt.* 2021; 150:112021. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112021>
13. Weber F, Larsen LR. Influence of fruit juice processing on anthocyanin stability. *Food Res Int.* 2017; 100:354–365. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.06.03>
14. Badin EE, Rossi Y, Montenegro M, Ibarz A, Ribotta PD, Lespinard AR. Thermal processing of raspberry pulp: Effect on the color and bioactive compounds. *Food Bioprod Process.* 2020; 124:469–477. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.08.016>
15. Sarkis JR, Jaeschike DP, Mercali GD, Tessaro IC, Marczak LDF. Degradation kinetics of anthocyanins in blackberry pulp during ohmic and conventional heating. *Int Food Res J.* 2019; 26(1):87–97. ISSN: 2231-7546
16. Illera AE, Sanz MT, Benito-Román O, Varona S, Beltran S, Melgosa R, Solaesa AG. Effect of thermosonication batch treatment on enzyme inactivation kinetics and other quality parameters of cloudy apple juice. *Innov Food Sci Emerg Technol.* 2018; 47:71–80. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.02.001>
17. Urango ACM, Strieder MM, Silva EK, Meireles MA. Impact of Thermosonication Processing on Food Quality and Safety: a Review. *Food Bioproc Tech.* 2022:0123456789. <https://doi.org/10.1007/s11947-022-02760-0>
18. Perera CO, Alzahrani MAJ. Ultrasound as a pre-treatment for extraction of bioactive compounds and food safety: A review. *Lwt.* 2021;142:111114. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111114>
19. Dolas R, Saravanan C, Kaur BP. Emergence and era of ultrasonic's in fruit juice preservation: A review. *Ultrason Sonochem.* 2019; 58:104609. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.05.026>

20. Fan K, Wu J, Chen L. Ultrasound and its combined application in the improvement of microbial and physicochemical quality of fruits and vegetables: A review. *Ultrason Sonochem.* 2021; 80:105838. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105838>
21. Nakonechny F, Nisnevitch M. Different Aspects of Using Ultrasound to Combat Microorganisms. *Adv Func Mat.* 2021; 31(44):1–24. <https://doi.org/10.1002/adfm.202011042>
22. Jiao Y, Kilmartin PA, Fan M, Quek SY. Assessment of phenolic contributors to antioxidant activity of new kiwifruit cultivars using cyclic voltammetry combined with HPLC. *Food Chem.* 2018; 268:77–85. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.06.046>
23. Guimarães JT, Scudino H, Ramos GLPA, Oliveira GAR, Margalho LP, Costa LEO, Freitas MQ, Duarte CKH, Santana AS, Cruz AG. Current applications of high-intensity ultrasound with microbial inactivation or stimulation purposes in dairy products. *Curr Opin Food Sci.* 2021;42:140–147. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.06.004>
24. Wahia H, Fakayode AO, Amanor-Atiemoh R, Zhang L, Mustapha AT, Zhang J, Xu B, Zhang R, Ma H. Quality attributes optimization of orange juice subjected to multi-frequency thermosonication: Alicyclobacillus acidoterrestris spore inactivation and applied spectroscopy ROS characterization. *Food Chem.* 2021; 361:130108. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130108>
25. Anaya-Esparza LM, Velásquez-Estrada RM, Sayago-Ayerdi SG, Sánchez- Burgos JA, Ramírez-Mares MV, García-Magana ML, Montalvo-González, E. Effect of thermosonication on polyphenol oxidase inactivation and quality parameters of soursoop nectar. *Lwt.* 2017:545-551. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.11.020>
26. Zu N, Wang Y, Li B, Liu S, Chang N, Ding J, Ning C, Gao H, Meng X. Identification of spoilage microorganisms in blueberry juice and their inactivation by a microchip pulsed electric field system. *Sci Rep.* 2017;8 (1):1–8. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-26513-2>
27. Lafarga T, Ruiz-Aguirre I, Abadias M, Viñas I, Bobo G, Aguiló-Aguayo I. Effect of thermosonication on the bioaccessibility of antioxidant compounds and the microbiological, physicochemical, and nutritional quality of an anthocyanin-enriched tomato juice. *Food Bioproc Tech.* 2019; 12: 147-157. <https://doi.org/10.1007/s11947-018-2191-5>
28. Tremarin A, Canbaz EA, Brandão TRS, Silva CLM. Modelling Alicyclobacillus acidoterrestris inactivation in apple juice using thermosonication treatments. *Lwt.* 2019; 102:159–163. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.12.027>
29. Wang CY, Wang YT, Wu SJ, SYT. Quality changes in high hydrostatic pressure and thermal pasteurized grapefruit juice during cold storage. *J Food Sci Technol.* 2018; 55:5115-5122. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3452-z>
30. Feng X, Zhou Z, Wang X, Bi X, Ma Y, Xing Y. Comparison of High Hydrostatic Pressure, Ultrasound, and Heat Treatments on the Quality of Strawberry-Apple Lemon juice blend. *Foods.* 2020; 9(2):218. <https://doi.org/10.3390/foods9020218>
31. Cheng Z, Xian L, Chen D, Lu J, Wei Y, Du L, Wang Q, Chen Y, Lu B, Bi D, Zhang Z, Huang R. Development of an innovative process for extracting fruit juice at high temperature using a novel thermophilic endo polygalacturonase from *Penicillium oxalicum*. *Front Microbiol.* 2020. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01200>
32. Baumann AR, Martin SE, Feng H. Removal of *Listeria monocytogenes* biofilms from stainless steel by use of ultrasound and Ozone. *J Food Prot.* 2009;72(6):1306–

1309. <https://doi.org/10.4315/0362-028x-72.6.1306>
33. Lutz A. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. Inst Adolfo Lutz. 2008. 4 ed.
34. Mohideen FW, Solva KM, Li J, Zhang J, Chouljenko A, Chotiko A, Prudente AD, Bankston JD, Sakthivel S. Effect of continuous ultra-sonication on microbial counts and physico-chemical properties of blueberry (*Vaccinium corymbosum*) juice. *Lwt*. 2015; 60(1): 563-570. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.07.047>
35. Larrauri JA, Ruperez P, Saura-Calixto F. (1997). Effect of drying temperature on the stability of polyphenols and antioxidant activity of red grape pomace peels. *Journal of Agricultural and Food Chem*, 1997; 45: 1390–1393. <https://doi.org/10.1021/jf960282f>
36. Lee J, Durst RW, Wrostad RE. (2005). Determination of the total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural dyes and wines by the pH differential method: collaborative study. *Journal of AOAC International*.2005;88(5):1269-1278. <https://doi.org/10.1093/jaoac/88.5.1269>
37. Waterhouse AL. Polyphenolics: Determination of total phenolics. Re Wrostad (Ed.), *Curr Protoc Anal Food Chem*, Jhon Wiley and Sons, New York. 2002. <https://doi.org/10.1002/0471142913.fai0101s06>
38. Re R, Pellegrini N, Proteggente A, Pannala A, Yang M, Rice-Evans C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Rad Biol med*, 1999; 26: 1231-1237. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3)
39. Rufino MSM, Alves RE, Brito ES, Morais SM, Sampaio CG, Pérez- Giménez J, Saura-Calixto FD. Metodologia Científica: Determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre DPPH. *Comunicado Técn*. 2009. 127.
40. Pinheiro ACM, Nunes CA, Vietoris V. SensoMaker: A tool for sensorial characterization of food products. *Sci Agrotechnol* 2011; 37:199–201. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542013000300001>
41. Microsoft Excel. Corporation Microsoft Office Excel, 2013. Acesso em: 30 mar. 2022.
42. Nunes CA, Freitas MA, Pinheiro AC, Bastos SC. Chemoface: a novela free user-friendly interface for chemometric. *J Braz Chem Soc*. 2012;23(11). <https://doi.org/10.1590/S0103-50532012005000073>
43. Jabbar S, Abid M, Hu B, Hashim MM, Lei S, Wu T, Zeng X. Exploring the potential of thermosonication in carrot juice processing. *J Food Sci Technol*. 2015; 52(11):7002–7013. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1847-7>
44. Oladunjoye AO, Adeboyejo FO, Okekunbi TA, Aderibigbe, R. Effect of thermosonication on quality attributes of hog plum (*Spondias mombin L.*) juice. *Ultrason Sonochem*. 2021; 70:105316. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105316>
45. Oladunjoye AO, Adeboyejo FO, Okekunbi TA, Aderibigbe R. Effect of thermosonication on the quality attributes of cashew apple (*Spondias mombin L.*). *Ultrason Sonochem*. 2021; 70:105316. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105316>
46. Wang WD, Xu SY. Degradation kinetics of anthocyanins in blackberry juice and concentrate. *J Food Eng*. 2007; 82(3):271–275. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.01.018>
47. Patras A, Brunton NP, O'Donnell C, Tiwari BK. Effect of thermal processing on anthocyanin stability in foods; mechanisms and kinetics of degradation. *Trends Food Sci Technol*. 2010; 21:3–11. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2009.07.004>

48. Sun Y, Zhong L, Cao L, Lin W, Ye X. Sonication inhibited browning but decreased polyphenol content and antioxidant activity of fresh apple juice (malus pumila mill, cv. Red Fuji). *J Food Sci Technol*, 2015. 52:8336-8342. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1896-y>
49. Shaheer CA, Hafeeda P, Kumar P, Kathiravan T, Dhananjay K, Nadanasabapathi S. Effect of thermosonication and thermosonication on the stability of anthocyanins in jamun juice (*Eugenia jambolana*). *Int J Food Sci Technol*. 2015; 21(6):2189-2194. ISSN: 2231-7546
50. Resek JA, Simunek M, Zeko, Herceg Z, Vukusic T. Antioxidant, quality and sensory parameters of thermosonicated blueberry nectar electronic tongue. *Innov Food Sci Emerg Technol*. 2018; 47:202-211. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.04.015>
51. Tiwari BK, Donnell CP, Muthukumarappan K, Cullen PJ. Effect of sonication on orange juice quality parameters during storage. *Int J Food Sci Technol*. 2009;44(3):586-595. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2008.01858.x>
52. Chitgar MF, Aalami M, Kadkhodae R, Maghsoudlou Y, Milani E. Effect of thermosonication and heat treatments on the phytochemical stability of barberry juice co-pigmented with ferulic acid and licorice extract. *Innov Food Sci Emerg Technol*. 2018; 50:102-111. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.09.004>
53. Nadulski R, Kobus Z, Wilczynski K, Sobczar P, Panasiewicz M, Zukiewicz-Sobczar W, Szparaga A. Effect of extraction method and thermosonication on apple juice quality. *Appl Sci*. 2019; 9(19):3977. <http://doi.org/10.3390/app9193977>
54. Manzoor FM, Xu B, Khan S, Shuat R, Ahmad N, Imran M, Rehman R, Karrar E, Aadil RM, Korma SA. Impact of high-intensity thermosonication treatment in spinach juice: bioactive compounds, rheological microbial and enzymatic activities. *Ultrason Sonochem*. 2021; 78:105740. <https://doi.org/10.16/j.ultsonch.2021.105740>
55. Sasikumar R, Pradhan D, Deka SC. Effects of the thermosonication process on the inactivation of *Escherichia coli* and *Saccharomyces cerevisiae* and their kinetic modeling of survival in khonphal (*Haematocarpus validus*) juice to extend its shelf life. *J Food Process Preserv*. 2018; 42 (8):13701. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14220>
56. Hooshyar L, Hesari J, Azadmard-Damirchi S. Investigation of selected thermal and non-thermal preservative techniques to produce high quality and safe to drink sour cherry, red grape and pomegranate juices. *J Food Technol*. 2020; 57:1689-1697. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04202-w>
57. Nayak PK, Basumatary B, Chandrasekar CM, Seth D, Kesavan K. Impact of thermosonication and pasteurization on total phenolics, total flavonoids, antioxidant activity and vitamin C levels of elephant apple juice (*Dillenia indica*). *J Food Process Preserv*. 2020;43(8):13447. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13447>
58. Baltacioglu H. Thermosonication of peach juice: investigation of PPO and POD activities, physicochemical and bioactive compounds changes, and development of FT-IR-based chemometric models for the evaluation of quality. *Int J Fruit Sci*. 2021;57(3):1688-1697. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15536>
59. Strieder MM, Neves IL, Belinato JR, Silva EK, Meireles MAA. Impact of thermosonication processing on phytochemicals, fatty acid composition and volatile organic compounds of almond-based beverage. *Lwt*. 2022; 154:112579. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112579>
60. Rawson A, Tiwari BK, Patras A, Brunton N, Brennan C, Cullen PJ, O'Donnell CO.

- Effect of thermosonication on bioactive compounds in watermelon juice. *Int Food Res.* 2011;44(5):1168-1173. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.07.005>
61. Rechkemmer G. Aspectos nutricionais do processamento térmico de alimentos: potenciais benefícios e riscos para a saúde. In *Symposium*, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co., KGaA, Weinheim. 2007.
  62. Saikia S, Mahnot NK, Mahanta CL. A comparative study on the effect of conventional thermal pasteurization, microwave and ultrasound treatments on the antioxidant activity of five fruit juices. *Int J Fruit Sci.* 2016; 22(4). <https://doi.org/10.1177/1082013215596466>
  63. Zinoviadou KG, Galanakis CM, Brncic M, Grimi N, Boussetta N, Mota MJ, Saraiva JÁ, Patras A, Tiwari B, Barba FJ. Fruit juice sonication: Implications on food safety and physicochemical and nutritional properties. *Food Res Int.* 2015; 77(4):743–752. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.05.032>
  64. Senthilnathan K, Muthusamy S. Process Optimization and kinetic modeling study for fresh microgreen (*Alternanthera sessilis*) juice treated under thermosonication. *Prep Biochem Biotechnol.* 2022;1-10. <https://doi.org/10.1080/10826068.2021.1958345>
  65. Ramírez-Melo LM, Cruz-Cansino NDS, Delgado-Olivares L, Ramírez-Moreno E, Zafra-Rojas QY, Hernández-Traspeña L, Suárez-Jacobo A. Optimization of antioxidant activity properties of a thermosonicated beetroot (*Betavulgaris L.*) juice and further in vitro bioaccessibility comparison with thermal treatments. *Lwt.* 2022; 154:112780. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112780>
  66. Oliveira GAR, Guimarães JT, Ramos GLPA, Esmerino EA, Pimentel TCC, Neto RPC, Tavares MIB, Sobral LA, Souto F, Freitas MQ, Costa LEO, Cruz AG. Benefits of thermosonication in orange juice whey drink processing. *Innov Food Sci Emerg Technol.* 2022; 75:102876. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102876>
  67. Yikmis S, Aksu H, Çol BG, Alpaslan. Thermosonication processing of quince (*Cydonia Oblonga*) juice: Effects on total phenolics, ascorbic acid, antioxidant capacity, color and sensory properties. *Food Sci Technol.* 2019; 43. <https://doi.org/10.1590/1413-7054201943019919>
  68. Alves LL, Santos RL, Bayer BL, Devens ALM, Cichoski AJ, Mendonça CRB. Thermosonication of tangerine juice: Effects on quality characteristics, bioactive compounds, and antioxidant activity. *J Food Process Preserv.* 2022; 44(12):14960. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14914>.
  69. Birhang B, Nayak PK, Chandrasekar CM, Nath A, Nayak M, Kesavan RK. Impact of thermosonication and pasteurization on the physicochemical, microbiological and antioxidant properties of grapefruit juice (*Citrus maxima*). *Int J Fruit Sci.* 2020; 20:S2056-S2073. <https://doi.org/10.1080/15538362-2020.1848751>