

**EFEITO DO PROCESSAMENTO E DA ADIÇÃO DE PREBIÓTICOS NOS TEORES DE COMPOSTOS BIOATIVOS EM SUCOS DE SERIGUELA (*Spondias purpurea* L.)**

Michelle Barbosa Lima<sup>1</sup>, Flávio Santos de Assis<sup>2</sup>, Marina Maximiano de Oliveira Santos<sup>1</sup>  
Paloma Cristina dos Santos<sup>1</sup>, Fernanda Isabela Moreira<sup>2</sup>, Raphael Antônio Borges Gomes<sup>2</sup>  
Marcelo Carlos Ribeiro<sup>3</sup>, Patrícia Aparecida Pimenta Pereira<sup>1</sup>

**RESUMO**

Objetivou-se avaliar o efeito do processamento e da adição de prebióticos nos teores de compostos bioativos em sucos de seriguela bem como otimizar as concentrações de fructooligosacarídeos (FOS), galactooligosacarídeos (GOS) e polidextrose nos sucos submetidos aos processos de pasteurização e banho de ultrassom. Foram elaboradas 11 formulações de suco de seriguela com diferentes concentrações de prebióticos e uma sem prebióticos, posteriormente submetidas aos processos de pasteurização (82 °C/2 minutos) e ultrassom (42 kHz 60 °C/10 minutos). Realizou-se análises de compostos bioativos (vitamina C, compostos fenólicos e carotenoides totais) e capacidade antioxidante (sistema  $\beta$ -caroteno/ácido linoleico, ABTS, DPPH e FRAP). Os resultados indicaram que adição de FOS, GOS e polidextrose antes dos processos de pasteurização e banho de ultrassom, tanto de forma isolada como combinada, protegeu todos os compostos bioativos, sendo que maiores valores de vitamina C foram obtidos no banho de ultrassom e os maiores teores de compostos fenólicos e carotenoides foram alcançados com a pasteurização. Portanto, a adição destes prebióticos apresentou como uma estratégia viável por promover maior proteção dos compostos bioativos nos sucos de seriguela submetidos à pasteurização e ao banho de ultrassom. Concluiu-se que a adição de FOS na concentração de 0,68% a 1,5% e de polidextrose de 0,86% a 1,5% em sucos de seriguela pasteurizados ou a adição de GOS em concentração de 0,65% a 1,26% e polidextrose de 0,24% a 0,66% em sucos de seriguela submetidos ao banho de ultrassom podem ser usados para melhorar a qualidade do suco de seriguela.

**Palavras-chave:** Processamento de alimentos. Degradação. Qualidade nutricional.

**ABSTRACT**

Effect of processing and addition of prebiotics on the content of bioactive compounds in seriguela (*Spondias purpurea* L.) juice

This study aimed to evaluate the effect of processing and addition of prebiotics on the levels of bioactive compounds in seriguela juices, as well as to optimize the concentrations of fructooligosaccharides (FOS), galactooligosaccharides (GOS) and polydextrose in juices subjected to pasteurization and ultrasound bath processes. 11 formulations of seriguela juice were prepared with different concentrations of prebiotics and one without prebiotics, subsequently subjected to pasteurization (82 °C/2 minutes) and ultrasound (42 kHz 60 °C/10 minutes) processes. Analyzes of bioactive compounds (vitamin C, phenolic compounds and total carotenoids) and antioxidant capacity ( $\beta$ -carotene/linoleic acid system, ABTS, DPPH and FRAP) were carried out. The results indicated that the addition of FOS, GOS and polydextrose before the pasteurization and ultrasound bath processes, both isolated and combined, protected all bioactive compounds, with the highest vitamin C values being obtained in the ultrasound bath and the highest levels of phenolic compounds and carotenoids were achieved with pasteurization. Therefore, the addition of these prebiotics was a viable strategy for promoting greater protection of bioactive compounds in seriguela juices subjected to pasteurization and ultrasound bath. It was concluded that the addition of FOS at a concentration of 0.68% to 1.5% and of polydextrose at 0.86% to 1.5% in pasteurized seriguela juices or the addition of GOS at a concentration of 0.65% at 1.26% and polydextrose at 0.24% to 0.66% in seriguela juices subjected to an ultrasound bath can be used to improve the quality of the seriguela juice.

**Key words:** Food processing. Degradation. Nutritional quality.

## INTRODUÇÃO

O Brasil é um país com condições geográficas e características climáticas favoráveis para a produção de frutas (Silva Júnior e colaboradores, 2021).

Na região semiárida, o bioma Caatinga possui uma imensa biodiversidade de frutas, particularmente os do gênero *Spondias*, principalmente a seriguela (*Spondias purpurea* L.) (Maldonado-Astudillo e colaboradores, 2014).

Originária da América Central e do Sul, é uma drupa vermelha ou laranja que, quando madura, apresenta polpa com aroma e sabor agradáveis (Maldonado-Astudillo e colaboradores, 2014; Nascimento Filho e colaboradores, 2022).

É rica em nutrientes e compostos bioativos como carotenoides, vitaminas e minerais (Silva e colaboradores, 2016).

Os nutrientes são compostos que ocorrem nas vias metabólicas, sendo essencial para a manutenção e crescimento do organismo (Rojas e colaboradores, 2021).

Já compostos bioativos são substâncias fitoquímicas presentes em pequenas quantidades em materiais vegetais que podem proporcionar atividade biológica, sendo geralmente associados a benefícios à saúde, incluindo hepatoproteção, antiinflamatória, antioxidante, antitrombótico, anticancerígeno, antidiabético e prevenção de doenças cardiovasculares e degenerativas (Shahidi e Ambigaipalan, 2015; Ordóñez-Santos e colaboradores, 2017; Campoli e colaboradores, 2018, Rojas e colaboradores, 2021).

Nas últimas décadas, houve um aumento no interesse internacional pelo consumo de frutas tropicais (Silva Júnior e colaboradores, 2021).

Considerando este aumento, o processamento de frutas em produtos como sucos apresentaram elevado crescimento, principalmente pela possibilidade de melhoria da renda dos produtores, além de produzir novas fontes de ingredientes funcionais e saudáveis para os indivíduos (Augusto e colaboradores, 2012; Sosa-Moguel e colaboradores, 2018).

Contudo, durante o processamento dos sucos, muitos compostos são facilmente degradados pelas técnicas convencionais de conservação, devido ao processamento térmico (Alves e colaboradores, 2020).

Embora a pasteurização tenha vantagens importantes no que diz respeito à preservação do produto, prejudica a qualidade sensorial e as propriedades funcionais dos sucos de frutas devido às elevadas temperaturas de processamento (Bermúdez-Aguirre e Barbosa-Cánovas, 2012; Abid e colaboradores, 2014; Alves e colaboradores, 2020).

Diante disso, vários estudos estão sendo desenvolvidos para evitar o impacto negativo da pasteurização sobre as características de qualidade dos sucos de frutas, como o caso do ultrassom (Rodríguez e colaboradores, 2016; Sánchez-Rubio e colaboradores, 2018; Alves e colaboradores, 2020; Demirok e colaboradores, 2022; Nunes e colaboradores, 2022).

Tecnologias emergentes como o ultrassom (US), também conhecido como sonicação, é capaz de gerar e emitir ondas ultrassônicas de alta intensidade em uma frequência superior a 16 kHz (Lepaus e colaboradores, 2023), induzindo a cavitação em líquidos, que é um processo de formação e propagação de bolhas, que aumentam progressivamente em tamanho até que desmoronem (Schuina e colaboradores, 2021).

Esse fenômeno gera zonas de alta pressão e alta temperatura no líquido, produzindo um efeito de pasteurização localizado, que pode inativar microrganismos e enzimas (Tiwari e colaboradores, 2009).

Esta tecnologia tem sido estudada como uma alternativa de conservação para sucos de frutas, com bons resultados em termos de qualidade microbiológica, físico-química e sensorial, além de manter a concentração de compostos bioativos (Aadil e colaboradores, 2013; Santhirasegaram e colaboradores, 2013; Alves e colaboradores, 2020; Schuina e colaboradores, 2021).

Ainda, para uma alimentação melhor, a indústria de sucos tem se concentrado na diferenciação de produtos e desenvolvimento de sucos que vão além da nutrição básica e do bom sabor (Day e colaboradores, 2009; Priyadarshini e Priyadarshini, 2018).

Neste contexto, a adição de ingredientes funcionais nos sucos de frutas, como os prebióticos, que são definidos como ingredientes fermentados seletivamente que permitem alterações, tanto na composição e/ou atividade na microflora gastrointestinal conferindo benefícios ao bem-estar e à saúde do hospedeiro, é uma alternativa promissora

(Gibson e colaboradores, 2004; Nami e colaboradores, 2020, Arilla e colaboradores, 2021).

A inclusão de prebióticos em sucos de frutas cumpre múltiplas funções além da sobrevivência das cepas probióticas, como a melhoria das características sensoriais e físico-químicas, como adoçantes e como estabilizantes para evitar processos de liquefação (Corzo e colaboradores, 2015; Munir e colaboradores, 2016). Polidextrose, frutooligossacarídeos (FOS) e galactooligossacarídeos (GOS) são bem reconhecidos prebióticos encontrados em vários outros alimentos (Singh e colaboradores, 2015).

Os FOSs são obtidos por hidrólise parcial da inulina ou de sacarose pela ação das frutossiltransferases (Nobre e colaboradores, 2018).

Segundo Fonteles e Rodrigues (2018), além de suas propriedades prebióticas, o FOS pode ser usado parcialmente para substituir a sacarose em sucos de frutas sem afetar o desempenho e as características físico-químicas do produto.

Já os GOS, são produzidos a partir da lactose através da atividade de transgalactosilação da enzima  $\beta$ -galactosidase (Martins e colaboradores, 2011).

Em geral, são muito estáveis a condições ácidas e temperaturas elevadas e, por esta razão, podem ser potencialmente adicionados a uma variedade de alimentos ácidos ou aquecidos, como sucos de frutas processados (Costabile e colaboradores, 2015; Fonteles e Rodrigues, 2018).

Outro prebiótico também disponível no mercado, a polidextrose é um polímero altamente solúvel em água formado por moléculas de glicose unidas por ligações de sorbitol e ácido cítrico (Stowell, 2009).

É extremamente estável dentro de uma ampla faixa de pH, temperatura, condições de processo e estocagem (Jie e colaboradores, 2000).

Possui baixo índice glicêmico, comparado à glicose, sendo indicada para consumidores que buscam uma dieta com menos carboidratos, inclusive os diabéticos (Montenegro e colaboradores, 2008; Silva e colaboradores, 2021).

Apesar dos inúmeros relatos sobre a utilização de prebióticos e sobre tecnologias não térmicas para a elaboração de sucos, estudos com foco na utilização de combinações

de FOS, GOS e polidextrose e a avaliação dos efeitos dos processos de pasteurização e ultrassom em sucos de seriguela ainda são escassos. Métodos estatísticos aplicados, como modelos de otimização, contribuem para a formulação de novos produtos, adequados para escala comercial, considerando as demandas e preferências dos consumidores. Os resultados obtidos a partir do planejamento de mistura Simplex-Centróide (SCMD) permitem identificar os efeitos sinérgicos das misturas e prever modelos que forneçam respostas, como alta qualidade e baixos custos (Cornell, 2011; Calado e Montgomery, 2003).

Portanto, esta pesquisa objetivou avaliar o efeito do processamento e da adição de prebióticos nos teores de compostos bioativos em sucos de seriguela bem como otimizar as concentrações de frutooligossacarídeos (FOS), galactooligossacarídeos (GOS) e polidextrose nos sucos submetidos aos processos de pasteurização e banho de ultrassom.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi realizado nos laboratórios de Análise Sensorial e de Bromatologia da Escola de Nutrição da Universidade Federal de Ouro Preto.

Elaboração dos sucos de seriguela pasteurizados e submetidos ao banho de ultrassom adicionados de diferentes concentrações de prebióticos

Para a elaboração dos sucos, foram utilizadas polpas comerciais de seriguela, obtidas na região de Montes Claros-MG, e três prebióticos (FOS, GOS e Polidextrose - NutraMax®).

Foram elaboradas 11 formulações de sucos de seriguela, sendo que 4 foram repetições da formulação que continha os três prebióticos nas mesmas proporções, e uma sem adição de prebióticos (controle). O teor de prebiótico foi fixado em 1,5%, estando de acordo com os valores permitidos pela legislação para alimentos líquidos a fim de ser considerado um alimento funcional (Brasil, 2008).

O suco de seriguela foi preparado a partir da polpa da fruta congelada. Os prebióticos foram pesados separadamente e adicionados, manualmente, à polpa de seriguela juntamente com a água, de acordo com metodologia de Silva e colaboradores (2012a). Foi utilizada a proporção 1:1 para

polpa:água, uma vez que, por a seriguela ser um fruto tropical, pode ser adicionada água ao seu suco (Brasil, 2009).

A elaboração da formulação controle ocorreu de modo semelhante, mas sem a adição dos prebióticos. Os sucos prontos foram submetidos aos processos térmico (pasteurização) e não térmicos (banho de ultrassom).

Para a pasteurização dos sucos de seriguela, as amostras (200 mL) foram adicionadas em tacho aberto de aço inoxidável, sendo submetidas a tratamento térmico de pasteurização com binômio tempo-temperatura de 82 °C por 2 minutos (Fontan e colaboradores, 2012).

Nos tratamentos utilizando banho de ultrassom, as amostras (200 mL) foram colocadas em erlenmeyers e, em seguida, foram inseridas no banho ultrassônico (lavadora ultrassônica Cristofoli, capacidade 2,5 L, frequência 42 kHz) onde foram submetidas à sonicação por 10 minutos a 60 °C (Alves e colaboradores, 2020). A temperatura das amostras foi controlada com termômetro digital do tipo espeto para alimentos.

Após os processos de pasteurização e banho de ultrassom, as amostras foram

envasadas em garrafas de polipropileno (300 mL) e fechadas com tampas plásticas. Em seguida, foram resfriadas (35 °C) por aspersão de água gelada, rotuladas e armazenadas a temperatura de refrigeração (10 °C ± 2 °C).

O experimento foi planejado em simplex-centróide (SCMD) (Montgomery, 2001), com intuito de avaliar o efeito da adição de FOS ( $X_1$ ), GOS ( $X_2$ ) e polidextrose ( $X_3$ ) nos teores de compostos bioativos e otimizar a concentração de prebióticos que irá proporcionar melhores resultados de vitamina C, compostos fenólicos e carotenoides totais nos sucos de seriguela submetidos a diferentes processos de conservação. Todas as análises foram realizadas com o software R 4.1.2 da R Foundation for Statistical Computing (Vienna, Austria).

Os pontos experimentais codificados pelo SCMD foram configurados nos componentes originais (Tabela 1), as restrições de espaço experimental necessárias para esse tipo de planejamento foram atendidas, visto que, todas as concentrações adotadas para as componentes  $X_1$ ,  $X_2$  e  $X_3$  estão entre 0 a 1 e a soma das proporções em cada componente é unitária  $\sum_{i=1}^3 x_i = 1$  (Tabela 1).

**Tabela 1** - Planejamento de mistura simplex-centróide aplicado para otimizar as formulações de sucos de seriguela submetidas à pasteurização e ao banho de ultrassom.

Formulações	Variáveis		
	$X_1$	$X_2$	$X_3$
1	1	0	0
2	0	1	0
3	0	0	1
4	0,5	0,5	0
5	0,5	0	0,5
6	0	0,5	0,5
7	0,33	0,33	0,33
8	0,33	0,33	0,33
9	0,33	0,33	0,33
10	0,33	0,33	0,33

**Legenda:**  $X_1$ : FOS,  $X_2$ : GOS,  $X_3$ : Polidextrose.

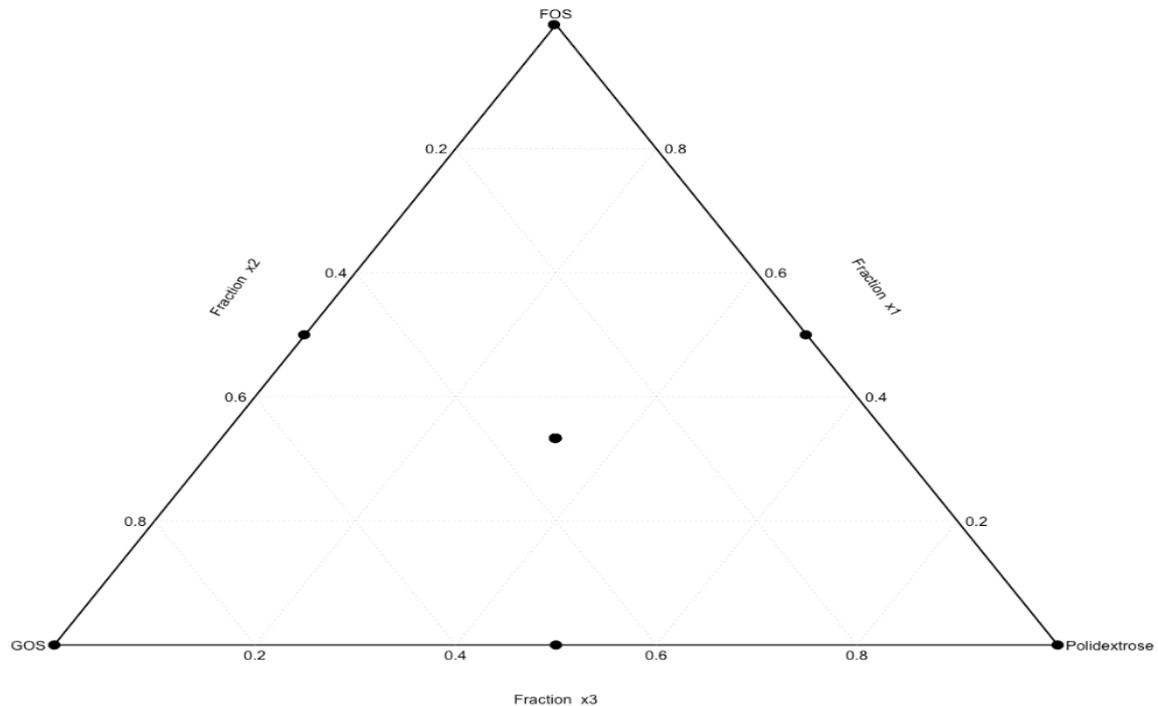
No planejamento simplex-centróide os pontos experimentais são representados em diagramas triangulares (Figura 1) e por equações polinomiais que são definidas pela mistura de qth-ordem.

Dessa forma, para misturas ternárias  $q=3$ , como os presentes neste estudo, o modelo cúbico especial (equação 1) deve ser ajustado aos dados experimentais, permitindo a previsão dos valores das superfícies de resposta.

$$\hat{y} = \sum_{i=1}^q \beta_i x_i + \sum_{i<j}^q \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{i<j<k}^q \beta_{ijk} x_i x_j x_k + \epsilon$$

Equação 1

As interações são avaliadas em  $\beta_i$ ,  $\beta_{ij}$  e  $\beta_{ijk}$ ;  $x_i$ ,  $x_j$  e  $x_k$  são os fatores estudados e  $\hat{y}$  é a resposta experimental aos fatores.



**Figura 1** - Planejamento de mistura simples-centróide com as concentrações de FOS, GOS e Polidextrose.

### Compostos bioativos

A determinação do teor de ácido ascórbico foi realizada utilizando o método padrão da AOAC (1984), modificado por Benassi e Antunes (1988), que substituíram a solução de extração padrão (ácido metafosfórico) por ácido oxálico. As diluições foram feitas diretamente em ácido oxálico 2%. Amostras, de 1g de polpa e 1 mL de suco, foram diluídas para 100 mL com solução de ácido oxálico 2% e uma alíquota de 25 mL foi titulada com solução de DCFI (2,6 – diclorofenolindofenol) a 0,025% até coloração rósea. A solução de 2,6-diclorofenolindofenol a 0,025% foi padronizada com solução de ácido L-ascórbico (0,2 mg ácido ascórbico/100 mL em solução de ácido oxálico 2%, preparada e mantida ao abrigo da luz), imediatamente antes das determinações do teor de ácido ascórbico dos sucos de seriguela. Os resultados foram expressos em mg de ácido ascórbico por 100 g para a polpa de seriguela e mg de ácido ascórbico por 100 mL para os sucos.

Os carotenoides totais foram determinados de acordo com a metodologia proposta por Rodriguez-Amaya (2001). As amostras foram analisadas em

espectrofotômetro através de uma varredura entre 350 – 700 nm para cada amostra. Os resultados foram expressos em mg/100 g de zeaxantina para a polpa de seriguela, mg/100 g de rubixantina para o suco pasteurizado e mg/100 g de  $\alpha$ -caroteno para o suco submetido ao banho de ultrassom, calculado conforme Equação 2.

$$\text{Carotenoides totais} \left( \frac{\text{mg}}{100 \text{ g}} \right) = \frac{\text{Abs.V(mL).10}^5}{A_1 \text{cm}^{1\%}.100.P(\text{g})}$$

Equação 2 onde Abs = absorvância; V = volume da solução (100 mL);  $A_1 \text{cm}^{1\%}$  = coeficiente de extinção (2348, zeaxantina, 2750 rubixantina, 2800  $\alpha$ -caroteno); e P = peso da amostra diluída no volume V.

Os compostos fenólicos totais foram quantificados de acordo com o método adaptado de Folin-Ciocalteu (Waterhouse, 2002). Uma alíquota 0,5 mL da solução do extrato, obtido de acordo com metodologia de Larrauri e colaboradores (1997), foi pipetada e transferida para tubos de ensaio contendo 2,5 mL do reagente de Folin-Ciocalteu 10% (v/v) e 2,0 mL da solução de carbonato de sódio 4% (p/v). Os tubos foram homogeneizados e

mantidos em repouso por 120 minutos, ao abrigo de luz, e a absorbância foi determinada a 750nm, tendo o etanol absoluto como branco. A determinação do teor de fenólicos totais foi realizada por meio da interpolação da absorbância das amostras contra a curva de calibração construída com padrões de ácido gálico. Os resultados foram expressos em mg de equivalente de ácido gálico (mg AGE)/g.

### Capacidade antioxidante

A capacidade antioxidante foi determinada utilizando os métodos de oxidação do sistema  $\beta$ -caroteno/ácido linoleico, de ABTS (2,2'-azino-bis-(3 ácido etilbenzenotiazolina-6-sulfônico), de DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil) e de FRAP (2,4,6-tris (2-piridil)-triazina).

O método de Re e colaboradores (1999) foi utilizado para o ensaio ABTS, com pequenas modificações. O radical ABTS<sup>+</sup> foi gerado pela reação de 5 mL de solução aquosa de ABTS (7 mM) com 88  $\mu$ L de persulfato de potássio a 140 mM (concentração final de 2,45 mM). A mistura foi mantida no escuro por 16 horas antes do uso e depois diluída com etanol para obter uma absorbância de  $0,7 \pm 0,05$  unidades a 734 nm usando um espectrofotômetro. As amostras (30  $\mu$ L), e a substância de referência (Trolox – 6 hidroxil-2,5,7,8-tetrametil ácido croman-2-carboxílico), foram deixadas reagir com 3 mL da solução azul-esverdeada resultante do radical ABTS no escuro. A diminuição na absorbância a 734 nm foi medida após 6 min. Soluções etanólicas de concentrações conhecidas de Trolox foram utilizadas para calibração. Os resultados foram expressos como micromoles de equivalentes de Trolox (TEs) por grama ( $\mu$ mol/g).

A capacidade de eliminação de radicais livres do DPPH foi estimada usando o método relatado por Brand-Williams e colaboradores (1995).

A solução DPPH (600  $\mu$ M) foi diluída com etanol para obter uma absorbância de  $0,7 \pm 0,02$  unidades a 517 nm. Os extratos das amostras (0,1 mL) foram deixados reagir com 3,9 mL de solução de radical DPPH por 120 min no escuro. A absorbância da mistura reacional foi medida a 517 nm. Os resultados foram expressos em EC<sub>50</sub> (g/g DPPH).

O método FRAP é baseado na redução de 2,4,6-tris(2-piridil)-1,3,5-triazina férrica [Fe(III)-TPTZ] ao complexo ferroso em pH baixo, seguido de análise espectrofotométrica (Benzie e Strain, 1996).

Resumidamente, o reagente foi preparado misturando 10 mmol de 2,4,6-Tris(2-piridil)-s-triazina (TPTZ)/L de reagente com 20 mmol/L de cloreto férrico em tampão acetato (pH 3,6).

As análises quantitativas foram realizadas utilizando sulfato ferroso (20 mmol/L) como padrão de referência. Exatamente 0,09 mL das amostras foram misturadas com 0,27 mL de água destilada e 2,7 mL de reagente FRAP. Após 30 minutos, a absorbância foi medida a 595 nm. Os resultados foram calculados e expressos como micromoles de sulfato ferroso  $\mu$ M por g ( $\mu$ mol de sulfato ferroso/g).

A capacidade antioxidante também foi determinada pelo método oxidação do sistema  $\beta$ -caroteno/ácido linoleico, seguindo procedimento relatado por Marco (1968), com algumas modificações. Resumidamente, uma alíquota (50  $\mu$ L) da solução de  $\beta$ -caroteno foi solubilizada em 1 mL de clorofórmio (20 mg/mL) e adicionada a um frasco contendo 40  $\mu$ L de ácido linoleico e 530  $\mu$ L de Tween 40 e homogeneizada. O clorofórmio foi evaporado utilizando um oxigenador. Após o processo de evaporação, foi adicionada água destilada oxigenada (aproximadamente 100 mL) para obter uma absorbância de  $0,65 \pm 0,5$  unidades a 470 nm. Uma alíquota (0,4 mL) de solução de Trolox (200 mg/L) ou extrato das amostras (200 mg/L) foi adicionada à 5 mL da solução sistema ( $\beta$ -caroteno/ácido linoleico) e incubada em banho-maria a 40 °C. As medições foram realizadas após 2 min e 120 min a uma absorbância de 470 nm utilizando um espectrofotômetro. A capacidade antioxidante foi calculada como a porcentagem de inibição em relação ao controle.

### Avaliação dos resultados

Os resultados obtidos da polpa de seriguela foram avaliados calculando as médias e o padrão desvio de três repetições e posteriormente, um foi realizada análise descritiva dos dados.

Para avaliar o efeito da adição de prebióticos nos teores de compostos bioativos de sucos de seriguelas submetidos aos processos de pasteurização e ultrassom, os dados foram agrupados em gráficos de colunas em Microsoft Office Excel 2007, sendo realizada análise descritiva dos dados.

Além disso, para avaliar a capacidade antioxidante dos compostos bioativos fez-se

correlação de Pearson usando o software SPSS (versão 27.0) (IBM SPSS Statistics, SPSS Inc., Chicago, IL, USA) para Windows.

Ainda, os resultados dos teores de compostos bioativos foram avaliados pela metodologia de superfície de resposta com o intuito de otimizar as concentrações de prebióticos em sucos de seriguelas submetidos a pasteurização e ao banho de ultrassom software R 4.1.2 da R Foundation for Statistical Computing (Vienna, Austria).

## RESULTADO E DISCUSSÃO

### Avaliação dos compostos bioativos da polpa de seriguela

Os valores médios dos compostos bioativos da polpa de seriguela encontram-se na Tabela 2.

**Tabela 2** - Valores médios dos compostos bioativos da polpa de seriguela.

Compostos bioativos	Polpa de seriguela
Vitamina C (mg/100 g)	147,06 ± 0,00
Compostos fenólicos totais (mg AGE/g)	0,54 ± 0,08
Carotenoides totais (mg/100 g)	5,44 ± 0,08

Legenda: n=3. Média ± desvio padrão

A polpa de seriguela apresentou teor de vitamina C de 147,06 mg/100 g (Tabela 2), apresentando valores superiores ao encontrado em seriguelas cultivadas em Yucatan, México, (33,33 mg/100 g a 36,51 mg/100 g) (Moo-huchin e colaboradores, 2014), em frutos de seriguela provenientes de genótipos diferentes em Pernambuco (25,76 mg/100 g a 26,19 mg/100 g) (Silva e colaboradores, 2016) bem como das seriguelas cultivadas no semiárido baiano (12,62 mg/100 g) (Bastos e colaboradores, 2014).

Ramful e colaboradores (2011) classificou os frutos quanto ao teor de ácido ascórbico em baixo (<30 mg/100 g), médio (30-50 mg/100 g) e alto (> 50 mg/100 g). Dessa forma a polpa de seriguela utilizada no presente estudo apresentou alto teor de vitamina C.

A quantidade de fenólicos totais encontrados na polpa de seriguela foi de 0,54 mg AGE/g (Tabela 2).

Vasco e colaboradores (2008) classificou as frutas frescas quanto ao teor de compostos fenólicos como baixas (<1 mg AGE/g), médias (1 a 5 mg AGE/g) ou altas (>5 mg AGE/g).

De acordo com esta classificação, a polpa de seriguela do presente estudo pode ser considerada com baixo teor de compostos fenólicos. Valores superiores foram encontrados nos estudos realizados por Bramont e colaboradores (2018), analisando casca e polpa de seriguela in natura (24,18 mg EAG/g) e por Stafussa e colaboradores (2018), avaliando frutas tropicais cultivadas no

nordeste brasileiro (2,04 mg EAG/g). Já Almeida e colaboradores (2009), encontraram valores semelhantes ao presente estudo (0,55 mg EAG/g) em estudos sobre compostos bioativos de polpa de frutas exóticas.

De acordo com Soares e colaboradores (2015) e Makita e colaboradores (2016), os compostos fenólicos encontram-se distribuídos em todos os frutos, influenciando as suas propriedades químicas e sensoriais, sendo que estes possuem grande influência biológica uma vez que ocorrem em função da espécie, da variedade, das condições de crescimento, do grau de amadurecimento e armazenamento, tipo de tecido entre outros aspectos.

Observou-se que para a polpa de seriguela utilizada no presente estudo foi encontrado um teor de carotenoides totais bem inferior (5,44 mg/100 g) ao estudo de Mendonça e Vieites (2019) (28000 mg/100 g) quando estudaram as propriedades físico-químicas de frutas exóticas nativas de Brasil.

Porém, Zielinski e colaboradores (2014) encontraram valores menores (1,32 mg/100 g).

Britton e Khachik (2009) sugerem uma classificação de fontes de carotenoides por faixa de conteúdo: baixa = 0–100 µg/100 g, moderada = 100–500 µg/100 g, alto = 500–2.000 µg/100 g e muito alto = > 2.000 µg/100 g. Baseada nesta classificação a polpa de seriguela pode ser considerada uma fonte muito elevada de carotenoides (5438 µg/100 g).

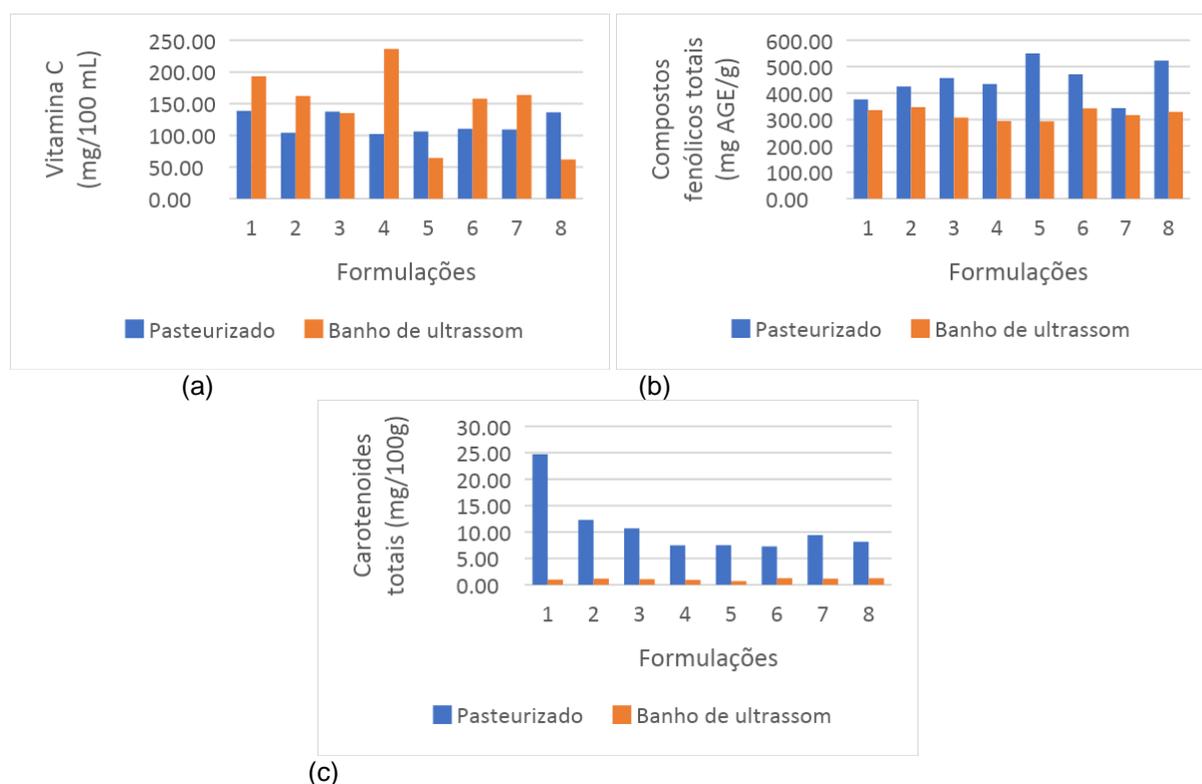
Segundo Vieira e colaboradores (2011), existem inúmeros fatores que podem

interferir nos resultados dos teores de compostos bioativos como maturação, práticas de cultivo, origem geográfica, armazenamento das frutas, estágio de crescimento, cultivar, além da especificidade do método relacionado ao solvente extrator que podem influenciar na diferença da quantificação destes compostos.

Efeito da adição de prebióticos nos teores de compostos bioativos de sucos de

seriguelas submetidos aos processos de pasteurização e ultrassom

Na Figura 2 estão apresentados o efeito da adição de diferentes concentrações de prebióticos nos teores de compostos bioativos de sucos de seriguela submetidos à pasteurização e ao banho de ultrassom.



**Figura 2** - Efeito da adição de diferentes concentrações de prebióticos nos teores de (a) vitamina C, (b) compostos fenólicos totais e (c) carotenoides totais de sucos de seriguelas submetidos à pasteurização e ao banho de ultrassom. F1: 100% FOS; F2: 100% GOS; F3: 100% GOS; F4: 50% FOS e 50% GOS; F5: 50% FOS e 50% polidextrose; F6: 50% GOS e 50% polidextrose; F7 (média das formulações F7,F8,F9,F10): 33% FOS, 33% GOS e 34% polidextrose; F8: sem prebióticos

Observou-se houve proteção dos compostos bioativos com a adição de prebióticos tanto na forma isolada como combinada (Figura 2).

Os teores de vitamina C dos sucos de seriguela adicionados de prebióticos apresentaram maiores valores que o suco sem adição (F8) quando submetidos ao processo de ultrassom (Figura 2a), com exceção da F5 (50% FOS e 50% polidextrose), sendo que a F4 (50% FOS e 50% GOS) apresentou maior valor tanto em relação àqueles pasteurizados quanto aos submetidos ao banho de ultrassom, ou

seja, a combinação de FOS e GOS, nas mesmas proporções, promoveu proteção contra a degradação da vitamina C.

Em relação ao processo de pasteurização, o suco F1 (100% FOS) apresentou maiores valores desta vitamina que a F8 (sem adição) (Figura 2a).

De acordo com Lešková e colaboradores (2006), pasteurização pode fazer com que a vitamina C seja degradada por reações de oxidação na maioria dos produtos a base de frutas.

Além disso, Santhirasegaram e colaboradores (2013) e Jabbar e colaboradores (2014) relataram que há redução dos teores de vitamina C quando sucos são submetidos ao ultrassom, uma vez que, segundo Aguilar e colaboradores (2017) o processo de ultrassom é realizado na presença de oxigênio, sendo este o principal responsável pela degradação deste importante micronutriente, seguido pela formação de radicais livres.

Desta forma, a adição de prebióticos nos sucos do presente estudo protegeu a vitamina C da degradação, principalmente quando o suco foi submetido ao processo de ultrassom.

Em relação aos teores de compostos fenólicos e carotenoides, observou-se que maiores efeitos foram obtidos pelo processo de pasteurização (Figuras 2b e 2c, respectivamente).

A formulação F5 (50% FOS e 50% povidexose) obteve maior valor de fenólicos que a F8 (sem adição). Já a F1 (100% FOS) apresentou maior teor de carotenoides que o suco sem adição de prebióticos (F8).

Geralmente, de acordo com Igual e colaboradores (2011), o processo de pasteurização causa redução dos teores de compostos fenólicos. Ainda, em seus estudos foi o efeito da pasteurização em sucos de laranja, Lee e Coates (2003), verificaram perdas de carotenoides, provocando alterações de cor no produto.

Diante disso, nota-se que a adição de prebióticos nos sucos de seriguela é viável para

proteger os compostos fenólicos e carotenoides quando forem submetidos à pasteurização.

Os resultados obtidos com a adição de FOS, GOS e povidexose podem ser em decorrência de seu potencial antioxidante, uma vez que, segundo Kuck e Noreña (2016), Hoseinifar e colaboradores (2017), Abasubong e colaboradores (2018), Choudhary e colaboradores (2019) e Ojwach e colaboradores (2020) estes polissacarídeos, quando ingeridos, protegem o organismo contra os radicais livres.

Desta forma, infere-se que estes prebióticos agiram de forma semelhante à ação no organismo, por proteger os compostos bioativos dos processos de pasteurização e ultrassom.

Com o intuito de verificar se os compostos bioativos presentes nos sucos de seriguela adicionados de diferentes concentrações de prebióticos e submetidos aos processos de pasteurização e ultrassom tinham capacidade antioxidante, fez-se a correlação de Pearson (Tabela 3).

Geralmente, a capacidade antioxidante é avaliada por meio de diferentes métodos, uma vez que os alimentos contêm diversos compostos bioativos com diferentes mecanismos antioxidantes, podendo fornecer uma avaliação mais abrangente da capacidade antioxidante visto que cada método apresenta um princípio diferente, utilizando diferentes radicais e/ou padrões (Sousa e colaboradores, 2011).

**Tabela 3** - Correlação de Pearson entre os compostos bioativos e a capacidade antioxidante avaliada por diferentes métodos.

	Vitamina C	Fenólicos	Carotenoides
FRAP	0,14	-0,46	-0,11
DPPH	-0,23	0,47	-0,52*
Sistema $\beta$ -caroteno/ácido linoleico	-0,26	-0,62**	0,17
ABTS	-0,28	0,49	0,57**

**Legenda:** \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ .

Os compostos fenólicos foram negativamente correlacionados com a capacidade antioxidante utilizando o sistema  $\beta$ -caroteno/ácido linoleico (-0,62,  $p < 0,01$ ) (Tabela 4).

A determinação da capacidade antioxidante utilizando o sistema  $\beta$ -caroteno/ácido linoleico está fundamentada em medidas espectrofotométricas da descoloração (oxidação) do  $\beta$ -caroteno induzida pelos

produtos de degradação oxidativa do ácido linoleico, determinando, assim, a atividade de uma amostra ou composto de proteger um substrato lipídico da oxidação (Duarte-Almeida e colaboradores, 2006).

De acordo com Moreira e Mancini Filho (2004) e Galvão e colaboradores (2008) as propriedades antioxidantes dos fenólicos são dependentes das suas características de solubilidade.

Desta forma, pode-se inferir que os compostos fenólicos presentes nos estudos do presente estudo não foram adequadamente solubilizados nos componentes hidrofóbicos do sistema  $\beta$ -caroteno/ácido linoleico.

Já os teores de carotenoides foram negativamente correlacionados com a capacidade antioxidante pelo método DPPH (-0,52,  $p < 0,05$ ) e positivamente com a capacidade antioxidante pelo método ABTS (0,57,  $p < 0,01$ ) (Tabela 4).

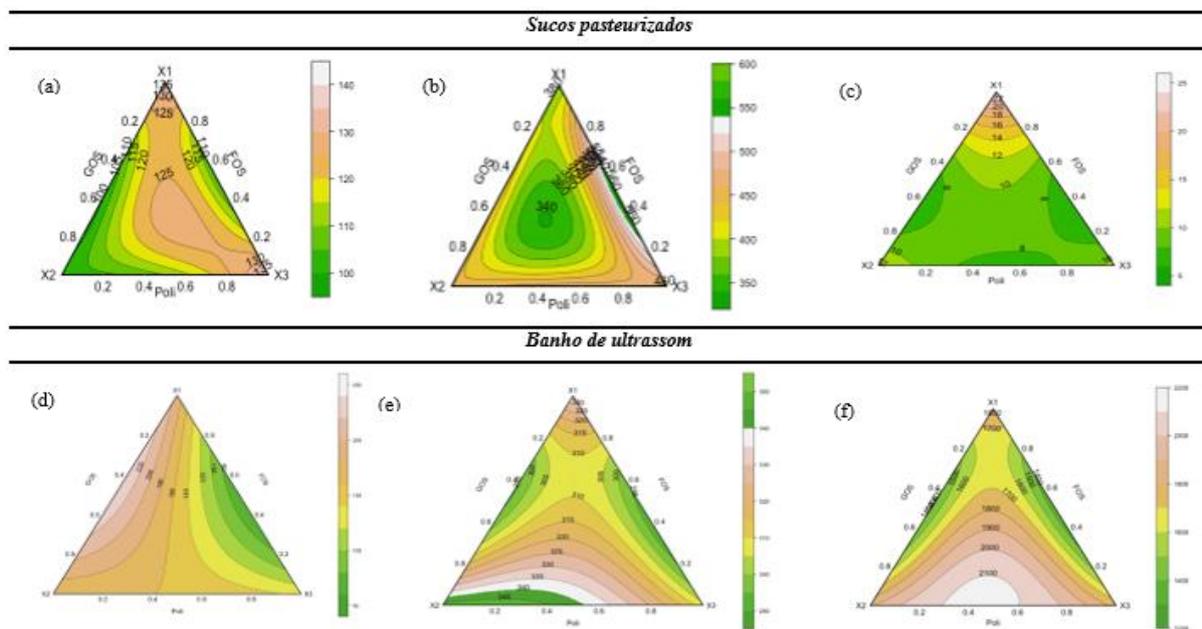
A capacidade antioxidante pelo método DPPH foi calculada por meio do  $EC_{50}$ , o qual, segundo Silva e colaboradores (2012b) é a quantidade de antioxidante presente na amostra capaz de capturar 50% do radical DPPH, ou seja, sucos de seriguela contendo maiores teores de carotenoides totais possuem

maior capacidade antioxidante (verificado pelos métodos DPPH e ABTS).

Otimização das concentrações de prebióticos em sucos de seriguelas submetidos a diferentes processamentos baseado nos teores de compostos bioativos

Na Figura 3 estão apresentados os gráficos de contorno dos teores de compostos bioativos dos sucos de seriguelas com diferentes concentrações de prebióticos submetidos à pasteurização e ao banho de ultrassom.

Nos sucos de seriguela pasteurizados, os valores ótimos de compostos bioativos são obtidos em concentrações maiores de FOS e polidextrose (Figura 3). Já aqueles submetidos ao processo de banho de ultrassom, os maiores valores foram obtidos na presença de GOS e polidextrose.



**Figura 3** - Gráficos de contorno dos teores de (a) e (d) Vitamina C; (b) e (e) Compostos fenólicos totais; (c) e (f) carotenoides totais dos sucos de seriguelas com diferentes concentrações de prebióticos submetidos à pasteurização e ao banho de ultrassom

Na Tabela 4 estão apresentadas as proporções de prebióticos com a finalidade de obtenção dos valores otimizados, bem como os valores médios dos sucos sem adição de prebióticos.

Os sucos de seriguela adicionados de prebióticos apresentaram maiores teores de compostos bioativos que aqueles sem adição, nos dois tipos de processamento (Tabela 4).

Observou-se que a adição de GOS não influenciou na proteção dos compostos bioativos nos sucos pasteurizados. Já em relação aos sucos submetidos ao banho de ultrassom, a adição de GOS e polidextrose promoveu maior teor dos referidos compostos.

Conforme dito anteriormente, os resultados obtidos podem ser em decorrência do efeito antioxidante destes polissacarídeos (Kuck e Noreña, 2016; Hoseinifar e

colaboradores, 2017; Abasubong e colaboradores, 2018; Choudhary e colaboradores, 2019; Ojwach e colaboradores, 2020).

Portanto, a adição de FOS na concentração de 0,68% a 1,5% e de polidextrose com concentração variando de 0,86% e 1,5 em sucos de seriguela pasteurizados ou a adição de GOS em

concentração variando de 0,65% e 1,26% e polidextrose na concentração de 0,24% a 0,66% em sucos de seriguela submetidos ao banho de ultrassom podem, segundo Lima e colaboradores (2018) ajudar a preservar, ou até mesmo melhorar, os teores de compostos bioativos, exercendo efeito semelhante dos prebióticos no organismo.

**Tabela 4** - Valores otimizados dos teores de compostos bioativos dos sucos de seriguela com diferentes concentrações de prebióticos submetidos à pasteurização e ao banho de ultrassom.

Compostos bioativos	Proporção [FOS; GOS; Polidextrose]	Valor otimizado	Suco sem prebiótico
<b>Sucos pasteurizados</b>			
Vitamina C (mg/100 mL)	[0;0;1]	137,44	136,17
Compostos fenólicos totais (mg AGE/g)	[0,43;0;0,57]	553,78	522,47
Carotenoides totais (mg/100 g)	[1;0;0]	24,73	8,15
<b>Banho de ultrassom</b>			
Vitamina C (mg/100 mL)	[0,57;0,43;0]	237,5	61,99
Compostos fenólicos totais (mg AGE/g)	[0;0,84;0,16]	348,7	325,67
Carotenoides totais (mg/100 g)	[0,04;0,52;0,44]	2133,56	1928,09

Em relação aos valores otimizados, notou-se que o banho de ultrassom foi menos efetivo que a pasteurização somente em relação aos compostos fenólicos.

De acordo com Abid e colaboradores (2014) e Saeeduddin e colaboradores (2015), a pasteurização resulta na diminuição dos nutrientes dos alimentos, especialmente antioxidantes.

Porém, em relação ao processo de ultrassom, Jabbar e colaboradores (2014) relataram que esta tecnologia não térmica aumenta os valores de alguns compostos bioativos, além de perdas mínimas de sabor. Este efeito pode ser atribuído à ruptura mecânica das paredes celulares como resultado de uma súbita mudança na pressão exercida por implosões de bolhas durante cavitações, liberando, assim, a forma ligada destes compostos no líquido (Knorr e colaboradores, 2004; Saeeduddin e colaboradores, 2015).

Todavia, Reis e colaboradores (2018) verificaram aumento nos teores de compostos bioativos em suco pasteurizado de laranja e maracujá. Este aumento dos teores de compostos bioativos em alguns produtos tem sido associado a uma melhor extração de compostos bioativos após tratamento térmico, conforme observado por Mena e colaboradores

(2013) ao analisarem antocianinas em suco de romã submetido a tratamentos térmicos a 65, 80 e 95 °C por 30 e 60 s.

Ainda, observou-se valores de compostos bioativos mais elevados nos sucos de seriguela processados que em sua polpa (Tabela 2).

Rojas e colaboradores (2021) relataram que durante o processamento por ultrassom, dependendo do produto (quantidade, estrutura, composição e geometria) e das condições de processamento (tipo de ultrassom, potência, temperatura, tipo de meio), a propagação e distribuição das ondas acústicas causam mecanismos mecânicos e químicos que modificam a estrutura dos alimentos em diferentes níveis, seja em tecidos, células ou moléculas.

## CONCLUSÃO

O presente estudo foi realizado para investigar os efeitos da adição de FOS, GOS e polidextrose, tanto de forma isolada quanto combinada, e dos processos de pasteurização e banho de ultrassom nos teores de compostos bioativos de sucos de seriguela.

A polpa de seriguela foi classificada como contendo altos teores de vitamina C e

carotenoides e baixo teor de compostos fenólicos.

A adição de FOS, GOS e polidextrose antes dos processos de pasteurização e banho de ultrassom, tanto de forma isolada como combinada, protegeu todos os compostos bioativos, sendo que maiores valores de vitamina C foram obtidos no banho de ultrassom e os maiores teores de compostos fenólicos e carotenoides foram alcançados com a pasteurização. Portanto, a adição destes prebióticos apresentou com uma estratégia viável por promover maior proteção da vitamina C, dos compostos fenólicos e dos carotenoides nos sucos de seriguela submetidos à pasteurização e ao banho de ultrassom.

Os dados relatados neste estudo sugerem que a adição de FOS na concentração de 0,68% a 1,5% e de polidextrose com concentração variando de 0,86% e 1,5 em sucos de seriguela pasteurizados ou a adição de GOS em concentração variando de 0,65% e 1,26% e polidextrose na concentração de 0,24% a 0,66% em sucos de seriguela submetidos ao banho de ultrassom podem ser usados para melhorar a qualidade do suco de seriguela.

Embora mais pesquisas sejam necessárias para otimizar as condições de processamento para as características físicas, físico-químicas e sensoriais, os dados obtidos estabelecem o fato de que a adição de prebióticos pode tornar o suco de seriguela mais saudável e nutritivo.

Estudos futuros de estabilidade dos carboidratos são cruciais para garantir a propriedades funcionais do produto.

Além disso, sugere-se a realização de análises microbiológicas destes sucos com o intuito de avaliar a estabilidade após o processamento e as mudanças durante o armazenamento.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG, Projeto APQ-01843-21), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES, Código de Financiamento 001) pelo apoio financeiro.

#### REFERÊNCIAS

- 1-Aadil, R.M.; Zeng, X.-A.; Han, Z.; Sun, D.W. Effects of ultrasound treatments on quality of grapefruit juice. *Food Chemistry*. Vol. 141. Num. 3. 2013. p. 3201-3206.
- 2-Abasubong, K.P.; Liu, W.-B.; Zhang, D.-D.; Yuan, X.-Y.; Xia, S.-L.; Xu, C.; Li, X.-F. Fishmeal replacement by rice protein concentrate with xylooligosaccharides supplement benefits the growth performance, antioxidant capability and immune responses against *Aeromonas hydrophila* in blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*). *Fish & Shellfish Immunology*. Vol. 78. 2018. p. 177–186.
- 3-Abid, M.; Jabbar, S.; Hu, B.; Hashim, M. M.; Wu, T.; Lei, S.; Khan, M. A.; Zeng, X. Thermosonication as a potential quality enhancement technique of apple juice. *Ultrasonics Sonochemistry*. Vol. 21. Num. 3. 2014. p. 984-990.
- 4-Aguilar, K.; Garvín, A.; Ibarz, A.; Augusto, P. E. Ascorbic acid stability in fruit juices during thermosonication. *Ultrasonics Sonochemistry*. Vol. 37. 2017. p. 375-381.
- 5-Almeida, M.M.B.; Sousa, P.H.M.; Fonseca, M.L.; Magalhães, C.E.C.; Lopes, M.F.G.; Lemos, T.L.G. Evaluation of macro and micro-mineral content in tropical fruits cultivated in the northeast of Brazil. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. Vol. 29. Num. 3. 2009. p. 581-586.
- 6-Alves, L.L.; Sanos, R.L.; Bayer, B.L.; Devens, A.L.M.; Cichoski, 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*. Vol. 44. Num. 12. 2020. p. e14914.
- 7-Arilla, E.; García-Segovia, P.; Martínez-Monzó, J.; Codoñer-Franch, P.; Igual, M. Effect of adding resistant maltodextrin to pasteurized orange juice on bioactive compounds and their bioaccessibility. *Foods*. Vol. 10. Num. 6. 2021. p. 1198.
- 8-AOAC. Association of Official Analytical Chemists-International. *Official Methods of Analysis*. 14ed. AOAC, Arlington, VA, USA. 1984.

- 9-Augusto, P.E.D.; Cristianini, M.; Ibarz, A. Effect of temperature on dynamic and steady state shear rheological properties of siriguela (*Spondias purpurea* L.) pulp. *Journal of Food Engineering*. Vol. 108. 2012. p. 283-289.
- 10-Bastos, L.P.; Dantas, A.C.V.L.; Costa, M.A.P.C.; Bastos, M.J.S.M.; Fonseca, A.A.O. Avaliação de genótipos de seriguela com base em características físicas, químicas e físico-químicas dos frutos no município de Santo Estevão, Bahia. *Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer*. Vol. 10. Num. 18. 2014. p. 535-544.
- 11-Benassi, M.T.; Antunes, A.J. A comparison of meta-phosphoric and oxalic acids as extractant solutions for the determination of vitamin C in selected vegetables. *Arquivos de Biologia e Tecnologia*. Vol. 31. Num. 4. 1988. p. 507-513.
- 12-Benzie, L.; Strain, J. The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": The FRAP assay. *Analytical Biochemistry*. Vol. 239. Num. 1. 1996. p. 70-76.
- 13-Bermudéz-Aguirre, D.; Barbosa-Cánovas, V. G. Inactivation of *Saccharomyces cerevisiae* in pineapple, grape and cranberry juices under pulsed and continuous thermo-sonication treatments. *Journal of Food Engineering*. Vol. 108. Num. 3. 2012. p. 383-392.
- 14-Bramont, W.B.; Leal, I.L.; Umsza-Guez, M.A.; Guedes, A.S.; Alves, S.C.O.; Eis, J.H.O.; Barbosa, J.D.V.; Machado, B.A.S. Comparação da composição centesimal, mineral e fitoquímica de polpas e cascas de dez diferentes frutas. *Revista Virtual de Química*. Vol. 10. Num. 4. 2018. p. 811-823.
- 15-Brand-Williams, W.; Cuvelier, M.E.; Berset, C. Use of a free-radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*. Vol. 28. Num. 1. 1995. p. 25-30.
- 16-Brasil. Decreto n.º 6.781, de 04 de junho de 2009. Dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas. Disponível em: <https://legis.senado.leg.br/norma/575607/publiacao/15749248>. Acesso em: 01/01/2021.
- 17-Brasil. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. IX Lista de alegações de propriedade funcional aprovadas, julho de 2008. Alimentos com Alegações de Propriedades Funcionais e ou de Saúde, Novos Alimentos/Ingredientes, Substâncias Bioativas e Probióticos. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br>. Acesso em: 01/01/2021.
- 18-Britton, G.; Khachik, F. Carotenoids in Food. In G. Britton, S. Liaaen-Jensen, H. Pfander (Eds.). *Carotenoids: Nutrition and health*. p. 45-66. Basel. Birkhäuser. 2009.
- 19-Calado, V.; Montgomery, D. Planejamento de experimentos usando o Statistica. 260 p. Editora E-Papers. 2003.
- 20-Campoli, S. S.; Rojas, M. L.; Amaral, J. E. P. G.; Canniatti-Brazaca, S. G.; Augusto, P. E. D. Ultrasound processing of guava juice: Effect on structure, physical properties and lycopene in vitro accessibility. *Food Chemistry*. Vol. 268. 2018. p. 594-601.
- 21-Choudhary, S.; Singh, M.; Sharma, D.; Attri, S.; Sharma, K.; Goel, G. Principal component analysis of stimulatory effect of synbiotic combination of indigenous probiotic and inulin on antioxidant activity of soymilk. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*. Vol. 1. 2019. p. 813-819.
- 22-Cornell, J. A. Experiments with mixtures: designs, models, and the analysis of mixture data. Vol. 255. Wiley-interscience. 2011.
- 23-Corzo, N.; Alonso, J.L.; Azpiroz, F.; Calvo, M.A.; Cirici, M.; Leis, R.; Lombó, F.; Mateos-Aparicio, I.; Plou, F.J.; Ruas-Madiedo, P.; Rúperez, P.; Redondo-Cuenca, A.; Sanz, M.L.; Clemente, A. Prebiotics: Concept, properties and beneficial effects. *Nutrición Hospitalaria*. Vol. 31. p. 99-118. 2015.
- 24-Costabile, A.; Walton, G.E.; Tzortzis, G.; Vulevic, J.; Charalampopoulos, D.; Gibson, G. R. Effects of orange juice formulation on prebiotic functionality using an in vitro colonic model system. *PLoS One*. Vol. 10. p. 1-12. 2015.
- 25-Day, L.; Seymour, R.B.; Pitts, K.F.; Konczak, I.; Lundin, L. Incorporation of functional ingredients into foods. *Trends in Food Science*

& Technology. Vol. 20. Num. 9. p. 388-395. 2009.

26-Demirok, N.T.; Yikmiş, S. Combined effect of ultrasound and microwave power in tangerine juice processing: bioactive compounds, amino acids, minerals, and pathogens. *Processes*. Vol. 10. Num. 10. p. 2100. 2022.

27-Duarte-Almeida, J.M.; Santos, R.J.; Genovese, M.I.; Lajolo, F.M. Avaliação da atividade antioxidante utilizando sistema  $\beta$ -caroteno/ácido linoleico e método de sequestro de radicais DPPH. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. Vol. 26. Num. 2. p. 446-452. 2006.

28-Fontan, R.; Alcântara, L.; Neto, S.; Bonomo, R.; Fontan, G. Cinética de inativação da peroxidase em água de coco. *Semina: Ciências Agrárias*. Vol. 33. Num. 1. p. 249-258. 2012.

29-Fonteles, T.V.; Rodrigues, S. Prebiotic in fruit juice: processing challenges, advances, and perspectives. *Current Opinion in Food Science*. Vol. 22. 2018. p. 55-61.

30-Galvão, E.L.; Silva, D.C.F.; Silva, J.O.; Moreira, A.V.B.; Sousa, E.M.B.D. Evaluation of the antioxidant potential and sub-critical extraction of linseed oil. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. Vol. 28. Num. 3. 2004. p. 551-557.

31-Gibson, G.R.; Probert, H.M.; Van Loo, J.; Rastall, R.A.; Roberfroid, M.B. Dietary modulation of the human colonic microbiota: Updating the concept of prebiotics. *Nutrition Research Reviews*. Vol. 17. 2004. p. 259-275.

32-Hoseinifar, S.H.; Hoseini, S.M.; Bagheri, D. Effects of galactooligosaccharide and *Pediococcus acidilactici* on antioxidant defence and disease resistance of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Annals of Animal Science*. Vol. 17. Num. 1. 2017. p. 217-227.

33-Igual, M.; García-Martínez, E.; Camacho, M. M.; Martínez-Navarrete, N. Changes in flavonoid content of grapefruit juice caused by thermal treatment and storage. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. Vol. 12. Num. 2. 2011. p. 153-162.

34-Jabbar, S.; Abid, M.; Wu, T.; Hashim, M.M.; Hu, B.; Lei, S.; Zhu, X.; Zend, X. Study on combined effects of blanching and sonication

on different quality parameters of carrot juice. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. Vol. 65. Num. 1. 2014. p. 28-33.

35-Knorr, D.; Zenker, M.; Heinz, V.; Lee, D.U. Applications and potential of ultrasonics in food processing. *Trends in Food Science and Technology*. Vol. 15. Num. 5. 2004. p. 261-266.

36-Kuck, L.S.; Noreña, C.P.Z. Microencapsulation of grape (*Vitis labrusca* var. Bordo) skin phenolic extract using gum Arabic, polydextrose, and partially hydrolyzed guar gum as encapsulating agents. *Food Chemistry*. Vol. 194. 2016. p. 569-576.

37-Larrauri, J. A.; Ruperez, P.; Saura-Calixto, F. Effect of drying temperature on the stability of polyphenols and antioxidant activity of red grape pomace peels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. Vol.45. Num. 4. 1997. p. 1390-1393.

38-lee, H.S.; coates, G.A. Effect of thermal pasteurization on Valencia orange juice color and pigments. *Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie*. Vol. 36. Num. 1. 2003. p. 153-156.

39-Lepaus, B.M.; Santos, A.K.O.O.; Spaviero, A.F.; Daud, P.S.; José, J.F.B.S. Thermosonication of orange-carrot juice blend: overall quality during refrigerated storage, and sensory acceptance. *Molecules*. Vol. 28. 2023. p. 2196.

40-Lešková, E.; Kubíková, J.; Kováčiková, E.; Košická, M.; Porubská, J.; Holčíková, K. Vitamin losses: Retention during heat treatment and continual changes expressed by mathematical models. *Journal of Food Composition and Analysis*. Vol. 19. Num. 4. 2006. p. 252-276.

41-Lima, A.C.D.; Cecatti, C.; Fidélis, M.P.; Adorno, M.A.T.; Sakamoto, I.K.; Cesar, T.B.; Sivieri, K. Effect of daily consumption of orange juice on the levels of blood glucose, lipids, and gut microbiota metabolites: controlled clinical trials. *Journal of Medicinal Food*. Vol. 22. 2018. p. 202-210.

42-Makita, C.; Chimuka, L.; Steenkamp, P.; Cukrowska, E.; Madala, E. Comparative analyses of flavonoid content in *Moringa oleifera* and *Moringa ovalifolia* with the aid of

UHPLC-qTOF-MS fingerprinting. *South African Journal of Botany*. Vol. 105. 2016. p. 116-122.

43-Maldonado-Astudillo, Y.I.; Alia-Tejacal, I.; Núñez-Colín, C.A.; Jiménez-Hernández, J.; López-Martínez, V.; Valle-Guadarrama, S.; Andrade-Rodríguez, M.; Bautista-Baños, S.; Pelayo-Zaldívar, C. Postharvest physiology and technology of *Spondias purpurea* L. and *S. mombin* L. *Scientia Horticulturae*. Vol. 174. 2014. p. 193-206.

44-Martins, A.R.; Manera, A.P.; Monteiro, R.L.; Burkert, J.F.M.; Burkert, C.A.V. Lactose conversion and the synthesis of galactooligosaccharides in a simultaneous lagged bioprocess using  $\beta$ -galactosidases and probiotic microorganisms. *Brazilian Journal of Food Technology*. Vol. 14. Num. 2. 2011. p. 130-136.

45-Mena, P.; Vegara, S.; Martí, N.; García-Viguera, C.; Saura, D.; Valero, M. Changes on indigenous microbiota, colour, bioactive compounds and antioxidant activity of pasteurised pomegranate juice. *Food Chemistry*. Vol. 141. 2013. p. 2122-2129.

46-Mendonça, V.Z.; Vieites, R.L. Physical-chemical properties of exotic and native Brazilian fruits. *Acta Agronómica*. Vol. 68. Num. 3. 2019. p. 175-181.

47-Montenegro, F.M.; Gomes-Ruffi, C.R.; Vicente, C.A.; Collares-Queiroz, F. P.; Steel, C. J. Fermented cassava starch biscuits enriched with soluble and insoluble fibers. *Food Science and Technology*. Vol. 28. 2008. p. 184-191.

48-Montgomery, D.C. Design and analysis of experiments. 5.ed. USA: John Wiley & Sons. 684p. 2001.

49-Moo-Huchin, V.M.; Estrada-Mota, I.; Estrada-León, R.; Cuevas-Glory, L.; Ortiz-Vázquez, E.; Vargas, M.L.V.; Betancur-Ancona, D.; Sauri-Duch, E. Determination of some physicochemical characteristics, bioactive compounds and antioxidant activity of tropical fruits from Yucatan, Mexico. *Food Chemistry*. Vol. 152. 2014. p. 508- 515.

50-Moreira, A.V.B.; Mancini Filho, J. Influence of spices phenolic compounds on lipoperoxidation and lipid profile of rats tissues.

*Revista de Nutrição*. Vol. 17. Num. 4. 2004. p. 411-424.

51-Munir, M.B.; Hashim, R.; Chai, Y.H.; Marsh, T.L.; Nor, S.A.M. Dietary prebiotics and probiotics influence growth performance, nutriente digestibility and the expression of immune regulatory genes in snakehead (*Channa striata*) fingerlings. *Aquaculture*. Vol. 460. 2016. p. 59-68.

52-Nami, Y.; Lornezhad, G.; Kiani, A.; Abdullah, N.; Haghshenas, B. Alginate-persian gum-prebiotics microencapsulation impacts on the survival rate of *Lactococcus lactis* ABR11NW-N19 in orange juice. *LWT- Food Science and Technology*. Vol. 124. 2020. p. 109190.

53-Nascimento Filho, E.; Silva, N.N.B.; Converti, A.; Grosso, C.R.F.; Santos, A.M.P.; Ribeiro, D.S.; Maciel, M.I.S. Microencapsulation of acerola (*Malpighia emarginata* DC) and ciriguela (*Spondias purpurea* L) mixed juice with different wall materials. *Food Chemistry Advances*. Vol. 1. 2022. p. 100046.

54-Nobre, C.; Alves Filho, E.G.; Fernandes, F.A.N.; Brito, E.S.; Rodrigues, S.; Teixeira, J.A.; Rodrigues, L.R. Production of fructooligosaccharides by *Aspergillus ibericus* and their chemical characterization. *LWT- Food Science and Technology*. Vol. 89. 2018. p. 58-64.

55-Nunes, B.V.; Silva, C.N.; Bastos, S.C.; Souza, V.R. Microbiological inactivation by ultrasound in liquid products. *Food and Bioprocess Technology*. Vol. 15. 2022. p. 2185-2209.

56-Ojwach, J.; Kumar, A.; Mukaratirwa, S.; Mutanda, T. Fructooligosaccharides synthesized by fructosyltransferase from an indigenous coprophilous *Aspergillus niger* strain XOBP48 exhibits antioxidant activity. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*. Vol. 24. 2020. p. 100238.

57-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*. Vol. 233. 2017. p. 96-100.

- 58-Priyadarshini, A.; Priyadarshini, A. Market dimensions of the fruit juice industry. In *Fruit Juices: Extraction, Composition, Quality and Analysis*, 1st ed.; Rajauria, G., Tiwari, B.K., Eds.; Elsevier: London, UK. 2018. p. 15-32.
- 59-Ramful, D.; Tarnus, E.; Aruoma, O. I.; Bourdan, E.; Baborun, T. Polyphenol composition, vitamin C content and antioxidant capacity of mauritian citrus fruit pulps. *Food Research International*. Vol. 44. Num. 7. 2011. p. 2088-2099.
- 60-Reis, L.C.R.; Facco, E.M.P.; Flôres, S.H.; Rios, A.O. Stability of functional compounds and antioxidant activity of fresh and pasteurized orange passion fruit (*Passiflora caerulea*) during cold storage. *Food Research International*. Vol. 106. 2018. p. 481-486.
- 61-Rodríguez-Amaya, D.B. A guide to carotenoid analysis in foods. Washington: International Life Sciences Institute Press. 64 p. 2001.
- 62-Rodríguez, M.; Oteiza, J.; Giannuzzi, L.; Zaritzky, N. Evaluation of mutagenicity associated with *Escherichia coli* inactivation in UV-treated orange juice. *Toxicological & Environmental Chemistry*. Vol. 99. 2016. p. 315-330.
- 63-Rojas, M.L.; Kubo, M.T.K.; Caetano-Silva, M. E.; Augusto, P. E. D. Ultrasound processing of fruits and vegetables, structural modification and impact on nutrient and bioactive compounds: a review. *International Journal of Food Science and Technology*. Vol. 56. Num. 9. 2021. p. 4376-4395.
- 64-Saeeduddin, M.; Abid, M.; Jabbar, S.; Wu, T.; Hashim, M.M.; Awad, F.N.; Hu, B. Lei, S. Quality assessment of pear juice under ultrasound and commercial pasteurization processing conditions. *LWT - Food Science and Technology*. Vol. 64. Num. 1. 2015. p. 452-458.
- 65-Sánchez-Rubio, M.; Alnakip, M.E.A.; Abouelnaga, M.; Taboada-Rodríguez, A.; Marin-Iniesta, F. Use of thermosonication for inactivation of *E. coli* O157:H7 in fruit juices and fruit juice/reconstituted skim milk beverages. *Acta Horticulturae*. Vol. 1194. 2018. p. 267-274.
- 66-Santhirasegaram, V.; Razali, Z.; Somasundram, C. Effects of thermal treatment and sonication on quality attributes of Chokanan mango (*Mangifera indica* L.) juice. *Ultrasonics Sonochemistry*. Vol. 20. Num. 5. 2013. p. 1276-1282.
- 67-Schuina, G.L.; Moraes, V.P.; Silva, P.I.; Carvalho, R.V. Effect of thermosonication on pectin methylesterase activity and quality characteristics of orange juice. *Revista Ciência Agronômica*. Vol. 52. Num. 4. 2021. p. e20207376.
- 68-Shahidi, F.; Ambigaipalan, P. Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects—A review. *Journal of Functional Foods*. Vol. 18. 2015. p. 820-897.
- 69-Silva, J.V.C.; Silva, A.D.; Klososki, S.J.; Barão, C.E. Pimentel, T.C. Potentially synbiotic grape juice: what is the impact of the addition of *Lactobacillus casei* and prebiotic components? *Biointerface Research in Applied Chemistry*. Vol. 11. Num. 3. 2021. p. 10703-10715.
- 70-Silva Júnior, M.E.; Araújo, M.V.R.L.; Santana, A.A.; Silva, F.L.H.; Maciel, M.I.S. Ultrasound-assisted extraction of bioactive compounds from ciriguela (*Spondias purpurea* L.) peel: Optimization and comparison with conventional extraction and microwave. *Arabian Journal of Chemistry*. Vol. 14. 2021. p. 103260.
- 71-Silva, L.M.R.; Maia, G.A.; Figueiredo, R.W.; Ramos, A.M.; Gonzaga, M.L.C.; Lima, A.S. Comportamento reológico de bebidas mistas de cajá e manga adicionadas de prebióticos. *Boletim do CEPPA*. Vol. 30. Num. 1. 2012a. p. 75-82.
- 72-Silva, Q. J.; Moreira, A. C. C. G.; Melo, E. A.; Lima, V. L. A. G. Phenolic compounds and antioxidant activity of red mombin genotypes (*Spondia purpurea* L.). *Alimentos e Nutrição*. Vol. 23. Num. 1. p. 73-80. 2012b.
- 73-Silva, R. V.; Costa, S. C.; Branco, C. R.; Branco, A. In vitro photoprotective activity of the *Spondias purpurea* L. peel crude extract and its incorporation in a pharmaceutical formulation. *Industrial Crops and Products*. Vol. 83. 2016. p. 509-514.

74-Singh, R.D.; Banerjee, J.; Arora, A. Prebiotic potential of oligosaccharides: a focus on xylan derived oligosaccharides. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*. Vol. 5. Num. 1. 2015. p. 19-30.

75-Soares, E.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 HUPE*. Vol. 14. Num. 3. 2015. p. 64-72.

76-Sosa-Moguel, O.; Pino, J.A.; Sauri-Duch, E.; Cuevas-Glory, L. Characterization of odor-active compounds in three varieties of ciruela (*Spondias purpurea* L.) fruit. *International Journal of Food Properties*. Vol. 21. Num. 1. 2018. p. 1008-1016.

77-Sousa, M.S.B.; Vieira, L.M.; Lima, A. Total phenolics and in vitro antioxidant capacity of tropical fruit pulp wastes. *Brazilian Journal of Food Technology*. Vol. 14. Num. 3. 2011. p. 202-210.

78-Stafussa, A.P.; Maciel, G.M.; Rampazzo, V.; Bona, E.; Makara, C.N.; Demczuk Junior, B.; Haminiuk, C.W.I. Biactive compounds of 44 traditional and exotic Brazilian fruit pulps: phenolic compounds and antioxidante activity. *International Journal of Food Properties*. Vol. 21. Num. 1. 2018. p. 106-118.

79-Stowell, J.D. Prebiotic Potential of polydextrose. In: Charalampopoulos, D.E Rastall, R.A. (Ed.). *Prebiotics and Probiotics Science and Technology*. New York: Springer Verlag, Vol.1. 2009.

80-Tiwari, B.K.; O' Donnell, C.P.; Muthukumarappan, K.; Cullen, P. J. Effect of sonication on orange juice quality parameters during storage. *International Journal of Food Science & Technology*. Vol. 44. Num. 3. 2009. p. 586-595.

81-Vasco, C.; Ruales, J.; Kamal-Eldin, A. Total phenolic compounds and antioxidante capacities of major fruits from Ecuador. *Food Chemistry*. Vol. 111. 2008. p. 816-823.

82-Vieira, L.M.; Sousa, M.S.B.; Mancini-Filho, J.; Lima, A. Fenólicos totais e capacidade antioxidante in vitro de polpas de frutos

tropicais. *Revista Brasileira de Fruticultura*. Vol. 33. Num. 3. 2011. p. 888-897.

83-Waterhouse, A.L. Polyphenolics: Determination of total phenolics. In: Wrolstad, R. E. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. Vol. 11. 2002. p. 111-118.

84-Zielinski, A.A.F.; Ávila, S.; Ito, V.; Nogueira, A.; Wosiacki, G.; Haminiuk, C.W.I. The Association between chromaticity, phenolics, carotenoids, and in vitro antioxidant activity of frozen fruit pulp in brazil: an application of chemometrics. *Journal of Food Science*. Vol. 79. Num. 4. 2014. p. C510-C516.

1 - Programa de Pós-Graduação em Saúde e Nutrição, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil.

2 - Departamento de Alimentos, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil.

3 - Departamento de Estatística, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil.

E-mail dos autores:

michelle.lima@aluno.ufop.edu.br

flavio.assis@aluno.ufop.edu.br

marina.maximiano@aluno.ufop.edu.br

paloma.santos@aluno.ufop.edu.br

fernanda.isabela@aluno.ufop.edu.br

raphael.gomes@ufop.edu.br

marcelo.ribeiro@ufop.edu.br

patricia.pereira@ufop.edu.br

Autor correspondente:

Patrícia Aparecida Pimenta Pereira.

patricia.pereira@ufop.edu.br

Universidade Federal de Ouro Preto, Escola de Nutrição, Departamento de Alimentos, Ouro Preto-MG, Brasil.

Recebido para publicação em 27/10/2023

Aceito em 25/02/2024