



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

FILIPE DE OLIVEIRA MELO

**CARACTERIZAÇÃO BIOMÉTRICA DO FRUTO E
AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DO ENCAPSULAMENTO NA
ESTABILIDADE E BIOACESSIBILIDADE *IN-VITRO* DE
EXTRATOS ANTOCIÂNICOS DO JAMBOLÃO (*Syzygium
cumini L. Skeels*)**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientador: Prof^ª. Dra. Patricia Beltrão Lessa Constant

Co-orientador: Prof^ª. Dra. Daniele Silva Ribeiro

São Cristóvão/SE
2022

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

M528c Melo, Filipe de Oliveira.
Caracterização biométrica do fruto e avaliação dos efeitos do encapsulamento na estabilidade e bioacessibilidade *in-vitro* de extratos antociânicos do jabolão (*Syzygium cumini* L. *skeels*) / Filipe de Oliveira Melo; orientadora Patrícia Beltrão Lessa Constant. – São Cristóvão, SE, 2022.
128 f.; il.

Dissertação (mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Sergipe, 2022.

1. Azeitona. 2. Antioxidantes. 3. Eugenia. 4. Digestão. 5. Fenóis. 6. Antocianinas. I. Constant, Patrícia Beltrão Lessa, orient. II. Título.

CDU582.776

FILIPE DE OLIVEIRA MELO

**CARACTERIZAÇÃO BIOMÉTRICA DO FRUTO E
AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DO ENCAPSULAMENTO NA
ESTABILIDADE E BIOACESSIBILIDADE *IN-VITRO* DE
EXTRATOS ANTOCIÂNICOS DO JAMBOLÃO (*Syzygium
cumini* L. Skeels)**

Dissertação de mestrado aprovada no
Programa de Pós-Graduação em Ciência e
Tecnologia de Alimentos em 18 de fevereiro
de 2022.

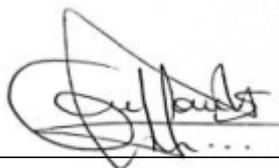
BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 PATRICIA BELTRAO LESSA CONSTANT
Data: 03/03/2022 10:54:03-0300
Verifique em <https://verificador.itl.br>

Dra. Patricia Beltrão Lessa Constant
Orinetadora/PROCTA-UFS

Documento assinado digitalmente
 MARIA TEREZINHA SANTOS LEITE NETA
Data: 16/03/2022 14:53:01-0300
Verifique em <https://verificador.itl.br>

Dra. Maria Terezinha Santos Leite Neta
1º. Examinador/PROCTA-UFS



Dra. Andréa Gomes da Silva
2º. Examinador/UESB

São Cristóvão/SE
2022

A todas as mulheres que fazem parte da minha vida, mãe, irmãs e sobrinhas, sem o apoio e torcida de vocês eu nunca teria chegado aqui. Dedico!

AGRADECIMENTOS

São diversas as pessoas as quais queria agradecer pela energia e apoio dado ao longo do desenvolvimento deste trabalho e inicio agradecendo a Deus por me guiar em meio a tantos renascimentos e dificuldades. Por me permitir aprender e entender que dilúvios também são momentos de recriação. Obrigado!

A minha orientadora, professora Dra. Patricia Beltrão Lessa Constant, pela paciência, compreensão, amizade e acima de tudo, por todos os ensinamentos. Mãe, professora, pesquisadora, orientadora e humana. Obrigado por tudo.

A professora Dra. Daniele Silva Ribeiro que me orienta desde a graduação em Engenharia de Alimentos. Obrigado por todo apoio, amizade, força e companheirismo. A senhora representa muito pra mim enquanto pessoa, profissional e pesquisador. Sou feliz por tê-la comigo.

As minhas queridas Cássia e Thais, sem vocês esse trabalho não teria sido concluído. Obrigado pelas horas de risadas, desesperos e conhecimentos compartilhados. Nós construímos isso juntos e é fruto do nosso trabalho.

A minha mãe, Maria Gorete de Melo Domingos, por estar sempre pronta pra me ouvir e compartilhar comigo todos os momentos. A senhora é a inspiração que me guia e sem seus cuidados eu não alcançaria nada.

As minhas irmãs, Greiccy e Gabriela Oliveira, amo vocês e obrigado por acreditarem tanto em mim e por me proporcionarem ser tio de meninas tão lindas como as minhas sobrinhas, Kamilla, Alice e Maria Laura. Amo tanto vocês e tudo isso é por causa de vocês. Vocês são tudo para mim.

Aos meus amigos pessoais e servidores do Instituto Federal de Alagoas – Campus Batalha. Só tenho a agradecer por todo pelo apoio e amizade. Em particular a Krystal Alcântara Notaro, por ser uma amiga, irmã e uma fonte de inspiração em tantos momentos.

A Universidade Federal do Agreste Pernambuco - UFape por ceder os espaços para que essa pesquisa fosse realizada. Mais especificamente os Laboratórios de Tecnologia de Cereais e Meio Ambiente, onde grande parte desse projeto foi executado.

Nesse importante momento, o que define é um sentimento de dever cumprido e de batalha vencida. Obrigado a todos pelo apoio e Viva a Ciência!

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

MELO, F. O. CARACTERIZAÇÃO BIOMÉTRICA DO FRUTO E AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DO ENCAPSULAMENTO NA ESTABILIDADE E BIOACESSIBILIDADE *IN-VITRO* DE EXTRATOS ANTOCIÂNICOS DO JAMBOLÃO (*Syzygium cumini* L. Skeels) [Dissertação]. São Cristóvão: Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Sergipe; 2022.

RESUMO

Os frutos do *S. cumini* (jambolão) tem seu consumo associado, pela medicina popular, a uma gama de benefícios à saúde. Parte desses benefícios derivam da ação antioxidante das antocianinas no organismo. Esses compostos são extremamente sensíveis a variações ambientais de temperatura, pH, luz ou oxigênio, sendo a técnica de encapsulação por gelificação iônica usada para melhorar sua estabilidade. Nesse sentido, o presente trabalho buscou identificar as variáveis que impactam diretamente no rendimento da polpa do jambolão, otimizar o processo de encapsulamento de antocianinas extraídas do fruto pela técnica de gelificação iônica, bem como avaliar os efeitos do processo de encapsulamento na estabilidade e na bioacessibilidade das antocianinas. Observou-se rendimento médio de polpa na ordem de $65,15 \pm 8,57$ %, sendo essa variável influenciada positiva e significativa ($p < 0,05$) pelo diâmetro horizontal (DH) ($rS = 0,391$) e do peso do fruto (PF) ($rS = 0,493$), de tal forma que quanto maior o DH, maior o PF, obtendo-se maiores rendimento da polpa. O processo de encapsulamento foi representado através de um modelo quadrático ($R^2 = 0,9306$), e a cápsula otimizada (CO) (1,25% - amido e 1,81 % - inulina) apresentou uma Eficiência de Encapsulamento de Antocianinas – EEA (%) de 67%. A cápsula ainda apresentou uma elevada retenção (>60%) de Compostos Fenólicos ($226,61 \pm 22,95$ mg EAG/100g) e Flavonoides Totais (779,14 mg EQ/100g), além de preservar a capacidade antioxidante do extrato com um poder de sequestro de radical ABTS na ordem $1.335,15$ μ mol de Trolox equivalente/g (EE (%) – 125,53%) e uma capacidade de redução de íons Fe^{3+} na ordem de $21.822,42$ μ mol $Fe_2SO_4/100g$ (EE (%) – 97,49%). Os dados da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) apontaram para um efeito na superfície dos agentes adicionados na cápsula. Ainda observou-se que o processo de encapsulamento aumentou a estabilidade das antocianinas encapsuladas e armazenadas tanto sob refrigeração (5°C), quanto em temperatura ambiente (30°C), restando ao final, teores superiores a 60% do agente. Por fim, em relação a avaliação da bioacessibilidade, determinada através do processo de digestão *in-vitro*, observou-se maiores taxas de liberação na CO, quando submetida ao fluido gástrico simulado (96%), comparado-se com a polpa (50%) e o extrato (15%), indicando que o tipo de matriz influencia diretamente na bioacessibilidade do composto. Nesse sentido, observa-se elevada potencialidade no uso do fruto do jambolão, apelando principalmente para suas propriedades nutraceuticas. Ademais, o uso da técnica de gelificação iônica demonstrou ser uma importante ferramenta para garantir maior estabilidade, bem como maiores taxas de liberação das antocianinas extraídas do jambolão, quando submetido ao processo de digestão *in-vitro*. Sugere-se que novos estudos sejam realizados, avaliando o comportamento descrito em modelos *in-vivo*, bem como com as cápsulas dispostas em diferentes matrizes alimentares.

PALAVRAS CHAVES: Eugênia jambolana; propriedades funcionais; digestão simulada; antocianinas; compostos fenólicos; eficiência de encapsulamento;

MELO, F. O. BIOMETRIC CHARACTERIZATION OF THE FRUIT AND EVALUATION OF EFFECTS OF ENCAPSULATION ON THE STABILITY AND *IN-VITRO* BIOACCESSIBILITY OF ANTHOCYANINS EXTRACTS FROM JAMBOLÃO (*Syzygium cumini* L. Skeels) [Dissertation]. São Cristóvão: Program Postgraduate Food Science and Technology, Federal University of Sergipe;2022.

ABSTRACT

The consumption of *S. cumini* (Jambolan) is associated, by folk medicine, with a range of health benefits. Part of these benefits derive from the antioxidant action of anthocyanins in the body. These compounds are extremely sensitive to environmental variations in temperature, pH, light or oxygen, and the ionic gelation encapsulation technique is used to improve their stability. In this sense, the present work sought to identify the variables that directly impact jambolan pulp yield, optimize the encapsulation process of anthocyanins extracted from the fruit by the ionic gelation technique, as well as evaluate the effects of the encapsulation process on stability and bioaccessibility of anthocyanins. The average pulp yield was observed in the order of 65.15 ± 8.57 %, this variable being positively and significantly influenced ($p < 0.05$) by the horizontal diameter (DH) ($rS = 0.391$) and the fruit weight (PF) ($rS = 0.493$), in such a way that the higher the DH, the higher the PF, obtaining higher pulp yield. The encapsulation process was represented by a quadratic model ($R^2 = 0.9306$), and the optimized capsule (CO) (1.25% - starch and 1.81% - inulin) showed an Anthocyanin Encapsulation Efficiency - EEA (%) of 67%. The capsule also showed a high retention ($>60\%$) of Phenolic Compounds (226.61 ± 22.95 mg EAG/100g) and Total Flavonoids (779.14 mg EQ/100g), in addition to preserving the antioxidant capacity of the extract with an ABTS radical scavenging power in the order of 1,335.15 μmol of Trolox equivalent/g (EE (%) – 125.53%) and a reduction capacity of Fe^{3+} ions in the order of 21,822.42 μmol $\text{Fe}_2\text{SO}_4/100\text{g}$ (EE (%) – 97.49%). Scanning Electron Microscopy (SEM) data pointed to a surface effect of agents added to the capsule. It was also observed that the encapsulation process increased the stability of anthocyanins encapsulated and stored both under refrigeration (5°C) and at room temperature (30°C), retaining, at the end, contents higher than 60% of the agent. Finally, in relation to the evaluation of bioaccessibility, determined through the in-vitro digestion process, higher release rates in CO were observed when subjected to simulated gastric fluid (96%), compared to pulp (50%) and extract (15%), indicating that the type of matrix directly influences the bioaccessibility of the compound. In this sense, there is a high potentiality in the use of the jambolan fruit, appealing mainly to its nutraceutical properties. Furthermore, the use of the ionic gelation technique proved to be an important tool to ensure greater stability, as well as higher rates of release of anthocyanins extracted from jambolan, when subjected to the in-vitro digestion process. It is suggested that further studies be carried out, evaluating the behavior described in in-vivo models, as well as with the capsules arranged in different food matrices.

KEY WORDS: Jambolan *Eugenia*; functional properties; simulated digestion; anthocyanins; phenolic compounds; encapsulation efficiency;

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 – Estrutura básica das antocianinas.....	18
Figura 1.2 – Estruturas formadas durante o encapsulamento.....	23
Figura 1.3 – Monômeros presentes no alginato.....	25
Figura 1.4 - Fluxograma geral do projeto de pesquisa.....	27
Figura 2.1 – Distribuição de Frequência dos dados biométricos analisados.	54
Figura 2.2 – Matriz de correlação de Spearman (rS) das variáveis biométricas do jambolão (<i>Syzygium cumini</i> (L.) Skeels) comercializado no município de Garanhuns – PE.....	57
Figura 2.3 - Análise de Componentes Principais (PCA) para a biometria de frutos e sementes do jambolão (<i>Syzygium cumini</i> (L.) Skeels), comercializado no município de Garanhuns, PE.....	61
Figura 3.1 – Superfície de resposta quadrática (a) e curvas de nível (b) para a avaliação do efeito da incorporação de amido e inulina na eficiência de encapsulamento de antocianinas pela técnica de gelificação iônica.....	95
Figura 3.2 – Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) das cápsulas de alginato elaboradas com (a, b e c) e sem (d, e e f) a adição de amido e inulina.....	101
Figura 3.3 – Percentual de retenção (R) de antocianinas ao longo do armazenamento sob refrigeração (5°C) e condições ambientais (30°C) da cápsula otimizada (RC) e do extrato (RE) antociânico do jambolão.....	103
Figura 3.4 - Percentual de liberação (%) (Ct/Ci) de antocianinas ao longo do processo de digestão em fluido gástrico simulado da Cápsula Otimizada (CO), da Cápsula Livre (CL), da Polpa (POLP) e do Extrato Antociânico (EXT) do fruto do jambolão.....	105
Figura 3.5 - Percentual de liberação (%) (Ct/Ci) de antocianinas ao longo do processo de digestão em fluido intestinal simulado da Cápsula Otimizada (CO), da Cápsula Livre (CL), da Polpa (POLP) e do Extrato Antociânico (EXT) do fruto do jambolão.....	108

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 - Composição físico-química da polpa, sementes e folhas do jambolão.....	16
Tabela 2.1 – Características físicas da fruta e da semente do jambolão (<i>Syzygium cumini</i> (L.) <i>Skeels</i>) comercializado no município de Garanhuns – PE.	51
Tabela 2.2 – Coeficiente de Correlação de Spearman (rS) de diferentes características físicas do jambolão (<i>Syzygium cumini</i> (L.) <i>Skeels</i>) comercializado no município de Garanhuns – PE.....	60
Tabela 2.3 – Caracterização físico-química, compostos bioativos e capacidade antioxidante da polpa de jambolão.	62
Tabela 2.4 – Caracterização dos compostos bioativos e da capacidade antioxidante da polpa de jambolão.	66
Tabela 3.1 –Variáveis independentes e dependentes (codificadas e não codificadas) utilizadas no planejamento experimental com seus respectivos níveis.....	81
Tabela 3.2 – Caracterização físico-química do extrato de jambolão.....	86
Tabela 3.3 – Resultados experimentais do Delineamento de Composto Central Rotacional – DCCR 2 ² , com as variáveis independentes e dependentes (codificadas e não codificadas) e a variável resposta - Eficiência de Encapsulamento de Antocianinas – EEA (%).....	91
Tabela 3.4 – Análise de variância (ANOVA) do modelo de regressão gerado para antocianinas monoméricas totais do processo de encapsulamento do extrato de jambolão pela técnica de gelificação iônica.....	93
Tabela 3.5 – Efeitos estimados, erro puro e significância estatística do processo de encapsulamento de antocianinas extraídas do jambolão.....	94
Tabela 3.6 - Ponto estacionário da superfície de resposta apresentados encontrados no modelo de regressão quadrático para as variáveis independentes e dependentes.....	95
Tabela 3.7 – Caracterização da cápsula otimizada obtida com os parâmetros ótimos do delineamento experimental.....	96
Tabela 3.8 – Caracterização dos compostos bioativos na cápsula otimizada obtida com os parâmetros ótimos do delineamento experimental.....	98

SUMÁRIO

CAPÍTULO I	9
1 INTRODUÇÃO	10
2 REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1 Jambolão (<i>Syzygium Cumini L. Skeels</i>)	13
2.2 Jambolão: suas potencialidades e seu comportamento como um alimento funcional	14
2.3 Característica química e compostos bioativos do jambolão	15
2.3.1 Os compostos fenólicos e antocianinas do jambolão.....	17
2.4 Bioacessibilidade e biodisponibilidade das antocianinas	20
2.4 Extração das antocianinas	21
2.6 Encapsulação de compostos bioativos	23
2.7 Microencapsulação pela técnica de gelificação iônica – conceitos gerais e aplicações na retenção de antocianinas	24
REFERÊNCIAS	28
3 OBJETIVO GERAL	41
3.1 Objetivos específicos	41
CAPÍTULO II	42
ARTIGO 1: EFEITO DAS CARACTERÍSTICAS BIOMÉTRICAS NO RENDIMENTO DA POLPA DO JAMBOLÃO (<i>Syzygium cumini L. Skeels</i>) E ANÁLISE DA SUA POTENCIALIDADE NUTRICIONAL E FUNCIONAL	43
RESUMO	43
1 INTRODUÇÃO	43
2 MATERIAIS E MÉTODOS	45
2.1 Coleta e seleção das amostras	45
2.2 Caracterização biométrica dos frutos e sementes do jambolão	46
2.3 Caracterização físico-química e propriedades bioativas da polpa (exocarpo e mesocarpo) do jambolão	46
2.3.1 Caracterização físico-química da polpa de jambolão.....	47
2.3.2 Caracterização colorimétrica da polpa de jambolão.....	47
2.3.3 Caracterização dos compostos bioativos e da propriedade antioxidante da polpa do jambolão.....	47

2.3.3.1	Elaboração dos extratos etanólicos da polpa.....	47
2.3.3.2	Determinação dos compostos fenólicos totais.....	48
2.3.3.3	Determinação dos flavonóides totais.....	48
2.3.3.4	Determinação do teor de antocianinas monoméricas totais.....	48
2.3.3.5	Capacidade antioxidante - ABTS	49
2.3.3.6	Capacidade antioxidante – FRAP	49
2.4	Análise estatística dos dados.....	50
3	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	50
3.1	Características climáticas de Garanhuns - PE.....	50
3.2	Caracterização biométrica do fruto do jambolão	51
3.3	Coefficientes de correlação de Spearman (rS) das variáveis biométricas do fruto do jambolão.....	56
3.4	Análise dos componentes principais das características biométricas do fruto do jambolão.....	56
3.5	Caracterização físico-química da polpa do fruto do jambolão	62
3.6	Compostos bioativos e atividade antioxidante da polpa do fruto do jambolão.....	65
4	CONCLUSÃO	68
	REFERÊNCIAS.....	69
	CAPÍTULO III.....	76
	ARTIGO 2: EXTRATOS ANTOCIÂNICOS DO JAMBOLÃO (<i>S. cumini</i> L. Skeels): ENCAPSULAMENTO, ESTABILIDADE E BIOACESSIBILIDADE <i>IN-VITRO</i>.....	77
	RESUMO.....	77
1	INTRODUÇÃO.....	77
2	MATERIAIS E MÉTODOS.....	79
2.1	Aquisição da matéria – prima.....	79
2.2	Elaboração do extrato antociânico do jambolão (<i>S. cumini</i>).....	80
2.3	Encapsulamento do extrato pela técnica de gelificação iônica.....	80
2.4	Eficiência de encapsulamento – EE (%) dos compostos bioativos.....	81
2.5	Caracterização físico química do extrato e da cápsula otimizada.....	82
2.6	Quantificação dos compostos bioativos das cápsulas otimizadas.....	82
2.7	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) da cápsulas otimizadas	83
2.8	Estudo de estabilidade do extrato e das cápsulas otimizadas em diferentes condições de armazenamento	83

2.9 Avaliação da digestibilidade <i>in-vitro</i> das cápsulas otimizadas.....	84
2.10 Análise estatística.....	85
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	86
3.1 Caracterização do extrato antociânico do jambolão	86
3.2 Influência da adição de amido e inulina na eficiência de encapsulamento de antocianinas pela técnica de gelificação iônica.....	91
3.3 Caracterização físico-química da cápsula otimizada pela técnica de gelificação iônica.....	96
3.4 Quantificação e eficiência de encapsulamento dos compostos biativos na cápsula otimizada.....	98
3.5 Caracterização morfológica da cápsula otimizada pela técnica de gelificação iônica.....	101
3.6 Estudo da estabilidade das antocianinas em condições de ambientais (30°C) e refrigeradas (5°C).....	102
3.7 Estudo da bioacessibilidade da antocianinas do jambolão em diferentes matrizes....	104
4 CONCLUSÕES	108
REFERÊNCIAS.....	109
APÊNDICE A - CURVA DE CALIBRAÇÃO DO ÁCIDO GÁLICO (COMPOSTOS FENÓLICOS)	119
APÊNDICE B – CURVA DE CALIBRAÇÃO DO TROLOX (ABTS).....	120
APÊNDICE C – CURVA DE CALIBRAÇÃO DO SULFATO DE FERRO (II) (FRAP).....	121
APÊNDICE D – CURVA PADRÃO DE QUERCETINA PARA FLAVONOIDES TOTAIS.....	122

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

REVISÃO DE LITERATURA

OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS

1 INTRODUÇÃO

O *Syzygium cumini* (L.) Skeels é uma árvore pertencente à família das Myrtaceae, sendo conhecida por causa da sua grande dispersão geográfica também como jambolão, ameixa preta, jamun, jamelão, entre outros (VEIGAS et al., 2007; SABINO; BRITO; JÚNIOR, 2018). Com origem asiática, mais especificamente indiana, adaptou-se a diversas regiões cujo clima em sua maioria permeiam entre tropicais e subtropicais (GROVER et al., 2002; MAHMOUD et al., 2001).

Com um aspecto ovular, seu fruto possui entre 1,5 e 3,5 centímetros de comprimento, uma semente única, sabor adstringente, além de polpa e casca caracterizadas pela intensa coloração arroxeada, chegando muitas vezes a possuir tonalidades próximas ao preto (HOOKER, 1879; GAMBLE, 1935; ZHANG; LIN, 2009; BALIGA et al., 2011; AYYANAR E SUBASH-BABU, 2012). Essa coloração, provocada principalmente pelas intensas concentrações de pigmentos antocianicos, tem levado os frutos da *Syzygium cumini* (L.) Skeels a tornarem-se alvo de diversas pesquisas que visam à extração e preservação desse pigmento natural (VEIGAS et al., 2007; TAVARES et al., 2016).

As antocininas são metabólitos secundários das plantas e fazem parte da classe dos flavonóides (CELLI; TAN; SELIG, 2018; SUI et al. 2018). São pigmentos naturais com elevada solubilidade em água e representados por mais de 700 compostos derivados da pelargonidina, peonidina, petunidina, cianidina, delfidina e malvidina (KAHKONEN; HEINONEN, 2003; ANDERSEN; JORDHEIM, 2013). Onde as três últimas representam cerca de 45, 21 e 15% do total de antocianinas presentes na natureza (WU et al., 2006).

Nos vegetais, desenvolvem importante papel na prevenção contra processos foto-oxidativos e na eliminação de espécies reativas de oxigênio geradas principalmente durante a fotossíntese (FEILD et al., 2001; NAKABAYASHI et al., 2014). Sendo essa elevada atividade antioxidante relacionada à estrutura química dessas moléculas, bem como a propriedade de atuarem como agentes neutralizadores de radicais livres através da disponibilidade ou retirada de elétrons reativos (CASTAÑEDA- OVANDO et al., 2009).

Apesar dos seus benefícios, estudos indicam uma baixa biodisponibilidade desse pigmento, variando entre 1%, em sua forma integral, e 12%, quando avaliados os produtos de sua metabolização (LILA et al., 2016; KRGA; MILENKOVIC, 2019). Tal comportamento, está diretamente relacionado a diversos fatores, incluindo a interação do pigmento com a matriz

alimentar, a sua baixa permeabilidade, seus mecanismos de absorção, bem como a sua metabolização ao longo do trato gastrointestinal (LI et al., 2015).

Apesar disso, diversas pesquisas vem sendo desenvolvidas com objetivo de avaliar os efeitos desses compostos na inibição e na proteção de células contra o estresse oxidativo *in vivo* (BUENO et al., 2012), uma vez que o elevado consumo desses compostos vem sendo associado a redução do risco de desenvolvimento de doenças degenerativas, como o câncer, doenças cardiovasculares e neurais, além de atuarem no controle da diabetes (KONCZAK; ZHANG, 2004; HEINONEN, 2007; CASSIDY et al., 2013).

Contudo, esses compostos também são caracterizados por sua elevada instabilidade frente a agentes físicos (pH, temperatura, intensidade da luz), químicos (disponibilidade de oxigênio, de íons metálicos e do ácido ascórbico) e bioquímicos (enzimas, proteínas, carboidratos (FRANCIS, 1989; HE et al., 2016), que muitas vezes dificultam a sua aplicação como fármacos ou em matrizes alimentares.

Além disso, as etapas de processamento dessas matrizes ricas nesses compostos também são responsáveis por reduzir e causar alterações na estrutura química desse componente, sendo o processamento térmico uma das principais etapas de degradação (PATRAS et al., 2010; VAN BOEKEL et al., 2010; SUI et al., 2018). Dessa forma, diversas tecnologias vem sendo desenvolvidas com objetivo de proteger esses compostos dos efeitos deletérios do processamento e armazenamento, além de garantir uma melhor bioacessibilidade ao longo do trato gastrointestinal, dentre essas tecnologias, a encapsulamento vem ganhando destaque (MUNIN; EDWARDS-LEVY, 2011; DAVIDOV-PARDO et al., 2013; BALLESTEROS et al., 2017).

As diversas técnicas de encapsulação garantem além da proteção contra agentes que possam causar alterações e até a degradação dos compostos com propriedades bioativas, a liberação controlada desses compostos, o mascaramento de sabores e odores indesejáveis quando presentes e o aumento na biodisponibilidade nos produtos (HOLKEN; CODEVILLA; MENEZES, 2015). A técnica de gelificação iônica, por exemplo, vem sendo aplicada no processo de microencapsulação de compostos antociânicos e sua viabilidade vem sendo comprovada (MOURA et al. 2018), principalmente devido as condições a quais o processo é desenvolvido, envolvendo uma baixa quantidade de reagentes, bem como baixas temperaturas de processamento, garantindo assim retenções desses compostos (COLAK et al., 2016; MOURA et al. 2018).

Vale ressaltar que os benefícios descritos acima possibilitam a aplicação de antocianinas encapsuladas tanto na elaboração de novos produtos farmacêuticos, quanto em

diferentes matrizes alimentares, com objetivo de enriquecimento de produtos, visto uma crescente busca por parte dos consumidores por alimentos que ofereçam além das propriedades nutricionais básicas.

Dessa forma, o presente trabalho justifica-se devido a carência de estudos que visem utilizar ferramentas estatísticas avançadas para otimizar o processo de encapsulamento de compostos hidrofílicos, como as antocianinas, pela técnica de gelificação iônica. Além disso, devido a importância desse composto frente ao combate ao estresse oxidativo em organismos vivos, estudos que visem uma melhor compreensão de seu processo de interação com as matrizes alimentares, bem como o desenvolvimento de tecnologias que garantam uma maior preservação desses compostos frente ao processamento, irão garantir uma melhor aplicação desses agentes, extraindo ao máximo as suas potencialidades, impulsionando inclusive, o mercado de produtos fortificados.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Jambolão (*Syzygium cumini* (L.) Skeels)

O jambolão, conhecido cientificamente como *Syzygium cumini* (L.) Skeels e popularmente como azeitona preta, do nordeste e da terra, jamelão, jamum, jambuí, entre outros, é uma árvore pertencente a família das Myrtaceae, que pode alcançar alturas próximas a 20 metros (SEHWAG; DAS, 2014; VIZZOTTO; FETTER, 2009).

Com origem no subcontinente indiano, o jamboleiro, adapta-se bem em uma grande variedade de solos, incluindo os considerados impróprios para o cultivo de outras fruteiras comerciais, além disso, o gênero *Syzygium* adapta-se bem em uma variedade de climas, principalmente aqueles quentes e úmidos, fator esse que confere as suas árvores características diferenciadas na morfologia a depender da região (ALBERTON et al., 2001; DONADIO, 2007; RUFINO, 2008; STEFANELLO; PASCOAL ; SALVADOR, 2011; AYYANAR; SUBASH-BABU, 2012).

De maneira geral a árvore do jambolão possui um tronco geralmente tortuoso, com folhas simples e lustrosas que medem entre 6 a 12 cm de comprimento (RUFINO, 2008; AYYANAR; SUBASH-BABU, 2012). Suas flores são perfumadas e possuem uma coloração variando entre o branco e o creme, possuindo um formato redondo, com características ablongas (AYYANAR; SUBASH-BABU, 2012).

Já seu fruto é constituído por uma baga elipsoide, com comprimento variando entre 1,5 e 3,5 centímetros, com uma única semente, coberta por uma polpa de sabor doce e adstringente, tendo como uma característica marcante a coloração roxo-escura, aproximando-se muitas vezes do preto (BALDISSERA, 2015; AYYANAR; SUBASH-BABU, 2012).

Quanto seu pico de maturação, ocorre entre os meses de janeiro e fevereiro e no Brasil tem sido utilizada principalmente como uma planta ornamental, apesar de em escala mundial o fruto ser aplicado no desenvolvimento de diversos produtos alimentícios, como geleias, bebidas, vinagres, picles, entre outros (LORENZI et al., 2006; RIBEIRO et al., 2010).

Nesse contexto de aplicações, vale ressaltar que diversos estudos tem sido desenvolvidos com objetivo de incorporar partes dessa planta (frutas, sementes, folhas e cascas) em formulações farmacêuticas e alimentícias, uma vez que por longos períodos esses insumos

foram utilizados na medicina tradicional como mecanismo natural para o tratamento de diferentes doenças, incluindo tosse, disenteria e inflamações (SEHWAG; DAS, 2014; RAZA et al., 2017).

2.2 Jambolão: suas potencialidades e seu comportamento como um alimento funcional

A legislação brasileira, através da Resolução de nº 18 de 30 de abril de 1999, determina que os alimentos que alegarem propriedades funcionais ou de saúde, deverão além de oferecer os nutrientes básicos para manutenção das atividades biológicas, gerar efeitos que impactem nos processos metabólicos e fisiológicos, ocasionando algum tipo de benefícios à saúde (BRASIL, 1999).

No caso do *S. cumini*, devido a sua ampla utilização na medicina popular indiana, vários estudos vem sendo desenvolvidos com objetivos de caracterizar os extratos das diversas partes dessa planta, bem como avaliar seu impacto contra diversas patologias, como distúrbios respiratórios, complicações estomacais e tuberculose (COCK; CHEESMAN, 2018).

Uma das propriedades que tem sido identificada dos extratos de jambolão está relacionada à sua ação no controle de determinados microrganismos considerados como patogênicos (COCK; CHEESMAN, 2018). Estudos realizados por Prtabhakaran, Gothandam & Sivashanmugam (2011), identificaram um elevado potencial antimicrobiano tanto dos extratos aquosos, quanto dos etanólicos do *Syzygium cumini* no controle do crescimento de microrganismos como *Bacillus cereus*, *E. coli*, *S. aureus*, *Salmonella typhi* e *Vibrio cholerae*.

Já Cock e Cheesman (2018) destacam que o jambolão através de uma variedade de mecanismos possui um elevado potencial no combate a doenças como a leishmaniose e a esquistomose, ou seja, os autores relacionam o *S. cumini* como uma agente responsável pelo controle também de protozoários. Nesse sentido, em estudo desenvolvido por Rodrigues et al. (2015), ao avaliarem, em um modelo in vitro, os efeitos dos óleos essenciais extraídos do *S. cumini*, identificaram que esses possuíam um elevado potencial no controle de *Leishmania amazonenses*, parasita responsável pela leishmaniose.

Outra propriedade avaliada e identificada é o seu perfil como agente potencializador de reações anti-inflamatórias (LIMA, et. al, 2007; JAIN et al., 2010). Essa correlação foi observada em estudo realizado por Machado et al. (2013), no qual avaliaram e identificaram efeitos anti-inflamatórios significativos de óleos essenciais do *Syzygium cumini* em camundongo BALB infectados com *Mycobacterium bovis*. Já em estudo desenvolvido por

Syama et al., (2018), foi identificado um efeito efetivo na inibição citocinas pró-inflamatórias ao avaliarem a atividade anti-inflamatória dos extratos das sementes desse mesmo fruto, demonstrando assim sua potencialidade no que concerne o controle de inflamações.

Como foi observado, são diversas as potencialidades e benefícios do jambolão, seja como um agente antimicrobiano, antiparasitário ou anti-inflamatório, porém muitos são os estudos que vem direcionando seu uso para o controle de uma Doença Crônica Não Transmissível (DCNT), a diabete mellitus (HELMSTADTER, 2008; TRINH et al., 2016). E estudos como o de Shinde et al. (2008) vem correlacionando seu potencial como agente controlador dessa doença através do mecanismo de inibição da α -glucosidade, que é um catalizador determinante no processo de metabolismo de carboidratos e sua inibição é fundamental no tratamento da doença (AHMAD et al., 2017; SEETALOO et al., 2019).

Por fim, a essa espécie vegetal tem sido também atribuído um elevado potencial antioxidante e propriedades anticancerígenas (COCK; CHEESMAN, 2018). A primeira vem sendo identificada frente a ensaios de eliminação dos radicais ABTS, DPPH e ORAC, bem como a capacidade dos extratos de partes dessas planta em atuarem como agentes protetores do DNA frente a radicais hidroxila (FARIA; MARQUES; MERCADANTE, 2011; ARUM et al., 2011). Já a propriedade anticancerígena, vem sendo avaliada através do potencial citotóxico dos extratos produzidos frente a células de diversos carcinomas, incluindo linhagens responsáveis pelo desenvolvimento do câncer de mama, de ovário, de próstata e pulmonar (NAZIF, 2007; PARMAR et al., 2011; COCK; CHEESMAN, 2018).

É importante ressaltar que todas as propriedades citadas nos parágrafos anteriores estão diretamente relacionadas com os diversos componentes químicos presentes nas sementes, caule, folhas e frutos do jambolão. Nesse sentido, um maior detalhamento desses compostos, bem como sua funcionalidade será descrito nas próximas seções.

2.3 Característica química e compostos bioativos do Jambolão

Segundo Abdennacer et al.(2015) o conhecimento das características químicas das matérias primas com potencial uso pela indústria de alimentos é de extrema importância, uma vez que essas são fontes promissoras de compostos ditos como bioativos. Carratu et al. (2005), por sua vez, classifica esses compostos como aqueles metabólitos secundários de origem vegetal ou animal, que ocorrem normalmente em pequenas quantidades e são responsáveis por

diversos benefícios à saúde, justificando a importância do seu conhecimento, principalmente do ponto de vista do consumidor (ALVES; BRITO; RUFINO, 2008).

A polpa de jamelão, por exemplo, foi caracterizada em um estudo desenvolvido Paul & Shasha (2004). Os autores identificaram através da caracterização química dos frutos que os mesmos são altamente nutritivos e seus dados quando complementados com os resultados obtidos na pesquisa desenvolvida por Noomrio e Dahot (1996), permitem inferir que a fruta pode ser considerada como uma importante fonte de minerais, vitaminas, aminoácidos e carboidratos fundamentais para a manutenção da vida, como pode ser observado na Tabela 1, onde é apresentada alguns estudos que caracterizaram tanto a polpa, quanto as folhas e sementes da jabolão.

Tabela 1.1 - Composição físico-química da polpa, sementes e folhas do jabolão.

Composição	Polpa	Semente	Folhas
Umidade (g/100g)	88,55	-	-
Cinzas (g/100g)	2,41	-	-
Proteínas (g/100g)	3,93	6,3	9,1
Lipídeos (g/100g)	0,27	0,83	4,3
Açúcar Redutor (g/100g)	58,31	-	-
Fibra Alimentar Solúvel (g/100g)	0,08	-	-
Fibra Alimentar Total (g/100g)	0,14	2,3	-
Valor Energético Total (Kcal/100g)	391,22	-	-
Carboidratos	16,60	41,4	-
Vitaminas			
β - Caroteno (mg/100g)	50,00	-	-
Tiamina (mg/100g)	0,12	-	-
Riboflavina (mg/100g)	0,06	-	-
Ácido Ascórbico (mg/100g)	30,00	-	-
Minerais			
Mg (mg/100g)	49,80	-	-
Na (mg/100g)	3,50	-	-
Ca (mg/100g)	21,50	0,41	0,17
P (mg/100g)	18,50	0,17	0,19
K (mg/100g)	130,00	-	-
Fe (mg/100g)	0,15	-	-
Zn (mg/100g)	0,28	-	-
Cu (mg/100g)	0,07	-	-
Compostos Bioativos			
Polifenóis (mg/100g)	-	361,4	-
Taninos (mg/100g)	-	168,24	-
Antocianinas (mg/100g)	731	-	-

Fonte: Soares (2015), Paul e Shaha (2004), Ramteke, Kurrey Kar (2015), Raza et al. (2015), Sah e Verma (2011)

É importante destacar que além dos compostos listados na Tabela 1, estudos vêm identificando a presença de outros componentes, classificados como micronutrientes não nutritivos, porém biologicamente ativos (PANGHAL et al., 2018) como a quercetina e a miricertina presentes nas folhas (MAHMOUD et al., 2001; SAGRAWAT et al., 2006), os ácidos gálicos e elágicos presentes nas cascas do caule (RASTOGI; MEHROTRA, 1990; SAGRAWAT et al., 2006) e ácido oleanólico presente, por exemplo, nas flores (SAGRAWAT et al. 2006).

Todos esses componentes são considerados fundamentais e sua presença nas plantas varia a depender de diversos fatores, como idade e estado de maturação (CHHIKARA et al., 2018). Vale ressaltar que já foram identificados cerca de 30 fitoquímicos distintos na polpa da fruta do jabolão (SOWJANYA et al., 2013), dentre esses, destaque vem sendo dado aos compostos fenólicos, principalmente às antocianinas, uma vez que além de apresentarem importante características de cor, possuem propriedades antioxidantes.

2.3.1 Os compostos fenólicos e antocianinas do Jabolão

Segundo Chhikara et al., (2018) os compostos fenólicos, também chamados de fenólicos totais, polifenóis ou fenóis, são uma ampla gama de produtos, considerados como metabólitos secundários e derivados da fenilalanina, que possuem a propriedade específica de eliminar as espécies reativas de oxigênio e nitrogênio do organismo, bem como estimular a ação de compostos antioxidantes naturais de defesa. Além disso, segundo os autores, esses agentes influenciam diretamente nas características sensoriais como cor, sabor e adstringência dos alimentos.

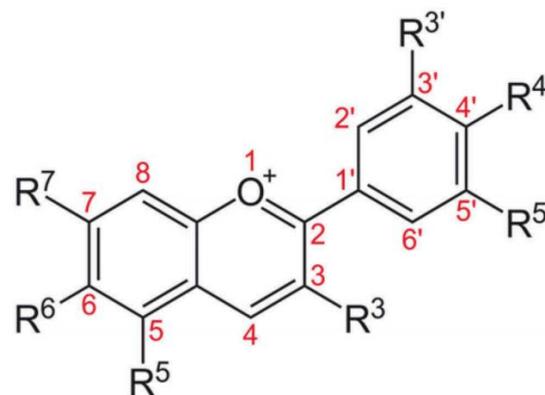
Vale ressaltar que esses compostos não estão relacionados com os processos de metabolismo primários das plantas, ou seja, não estão diretamente relacionados com as etapas da fotossíntese, crescimento ou desenvolvimento do organismo, dessa forma, sua aplicabilidade em vegetais está associado, em sua maioria, com os processos de defesa dos organismos (CROZIER, 2003).

Largamente encontradas na natureza como pigmentos naturais, são compostos de baixo peso molecular, estruturados por quinze átomos de carbono, organizados através de anéis aromáticos com uma ou mais hidroxilas, que tem sua categoria diferenciada a partir do número de anéis, bem como a partir da presença de elementos estruturais diferentes do carbono

(IGNAT; VOLFF; POPA, 2011; ANGELO, 2011). Dessa forma, são diversos os grupos de compostos fenólicos, sendo que entre os flavonóides, as antocianinas recebem destaque.

Apresentando uma coloração variando entre o azul, vermelho e roxo, as antocianinas, são classificadas como metabólitos secundários, hidrossolúveis, originadas do cátion flávinium que possuem uma estrutura química derivada com quinze carbonos, dispostos em dois anéis benzênicos, com seis carbonos cada e um anel heterocíclico, com três carbonos, como pode ser observado na Figura 1 (ZAFFINO; RUSSO; BRUNI, 2015; KHOO et al., 2017).

Figura 1.1 – Estrutura básica das antocianinas



Fonte: CELLI; TAN; SELIG (2018).

As antocianinas são formas glicosiladas das antocianidinas e um fenômeno natural utilizado como mecanismo de melhora da estabilidade e solubilidade desses compostos é a glicosilação e acilação (KHOO et al., 2017; CELLI; TAN; SELIG, 2018).

No processo de glicosilação, ocorre a formação de um glicosídeo através da interação por via de uma ligação de hidrogênio intramolecular entre a antocianidina (aglicona) e um composto glicídico (glicona), através de um processo de substituição dos grupos hidroxilas na estrutura do antocianidina por normalmente algum monossacarídeo (BORKOWSKI et al., 2005). Já a acilação, por sua vez, ocorre nos casos em que esses compostos (monossacarídeos) encontram-se esterificados com ácidos alifáticos ou aromáticos, como os ácidos cinâmico, malônico, acético e málico. Em ambos os casos ocorre uma melhora na estabilidade das antocianinas, sendo que na glicosilação as antocianinas apresentam uma maior solubilidade, enquanto na acilação ocorre uma redução na solubilidade desses compostos em água (HE; GIUSTI, 2010).

Os processos descritos acima são um dos principais responsáveis pela grande variedade de antocianinas encontradas nas diversas fontes vegetais, uma vez que a alterações

nas posições dos monossacarídeos na cadeia do cátion flávinium geram diferenças químicas nas propriedades desses compostos (HE; GIUSTI, 2010). No entanto a maior distribuição na natureza ocorre através de compostos como a cianidina (50%), a delfidina (12%), a perlagonidina (12%), a peonidina (12%), a malvidina (7%) e a petunidina (7%) (KAHKONEN; HEINONEN, 2003; CASTAÑEDA-OVANDO et al., 2009; KHOO et al., 2017)

No caso do jambolão, estudos vêm sendo desenvolvidos com objetivo de identificar a composição das antocianinas presentes nos frutos, e nesse contexto, destaca-se a pesquisa desenvolvida por Faria, Marques e Mercadante (2011) que objetivaram, através da técnica de cromatografia líquida de alta eficiência acoplada a um conjunto de diodos e detectores de espectrômetro de massa (HPLC-DAD-MS/MS), identificar os compostos fenólicos e carotenóides presentes na polpa do fruto do jambolão. Os autores identificaram cinco das seis agliconas mais comuns, recebendo destaque a presença da delfidina 3,5-diglucosídeo (45%), petunidina 3,5-diglucosídeo (32%), e malvidina 3,5-diglucosídeo (15%).

Já Tavares et al. (2019), ao avaliarem a estabilidade durante o armazenamento da composição antocianina molar do suco de jambolão desidratado, identificaram nove tipos de antocianinas, todas derivadas diglicosídicas (entre 99,47 a 99,62 %) e não aciladas da delfidina, da cianidina da petunidina, da peonidina e da malvidina. Resultados semelhantes foram encontrados por Tavares et al. (2016) ao realizar um estudo abrangente da composição fenólica das partes comestíveis do fruto do *Syzygium cumini*, os autores identificaram 74 compostos fenólicos individuais presentes nas partes do fruto, sendo nove antocianinas, incluindo principalmente a delfidina, petunidina e a malvidina, demonstrando assim o potencial do fruto como fonte de antocianinas bioativas, uma vez que altas concentrações de desses compostos foram encontradas.

Vale ressaltar que nos sistemas vegetais, uma das principais funções das antocianinas, está associada à sua capacidade de neutralização de espécies reativas de oxigênio, além disso, seu consumo na dieta humana vem sendo associado à redução dos riscos de surgimento de doenças degenerativas (NAKABAYASHI et al., 2014; CELLI et al., 2016). Ainda nesse contexto, potenciais antibiobéticos, anticâncerígenos, anti-inflamatórios e antimicrobianos vem sendo identificado nessas biomoléculas (HE et al., 2011).

Castañeda-Ovando et al. (2009), afirmam que as propriedades antioxidantes das antocianinas estão diretamente relacionadas a presença do anel aromático (grupo fenil), a disponibilidade de grupos doadores e receptores na molécula, ao grau de conjugação

estrutural, bem como a carga positiva presente em sua estrutura. Ainda segundo os autores, todos esses fatores contribuem diretamente no processo de estabilização de Espécies Reativas de Oxigênio (EROs), reduzindo assim, o impacto negativo do seu excesso em sistemas celulares.

2.4 Bioacessibilidade e biodisponibilidade das antocianinas

Para que um determinado composto tenha sua efetividade desenvolvida no organismo humano é fundamental que ele esteja acessível e consiga ser absorvido através de diversos mecanismos ao longo do trato gastrointestinal. No caso das antocianinas, o conhecimento dos mecanismos envolvidos nesses processos (liberação, absorção, metabolização, distribuição tecidual e excreção) são fundamentais para determinar seus efeitos biológicos no organismo humano (CALDERARO et al., 2020; ALVAREZ-SUAREZ et al., 2021). Ou seja, conhecer a sua biodisponibilidade é fundamental para garantir um pleno uma plena atuação desses compostos.

Esses pigmentos possuem uma estrutura química que sofre uma ampla influência das variações do pH ao longo do trato gastrointestinal (TGI), além desse agente, processos enzimáticos endógenos, somados a ação da microbiota presente no TGI são fatores responsáveis por alterarem a estrutura e o destino das antocianinas e seus metabólitos no organismo humano (MIYAZAWA et al., 1999; TENA; MARTÍN; ASUERO, 2020). De toda forma, essas transformações estruturais das antocianinas, somada as individualidades de cada indivíduo, impactam diretamente nos mecanismos de absorção desses compostos e conseqüentemente na sua bioatividade (FERBABDES et al., 2014; TENA; MARTÍN; ASUERO, 2020).

Os mecanismos que envolvem a absorção das antocianinas ao longo do TGI são diversos e estudos apontam que esse processo pode estar relacionado diretamente com a presença tanto de transportadores de membrana, como a bilitranslocase (expressa na mucosa gástrica, fígado, rins e endotélio vascular), quanto transportadores de glicose, dependentes (SGLTs) ou não (GLTs) de sódio, envolvidos principalmente no transporte das formas glicosiladas desses compostos (PASSAMONTI et al., 2004; LILA et al., 2016; CALDERARO et al., 2020).

Além disso, esses pigmentos sofrem reações de metilação, sulfuração e glucuronidação, catalizadas principalmente por enzimas produzidas por microorganismos presentes no TGI (HRIBAR; ULRIH, 2014; CALDERARO et al., 2020). Essas reações produzem diversos intermediário moleculares que influenciam diretamente no potencial

bioativo dos alimentos fonte das antocianinas (KRGÁ; MILENKOVIC, 2019), como por exemplo, os ácidos vanílicos e ferúlicos (HRIBAR; ULRIH, 2014).

Porém, para que as antocianinas estejam disponíveis para serem metabolizadas e absorvidas é de fundamental importância que ela seja liberada plenamente da matriz alimentar. E segundo Tena et al. (2020) esse último fator tem um papel importante no perfil de liberação e no destino das antocianinas e seus metabólitos em nosso organismo.

As antocianinas, quando dispostas em uma matriz alimentar, estão armazenadas inicialmente nos vacúolos das células vegetais. Essa estrutura podem sofrer degradação durante o processamento ou ao longo do processo de mastigação, deixando esse pigmento disponível para interagir com determinadas biomoléculas, como carboidratos, enzimas e proteínas (FERNANDES et al., 2018), influenciando conseqüentemente, o que é definido por Chang; Sciences; Jalil, (2018), como bioacessibilidade, visto que tal interação pode modificar o processo de liberação desse pigmento da matriz alimentar, alterando assim, sua absorção intestinal.

Dessa forma, para que um determinado composto de interesse seja utilizado e seus efeitos no organismo sejam plenamente alcançados, é de fundamental importância que estudos envolvendo os mecanismos de liberação da matriz alimentar, bem como os processos de biotransformação destes composto sejam realizados. De tal maneira, que o conhecimento desses fatores, poderá potencializar o uso do agente nos diversos segmentos industriais focando principalmente no processo de enriquecimento e estabilidade do pigmento nos produtos.

2.5 Extração das antocianinas

Uma característica determinante e que influencia diretamente nas tecnologias aplicadas na extração dos pigmentos antocianínicos está relacionada à polaridade dessas biomoléculas. O processo de extração sólido-líquido, normalmente utilizado para remoção desses pigmentos das matrizes alimentares, tem como principais solventes aqueles com características polares como acetona, metanol e o etanol e a escolha adequada deste é fundamental para garantir maiores índices de extração do pigmento (XAVIER et al., 2008; ONGKOWIJOYO et al., 2018).

Uma etapa importante e fundamental para garantir maior estabilidade e maiores rendimentos dos processos de extração, está relacionada à acidificação controlada das soluções extratoras. A queda do pH desta até valores entre 1 e 3, faz com que esse pigmento apresente-se na forma catiônica (íon flavilium), mais estável, e ainda garantem a desnaturação das

membranas celulares, fator esse fundamental para solubilização dos pigmentos e otimização da extração (CASTAÑEDA-OVANDO et al., 2009; DAI; MUMPER, 2010; ONGKOWIJOYO et al., 2018).

Diversos são os ácidos utilizados como mecanismos redutores do pH das soluções de extração, recebendo destaque o ácido clorídrico, uma vez que estudos relacionam seu uso com maiores rendimentos no processo de extração (OANCEA; STOIA; COMAN 2012). Porém, vale ressaltar o uso excessivo desse ácido, faz com que haja uma hidrólise parcial da ligação glicosídica entre a aglicona (antocianidina) e a parte glicídica, bem como favorecem o rompimento das interações realizadas no fenômeno de co-pigmentação, entre as antocianinas e metais, diminuindo assim a estabilidade dessas biomoléculas (ONGKOWIJOYO et al., 2018).

Além disso, a aplicação do HCl em formulações alimentícias é limitada e nesse contexto, atualmente vem sendo investigado o uso de ácidos orgânicos como forma de acidificação das soluções extratoras, destacando-se o ácido ascórbico, cítrico e acético (HEINONEN et al., 2016). Nesse sentido, destaca-se o estudo desenvolvido por Chaudhary & Mukhopadhyay (2012), no qual identificaram, ao avaliarem através da metodologia estatística de superfície de resposta, que o rendimento de extração de antocianinas da casca do jambolão eram maiores, cerca de 763,80 mg/100g, quando o etanol (20%) era utilizado combinado como o ácido acético (1%), como solvente extrator. No estudo, ainda foram avaliadas o efeito da acidificação da solução extratora com HCl e ácido cítrico.

Já em estudo realizado por Brito et al., (2017), maiores rendimentos de extração dos pigmentos antociânicos do fruto do jambolão (296 mg/100g) foram obtidos quando o etanol 95% foi utilizado e acidificado com HCl (1%). Vale ressaltar que o objetivo dos autores foi buscar alternativas para o uso do metanol como solvente de extração, uma vez que este é considerado tóxico e não recomendado para o uso em formulações alimentícias.

Apesar de existir uma diversidade de técnicas para extração das antocianinas das matrizes alimentares, um fator importante e limitante ao processo é a baixa estabilidade desses compostos. Dados apontam que esses pigmentos tem sua estabilidade comprometida por fatores como o pH do meio, a presença de oxigênio, atividade de água e principalmente a temperatura de processamento (HE et al., 2016; SUI et al., 2018). Sendo essa baixa estabilidade derivada principalmente da estrutura química altamente reativa desses compostos.

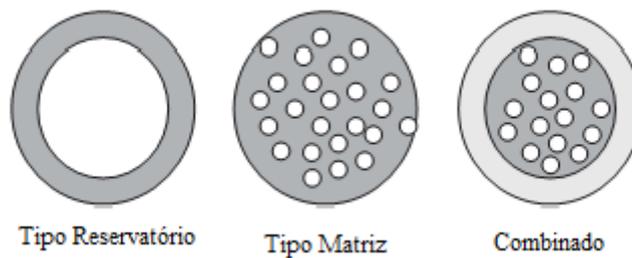
Nesse sentido e visando garantir maior estabilidade dessas moléculas, diversas técnicas de encapsulação desses compostos vêm sendo desenvolvidos com objetivo de preservar as características, principalmente a bioatividade, dessas moléculas (BALLESTEROS et al., 2017).

2.6 Encapsulação de compostos bioativos

São diversas as tecnologias aplicadas na encapsulação de compostos bioativos, seja por meio de métodos físicos (pulverização, liofilização, evaporação de solventes), químicos (polimerização interfacial e complexação de inclusão molecular) ou físico-químicos (coacervação, lipossomas e gelificação iônica) (TYAGI et al., 2011), que podem ser aplicados com diversos objetivos, incluindo melhorar a estabilidade dos compostos evitando perdas por degradação ou volatinização, mascarar mau gosto, bem como garantir sua liberação em taxas e condições específicas (ZUIDAM; SHIMONI, 2010).

Segundo Zuidam e Shimoni (2010) os materiais encapsulados podem assumir duas estruturas básicas, aos quais os autores denominam como cápsulas ou matrizes (esferas) (Figura 2). Na primeira o material ativo encontra-se recoberto e protegido por um agente encapsulante, já na segunda, o material com propriedades ativas é distribuído normalmente por toda a estrutura, excetuando-se quando técnicas de recobrimento são aplicadas e uma estrutura combinada é formada.

Figura 1.2 – Estruturas formadas durante o encapsulamento



Fonte: ZUIDAM; SHIMONI, 2010.

Quanto às características dos materiais encapsulados, esses podem se apresentar na forma sólida, líquida ou gasosa (DESAI; JIN PARK, 2005) e as variações nas dimensões das partículas formadas permitem que essas sejam classificadas, de acordo com Silva et al. (2014), em macropartículas (>5.000 μm), micropartículas (0,2 a 5.000 μm) e nanopartículas (<0,2 μm).

Como foi descrito acima, são diversas as tecnologias aplicadas e todas elas usam diferentes materiais encapsulantes, ou como bem chamados, materiais de parede, destacando-se a carrega, a gelatina, a quitosana e o alginato de cálcio (COOK et al. 2012; BURGAIN et al. 2011). E um ponto importante é que todos esses compostos, possuem propriedades específicas que os levam a ter aplicabilidade favorecida a depender do agente que será encapsulado.

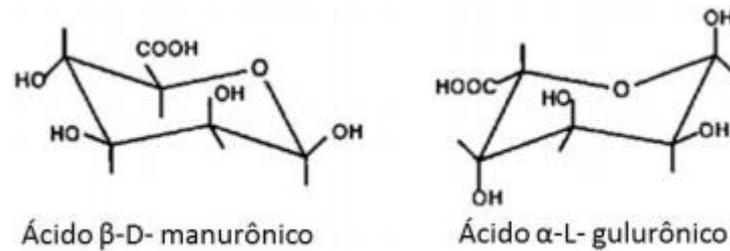
Por fim, vale ressaltar que as tecnologias aplicadas para encapsulação de agentes ativos possuem possíveis efeitos negativos, como por exemplo, a necessidade de maiores estudos sobre a estabilidade das cápsulas nas matrizes alimentares e os custos adicionais obtidos através da encapsulação (ZUIDAM; SHIMONI, 2010). E é nesse contexto que surge a técnica físico-química de encapsulamento por gelificação iônica, metodologia esta caracterizada pelo não uso de solventes orgânicos e pelas condições brandas de temperatura e agitação no qual o processo é desenvolvido (COLAK et al., 2016).

2.7 Microencapsulação pela técnica de gelificação iônica – conceitos gerais e aplicações na retenção de antocianinas

Interações eletrostática entre polieletrólitos com cargas opostas (contraíons) é o princípio básico que norteia a técnica de microencapsulação por gelificação iônica (PATIL et al., 2012). Também conhecida como “gelificação induzida por íon” e “gelificação ionotrópica” essa tecnologia garante a imobilização de compostos bioativos através do aprisionamento destes em uma matriz (gel insolúvel) formada pela interação entre um cátion bivalente, como o Ca^{+2} , e os grupamentos carboxila presentes nas cadeias poliméricas de alguns hidrocolóides, como as pectinas, a goma gelana e o alginato de sódio, sendo este último um dos principais compostos utilizados na técnica (RACOVITĂ et al., 2009; PATIL et al., 2010).

O alginato de sódio é um composto que possui solubilidade ideal em soluções aquosas com pH superiores a 3,5 (FIANCO, 2018). Extraídos de algas marrons da família *Phaeophyceae*, esse hidrocolóide largamente utilizado na indústria de alimentos (TAGLIARI, 2012) é composto por unidade monoméricas de ácidos β -D-manurônico (M) e ácido α -L-gulurônico (G) (Figura 3), unidas de forma homo ou heterogênea por ligações glicosídicas 1,4. Sendo essa composição determinante nas características físicas do polímero, bem como sua capacidade de formação do gel (BRESSEL, 2007; KAWAGUTI & SATO, 2008; TAGLIARI, 2012).

Figura 1.3 – Monômeros presentes no alginato



Fonte: FIANCO, 2018.

Apesar das potencialidades de uso da técnica, ela é limitada quando trata-se do encapsulamento de agentes com propriedades hidrofílicas e isso ocorre principalmente por causa das características químicas dos materiais de aprisionamento utilizados, resultando em menores eficiência de encapsulação e elevadas taxas de liberação, muitas vezes com controle pouco efetivo (LAKKIS, 2007; CHAN; LEE; HENG, 2006; OEHME et al., 2011).

Como forma de reparação dessa limitação, alternativas vem sendo buscadas com intuito de garantir maiores taxas de retenções, bem como melhores condições de liberação controlada dos compostos hidrofílicos, dentre essas a adição de outros polímeros tem se mostrado uma alternativa eficiente no aprisionamento de agentes ativos em hidrogéis, uma vez que garantem maiores uniformidades na microestrutura das esferas e maiores interações entre os compostos bioativos e os polímeros (KUROZAWA; HUBINGER, 2017).

Nesse contexto, López-Córdoba, Deladino e Martino (2014), com objetivo de desenvolver um sistema de liberação controlada fonte de antioxidantes naturais, avaliaram os efeitos de incorporação do amido de milho em cápsulas de alginato enriquecidas com extrato de erva-mate. Os autores identificaram aumentos lineares na taxa de retenção dos compostos nas capsulas desenvolvidas à medida que maiores concentrações de amido foram adicionadas. Os memos justificam que a presença dos grânulos de amido foi determinante, pois atuaram como suporte estrutural, melhorando a morfologia das partículas e ainda reduzindo as taxas de liberação pela diminuição no tamanho dos poros.

Já no estudo desenvolvido por Lozano-Vazquez et al. (2014) no qual avaliaram o efeito da incorporação do amido de tapioca modificado nas taxas de liberação do ácido clorogênico em microcápsulas de alginato e identificaram que à medida que maiores concentrações de amido eram adicionadas menores partículas com maior esfericidade eram alcançadas. Além disso, a presença do amido nas microcápsulas atuou como agente de obstrução ao oxigênio, bem como na redução do vazamento do ácido clorogênico da matriz, concluindo assim que a

incorporação do amido foi eficiente no processo de modulação das propriedades físico-químicas e nas taxas de liberação de bioativos.

Ćujić et al. 2016, por sua vez, utilizaram a inulina como ingrediente complementar na técnica de gelificação iônica em conjunto com o alginato. E ao avaliarem os efeitos da incorporação desse carboidrato no perfil de liberação em condições gástricas simuladas e na estabilidade de extratos de chokeberry (*Aronia melanocarpa L.*), identificaram que as cápsulas elaboradas com 5% de inulina (p/v) proporcionaram uma maior estabilidade durante o armazenamento e uma liberação prolongada por 40 min, garantindo um melhor potencial de entrega dos polifenóis, abrindo margem para aplicação das cápsulas otimizadas na indústria farmacêutica, de alimentos funcionais e em preparações cosméticas .

Somando-se a esse estudo, e objetivando encapsular extratos ricos em antocianinas, Moura et al. (2018), desenvolveram e avaliaram as características químicas e físicas de microcápsulas de alginato obtidas pela técnica de gelificação iônica e enriquecidas com extratos antociânicos de *Hibiscus sabdariffa*. Os autores identificaram que a técnica foi eficiente no processo de retenção dos pigmentos, além de garantir maiores estabilidades quando submetidas a condições térmicas adversas.

Já Carvalho et al. (2019), incorporaram extratos de jussara (*Euterpe edulis Martius*) em cápsulas/esferas de alginato pré-formadas pela técnica de gelificação iônica, com objetivo de aumentar a sua estabilidade e proteger as antocianinas quando submetidas a condições adversas de temperatura e pH. E segundo os autores, o processo de encapsulação garantiu um perfil de liberação em condições de pH específico, como por exemplo o fluído gástrico, além de uma maior proteção do pigmento no processo ao longo do armazenamento.

Resultados esses que se assemelham ao estudo desenvolvido por Zhang et al. (2020), que ao utilizarem a técnica de gelificação iônica para encapsular antocianinas extraídas da casca da uva, identificaram elevada eficiência de encapsulamento do pigmento (75%) pela técnica, além de maiores estabilidades do pigmento encapsulado frente a variações de luminosidade e de temperatura. Não mais, os autores ainda observaram que a técnica garantiu uma melhor bioacessibilidade das antocianinas quando submetidas ao processo de digestão gastrointestinal simulado. Demonstrando a potencialidade de uso da técnica, apesar das suas limitações, na estabilização das antocianinas.

Dessa forma, a técnica de microencapsulação por gelificação iônica mostra-se extremamente viável quando o objetivo é microencapsular compostos com propriedades bioativas, além de poder ser aprimorada otimizando o processo de retenção e as taxas de liberação desses compostos. Por fim, vale ressaltar que estudos que visem à aplicação das microcápsulas em matrizes alimentares são fundamentais, pois determinarão como ocorrerá o comportamento desses agentes quando presente nos alimentos.

REFERÊNCIAS

- ABDENNACER, B.; KARIM, M.; YASSINE, M.; NESRINE, R.; MOUNA, D.; MOHAMED, B. Determinação de fitoquímicos e atividade antioxidante de extratos de metanol obtidos a partir dos frutos e folhas de *Lycium intricatum* Boiss da Tunísia. **Química dos Alimentos**, v. 174, p. 577 – 584, 2015.
- AHMAD, R.; AHMAD, N.; NAQVI, A. A. “*Ziziphus oxyphylla*”: Ethnobotanical, ethnopharmacological and phytochemical review. **Biomedicine & Pharmacotherapy**, [s. l.], v. 91, p. 970–998, 2017.
- ALBERTON, J. R.; RIBEIRO, A.; SACRAMENTO, L. V. S.; FRANCO, S. L.; LIMA, M. A. P. Caracterização farmacognóstica do jambolão (*Syzygium cumini* (L.) Skeels). **Revista Brasileira de Farmacognosia**, [s. l.], v. 11, n. 1, p. 37–50, 2001.
- ALI, E.; SULTANA, S.; HAMID, S. B. A.; HOSSAIN, M.; YEHYA, W. A.; KADER, A.; BHARGAVA, S. K. Gelatin controversies in food, pharmaceuticals, and personal care products: Authentication methods, current status, and future challenges. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, [s. l.], v. 58, n. 9, p. 1495–1511, 2018.
- ALVAREZ-SUAREZ, J. M.; CUADRADO, C.; REDONDO, I. B.; GIAMPIERI, F.; GONZÁLEZ-PARAMÁS, A. M.; SANTOS-BUELGA, C. Novel approaches in anthocyanin research - Plant fortification and bioavailability issues. **Trends in Food Science & Technology, Plant-Based Bioactive Compounds: Healthy Promoters And Protective Agents**. v. 117, p. 92–105, 1 nov. 2021. DOI 10.1016/j.tifs.2021.01.049.
- ALVES, R. E.; DE BRITO, E. S.; RUFINO, M. S. M.; SAMPAIO, C. G. ANTIOXIDANT ACTIVITY MEASUREMENT IN TROPICAL FRUITS: A CASE STUDY WITH ACEROLA. **Acta Horticulturae**, [s. l.], n. 773, p. 299–305, 2008.
- ANDERSEN, O.M.; JORDHEIM, M. Basic anthocyanin chemistry and dietary sources. In: Wallace, T.C., Giusti, M. (Eds.), *Anthocyanins in Health and Disease*. **CRC Press, Boca Raton**, pp. 13–90, 2013.
- ANGELO, P. M.; JORGE, N. Compostos fenólicos em alimentos - uma breve revisão. **Revista Instituto Adolfo Lutz (Impr.)**, v. 66, n. 1, p. 34-56, 2011.
- AOAC. Association of Official Analytical Chemists. Official methods of analysis of AOAC international. 17^a ed., Washington, 2002.
- AOAC. Official methods of analysis of AOAC International (18th ed), AOAC International, Maryland (2006) (Last review in 2010).
- ARUN, R.; PRAKASH, M. V. D.; ABRAHAM, S. K.; PREMKUMAR, K. Role of *Syzygium cumini* seed extract in the chemoprevention of in vivo genomic damage and oxidative stress. **Journal of Ethnopharmacology**, [s. l.], v. 134, n. 2, p. 329–333, 2011.

AYYANAR, M.; SUBASH-BABU, P. *Syzygium cumini* (L.) Skeels: A review of its phytochemical constituents and traditional uses. **Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine**, [s. l.], v. 2, n. 3, p. 240–246, 2012.

BALDISSERA, G; **Efeitos da administração de extrato bruto hidroalcoólico de folhas de *Syzygium cumini* (L.) Skeels e do treinamento aeróbio contínuo em ratos diabéticos induzidos por dieta hiperlipídica e baixas doses de estreptozotocina.** Tese de Doutorado. Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre, Porto Alegre. 2015.

BALIGA, M.S.; BHAT, H.P.; BALIGA, B.R.V.; WILSON, R.; PALATTY, P.L. Phytochemistry, traditional uses and pharmacology of *Eugenia jambolana* Lam. (black plum): a review. **Food Res.** v. 44, p. 1776 -1789, 2011.

BALLESTEROS, L. F.; RAMIREZ, M. J.; ORREGO, C. E.; TEIXEIRA, J. A.; MUSSATTO, S. I. Encapsulation of antioxidant phenolic compounds extracted from spent coffee grounds by freeze-drying and spray-drying using different coating materials. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 237, p. 623–631, 2017.

BALLESTEROS, L. F.; RAMIREZ, M. J.; ORREGO, C. E.; TEIXEIRA, J. A.; MUSSATTO, S. I. Encapsulation of antioxidant phenolic compounds extracted from spent coffee grounds by freeze-drying and spray-drying using different coating materials. **Food Chemistry**, v. 237, p. 623–631, 15 dez. 2017. DOI 10.1016/j.foodchem.2017.05.142.

BELSCAK-CVITANOVIC A.; BUSIC, A. , L. BARISIC; VRSALJKO, D.; KARLOVIC, S.; SPOLJARIC, I.; ; VRSALJKO, A.; MRSIC, G.; KOMES, D. Emulsion templated microencapsulation of dandelion (*Taraxacum officinale* L.) polyphenols and β -carotene by ionotropic gelation of alginate and pectin. **Food Hydrocolloids**, v. 57, p. 139 – 152, 2016.

BENJAKUL, S.; KITTIPHATTANABAWON, P. Gelatin. **Encyclopedia of Food Chemistry**, p. 121-127, 2019.

BENZIE, I.F.F; STRAIN, J.J. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of 'antioxidant power': The FRAP assay. **Analytical Biochemistry**, v. 239, n.1, p. 70-76, 1996.

BLIGH, E. G.; DYER, W. J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian Journal of Biochemistry and Physiology**, v. 37, n. 8, p. 911-917, 1959.

BORKOWSKI, T.; SZYMUSIAK, H.; GLISZCZYNSKA-SWIGLO, A.; TYRAKOWSKA, B. The effect of 3-O-b-glycosylation on structural transformations of anthocyanins. **Food Res. Int.** v. 38, p. 1031–1037, 2005.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M.E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT - Food Science and Technology**, v. 28, n.1, p. 25-30, 1995.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). **RDC n°12 de 02 de janeiro de 2001.** Aprova o Regulamento Técnico Sobre Padrões Microbiológicos para Alimentos. Brasília: 2001. Diário Oficial da União.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos (4ª ed.)**, Ministério da Saúde, Brasília (2005) Instituto Adolfo Lutz. 1018p. (Série A. Normas e Manuais Técnicos).

BRASIL. **Resolução nº 18, de 30 de abril de 1999**. Aprova o Regulamento Técnico que estabelece as diretrizes básicas para análise e comprovação de propriedades funcionais e ou de saúde alegadas em rotulagem de alimentos, constante do anexo desta portaria. Brasília: 1999. Diário Oficial da União.

BRASIL. **Resolução RDC nº 265, de 22 de setembro de 2005**. Regulamento Técnico para Balas, Bomons e Gomas de Mascar. Brasília: 2005. Diário Oficial da União.

BRESSEL, T. A. B. **Sistema gerador de microcápsulas de alginato**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2007.

BUENO, J.M.; RAMOS-ESCUADERO, F.; SÁEZ-PLAZA, P.; MUÑOZ, A.M.; JOSÉ NAVAS, M.; ASUERO, A.G. Analysis and antioxidant capacity of anthocyanin pigments. part i: general considerations concerning polyphenols and flavonoids. **Crit. Rev. Anal. Chem.**, v.42, n.2, p. 102–125, 2012.

BURGAIN, J.; GAIANI, C.; LINDER, M.; SCHER, J. Encapsulation of probiotic living cells: From laboratory scale to industrial applications. **Journal of Food Engineering**, [s. l.], v. 104, n. 4, p. 467–483, 2011.

CALDERARO, A.; BARRECA, D.; BELLOCCO, E.; SMERIGLIO, A.; TROMBETTA, D.; LAGANÀ, G. Colored phytonutrients: Role and applications in the functional foods of anthocyanins. **Phytonutrients in Food**. [S. l.]: Elsevier, 2020. p. 177–195. DOI 10.1016/B978-0-12-815354-3.00011-3.

CAROCHO, M.; MORALES, P.; FERREIRA, I. C. F. R. Antioxidants: Reviewing the chemistry, food applications, legislation and role as preservatives. **Trends in Food Science & Technology**, [s. l.], v. 71, p. 107–120, 2018.

CARRATU, E.; SANZINI, E. Sostanze biologicamente attive presenti negli alimenti di origine vegetable. **Ann. Ist. Super Sanit**, v. 41, n. 1, p. 7-16, 2005.

CARVALHO, A. G. S.; DA COSTA MACHADO, M. T.; DE FREITAS QUEIROZ BARROS, H. D.; CAZARIN, C. B. B.; MARÓSTICA JUNIOR, M. R.; HUBINGER, M. D. Anthocyanins from jussara (*Euterpe edulis* Martius) extract carried by calcium alginate beads pre-prepared using ionic gelation. **Powder Technology**, v. 345, p. 283–291, 1 mar. 2019. DOI 10.1016/j.powtec.2019.01.016.

CARVALHO, A. G. S.; **Estudo da Inclusão de Antocianinas de Extrato da Polpa de Juçara (*Euterpe Edulis* Martius) em Partículas Produzidas por Spray Drying e Gelificação Iônica**. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2017.

CASSIDY, A.; MUKAMAL, K.J.; LIU, L.; FRANZ, M.; ELIASSEN, A.H.; RIMM, E.B. High anthocyanin intake is associated with a reduced risk of myocardial infarction in young and middle-aged women. **Circulation**, v. 127, 188–196, 2013.

CASTAÑEDA-OVANDO, A.; PACHECO-HERNÁNDEZ, Ma. de L.; PÁEZ-HERNÁNDEZ, Ma. E.; RODRÍGUEZ, J. A.; GALÁN-VIDAL, C. A. Chemical studies of anthocyanins: A review. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 113, n. 4, p. 859–871, 2009.

CELLI, G. B.; KALT, W.; BROOKS, M. S.-L. Gastroretentive systems – a proposed strategy to modulate anthocyanin release and absorption for the management of diabetes. **Drug Delivery**, [s. l.], v. 23, n. 6, p. 1892–1901, 2016.

CELLI, G. B.; TAN, C.; SELIG, M. J; Anthocyanidins and Anthocyanins. **Encyclopedia of Food Chemistry**, p. 218-223, 2018.

CHAN, L. W.; LEE, H. Y.; HENG, P. W. S. Mechanisms of external and internal gelation and their impact on the functions of alginate as a coat and delivery system. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], v. 63, n. 2, p. 176–187, 2006.

CHANG, S.K.; SCIENCES, H.; JALIL, B.; How Food Structure and Processing Affect the Bioavailability of Nutrients and Antioxidants. **Encyclopedia of Food Chemistry**, Elsevier (2018), 10.1016/B978-0-12-814026-0.21723-X

CHAUDHARY, B.; MUKHOPADHYAY, K. Solvent optimization for anthocyanin extraction from *Syzygium cumini* L. Skeels using response surface methodology. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, [s. l.], v. 64, n. 3, p. 363–371, 2013.

COCK, I. E.; CHEESMAN, M. Plants of the Genus *Syzygium* (Myrtaceae): A Review On Ethnobotany, Medicinal Properties and Phytochemistry. **Bioactive Compounds of Medicinal Plants**. p.34 -84, 2018.

COLAK, N.; TORUN, H.; GRUZ, J.; STRNAD, M.; HERMOSÍN-GUTIÉRREZ, I.; HAYIRLIOGLU-AYAZ, S.; AYAZ, F. A. Bog bilberry phenolics, antioxidant capacity and nutrient profile. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 201, p. 339–349, 2016.

COOK, M. T.; TZORTZIS, G.; CHARALAMPOPOULOS, D.; KHUTORYANSKIY, V. V. Microencapsulation of probiotics for gastrointestinal delivery. **Journal of Controlled Release**, [s. l.], v. 162, n. 1, p. 56–67, 2012.

CROZIER, A. Classification and biosynthesis of plants and secondary products: na overview. **Blackwell Science for the British Nutrition Foundation**, cap. 2, p. 27-48, 2003.

CRUPI, P.; DIPALMO, T.; CLODOVEO, M. L.; TOCI, A. T.; COLETTA, A. Seedless table grape residues as a source of polyphenols: Comparison and optimization of non-conventional extraction techniques.European. **Food Research and Technology**, v. 244, p. 1091–1100, 2018.

ĆUJIĆ, N.; TRIFKOVIĆ, K.; BUGARSKI, B.; IBRIĆ, S.; PLJEVLJAKUŠIĆ, D.; ŠAVIKIN, K. Chokeberry (*Aronia melanocarpa* L.) extract loaded in alginate and alginate/inulin system. **Industrial Crops and Products**, v. 86, p. 120–131, ago. 2016. DOI 10.1016/j.indcrop.2016.03.045.

DAI, J.; MUMPER, R. J. Plant Phenolics: Extraction, Analysis and Their Antioxidant and Anticancer Properties. **Molecules**, [s. l.], v. 15, n. 10, p. 7313–7352, 2010.

- DALMAGRO, M. F. **Desenvolvimento de um Bala Adicionada de Ingredientes Funcionais e Sialogogo**. Universidade do Vale do Rio do Sinos – UNISINOS, São Leopoldo. 2014.
- DAVALOS, A.; GOMEZ-CORDOVES, C.; BARTOLOME, B. Extending applicability of the oxygen radical absorbance capacity (ORAC-fluorescein) assay. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, n. 1, p. 48–54, 2004.
- DAVIDOV-PARDO, G.; AROZARENA, I.; MARÍN-ARROYO, M. R. Optimization of a wall material formulation to microencapsulate a grape seed extract using a mixture design of experiments. **Food Bioprocess Technology**, v. 6, p. 941–951, 2013.
- DE MOURA, S. C. S. R.; BERLING, C. L.; GARCIA, A. O.; QUEIROZ, M. B.; ALVIM, I. D.; HUBINGER, M. D. Release of anthocyanins from the hibiscus extract encapsulated by ionic gelation and application of microparticles in jelly candy. **Food Research International**, [s. l.], v. 121, p. 542–552, 2019.
- DE MOURA, S. C. S. R.; BERLING, C. L.; GERMER, S. P. M.; ALVIM, I. D.; HUBINGER, M. D. Encapsulating anthocyanins from *Hibiscus sabdariffa* L. calyces by ionic gelation: Pigment stability during storage of microparticles. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 241, p. 317–327, 2018.
- DELADINO, L.; ANBINDER, P. S.; NAVARRO, A. S.; MARTINO, M. N. Encapsulation of natural antioxidants extracted from *Ilex paraguariensis*. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], v. 71, n. 1, p. 126–134, 2008.
- DESAI, K. G. H.; JIN PARK, H. Recent Developments in Microencapsulation of Food Ingredients. **Drying Technology**, [s. l.], v. 23, n. 7, p. 1361–1394, 2005.
- DO CARMO BRITO, B. de N.; DA SILVA PENA, R.; SANTOS LOPES, A.; CAMPOS CHISTÉ, R. Anthocyanins of Jambolão (*Syzygium cumini*): Extraction and pH-Dependent Color Changes: Anthocyanins of *Syzygium cumini*. **Journal of Food Science**, [s. l.], v. 82, n. 10, p. 2286–2290, 2017.
- DONADIO, L. C. **Dicionário das frutas**. Jaboticabal: Unesp, 2007.
- FARIA, A. F.; MARQUES, M. C.; MERCADANTE, A. Z. Identification of bioactive compounds from jambolão (*Syzygium cumini*) and antioxidant capacity evaluation in different pH conditions. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 126, n. 4, p. 1571–1578, 2011. a.
- FARIA, A. F.; MARQUES, M. C.; MERCADANTE, A. Z. Identification of bioactive compounds from jambolão (*Syzygium cumini*) and antioxidant capacity evaluation in different pH conditions. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 126, n. 4, p. 1571–1578, 2011. b. FEILD, T.S.; LEE, D.W.; HOLBROOK, N.M. Why leaves turn red in autumn. The role of anthocyanins in senescing leaves of red-osier dogwood. **Plant Physiol**. V.127, p. 566–574, 2001.
- FERNANDES, I.; FARIA, A.; CALHAU, C.; DE FREITAS, V.; MATEUS, N. Bioavailability of anthocyanins and derivatives. **Journal of Functional Foods**, v. 7, p. 54–66, mar. 2014. DOI 10.1016/j.jff.2013.05.010.

FERNANDES, I.; MARQUES, C.; ÉVORA, A.; FARIA, A.; CALHAU, C.; MATEUS, N.; DE FREITAS, V. Anthocyanins: Nutrition and Health. In: MÉRILLON, J.-M.; RAMAWAT, K. G. (orgs.). *Bioactive Molecules in Food*. Cham: **Springer International Publishing**, 2018. p. 1–37. DOI 10.1007/978-3-319-54528-8_79-1.

FIANCO, A. L. B. **Obtenção de Óleos Essenciais de Plantas Nativas do Sul do Brasil e Avaliação Frente a Diferentes Tipos de Pragas**. Tese de Doutorado. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande Do Sul, Porto Alegre. 2018.

FONTOURA, L. M.; CORREA, A. F.; VIVENTE, J.; MELEIRO, C. H. A.; FARALOSSO, F. B.; Formulação de balas enriquecidas com Ferro, cálcio, beta-caroteno, licopeno e Vitamina C. *Acta Tecnológica*, v. 8, n.2, p. 36-43, 2013.

FULEKI, T.; FRANCIS, F. J. Quantitative methods for anthocyanins. 1. Extraction and determination of total anthocyanin in cranberries. *Journal of Food Science*, v. 33, n. 1, p. 72-77, 1968.

GAMBLE, J.S. **The flora of the presidency of Madras**. London: Adlard & Son LTD; 1935.

GIUSTI, M.M., WROLSTAD, R.E. Anthocyanins characterization and measurement with UV-visible spectroscopy. In: **Wrolstad, R.E. (Ed.), Current Protocols in Food Analytical Chemistry, 1st ed. John Wiley & Sons**, 2001.

GROVER, J.K.; RATHI, S.S.; VATS, V. Amelioration of experimental diabetic neuropathy and gastropathy in rats following oral administration of plant (*Eugenia jambolana*, *Mucuna pruriens* and *Tinospora cordifolia*) extracts. *Indian J. Exp. Biol.* v. 40, n.273276, 2002.
HEINONEN, M. Antioxidant activity and antimicrobial effect of berry phenolics - a Finnish perspective. *Mol. Nutr. Food. Res.* 51, 684–691, 2007.

HABILLA, C.; CHENG, L. Quality of jelly candy made of acid-thinned starch added with different non-starch polysaccharides. *Journal of Food Research and Technology*, v. 3, n.1, p. 14-22, 2015.

HE, J.; GIUSTI, M. M. Anthocyanins: Natural Colorants with Health-Promoting Properties. *Annual Review of Food Science and Technology*, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 163–187, 2010.

HE, K.; LI, X.; CHEN, X.; YE, X.; HUANG, J.; JIN, Y.; LI, P.; DENG, Y.; JIN, Q.; SHI, Q.; SHU, H. Evaluation of antidiabetic potential of selected traditional Chinese medicines in STZ-induced diabetic mice. *Journal of Ethnopharmacology*, [s. l.], v. 137, n. 3, p. 1135–1142, 2011.

HE, Z.; XU, M.; ZENG, M.; QIN, F.; CHEN, J. Preheated milk proteins improve the stability of grape skin anthocyanins extracts. *Food Chemistry*, [s. l.], v. 210, p. 221–227, 2016.

HEINONEN, J.; FARAHMANDAZAD, H.; VUORINEN, A.; KALLIO, H.; YANG, B.; SAINIO, T. Extraction and purification of anthocyanins from purple-fleshed potato. *Food and Bioproducts Processing*, [s. l.], v. 99, p. 136–146, 2016.

HELMSTÄDTER, A. *Syzygium cumini* (L.) SKEELS (Myrtaceae) against diabetes--125 years of research. *Die Pharmazie*, [s. l.], v. 63, n. 2, p. 91–101, 2008.

HOLKEM, A. T.; CODEVILLA, C. F.; MENEZES, C. R. Emulsificação/gelificação iônica interna: Alternativa para microencapsulação de compostos bioativos. **Ciência e Natura**. v. 37.n.116, 2015.

HOOKER, J.D. The flora of British India. London: Nabu Press; p, 499, 1879.

HOUGH, G.; WAKELING, I.; MUCCI, A.; CHAMBERS, E.; GALLARDO, I. M.; ALVES, L. R. Number of consumers necessary for sensory acceptability tests. **Food Quality and Preference**, [s. l.], v. 17, n. 6, p. 522–526, 2006.

HRIBAR, U.; ULRIH, N. P. The Metabolism of Anthocyanins. *Current Drug Metabolism*, v. 15, n. 1, p. 3–13, 2014. Disponível em: <https://www.eurekaselect.com/article/58006>. Acesso em: 8 fev. 2022.

IGNAT, I.; VOLF, I.; POPA, V. I. A critical review of methods for characterisation of polyphenolic compounds in fruits and vegetables. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 126, n. 4, p. 1821–1835, 2011.

JAIN, A.; SHARMA, S.; GOYAL, M.; DUBEY, S.; JAIN, S.; SAHU, J.; SHARMA, A.; KAUSHIK, A. Anti-inflammatory activity of *Syzygium cumini* leaves. **International Journal of Phytomedicine**, [s. l.], v. 2, n. 2, p. 124–126, 2010.

JYOTI PARMAR, P. S. **Modulation of DMBA- induced biochemical and histopathological changes by *Syzygium cumini* seed extract during skin carcinogenesis**. *Journal (Paginated)*. 2011. Disponível em: <<http://cogprints.org/7328/>>. Acesso em: 24 nov. 2019.

KÄHKÖNEN, M. P.; HEINONEN, M. Antioxidant Activity of Anthocyanins and Their Aglycons. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [s. l.], v. 51, n. 3, p. 628–633, 2003.

KAHKONEN, M.P.; HEINONEN, M. Antioxidant activity of anthocyanins and their aglycons. **J. Agric. Food Chem.** 51, 628–633, 2003.

KAWAGUTI, H. Y.; SATO, H. H. Produção de isomaltulose, um substituto da sacarose, utilizando glicosiltransferase microbiana. **Química Nova**, [s. l.], v. 31, n. 1, p. 134–143, 2008.

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

KONCZAK, I.; ZHANG, W. Anthocyanins more than nature colours. *Journal of Biomedicine and Biotechnology*, v.5, p. 239–240, 2004.

KORNACKI, J. L. & JOHNSON, J. L. Enterobacteriaceae, Coliforms, and *Escherichia coli* as quality and safety indicators. In: DOWNES, F.P., and K.IITO (ed.) *Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods*, 4th ed. **American Public Health Association**, Washington, D.C., 2001. Chapter 8, pg 69-82.

KRGA, I.; MILENKOVIC, D. Anthocyanins: From Sources and Bioavailability to Cardiovascular-Health Benefits and Molecular Mechanisms of Action. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 67, n. 7, p. 1771–1783, 20 fev. 2019. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b06737>.

KRGA, I.; MILENKOVIC, D. Anthocyanins: From Sources and Bioavailability to Cardiovascular-Health Benefits and Molecular Mechanisms of Action. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 67, n. 7, p. 1771–1783, 20 fev. 2019. DOI 10.1021/acs.jafc.8b06737.

KUROZAWA, L. E.; HUBINGER, M. D. Hydrophilic food compounds encapsulation by ionic gelation. *Current Opinion in Food Science*, [s. l.], v. 15, p. 50–55, 2017.

LAKKIS, J. M. (ED.). **Encapsulation and Controlled Release Technologies in Food Systems: Lakkis/Encapsulation**. Ames, Iowa, USA: Blackwell Publishing, 2007. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1002/9780470277881>>. Acesso em: 15 out. 2019.

LI, Z.; JIANG, H.; XU, C.; GU, L. A review: Using nanoparticles to enhance absorption and bioavailability of phenolic phytochemicals. *Food Hydrocolloids*, v. 43, p. 153–164, 1 jan. 2015. DOI 10.1016/j.foodhyd.2014.05.010.

LILA, M. A.; BURTON-FREEMAN, B.; GRACE, M.; KALT, W. Unraveling Anthocyanin Bioavailability for Human Health. *Annual Review of Food Science and Technology*, v. 7, n. 1, p. 375–393, 28 fev. 2016. DOI 10.1146/annurev-food-041715-033346.

LIMA, L. A.; SIANI, A. C.; BRITO, F. A.; SAMPAIO, A. L. F.; HENRIQUES, M. das G. M. O.; RIEHL, C. A. da S. Correlation of anti-inflammatory activity with phenolic content in the leaves of *syzygium cumini* (l.) skeels (myrtaceae). *Química Nova*, [s. l.], v. 30, n. 4, p. 860–864, 2007.

LÓPEZ-CÓRDOBA, A.; DELADINO, L.; MARTINO, M. Release of yerba mate antioxidants from corn starch–alginate capsules as affected by structure. *Carbohydrate Polymers*, [s. l.], v. 99, p. 150–157, 2014.

LOZANO-VAZQUEZ, G.; LOBATO-CALLEROS, C.; ESCALONA-BUENDIA, H.; CHAVEZ, G.; ALVAREZ-RAMIREZ, J.; VERNON-CARTER, E. J. Effect of the weight ratio of alginate-modified tapioca starch on the physicochemical properties and release kinetics of chlorogenic acid containing beads. *Food Hydrocolloids*, [s. l.], v. 48, p. 301–311, 2015.

MACHADO, R. R. P.; JARDIM, D. F.; SOUZA, A. R.; SCIO, E.; FABRI, R. L.; CARPANEZ, A. G.; GRAZUL, R. M.; DE MENDONÇA, J. P. R. F.; LESCHE, B.; AARESTROP, F. M. The effect of essential oil of *Syzygium cumini* on the development of granulomatous inflammation in mice. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, [s. l.], v. 23, n. 3, p. 488–496, 2013.

MAHMOUD, I. I.; MARZOUK, M. S. A.; MOHARRAM, F. A.; EL-GINDI, M. R.; HASSAN, A. M. K. Acylated flavonol glycosides from *Eugenia jambolana* leaves. *Phytochemistry*, [s. l.], v. 58, n. 8, p. 1239–1244, 2001.

MARIA DE CARVALHO TAVARES, I.; ROCCHETTI SUMERE, B.; GÓMEZ-ALONSO, S.; GOMES, E.; HERMOSÍN-GUTIÉRREZ, I.; DA-SILVA, R.; SILVA LAGO-VANZELA, E. Storage stability of the phenolic compounds, color and antioxidant activity of jambolan juice powder obtained by foam mat drying. **Food Research International**, [s. l.], p. 108750, 2019.

MIYAZAWA, T.; NAKAGAWA, K.; KUDO, M.; MURAISHI, K.; SOMEYA, K. Direct Intestinal Absorption of Red Fruit Anthocyanins, Cyanidin-3-glucoside and Cyanidin-3,5-diglucoside, into Rats and Humans. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 47, n. 3, p. 1083–1091, 1 mar. 1999. DOI 10.1021/jf9809582.

MOURA, S. C.S.R.; CAROLINA L. B.; Garcia, A. O.; QUEIROZ, M. B.; ALVIM, I. D.; HUBINGER, M. D. Release of anthocyanins from the hibiscus extract encapsulated by ionic gelation and application of microparticles in jelly candy. **Food Research International**, v. 121, p. 542-552, 2019.

MOURA, S. C.S.R.; CAROLINA L. B.; SÍLVIA P.M. G.; ALVIM, I. D.; HUBINGER, M. D. Encapsulating anthocyanins from Hibiscus sabdariffa L. calyces by ionic gelation: Pigment stability during storage of microparticles. **Food Chemistry**. v. 241, p. 317-327, 2018.

MUNIN, M.; EDWARDS-LEVY, F. Encapsulation of natural polyphenolic compounds; A review. **Pharmaceutics**, v. 3, p. 793–829, 2011.

NAKABAYASHI, R.; YONEKURA-SAKAKIBARA, K.; URANO, K.; SUZUKI, M.; YAMADA, Y.; NISHIZAWA, T.; MATSUDA, F.; KOJIMA, M.; SAKAKIBARA, H.; SHINOZAKI, K.; MICHAEL, A. J.; TOHGE, T.; YAMAZAKI, M.; SAITO, K. Enhancement of oxidative and drought tolerance in Arabidopsis by overaccumulation of antioxidant flavonoids. **The Plant Journal**, [s. l.], v. 77, n. 3, p. 367–379, 2014.

NAZIF, N. M. The anthocyanin components and cytotoxic activity of Syzygium cumini(L.) fruits growing in Egypt. **Natural Product Sciences**, v.13, n.2, p. 135–139.

NOOMRIO, M. H.; DAHOT, M. U. Nutritive value of Eugenia jambos a fruit. **Journal of Islamic Academy of Sciences**, v. 9, p. 9–12, (1996).

OANCEA, S.; STOIA, M.; COMAN, D. Effects of Extraction Conditions on Bioactive Anthocyanin Content of Vaccinium Corymbosum in the Perspective of Food Applications. **Procedia Engineering**, [s. l.], v. 42, p. 489–495, 2012.

OEHME, A.; VALOTIS, A.; KRAMMER, G.; ZIMMERMANN, I.; SCHREIER, P. Preparation and characterization of shellac-coated anthocyanin pectin beads as dietary colonic delivery system. **Molecular Nutrition & Food Research**, [s. l.], v. 55, n. S1, p. S75–S85, 2011.

ONGKOWIJOYO, P.; LUNA-VITAL, D. A.; GONZALEZ DE MEJIA, E. Extraction techniques and analysis of anthocyanins from food sources by mass spectrometry: An update. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 250, p. 113–126, 2018.

- OTÁLORA, M. C.; DE JESÚS BARBOSA, H.; PERILLA, J. E.; OSORIO, C.; NAZARENO, M. A. Encapsulated betalains (*Opuntia ficus-indica*) as natural colorants. Case study: Gummy candies. **LWT**, [s. l.], v. 103, p. 222–227, 2019.
- PANGHAL, A.; PATIDAR, R.; JAGLAN, S.; CHHIKARA, N.; KHATKAR, S. K.; GAT, Y.; SINDHU, N. Whey valorization: current options and future scenario – a critical review. **Nutrition & Food Science**, [s. l.], v. 48, n. 3, p. 520–535, 2018.
- PARMAR, J.; SHARMA, P.; VERMA, P.; SHARMA, P.; GOYAL, P. K. Modulation of DMBA- induced biochemical and histopathological changes by *Syzygium cumini* seed extract duruni skin carcinogenesis. **International Journal of Current Biomedical and Pharmaceutical Research**, v.1, n. 2, p. 24–30, 2011.
- PASSAMONTI, S.; VRHOVSEK, U.; VANZO, A.; MATTIVI, F. The stomach as a site for anthocyanins absorption from food. In memory of Livia Mattivi, who died on 15th March 2003. **FEBS Letters**, v. 544, n. 1, p. 210–213, 5 jun. 2003. DOI 10.1016/S0014-5793(03)00504-0.
- PATIL, J. S.; KAMALAPUR, M. V.; MARAPUR, S. C.; KADAM, D. V. Iontropic gelation and polyelectrolyte complexation: the novel techniques to design hydrogel particulate sustained, modulates drug delivery system: A review. **Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures**, v. 5, n. 1, p.242-248, 2010.
- PATIL, P.; CHAVANKE, D.; WAGH. M. A review on ionotropic gelation method: novel approach for controlled gastroretentive gelispheres. **International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences**, v.4, n. 4, p. 27-32, 2012.
- PATRAS, A.; BRUNTON, N. P.; O'DONNELL, C.; & TIWARI, B. K. Effect of ternal processing on anthocyanin stability in foods; mechanisms and kinetics of degradation. **Trends in Food Science & Technology**, v. 21, n.1, p.3–11, 2010.
- PAUL, D. K.; SHAHA, R. K. Nutrients, Vitamins and Minerals Content in Common Citrus Fruits in the Northern Region of Bangladesh. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, [s. l.], v. 7, n. 2, p. 238–242, 2004.
- PRIOR, R. L.; HOANG, H.; GU, L. W.; WU, X. L., BACCHIOCCA, HOWARD, M. L., JACOB, R. Assays for hydrophilic and lipophilic antioxidant capacity (oxygen radical absorbance capacity (ORAC(FL))) of plasma and other biological and food samples. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, n.11, p.3273–3279, 2003.
- PRTABHAKARAN, S.; GOTHANDAM, K. M.; SIVASHANMUGAM, K.. Phytochemical and antimicrobial properties of *Syzygium cumini* ethnomedicinal plant of Javadhu hills. **Research in Pharmacy**, v. 1, n. 1, p. 22–32, 2011.
- RACOVITĂ, S.; VASILIU, S.; POPA, M.; LUCA, C. Polysaccharides based on micro and nanoparticles obtained by ionic gelation and their applications as drug delivery systems. **Revue Roumaine de Chimie**, v. 54, n. 9, p.709-718, 2009.
- RAMTEKE, V.; KURREY, V.; KAR, S. Jamun: A traditional fruit and medicine Popular. **Kheti**, 2015, v.3, n. 3, p. 188–190.

RASTOGI, R. P.; MEHROTHA, B. N. **Compendium of Indian medicinal plants. Vol. 1: 1960 - 1969**. Lucknow: Central Drug Research Institute [u.a.], 1990.

RAZA, A.; ALI, M. U.; NISAR, T.; S. A.; QASRANI; R.; HUSSAIN; SHARIF, M. N. Proximate composition of Jamun fruit and seed, AmOliveiran- Eurasian J. **Agric. Environ. Sci.** , v. 15, n. 7, p. 1221–1223, 2015.

RAZA, A.; BUTT, M. S.; IAHTISHAM-UL-HAQ; SULERIA, H. A. R. Jamun (*Syzygium cumini*) seed and fruit extract attenuate hyperglycemia in diabetic rats. **Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine**, [s. l.], v. 7, n. 8, p. 750–754, 2017.

RESENDE, L. G. M.; **Formulação e Caracterização de Corantes de Antocianinas Extraídos do Fruto Tropical Jambolão (*Syzygium Cumini*)**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão/SE. 2016.

RIEDEL, R.; BÖHME, B.; ROHM, H. Development of formulations for reduced-sugar and sugar-free agar-based fruit jellies. **International Journal of Food Science & Technology**, [s. l.], v. 50, n. 6, p. 1338–1344, 2015.

RODRIGUES, K. A. da F.; AMORIM, L. V.; DIAS, C. N.; MORAES, D. F. C.; CARNEIRO, S. M. P.; CARVALHO, F. A. de A. *Syzygium cumini* (L.) Skeels essential oil and its major constituent α -pinene exhibit anti-Leishmania activity through immunomodulation in vitro. **Journal of Ethnopharmacology**, [s. l.], v. 160, p. 32–40, 2015.

RUFINO, M. S. M. **Propriedades funcionais de frutas tropicais brasileiras não tradicionais**. Tese de Doutorado. Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA. Mossoró, RN. 2008.

SAGRAWAT, H.; MANN, A. S.; KHARYA, M. D. Pharmacological potential of *Eugenia jambolana*: A review. **Pharmacognosy Magazine**, v. 2, p.96–105, 2006.

SAH, A. K.; VERMA, V. K. *Syzygium cumini*: An overview. **Chem. Pharm. Res.**, 2011,v.3, n. 3, p. 108–113, 2011.

SANGUANSRI, L.; DAY, L.; SHEN, Z.; FAGAN, P.; WEERAKKODY , R.; CHENG, L. J.; AUGUSTIN, A. Encapsulation of mixtures of tuna oil, tributyrin and resveratrol in a spray dried powder formulation. **Food & Function**, v.4 , p. 1794-1802, 2013.

SEETALOO, A. D.; AUMEERUDDY, M. Z.; RENGASAMY KANNAN, R. R.; MAHOMOODALLY, M. F. Potential of traditionally consumed medicinal herbs, spices, and food plants to inhibit key digestive enzymes geared towards diabetes mellitus management — A systematic review. **South African Journal of Botany**, [s. l.], v. 120, p. 3–24, 2019.

SEHWAG , S.; DAS, M. Nutritive, therapeutic and processing aspects of jamun, *Syzygium cumini* (L.) skeels- an overview. **Ind. J. Natl. Prod. Resour.**, 5 (2014), pp. 295-307.

SHINDE, J.; TALDONE, T.; BARLETTA, M.; KUNAPARAJU, N.; HU, B.; KUMAR, S.; PLACIDO, J.; ZITO, S. W. α -Glucosidase inhibitory activity of *Syzygium cumini* (Linn.) Skeels seed kernel in vitro and in Goto–Kakizaki (GK) rats. **Carbohydrate Research**, [s. l.], v. 343, n. 7, p. 1278–1281, 2008.

SOUZA, F. N.; GEBARA, C.; RIBEIRO, M. C. E.; CHAVES, K. S.; GIGANTE, M. L.; GROSSO, C. R. F. Production and characterization of microparticles containing pectin and whey proteins. **Food Research International**, v. 49, p. 560-566, 2012.

SOWJANYA, K. M.; SWATHI, J.; NARENDRA, K.; KRISHNASATYA, A. A review on phytochemical constituents and bioassay of *Syzygium cumini*, **Int. J. Nat. Product Sci.**, v. 3, n.2, p. 1–11, 2013.

STĂNCIUC, N.; TURTURICĂ, M.; OANCEA, A. M.; BARBU, V.; IONIȚĂ, E.; APRODU, I.; RÂPEANU, G. Microencapsulation of Anthocyanins from Grape Skins by Whey Protein Isolates and Different Polymers. **Food and Bioprocess Technology**, [s. l.], v. 10, n. 9, p. 1715–1726, 2017.

STEFANELLO, M. É. A.; PASCOAL, A. C. R. F.; SALVADOR, M. J. Essential Oils from Neotropical Myrtaceae: Chemical Diversity and Biological Properties. **Chemistry & Biodiversity**, [s. l.], v. 8, n. 1, p. 73–94, 2011.

SU, X.; ZHANGA, Y.; JIANGA, L.; ZHOU, W.; Anthocyanins in Food. *Encyclopedia of Food Chemistry*. Elsevier, 2018.

SYAMA, H. P.; SITHARA, T.; LEKSHMY KRISHNAN, S.; JAYAMURTHY, P. *Syzygium cumini* seed attenuates LPS induced inflammatory response in murine macrophage cell line RAW264.7 through NF- κ B translocation. **Journal of Functional Foods**, [s. l.], v. 44, p. 218–226, 2018.

TAGLIARI, M. P. **Desenvolvimento de nanopartículas de quitosana e alginato de sódio para incorporação de ácido glicirrízico, ácido salicílico ou cafeína visando liberação tópica**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2012.

TAVARES, I. M. C.; LAGO-VANZEL E. S.; REBELLO, L. P. G.; RAMOS, A. M.; GÓMEZ-ALONSO, S.; GARCÍA-ROMERO, E.; DA-SILVA, R.; HERMOSÍN-GUTIÉRREZ, I.; Comprehensive study of the phenolic composition of the edible parts of jambolan fruit (*Syzygium cumini*(L.) Skeels). **Food Research International**, v. 82, p.1–13, 2016.

TAVARES, I. M. de C.; LAGO-VANZELA, E. S.; REBELLO, L. P. G.; RAMOS, A. M.; GÓMEZ-ALONSO, S.; GARCÍA-ROMERO, E.; DA-SILVA, R.; HERMOSÍN-GUTIÉRREZ, I. Comprehensive study of the phenolic composition of the edible parts of jambolan fruit (*Syzygium cumini* (L.) Skeels). **Food Research International**, [s. l.], v. 82, p. 1–13, 2016.

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, p. 451, maio 2020. DOI 10.3390/antiox9050451.

TRINH, B. T. D.; STAERK, D.; JÄGER, A. K. Screening for potential α -glucosidase and α -amylase inhibitory constituents from selected Vietnamese plants used to treat type 2 diabetes. **Journal of Ethnopharmacology**, [s. l.], v. 186, p. 189–195, 2016.

- TYAGI, V. V.; KAUSHIK, S. C.; TYAGI, S. K.; AKIYAMA, T. Development of phase change materials based microencapsulated technology for buildings: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 15, n. 2, p. 1373–1391, 2011.
- VAN BOEKEL, M.; FOGLIANO, V.; PELLEGRINI, N.; STANTON, C.; SCHOLZ, G.; LALLJIE, S. A review on the beneficial aspects of food processing. **Molecular Nutrition & Food Research**, v. 54, n. 9, p.1215–1247, 2010.
- VEIGAS, J. M.; NARAYAN, M. S.; LAXMAN, P. M.; NEELWARNE, B. Chemical nature, stability and bioefficacies of anthocyanins from fruit peel of *Syzygium cumini* Skeels. **Food Chemistry**, v. 105, p. 619–627, 2007.
- VIZZOTTO, M. Jambolão: o poderoso antioxidante. [s. l.], 2009. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/747032>>. Acesso em: 15 nov. 2019.
- WATERHOUSE, A. L. Determination of Total Phenolics. In: WROLSTAD, R. E., et al (Ed.). *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*: John Wiley and Sons, 2001. p.II.1.1-II.1.8.
- WU, X.; BEECHER, G.R.; HOLDEN, J.M.; HAYTOWITZ, D.B.; GEBHARDT, S.E.; PRIOR, R.L. Concentrations of anthocyanins in common foods in the United States and estimation of normal consumption. **J. Agric. Food Chem.** V. 54, n. 11, p. 4069–4075, 2006.
- XAVIER, M. F.; LOPES, T. J.; QUADRI, M. G. N.; QUADRI, M. B. Extraction of red cabbage anthocyanins: optimization of the operation conditions of the column process. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, [s. l.], v. 51, n. 1, p. 143–152, 2008.
- ZAFFINO, C.; RUSSO, B.; BRUNI, S. Surface-enhanced Raman scattering (SERS) study of anthocyanidins. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, [s. l.], v. 149, p. 41–47, 2015.
- ZHANG, L.L.; LIN, Y.M. Antioxidant tannins from *Syzygium cumini* fruit. *African Journal of Biotechnology*, v.8, n. 10, p. 2301–2309, 2009.
- ZHANG, R.; ZHOU, L.; LI, J.; OLIVEIRA, H.; YANG, N.; JIN, W.; ZHU, Z.; LI, S.; HE, J. Microencapsulation of anthocyanins extracted from grape skin by emulsification/internal gelation followed by spray/freeze-drying techniques: Characterization, stability and bioaccessibility. *LWT*, v. 123, p. 109097, 1 abr. 2020. DOI 10.1016/j.lwt.2020.109097. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643820300852>. Acesso em: 21 jan. 2022.
- ZUIDAM, N.; SHIMONI, E. Overview of Microencapsulates for Use in Food Products or Process and Methods to Make Them. In: Zuidam, n. j. Nedovic, V. (Eds.). **Encapsulation Technologies for Food Ingredients and Food Processing**, p. 3-30, 2010.

3 OBJETIVO GERAL

Avaliar os efeitos das características biométricas do fruto no rendimento da polpa do jambolão e o impacto do processo de encapsulamento na estabilidade e na bioacessibilidade *in-vitro* de extratos antociânicos do fruto.

3.1 Objetivos Específicos

- Investigar as características biométricas do fruto do jambolão;
- Conhecer as características físico-químicas da polpa do fruto;
- Determinar a composição dos compostos bioativos da polpa do jambolão;
- Otimizar a técnica de encapsulação de extratos antociânicos do jambolão por meio da técnica de gelificação iônica;
- Estimar os efeitos do processo de encapsulamento na estabilidade das antocianinas do jambolão;
- Relacionar os efeitos da adição do amido e da inulina na bioacessibilidade das antocianinas em fluido gástrico e intestinal simulado;
- Avaliar os efeitos do processo de encapsulamento na eficiência de retenção de compostos com propriedades bioativas;

CAPÍTULO II

ARTIGO 1: EFEITO DAS CARACTERÍSTICAS BIOMÉTRICAS NO RENDIMENTO DA POLPA DO JAMBOLÃO (*Syzygium cumini* L. *Skeels*) E ANÁLISE DA SUA POTENCIALIDADE NUTRICIONAL E FUNCIONAL

ARTIGO 1: EFEITO DAS CARACTERÍSTICAS BIOMÉTRICAS NO RENDIMENTO DA POLPA DO JAMBOLÃO (*Syzygium cumini* L. Skeels) E ANÁLISE DA SUA PONTECIALIZAÇÃO NUTRICIONAL E FUNCIONAL

RESUMO

O jambolão (*Syzygium cumini* L. Skeels) é uma planta tropical, da família das myrtaceae e que possuem frutos com características químicas e nutracêuticas ideais para a plena exploração industrial. A elevada perecibilidade do fruto, somada a falhas nas tecnologias de manejo, bem como no processo de colheita e seleção, são os principais fatores que impossibilitam o uso do fruto em escala industrial. Nesse sentido, este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos e a correlação entre as variáveis biométricas do fruto no rendimento da polpa, bem como determinar a sua composição físico-química e avaliar as suas propriedades funcionais. Os frutos foram adquiridos na Central de Abastecimento de Garanhuns – CEAGA e analisados inicialmente quanto as suas características biométricas. Após a determinação do rendimento da polpa, esta foi caracterizada quanto a sua composição físico-química, e os teores de compostos fenólicos, flavonoides e antocianinas totais, bem como avaliados quanto a sua capacidade antioxidante através das metodologias de sequestros de radicais ABTS⁺ e de redução dos íons Fe³⁺ (FRAP) sendo os dados avaliados através de estatística descritiva, coeficiente de correlação de Spearman (rS) e Análise de Componentes Principais (ACP). Observou-se que os frutos analisados apresentaram peso médio na ordem de $4,11 \pm 1,06$ g e diâmetro médio horizontal e vertical de $15,55 \pm 2,77$ mm e $27,37 \pm 7,47$, respectivamente. Os frutos apresentaram um rendimento médio de $65,15 \pm 8,57$ % e essa variável sofreu influência positiva e significativa ($p < 0,05$) do diâmetro horizontal (DH) ($rS = 0,391$) e do peso do fruto (PF) ($rS = 0,493$), de tal forma que quanto maior o DH, maior o PF, obtendo-se maiores rendimento da polpa. Além disso, a polpa apresentou uma boa composição nutricional e teor de compostos fenólicos ($45,69$ mg \pm $6,09$ EAG /100 g), antocianinas totais ($305,59 \pm 106,19$ mg cianidina-3 glicosídeo/100g) e atividade antioxidante (ABTS = $3.291 \pm \mu\text{mol}$ equivalente a Trolox/g e FRAP = $11.876,97 \pm 619 \mu\text{mol Fe}_2\text{SO}_4/100\text{g}$), quando comparado com outras espécies frutíferas comerciais. Nesse sentido, entende-se que o fruto do jambolão possui elevada potencialidade de processamento industrial, porém para que haja uma plena utilização do fruto, melhores práticas de manejo pós-colheita precisam ser adotadas, garantindo que o fruto seja utilizado com toda a sua potencialidade.

PALAVRAS- CHAVE: Polpa de frutas; *Eugenia jambolana*; propriedades funcionais.

1 INTRODUÇÃO

O jambolão (*Syzygium cumini* L. Skeels) é uma árvore tropical, pertencente à família das myrtaceae, originária da Índia e Indonésia e cultivada em várias regiões do

mundo, incluindo a Malásia, Paquistão e países da América Latina, como o Brasil (WARRIER; NAMBIAR; RAMANKUTTY, 1996; OLIVEIRA et al., 2007; SABIO et al., 2018).

Suas árvores, podem chegar a 30 metros de altura e seus frutos, a depender da região, recebem diferentes nomenclaturas, incluindo azeitona-roxa, brinco de viúva, ameixa roxa, entre outros (BHAVAMISHRA, 2007; KISHORE, 2019). Além disso, esses componentes apresentam diversas características sensoriais marcantes, incluindo o sabor exótico, derivado principalmente do efeito simbiótico de componentes como açúcares, ácidos orgânicos e compostos adstringentes (SABINO et al., 2018)

Os frutos do jambolão apresentam-se em formas de bagas, com estrutura elíptica e comprimento variando entre 1,5 a 3,5 cm em seu estágio mais avançado de maturação. Tal etapa, por sua vez, como em outros frutos não climatéricos, é caracterizada principalmente por mudanças em sua coloração e textura, sendo a escolha do momento ideal para a colheita uma momento fundamental para garantir frutos com maiores qualidade (SABINO et al. 2018; KISHORE, 2019).

Quanto a composição química, os frutos do jambolão são considerados fontes potenciais de nutrientes e compostos com propriedades funcionais. Nos estudos que avaliaram a composição físico-química dos frutos do jambolão, foram relatados diversos macro e micronutrientes, sendo identificados concentrações consideráveis de uma grande variedade de carboidratos, cálcio, potássio, vitamina A, entre outros (NOOMRIO; DAHOT, 1996; LAGO; GOMES; SILVA, 2006; MUSSI et al., 2015; DE CARMO BRITO et al., 2017). Além desses agentes, já foram identificados nas frutas, compostos como ácidos fenólicos, flavonas, e flavonóides como o ácido gálico e as antocianinas (MERCADANTE; FARIA; MARQUES, 2011). Sendo essas últimas responsáveis pelas características de cor do fruto em seu estágio mais avançado de maturação, bem como por diversas propriedades biológicas (BALIGA et al., 2011).

Tal composição faz do jambolão uma excelente matéria prima para o setor extrativista, incluindo o de polpa de frutas. Porém, para haja a plena utilização do fruto em escalas industriais, maiores pesquisa sobre as variáveis que influenciam nas características das espécies (GUSMÃO; VIEIRA; FONSECA-JÚNIOR, 2006), bem como maiores tecnologias em manejo devem ser adotadas principalmente no momento

da colheita, visto que atrasos nessa etapa, acarretam elevadas perdas de produção, principalmente pela elevada perecibilidade do fruto (KISHORE, 2019).

Nesse sentido, estudos morfológicos de frutos tem sido utilizados como boas ferramentas, por fornecerem informações sobre as características biométricas, físicas e químicas desses produtos, servindo como base para uma melhor exploração comercial, bem como para o desenvolvimento de máquinas e equipamentos (REBOUÇAS; GENTIL; FERREIRA, 2008; STEINER; ZUFFO; ZOZ, 2017) utilizados em etapas de coleta e seleção da indústria de polpas de frutas, por exemplo.

Assim, diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo, avaliar os efeitos das características biométricas do fruto e semente do jambolão comercializado no município de Garanhuns – PE, bem como determinar sua correlação com o rendimento da polpa, além disso, objetivou-se caracterizar a polpa quanto a sua composição físico-química e suas propriedades funcionais, avaliando assim, a sua potencialidade frente ao processamento industrial.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Coleta e seleção das amostras

Os frutos do jambolão foram adquiridos na Central de Abastecimento (CEAGA) do município de Garanhuns – PE, localizado na Mesorregião Agreste do estado de Pernambuco, entre as coordenadas geográficas 08° 51'00''/08° 55'00'' de latitude sul e 36° 31' 00''/36° 27' 00'' de longitude oeste, distando cerca de 230 km de Recife (capital do estado) (IBGE, 2021).

Após adquiridos, os frutos foram transportados para o Laboratório de Tecnologia de Cereais da Universidade Federal do Agreste de Pernambuco - UFAPE, onde foram submetidos a processos de seleção quanto ao grau de maturação, ausência de podridões e danos mecânicos, lavagem em água corrente com o objetivo de remoção de folhas, galhos e outras sujidade e conseqüentemente redução da carga microbiana superficial do frutos e sanitização em água clorada a 100 ppm por 15 minutos. Após essa etapa, os frutos foram transferidos para um recipiente contendo água destilada para uma nova lavagem e

remoção do excesso de cloro, sendo posteriormente destinados às etapas de caracterização biométrica e caracterização físico-química.

Os frutos que não foram selecionados para a análise biométrica, após limpeza e sanitização, foram armazenados em sacos de polietileno, revestidos com papel alumínio e submetidos ao congelamento (-18°C) até o momento onde amostras foram retiradas para caracterização físico-química e quantificação dos compostos bioativos e da capacidade antioxidante da polpa.

2.2 Caracterização biométrica dos frutos e sementes do Jambolão

Para selecionar os frutos que iriam participar da análise biométrica, todos os frutos pré-selecionados foram dispostos sob uma mesa de mármore e submetidos a um processo de quarteamento até atingir uma número amostral de 100 frutos. Sendo imediatamente iniciada a etapa de caracterização biométrica, através dos procedimentos descritos no próximo parágrafo.

Foram analisadas as seguintes características biométricas dos frutos e das sementes (após remoção manual do exocarpo e do mesocarpo): diâmetro horizontal e vertical, com auxílio de um paquímetro digital (Clarke-150 mm), peso com auxílio de uma balança analítica de precisão (0,001g), densidade através da relação entre a massa (m) e volume (v), e rendimento através da pesagem da polpa do fruto (exocarpo e mesocarpo) com o auxílio de uma balança analítica de precisão (0,001g) (Equação 01). Os volumes das amostras foram determinados através de metodologia proposta por Basso (1999), levando-se em consideração o deslocamento de um fluido dentro de uma proveta após a imersão da amostra (fruto e semente).

$$\text{Rendimento (\%)} = \frac{\text{peso da parte comestível (casca e polpa)}}{\text{peso total (casca, polpa e caroço)}} \quad (\text{Equação 01})$$

2.3 Caracterização físico-química e propriedades bioativas da polpa (exocarpo e mesocarpo) do jambolão

Para realização das etapas posteriores, inicialmente foi realizado o despulpamento do fruto, através da separação manual da parte comestível (casca e polpa) da semente do fruto, sendo esta última descartada. Logo em seguida, a polpa foi triturada com o auxílio de um processador de lâminas de aço (Britânia), sendo em seguida submetida a

caracterização físico-química e quantificação dos compostos bioativos e da capacidade antioxidante, sendo todos os reagentes utilizados de grau analítico.

2.3.1 Caracterização físico-química da polpa de jambolão

A caracterização físico-química da polpa de Jambolão foi realizada no Laboratório de Análises Físico-Químicas de Alimentos do Instituto Federal de Alagoas – Campus Batalha. Foram determinados parâmetros como umidade, atividade de água (A_w), proteínas, cinzas, açúcares totais, lipídeos totais, acidez total titulável (ATT), sólidos solúveis ($^{\circ}$ Brix), r  tio e pH, seguindo métodos propostos pela Associação Analítica de Química (AOAC, 2002).

2.3.2 Caracterização colorimétrica da polpa de jambolão

A avaliação colorimétrica da polpa do fruto do jambolão foi realizada com auxílio de um colorímetro digital (Konica Minolta - CR-10), programado no sistema Cielab de cores. O equipamento foi previamente calibrado com uma placa de calibração branca e as leituras foram realizadas em triplicata, com as seguintes variáveis respostas: i) L^* (Luminosidade); ii) a^* ($+a^*$ = vermelho e $-a^*$ = verde); iii) b^* ($+b^*$ = amarelo e $-b^*$ = azul).

2.3.3 Caracterização dos compostos bioativos e da propriedade antioxidante da polpa do jambolão

2.3.3.1 Elaboração dos extratos etanólicos da polpa

Para caracterização quanto os teores de compostos bioativos, inicialmente foi elaborado o extrato da polpa utilizando o etanol 70% como solvente extrator na proporção 1:10 (m:v) (polpa:solução extratora). A mistura foi submetida a um banho de ultrassom por um período de 30 minutos, sendo transferida logo em seguida para um agitador orbital tipo shaker, onde foi mantida sob agitação (100 rpm) por um período de 4 horas. Em seguida, o extrato foi filtrado a vácuo em papel filtro, sendo o filtrado concentrado em rota evaporador (Buchi Switzerland R 210) até 30% do volume inicial (RIBEIRO et al., 2013). Sendo este último utilizado para quantificação dos compostos bioativos e da capacidade antioxidante.

2.3.3.2 Determinação dos Compostos Fenólicos Totais

Para a determinação dos compostos fenólicos totais, foi utilizado o método espectrofotométrico proposto por Singleton e Rossi (1965), modificado por Boroski et al. (2015) e adaptado quanto ao volume dos reagentes. Dessa forma, em um tubo de ensaio foram adicionados uma alíquota de 150 μL do extrato etanólico concentrado (item 2.3.2.1), 150 μL do Reagente Folin-Ciocalteu (diluído 1:1), 300 μL da solução saturada de Na_2CO_3 e 2,4 mL de água destilada. A mistura permaneceu em repouso por um período de 25 minutos em temperatura ambiente sendo logo em seguida lida a absorbância (725 nm) em espectrofotômetro. A concentração dos compostos fenólicos foi calculada utilizando uma curva padrão de ácido gálico (GAE) (100- 1000 ppm) e expressa em mg equivalente ao ácido gálico/100 g de amostra.

2.3.3.3 Determinação dos flavonóides totais

A determinação do teor de flavonoides totais foi realizada de acordo com metodologia proposta por Down (1959), modificado por Boroski et al. (2015) e adaptada quanto ao volume dos reagentes. Dessa forma 200 μL do extrato etanólico concentrado foi pipetada em um tubo de ensaio, onde logo em seguida foram adicionados 100 μL da solução de AlCl_3 (5%) e 1,7 mL de metanol P.A.. Os tubos foram em seguidas agitados em um vortex e mantidos a temperatura ambiente por 30 minutos, até a leitura da absorbância em espectrofotômetro, calibrado com metanol (branco) em um comprimento de onda (λ) de 425 nm.

A concentração dos flavonoides foi calculada utilizando uma curva padrão de quercetina (0 - 100 mg/L) e expressa em mg equivalente de quercetina (EQ)/100 g de amostra.

2.3.3.4 Determinação do teor de antocianinas monoméricas totais

O teor de antocianinas monoméricas totais foi determinado levando em consideração a metodologia proposta por Lee et al. (2005), tendo como base as modificações estruturais sofridas pelas antocianinas, quando submetidas a diferentes condições de pH (pH 1 e 4,5) (GRANATO; NUNES, 2016). Para isso, em tubos de ensaio foram pipetados 400 μL do extrato diluído (1:10) e adicionado 3,60 mL do tampão KCl (0,025 M) (pH 1,0). Em outro tubo, foram pipetados 400 μL do extrato diluído (1:10) e adicionado 3,60 mL do tampão $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{Na}$ (0,40 M) (pH 4,5). As leituras foram realizadas em espectrofotômetros, previamente calibrado utilizando como controle

negativo (branco) a água destilada em conjunto com os tampões (pH 1 e 4,5). Após transferidos para a cubeta, o conteúdo do tubo de ensaio foi lido nos comprimentos de onda (λ) de 520 nm e 700 nm e os dados foram utilizados para determinação da concentração total de antocianinas de acordo com as Equações 2 e 3.

$$Ar = (A_{520} - A_{700}) \text{pH}_1 - (A_{520} - A_{700}) \text{pH}_{4,5} \quad (\text{Equação 2})$$

$$C \text{ (mg/L)} = \frac{Ar * PM * FD * 1000}{E * L} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde Ar = Absorbância real; C = concentração em mg/L; E = Coeficiente de absorvidade molar, que para a cianidina-3-glicosídeo é igual a 26900 L/cm. Mol; FD = fator de diluição da amostra, exemplo: 0,4 mL com 3,6 mL de solução pH 1,0 ou pH 4,5. Onde: 4/0,4 = 10; PM = peso molecular, que para a cianidina-3-glicosídeo é igual a 449,2 g/mol; L = Largura da cubeta, que de acordo com a metodologia é de 1 cm.

Para o cálculo da concentração de antocianina em mg/g amostra foi utilizada a Equação 4:

$$C \left(\frac{\text{mg}}{\text{g}} \right) = \frac{C \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) * V}{m} \quad (\text{Equação 4})$$

Onde: V = volume de extração em L; m = massa da amostra (g).

2.3.2.5 Capacidade Antioxidante - ABTS

O método de captura do radical $\text{ABTS}^{+\cdot}$ foi realizado de acordo com o método descrito pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA)(BRASIL, 2007). O preparo da solução do radical $\text{ABTS}^{+\cdot}$ se deu a partir da reação de 5 mL da solução aquosa de ABTS (7mM) com 88 μL da solução de persulfato de potássio 140 (mM), ao abrigo da luz e em temperatura ambiente por 16h. O radical $\text{ABTS}^{+\cdot}$ foi diluída em etanol até obter absorvância de $0,700 \pm 0,05$ em comprimento de onda igual a 734nm. Após a adição de 30 μL do extrato a 3000 μL da solução de $\text{ABTS}^{+\cdot}$, homogeneização e repouso de 6 minutos, foi medida a absorvância a 734nm em espectrofotômetro (Rayleigh UV-2601). Uma curva de calibração foi feita utilizando trolox (0 – 2000 $\mu\text{mol/L}$) como padrão. A capacidade antioxidante da amostra foi calculada em relação à atividade do antioxidante Trolox (6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromo-2-ácido carboxílico), nas mesmas condições, e os resultados foram expressos em atividade antioxidante equivalente ao Trolox (μmol de Trolox/g de amostra).

2.3.3.6 Capacidade Antioxidante – FRAP

O ensaio FRAP (*Ferric Reducing Ability Power*) foi realizado de acordo com a metodologia descrita por Benzie; Strain (1996) com modificações. A solução FRAP foi preparada com a mistura de soluções do tampão acetato (0,3 mol.L⁻¹, pH 3,6), TPTZ (10,0 mmol.L⁻¹) e FeCl₃ (20,0 mmol.L⁻¹) na proporção 10:1:1, respectivamente, e em seguida, ao abrigo de luz, foi aquecida a 37°C até o seu uso. Foram coletados 100 µL do extrato, 300 µL de água destilada e adicionados a 3000 µL do reagente de FRAP, permanecendo, por 30 minutos, à temperatura de 37°C, ao abrigo da luz. A absorbância foi medida em comparação com um branco a 593 nm. A curva de calibração foi obtida mediante soluções aquosas de concentrações conhecida de Fe (II), na faixa de 0 - 2000 mmol/L (FeSO₄.7H₂O). Os resultados foram expressos em µmol de Fe₂SO₄/100 g de amostra.

2.4 Análise estatística dos dados

Os dados de biometria dos frutos e sementes foram analisados por meio de análise estatísticas descritivas e distribuição de frequência. A primeira, compreenderam as medidas de posição (média, valor máximo e mínimo) e dispersão (coeficiente de variação, assimetria, curtose e desvio padrão). Os coeficientes de correlação de Spearman (rS) foram estimados ao nível de 5% de probabilidade para a associação entre as características biométricas de frutos e sementes por meio do teste t (ZAR, 1996). As análises de correlação foram realizadas com auxílio do software R na versão 4.1.1 (R CORE TEAM, 2021), utilizando os pacote corrplot (WEI; SIMKO, 2021), e a distribuição de frequência dos dados, com auxílio do pacote histogram (MILDENBERGER; ROZENHOLC; ZASADA, 2019).

Ainda foram realizadas análise dos agrupamentos através da Análise dos Componentes Principais (ACP) com o auxílio do software R e do pacote FactoMineR (SEBASTIEN; JOSSE; HUSSON, 2008).

Já a composição físico-química e os compostos bioativos foram analisados através de estatística descritiva, sendo determinados parâmetros como média, desvio padrão e coeficiente de variação das amostras. Sendo todos os testes realizados em triplicata e os valores analisados com auxílio do Software Sisvar na versão 5.8 (FERREIRA, 2011).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Características climáticas de Garanhuns - PE

Quanto às características climáticas, Garanhuns é caracterizada quanto um clima tropical de altitude, correspondendo a um clima do tipo Cw'a na classificação Köppen-Geiger (SOARES; TROLEIS, 2018). Além disso, devido a suas características climáticas, a região também vem sendo classificada como de clima mediterrâneo (classificação CS'a na escala Köppen-Geiger) com verões quentes e chuvas no outono e inverno (JATOBÁ, 2004).

Já em relação a sua temperatura, Garanhuns apresenta uma temperatura média mínima anual de 16,9°C, uma máxima média anual de 25,5°C e uma média anual de 20,5°C. Além disso, há registros de precipitação média na região na ordem de 870 mm, sendo considerada elevadas em relação às áreas semiáridas circundantes (SOARES; TROLEIS, 2018).

3.2 Caracterização Biométrica do Fruto do Jambolão

Na Tabela 2.1 é possível observar o resultado da análise descritiva das características biométrica analisadas no fruto e na semente do jambolão comercializado no município de Garanhuns – PE. Inicialmente, observa-se que dentre as variáveis analisadas, somente o Diâmetro Horizontal e Vertical da semente, e o rendimento (%) apresentaram um coeficiente de variação (CV) próximo dos 10%, indicando, nesses casos, uma distribuição mais homogênea dos dados, ou seja, esses apresentam-se de forma menos dispersa (OLIVEIRA et al., 2019). Dessa forma, observa-se que as demais variáveis, incluindo o peso do fruto, apresentaram um CV maior que 10%, indicando dados menos homogêneos.

Tabela 2.1 – Características físicas da fruta e da semente do jambolão (*Syzygium cumini* (L.) Skeels) comercializado no município de Garanhuns – PE, safra 2021 (continua).

Parâmetro Biométrico	Média	Máximo	Mínimo	DP	CV	Curtose	Assimetria
Fruto							
Peso do Fruto (g)	4,11	7,45	2,07	1,06	0,26	0,04	0,40
Diâmetro Vertical (mm)	27,37	91,80	14,11	7,47	0,27	56,77	6,44
Diâmetro Horizontal (mm)	15,55	29,95	11,36	2,77	0,18	10,89	2,82
Volume do Fruto (cm ³)	3,47	10,00	1,00	1,20	0,35	7,69	1,62
Semente							
Peso da Semente (g)	1,39	2,22	0,62	0,34	0,25	-0,44	0,13
Diâmetro Horizontal (mm)	9,25	16,96	6,92	1,24	0,13	14,44	2,56

Tabela 2.1 – Características físicas da fruta e da semente do jambolão (*Syzygium cumini* (L.) Skeels) comercializado no município de Garanhuns – PE, safra 2021 (continuação).

Parâmetro Biométrico	Média	Máximo	Mínimo	DP	CV	Curtose	Assimetria
Semente							
Diâmetro Vertical (mm)	19,66	32,04	15,14	2,54	0,13	4,43	1,18
Volume da Semente (cm ³)	1,22	4,00	0,50	0,52	0,43	7,01	2,10
Rendimento (%)	65,15	88,71	31,00	8,57	0,13	1,78	-0,62

DP: Desvio padrão; CV: Coeficiente de Variação;
 Fonte: Autores, 2022.

Segundo Rebouças, Gentil e Ferreira (2008), altos valores de CV para a massa fresca (peso do fruto), superiores a 20%, são um indicador determinante em processos industriais de seleção de frutos, visto que frutos com maiores massa fresca (peso), tendem a apresentar maiores rendimento ao longo do processamento. Demonstrando assim a necessidade de um melhor acompanhamento dessa variável.

Já em relação a assimetria e curtose dos parâmetros analisados, observa-se que nas características do fruto e da semente, somente os pesos apresentaram valores de curtose e assimetria próximos a zero (inferiores $\pm 1,0$), comportamento também observado no rendimento da polpa (%). Segundo Oliveira et al. (2019) e Zuffo et al. (2016), esse comportamento é observado em variáveis que apresentam seus dados através de uma distribuição normal.

Na Tabela 2.1 ainda é possível observar que o peso do fruto (PF) apresentou um valor médio de $4,11 \pm 1,06$ g, com maiores frequências entre 3 e 5 gramas (Figura R). Por sua vez, os diâmetros verticais (DVF) e horizontais (DHF) do fruto apresentaram valores médios de $27,37 \pm 7,47$ e $15,55 \pm 2,77$ mm, com maiores frequências entre 20 e 40 mm e 10 e 20 mm, respectivamente.

Tal resultado é semelhante ao encontrado por Steiner, Zuffo e Zoz (2017) que ao avaliarem as características biométricas de frutos e sementes do jambolão (*Syzygium cumini* (L.) Skeels), produzidos no município de Marechal Cândido Rondon (PR) identificaram que os frutos da região apresentaram um valor médio de massa fresca (peso do fruto) de 4,82 g, com diâmetro vertical e longitudinal apresentando valores médios na ordem de 28,07 mm e 16,67 mm, respectivamente.

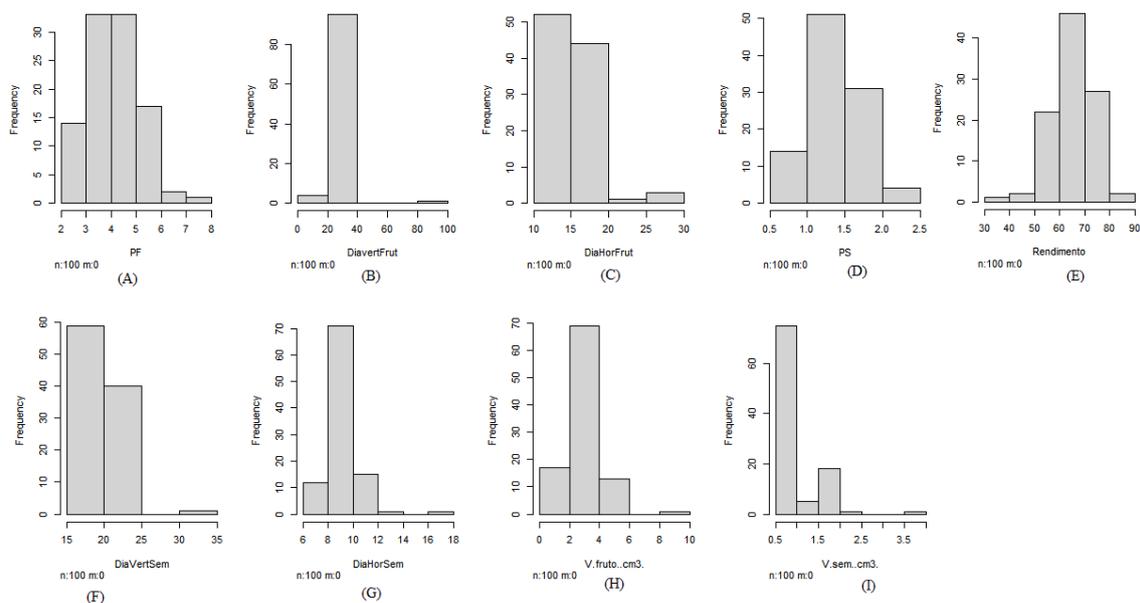
Ferraz et al. (2014) ao avaliarem a influência das características biométricas no rendimento da polpa do jamelão (*Syzygium cumini* (L.) Skeels) produzido na cidade de Capitão Poço, PA, identificaram frutos com massa média de 4,02 g, semelhante ao encontrado no presente trabalho. Porém, ao avaliarem o comprimento vertical do fruto, identificaram valores médios próximos a 22,6 mm, resultado inferior ao encontrado no presente trabalho. Além disso, quanto ao comprimento horizontal, os autores encontraram que o fruto do jamelão da região apresentou valores médios de 16,5 mm.

Observando-se os resultados descritos acima, identifica-se que os frutos do jambolão tendem a apresentar diferenças entre os valores do diâmetro vertical e diâmetro horizontal, chegando o primeiro a representar cerca de duas vezes o segundo. Tal característica (relação diâmetro horizontal e vertical dos frutos), tem sido utilizada como ferramenta norteadora dos processos industriais no que tange a seleção de matérias primas e suas etapas de processamento (ANDRADE et al. 1993), além de que, segundo Fortaleza et al. (2005), frutos “ablongos” (diâmetro vertical maior que o diâmetro horizontal) tendem a apresentarem maiores rendimento (cerca de 10%) no processo de extração do suco da fruta, quando comparados com os frutos redondos.

Outro fator importante, é a diferença entre as características biométricas estudadas em frutos de uma mesma espécie, como por exemplo, os diâmetros horizontais dos frutos. Tal diferença pode estar associada a diversos fatores, incluindo os pluviométricos, de qualidade do solo, de diferenças climáticas, entre outros (BOTEZELLI et al., 2000). Demonstrando assim a importância da realização de estudos biométricos de frutos e sementes, visto que a variabilidade genética, somada aos fatores ambientais, podem ser usados como ferramentas para ampliar os programas de melhoramento e seleção de espécies vegetais (CARVALHO et al., 2003), possibilitando que espécimes mais “rentáveis” sejam selecionadas pelo mercado extrativista.

Em relação ao volume do fruto (VF), observou-se que o jambolão produzido na região de Garanhuns – PE apresentou um volume médio de $3,47 \pm 1,20 \text{ cm}^3$, com maiores frequências entre 2 e 4 cm^3 (Figura 2.1 - H). Tal comportamento foi semelhante ao encontrado no trabalho desenvolvido por Ferraz et al., (2014), cujo os frutos do jambolão apresentaram volumes com maiores frequências variando entre 2,89 e $3,91 \text{ cm}^3$.

Figura 2.1 – Distribuição de Frequência dos dados biométricos analisados.



Fonte: Autores, 2022.

Analisando os dados das sementes (Tabela 2.1), é possível observar que estas apresentaram um peso médio (PS) de $1,39 \pm 0,34$ g, com maiores frequências entre 1 e 2 gramas (Figura 2.1 - D). Nesse sentido, a semente representou cerca de 34% do peso fresco do fruto, valor esse semelhante ao reportado no trabalho desenvolvido por Ferraz et al. (2014), cuja a semente representou cerca de 34,5% do peso total do fruto (0,78 g), porém superior ao reportado no trabalho de Steiner, Zuffo e Zoz (2017), cuja a semente do jambolão representou cerca de 27% do peso fresco da fruta, em média 1,23 g.

Já os diâmetros horizontais (DHS) e verticais da semente (DVS), apresentaram valores médios de $9,25 \pm 1,24$ e $16,66 \pm 2,54$ mm, respectivamente (Tabela 2.1). Além disso, essas variáveis apresentaram maiores frequências entre 8 e 10 mm e 15 e 25 mm (Figura 2.1 – F e G), respectivamente. Apresentando um comportamento semelhante entre

os frutos e sementes, visto que em ambos, o diâmetro vertical apresenta-se aproximadamente duas vezes maior que o diâmetro horizontal.

Os resultados descritos no parágrafo anterior, assemelham-se aos apontados por Steiner, Zuffo e Zoz (2017), cujos diâmetros horizontais e verticais das sementes da jambolão apresentaram valores médios de 9,35 e 16,19 mm, estando as maiores frequências para ambas as variáveis localizadas entre as classes de distribuição de 8,01 a 10,04 mm para o diâmetro horizontal e 16,19 a 21,35 mm para o diâmetro vertical, valores esses semelhantes ao encontrados no presente trabalho.

Tal semelhança entre as características das sementes em ambos os estudos, pode estar associada ao fato de as sementes serem estruturas fisiológicas dos vegetais que tem uma taxa de desenvolvimento mais estável, quando submetidas a diferentes condições ambientais, visto que a planta adota mecanismos próprios que irão garantir uma taxa constante de nutrientes que serão assimilados pela mesma, diminuindo as taxas de variação entre essa estrutura (MARCOS FILHO, 2005).

Quanto ao rendimento, obtido no processo de extração da polpa do jambolão é possível observar (Tabela 2.1) que o fruto apresentou um rendimento médio de 65,15 \pm 8,57 %, sendo os valores mínimos e máximos de extração 31,00 e 87,71%, respectivamente. Além disso, é possível observar na Figura 2.1 – E, que essa variável apresentou maiores frequências (mais de 80 %) nas classes entre 50 e 80% de rendimento.

Os resultados apresentados no parágrafo anterior, são ligeiramente inferiores aos encontrados no estudo de caracterização biométrica do jambolão produzido no município de Marechal Cândido Rondon - Paraná, visto que os frutos dessa região apresentaram rendimento médio de polpa de 73% (STEINER; ZUFFO; ZOZ, 2017). Já nos frutos do jambolão produzidos no município de Capitão Poço – PA, observou-se um rendimento médio de polpa na casa dos 80,8%, com massas de polpa variando entre 2,94 e 3,47 g por fruto analisado (FERRAZ et al. ,2014).

Um fator importante e que deve ser levado em consideração como uma das possíveis justificativas entre as diferenças nos rendimentos encontrados nos estudos e o do presente trabalho, está no fato de que em todos eles, o processo de retirada da polpa não ocorreu de forma mecanizada, com uso de despoldadeiras, por exemplo, e sim manualmente, dificultando o processo de padronização e consequentemente

influenciando nos percentuais de rendimento de polpa encontrados nos presentes trabalhos.

Além o exposto acima, é importante ressaltar que variações nas condições climática, bem como na disponibilidade de nutrientes ao longo do desenvolvimento do fruto são fatores que também podem vir a influenciar em suas características produtivas (MOREIRA et al., 2016) e apesar das diferenças apontadas acima, segundo Lima et al. (2002) frutos cujo percentual de polpa seja superiores a 50%, apresentam potencial para industrialização, mesmo em estágios avançados de maturação. Apontando assim, as potencialidades de uso do jambolão como um fruto para o setor extrativista e de produção de polpa de frutas.

No mais, observa-se relação de proximidade entre os teores de polpa do jambolão com outros frutos da família das *myrtaceae*, dentre esses, destacam-se os trabalhos desenvolvidos por Bueno et al. (2017) que ao avaliarem as características químicas e físicas de frutos de cagaita (*Eugenia dysenterica*) produzidos na micro região de Sete Lagoas, identificaram rendimento de polpa variando entre 83,70 a 93,80 % e o trabalho desenvolvido por Silva et al. (2016) que ao avaliarem o rendimento da polpa produzida por frutos Araçá Amarelo (*Psidium cattleianum* Sabine) oriundos do município de Santana do Acaraú – CE, reportaram rendimentos médios de polpa em torno de 94%.

É notório que o rendimento da polpa seja uma variável primordial quando objetiva-se processos de industrialização do material vegetal (OLIVEIRA et al. 2019), nesse contexto, avaliar as características biométricas de forma isolada, torna-se um fator limitante do processo de caracterização das variáveis de interesse, sendo assim necessária uma análise global do comportamento e da influência das demais características biométricas no parâmetro analisado (ZUFFO et al., 2016).

Para isso, Zuffo; Andrade e Zuffo Júnior (2016) recomendam um estudo de associações entre as variáveis analisadas, permitindo inclusive a seleção indireta com base na interação entre os parâmetros avaliados. Tal avaliação pode ser realizada através da análise do coeficiente de correlação de Spearman (r_s), visto que este permite identificar numericamente associações entre variáveis numéricas.

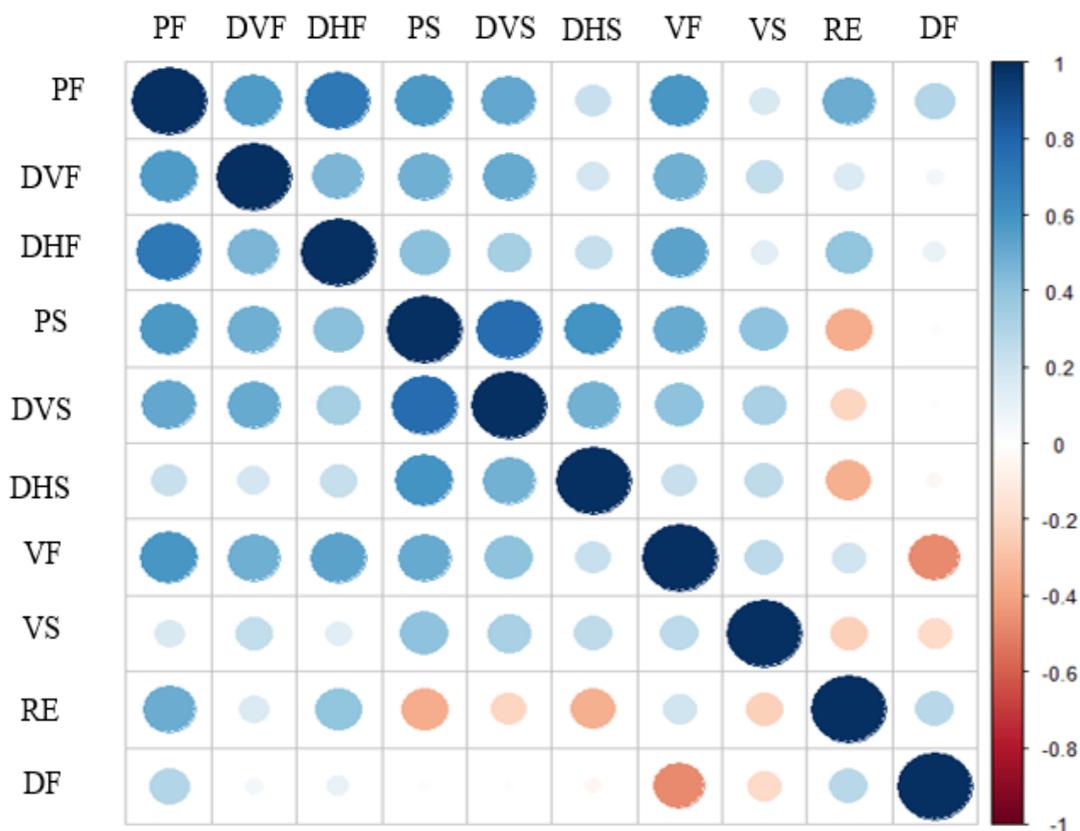
Dessa forma, a próxima etapa deste estudo, consistirá na identificação dos parâmetros biométricos que influenciam no rendimento da polpa de jambolão através do

coeficiente de correlação de Spearman (r_s) e da análise estatística multivariada (Análise dos componentes principais – ACP).

3.3 Coeficientes de correlação de Spearman (r_s) das variáveis biométricas do fruto do jambolão

A correlação entre as variáveis biométricas, pode ser observada inicialmente na matriz de correlação apresentada na Figura 2.2. Essa ferramenta, usa as diferenças na intensidade da cor (vermelho e azul) e no tamanho das esferas como ferramenta visual para identificar os efeitos entre duas variáveis. Dessa forma, e utilizando a variável “rendimento” como referência de análise, é possível observar que esta sofre efeitos positivos (azul) de variáveis como o peso do fruto (PF), os diâmetros horizontais e verticais do fruto (DHF e DVF), o volume (VF) e a densidade do fruto (DF). Por sua vez, um comportamento inverso (vermelho) é observado nas variáveis relacionadas com a semente (peso, diâmetro horizontal e vertical, e volume).

Figura 2.2 – Matriz de correlação de Spearman (r_s) das variáveis biométricas do jambolão (*Syzygium cumini* (L.) Skeels) comercializado no município de Garanhuns – PE.



Onde: PF (Peso do Fruto); DVF (Diâmetro Vertical do Fruto); DHF (Diâmetro Horizontal do Fruto); VF (Volume do Fruto); PS (Peso da Semente); DVS (Diâmetro Vertical da Semente); DHS (Diâmetro Horizontal da Semente); VS (Volume da Semente); RE (Rendimento da Polpa); Densidade do Fruto (DF).

Fonte: Autores, 2022.

O resultado expresso na Figura 2.2, pode ser expresso numericamente através dos coeficientes de correlação de Spearman (r_s) encontrados na Tabela 2.2. Nela, é possível observar numericamente que, dentre as variáveis biométricas analisadas, as únicas que influenciaram positiva e significativamente ($p < 0,05$) no rendimento da polpa foram o peso do fruto (PF), com uma correlação (r_s) de 0,493, e o diâmetro horizontal do fruto (DHF), com uma correlação (r_s) de 0,391. Ou seja, aproximadamente, entre 40% e 50% do rendimento da polpa do fruto do jambolão é determinado por fatores ligados ao DHF e o PF. Sendo que este último parâmetro, peso do fruto, ainda é influenciado cerca de 71,9% ($r_s = 0,719$) pelo DHF. Dessa forma, quanto maior o DHF, maior será o PF e, conseqüentemente, haverá maior disponibilidade de polpa, aumentando o rendimento (RE) no processo de extração.

Esses resultados podem ser levados em consideração no planejamento de processos industriais e aquisição de matérias primas para a indústria de processamento de frutas, mais especificamente no processamento do jambolão. De tal forma que equipamentos de seleção podem ser desenvolvidos levando em consideração variáveis como o DHF e o PF, permitindo a seleção de frutos mais rentáveis do ponto de vista extrativista.

Steiner; Zuffo e Zoz (2017) e Ferraz et al. (2014), também identificaram efeitos positivos da massa fresca do fruto do jambolão no rendimento da polpa do fruto, obtendo-se coeficientes de correlação na faixa de $r_s = 0,794$ e $0,974$, em ordem. Os primeiros autores ainda enfatizam que programas de melhoramento genético que visem obtenção de maiores rendimentos de polpa, podem utilizar frutos com maiores massa fresca em seus processos de desenvolvimento.

Por sua vez, um comportamento oposto é observado (Tabela 2.2) nas variáveis relacionadas com a semente (Diâmetro Vertical e Horizontal (DVS e DHS), Volume (VS) e Peso (PS)). Nessas variáveis os coeficientes correlação de Spearman (r_s) apresentaram valores negativos e significativos ($p < 0,05$), influenciando, conseqüentemente, negativamente no rendimento da polpa (RP). Nesse sentido, entende-se que frutos com dimensões maiores das sementes, tendem a apresentar menores rendimento de extração da polpa, sendo esse um ponto negativo para a indústria extrativista.

Levando em consideração as dificuldades para mensurar na prática as dimensões das sementes, novas tecnologias precisam ser desenvolvidas que visem uma melhor

mapeamento dessa variável, como por exemplo, o uso de tecnologias de ultrassom, ou raio-X no processo de identificação das dimensões das sementes, permitindo uma melhor seleção dos frutos, com base também nessas variáveis.

Além dessas oportunidades, Souza et al. (2018) levantam a teoria da análise do estágio de maturação do fruto como uma ferramenta para mensurar os efeitos da semente no conteúdo de polpa. Para os autores, um fruto quando atinge seu estado fisiológico de maturação, a semente tende a diminuir seu tamanho e peso, aumentando consequentemente o espaço no interior do fruto e o rendimento da polpa. Assim, para que maiores rendimentos de polpa sejam alcançados, uma avaliação do estágio de maturação do fruto deve ser realizada no momento da colheita, por exemplo, utilizando o teor de sólidos solúveis totais (SST), devendo os frutos serem selecionados no momento ideal do estágio de maturação.

Tabela 2.2 – Coeficiente de Correlação de Spearman (rS) de diferentes características físicas do jambolão (*Syzygium cumini* (L.) Skeels) comercializado no município de Garanhuns – PE.

Variáveis	PF	DVF	DHF	VF	PS	DVS	DHS	VS	RP
PF	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DVF	0,570*	-	-	-	-	-	-	-	-
DHF	0,719*	0,452*	-	-	-	-	-	-	-
VF	0,581*	0,482*	0,536*	-	-	-	-	-	-
PS	0,576*	0,480*	0,419*	0,504*	-	-	-	-	-
DVS	0,516*	0,505*	0,331*	0,409*	0,764*	-	-	-	-
DHS	0,228*	0,184*	0,232*	0,226*	0,597*	0,477*	-	-	-
VS	0,163 ^{NS}	0,067*	0,126 ^{NS}	0,266*	0,408*	0,322*	0,259*	-	-
RP	0,493*	0,154 ^{NS}	0,391*	0,192 ^{NS}	-0,367*	-0,216*	-0,357*	-0,232*	-
DF	0,291*	0,050 ^{NS}	0,094 ^{NS}	-0,473*	-0,020 ^{NS}	0,017 ^{NS}	-0,047 ^{NS}	-0,193 ^{NS}	0,270*

PF (Peso do Fruto); DVF (Diâmetro Vertical do Fruto); DHF (Diâmetro Horizontal do Fruto); VF (Volume do Fruto); PS (Peso da Semente); DVS (Diâmetro Vertical da Semente); DHS (Diâmetro Horizontal da Semente); VS (Volume da Semente); RP (Rendimento da Polpa); Densidade do Fruto (DF).

*significativo a 5% de probabilidade; NS: Não Significativo ao nível de 5% de significância

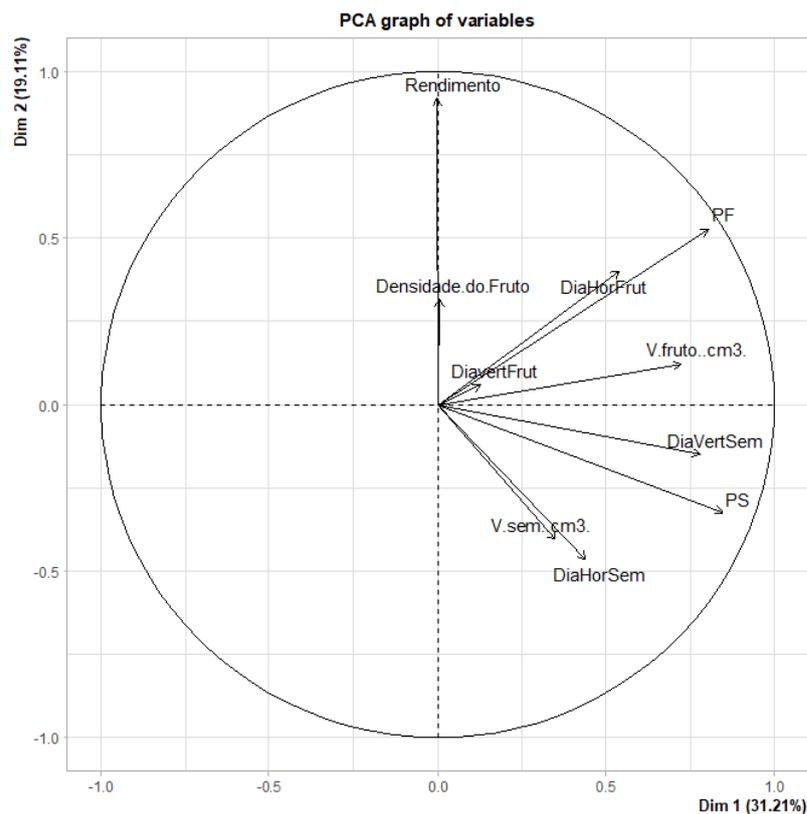
Fonte: Autores, 2022.

3.3 Análise dos componentes principais das características biométricas do fruto do jambolão

Quanto a análise dos componentes principais (Figura 2.3), observa-se que os primeiros componentes principais representam juntos 50,32% da variação presente nos dados, estando as variáveis ligadas diretamente com a semente no quadrante contrário e negativo ao rendimento da polpa (Rendimento). Ou seja, essas variáveis biométricas tem uma influenciaram oposta e negativa quando a referência é o rendimento da polpa.

Observa-se ainda na Figura 2.3 que novamente que o peso do fruto (PF) e o diâmetro horizontal do fruto (DiaHorFrut) são as variáveis que mais se aproximam e se correlacionam com o Rendimento, corroborando com as análises estatísticas descritas anteriormente.

Figura 2.3 - Análise de Componentes Principais (PCA) para a biometria de frutos e sementes do jambolão (*Syzygium cumini* (L.) Skeels), comercializado no município de Garanhuns, PE.



Fonte: Autores, 2022.

Dessa forma, para que ocorra uma elevada eficiência no processo de extração da polpa do jambolão, diversos fatores devem ser avaliados. Porém, para que tal matéria prima seja utilizada e comercializada, é fundamental estudos que visem a sua caracterização. Nesse sentido, nos próximos itens serão apresentados os resultados da caracterização física, físico-química, bem como da quantificação dos compostos bioativos e das propriedades antioxidantes

da polpa do jambolão (*Syzygium cumini* (L.) Skeels) comercializada no município de Garanhuns – PE.

3.5 Caracterização físico-química da polpa do fruto do jambolão

Os resultados da caracterização físico-química da polpa do jambolão podem ser encontradas na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 – Caracterização físico-química e física da polpa de jambolão (*Syzygium cumini* (L.) Skeels).

Parâmetros Físico-Químicos	Média ± Desvio Padrão
Umidade (%)	84,90 ± 0,22
Cinzas (g/100g)	0,36 ± 0,01
Atividade de Água (Aw)	0,97 ± 0,01
Proteína (g/100g)	1,57 ± 0,37
Lipídeos (g/100g)	0,18 ± 0,03
Carboidratos Totais (g/100g)	8,48 ± 0,84
Acidez Total Titulável (g de ácido cítrico/100g)	0,66 ± 0,02
Sólidos Solúveis (°Brix)	15,23 ± 0,06
pH	3,84 ± 0,03
Rácio (SS/ATT)	22,72 ± 0,76
Coordenadas colorimétricas	
L*	12,33 ± 1,01
a*	+6,43 ± 1,33
b*	-5,07 ± 0,93

Fonte: Autores, 2022.

Quanto a composição físico-química geral da polpa de jambolão, observou-se (Tabela 2.3) que esta apresentou um teor de umidade em torno de $84,90 \pm 0,22$ %. Tais resultados são semelhantes ao achados por Santos et al., (2020), que ao avaliarem as propriedades bioativas de extratos fenólicos da polpa e da semente do jambolão (*Syzygium cumini* (L.) Skeels), identificaram teores de umidade na ordem de $83,51 \pm 0,05$ % na polpa do fruto. Semelhantemente Brito et al. (2017) avaliaram as características físico-químicas da polpa do jambolão oriundos da região amazônica antes do processo de extração de pigmentos do fruto. Na pesquisa, os autores encontraram valores de umidade na ordem de 87,20%, superiores aos encontrados no presente trabalho.

As diferenças nos teores de umidade podem estar associados a diversos fatores, incluindo o estágio de maturação dos frutos analisados, processo de congelamento, despulpamento, transporte, entre outros. Apesar disso, é importante salientar que polpas de frutas são produtos que podem apresentar teores de umidade variando entre 65 e 95%

(CHITARRA; CHITARRA, 2005). Valor este, dentro dos resultados encontrados no presente trabalho.

Um parâmetro fundamental, principalmente no processo de controle do desenvolvimento microbiano em polpas de frutas, é a atividade de água (A_w). Em relação a esse parâmetro, foram encontrados valores médios de $0,97 \pm 0,01$ na polpa do jambolão. Sendo esse valor elevado e característico de polpas de frutas, demonstrando a necessidade de adoção de tecnologias alternativas de conservação desses produtos, visto que teores de A_w maiores que 0,6, tendem a proporcionar o desenvolvimento de microrganismos indesejáveis em produtos alimentícios (CHISTÉ et al., 2006), além disso, valores elevados de A_w tendem a favorecer, devido a elevada disponibilidade de água livre, processos oxidativos, de escurecimento e hidrólises nos alimentos (VITALLI, 1987), alterando assim, suas características físicas e sensoriais.

Outros fatores, que influenciam diretamente na qualidade sensorial e na estabilidade de polpas de frutas são o pH e a acidez. Tais parâmetros impactam diretamente em fatores como a retenção do sabor-odor, a estabilidade dos corantes naturais e sintéticos, bem como na maturação dos frutos (LIMA et al., 2015).

Nesse estudo, a polpa do jambolão elaborada apresentou um pH em torno de $3,84 \pm 0,03$, uma acidez total titulável (ATT) de $0,66 \pm 0,02$ g de ácido cítrico por 100 g de polpa (Tabela 2.3). Valores esses, próximos aos encontrados por Lago, Gomes e Silva (2006), que antes de desenvolverem uma geleia de jambolão (*Syzygium cumini* Lamarck), caracterizaram a polpa do fruto coletado no Distrito de São José do Rio Preto, SP, encontrando assim, valores de pH e acidez da polpa na ordem de $3,90 \pm 0,02$ e $0,591 \pm 0,01$ g de ácido cítrico por 100 g de polpa.

Já, Mussi et al. (2015), ao avaliarem os efeitos da cinética de secagem na atividade antioxidante, no teor de antocianinas e nos nutrientes no resíduo do jambolão (*Syzygium cumini*), encontraram valores de pH para a polpa na ordem de $3,63 \pm 0,01$, classificando a polpa do fruto como ácida, segundo os autores.

Outro achado do trabalho apontado no parágrafo anterior está relacionado ao teor de sólidos solúveis totais (SST) da polpa do jambolão, visto que os autores encontraram valores de SST na ordem de $11,4 \pm 0,2$ °Brix, inferior ao encontrado nesta pesquisa, $15,23 \pm 0,06$ °Brix. Já Lago, Gomes e Silva (2006), encontraram 9,0 °Brix como teores de sólidos solúveis para a polpa do jambolão analisada. Nesse contexto, é de se compreender que os maiores valores encontrados, podem estar associados ao diferenças no estágio de maturação dos frutos que deram origem a polpa (CHITARRA; CHITARRA, 2005), bem como a fatores climáticos, como

defendido por Freitas et al. (2021), visto que segundo os autores, o clima na época da colheita, pode influenciar nas taxas de fotossíntese nas plantas, impactando diretamente na síntese de açúcares nos frutos.

Já em relação ao r tio, expresso através da rela o SST/ATT, a polpa do jambolão apresentou valor médio de $22,72 \pm 0,76$. Tal parâmetro   fundamental na análise de frutos e seus produtos derivados, principalmente na avalia o do perfil de sabor desses alimentos (LIMA et al., 2015). Batista et al. (2013) reforça que essa rela o (SST/AAT)   uma das melhores formas de avalia o do sabor e do grau de maturaa o dos frutos e seus derivados, visto que, segundo os autores, quando essa rela o assume valores mais elevados, o fruto encontra-se em bom estado de maturaa o e com o sabor adocicado predominante, devido a um decréscimo dos ácidos orgânicos e um aumento do conteúdo de sólidos dissolvidos no meio.

Ao comparar os resultados encontrados neste trabalho, com outros que avaliaram as características físico-químicas de outras *myrtaceas*, observa-se um elevado potencial de industrializa o do jambolão, visto que ao realizar a caracteriza o físico e química da casca e polpa do jambo vermelho (*Syzygium malaccensis*, (L.) Merryl & Perry), Augusta et al. (2010) encontraram valores de r tio próximos a 5,0. Complementando, Bueno et al. (2017) ao avaliar as características de frutos de *Eugenia dysenterica* DC. (cagaita), encontraram valores de rela o SST/ATT, na ordem de 12,34, 11,53 e 19,12, para os frutos analisados dos municípios de Caetan polis, Paraopeba e Prudente Moraes, respectivamente.

Analisando o teor de cinzas da polpa, observou-se que esta apresentou em média $0,39 \pm 0,01$ g de cinzas por cada 100 g da polpa da fruta. Já em rela o as principais biomoléculas fontes de energia, observou-se que a polpa apresentou o teor de carboidratos em torno de $8,48 \pm 0,84$ g por 100 g de polpa de frutas, sendo essa a biomolécula com maior concentra o, quando comparado aos teores de lipídeos ($0,18 \pm 0,03$ g/100 g) e proteínas ($1,57 \pm 0,37$ g/100 g) encontrados na polpa.

Dentre os valores encontrados no presente trabalho, somente o teor de carboidrato (CBO) se assemelhou aos resultados apresentados por Santos et al. (2020), visto que os pesquisadores encontraram cerca de $8,52 \pm 0,65$ g de CBO por 100 g da polpa da fruta. Já em rela o das demais macromoléculas, proteínas (PTH) e lipídeos (LPD), os autores encontraram cerca de 5,65 g de PTH e 0,97 g de LPD por cada 100 g de polpa do fruto.

Já no estudo desenvolvido por Brito et al. (2017) foram encontrados, ao caracterizar a polpa de jambolão, 0,85, 0,49 e 11,40 g de proteínas, lipídeos e carboidratos por 100 g de polpa do fruto analisado.

Um fator importante e que deve ser levado em consideração, é o fato de que a composição química dos vegetais, sofre influência de diversos fatores, incluindo o tipo de solo e as práticas agrícolas adotadas, bem como as condições climáticas e o estágio de maturação do fruto a ser coletado e analisado (CHITARRA; CHITARRA, 2005), tais variáveis, isoladas ou simbioticamente, podem ter contribuído para as diferenças nos valores dos macronutrientes apresentados nos parágrafos anteriores.

De toda forma, é evidente as potencialidades do jambolão como uma fonte de nutrientes, podendo ser uma fruta com potencial de incorporação na dieta regular.

Quanto aos indicadores colorimétricos, estes também podem ser observados na Tabela 2.3. A polpa do jambolão apresentou para o parâmetro luminosidade (L^*) valores próximos a 12,33 ($\pm 1,01$), valor esse inferior ao encontrado na polpa do jambolão avaliada por Brito et al. (2017), $L^* = 22,20 \pm 0,06$. Tal parâmetro, segundo Menezes Filho et al. (2019) varia de 0 a 100, indicando coloração que migra do preto ao branco, respectivamente. Dessa forma, observa-se que a polpa avaliada apresentou tons de luminosidade mais escuros.

Tais observações podem ser complementadas através da análise dos níveis de saturação (a^* e b^*) da polpa (MENEZES FILHO et al., 2019), que no estudo em questão apresentou tonalidades próximos ao vermelho ($a^* = +6,43 \pm 1,33$) e azul ($b^* = -5,07 \pm 0,93$). As características descritas acima, classifica o jambolão na escala de cor CIELAB no espaço correspondente a região roxo-avermelhado ou púrpura-vermelho (BRITO et al., 2017).

3.6 Compostos bioativos e atividade antioxidante da polpa do fruto do jambolão

Quanto as propriedades bioativas, na Tabela 2.4 é possível observar que a polpa do jambolão apresentou um teor de compostos fenólicos totais em torno de $45,69 \pm 6,90$ mg EAG/g. Tal resultado, foi superior em quase 30 vezes ao conteúdo de compostos fenólicos encontrado no trabalho desenvolvido por Santos et al. (2020), visto que os autores encontraram um teor de $1,56 \pm 0,01$ mg de EAG por grama da polpa do fruto jambolão. É importante ressaltar, que o processo de extração utilizado no trabalho em questão, utilizou como solução extratora uma mistura composta por etanol, metanol e acetona, nas proporções com a polpa de 1:1:1 (g/v/v/v), sem o uso do banho de ultrassom. Procedimento distinto ao utilizado neste trabalho, já que foi utilizada como solução extratora, o etanol 70%, na proporção de 1:10 (g/v), com auxílio do banho de ultrassom.

Tabela 2.4 – Caracterização dos compostos bioativos e da capacidade antioxidante da polpa de jambolão (*Syzygium cumini* (L.) Skeels).

Parâmetros	Média ± Desvio Padrão
Compostos Fenólicos Totais (mg EAG/g)	45,69 ± 6,90
Flavonoides Totais (mg EQ/100g)	361,67 ± 37,01
Antocianinas Monoméricas Totais (mg cianidina-3-glicosídeo/100g)	305,59 ± 106,19
ABTS (μmol de Trolox equivalente/g)	3291,92 ± 96,10
FRAP (μmol Fe ₂ SO ₄ /100g)	11876,97 ± 619,61

Fonte: Autores, 2022.

Além do exposto no parágrafo anterior, Borges et al. (2011) elenca alguns fatores que podem influenciar na composição de fenólicos de frutos de regiões distintas. Segundo os autores, as condições de cultivo, o estágio de maturação e fatores sazonais, genéticos e agrônômicos são importantes agentes influenciadores nos teores de compostos fenólicos dessas frutas.

Já em relação aos flavonoides totais, a polpa apresentou um teor de $361,57 \pm 37,01$ mg Equivalente em Quercetina (EQ) por 100 gramas de polpa do fruto. Valor superior ao encontrado por Branco et al. (2016), ao avaliar a influência da pasteurização na capacidade antioxidante da polpa do jambolão. Os autores encontraram teores de Flavonóides Totais na ordem de $25,29 \pm 0,22$ e $29,45 \pm 2,15$ mg EQ/100 g da polpa não pasteurizada e pasteurizada, respectivamente. Resultados inferiores, para flavonoides totais, também foram encontrados por Benherlal e Arumughan (2007) (7 mg / 100 g matéria fresca) e Farias, Marques e Mecedante, (2011) (91.2 ± 15.7 mg de EC (Equivalente de Catequina)/100 g).

Apesar dos valores superiores encontrados é importante ressaltar que questões metodológicas adotadas no processo de extração, bem como as condições empregadas na reação, são alguns dos fatores que podem vir a influenciar nos teores de compostos fenólicos e flavonóides em um mesmo material vegetal (BRANCO et al., 2016). Podendo essas diferenças terem causado as divergências entre os valores.

Quanto ao teor de antocianinas monoméricas totais da polpa, observou-se que a apresentou um teor de $305,59 \pm 106,19$ mg equivalente em cianidina-3- glicosídeo por 100 gramas da polpa do fruto. Esse valor foi superior aos reportados por Lago, Gomes e Silva (2006) (276,7 mg/100 g), Benherlal e Arumughan (2007) (134 mg/100g), Farias, Marques e Mecedante, (2011) (210.9 ± 9.1 mg cyd 3-Glu/100 g), Branco et al. (2016) (213.00 ± 1.02 mg

cyd 3-Glu/100 g), Brito et al. (2017) (296 mg cyd 3-Glu/100 g), ao avaliarem a composição de antocianinas de polpas de jambolão.

Como já apontado, são diversos os fatores que podem influenciar no teor de compostos fenólicos de materiais vegetais, principalmente aqueles ligados as condições climáticas e edáficas. A incidência solar, por exemplo, é um dos principais fatores que pode influenciar no teor de antocianinas dos materiais vegetais, uma vez que a redução em 15% desta, pode acarretar diminuição de cerca de 60% desse composto, por ação principalmente na diminuição da atividade da enzima fenilalanina amônia liase (FAL), principal enzima envolvida na síntese de antocianinas e outros flavonoides (MAZZA; MINIATI, 1993). Vale ressaltar, que os frutos coletados para o desenvolvimento desta pesquisa, foram adquiridos nos primeiros meses do ano, época essa com maior incidência solar na região.

Por sua vez, os valores encontrados para as antocianinas do jambolão foram inferiores aos encontrados por Costa, Silva e Vieira (2018) em polpa de açaí ($575,6 \pm 15,3$ mg/L) e Haminiuk et al. (2011) em polpa de jabuticaba (342 mg / 100g de massa fresca), respectivamente. E, apesar das diferenças, o jambolão pode ser considerado como uma rica fonte de antocianinas (LAGO; GOMES; SILVA, 2006), podendo ser incorporado a dieta, bem como ser processado gerando outros produtos.

Por sua vez, a atividade antioxidante da polpa foi determinada através de duas metodologias (Tabela 2.4). A primeira consistiu na avaliação da capacidade de sequestro do radical ABTS^{•+}, e a segunda no potencial de redução do ferro pelo método FRAP.

Quanto ao poder de sequestro do radical ABTS^{•+}, observou-se a presença de compostos capazes de inibir agente de maneira equivalente a $3.291,92 \pm 96,10$ μ mol de Trolox. Valor semelhante ao encontrado por Morais et al. (2013) ao avaliar o potencial antioxidante do jambolão (*Syzygium cumini*) ($3.107,43$ μ mol de Trolox/g de polpa) e inferior ao reportado por Resende et al. (2021) que antes de caracterizar e avaliar a estabilidade de um corante antociânico a base do jambolão, analisou as características da matéria prima, encontrando um potencial de sequestro do radial ABTS^{•+} equivalente a $8.465,65 \pm 5,13$ μ mol de trolox/g extrato seco da polpa.

Além dos estudos descritos acima, destacam-se os desenvolvidos por Rufino et al. (2010) e Sousa et al. (2021), que ao analisarem a polpa do jambolão, encontraram potencial antioxidante equivalente a Trolox na ordem $125 \pm 10,8$ μ mol e $54,54 \pm 0,06$ μ mol, respectivamente. Valores estes inferiores aos encontrados neste estudo e como já apresentado anteriormente, tais diferenças na quantificação desses compostos podem estar associadas as

metodologias utilizadas, bem como as condições climáticas, de plantio, colheita e processamento do fruto.

Ainda é importante ressaltar que, comparando com outros frutos, o jambolão apresenta-se como uma fruta de elevada potencialidade no que tange o a capacidade antioxidante, visto que apresenta uma capacidade de sequestro de radical ABTS^{•+} maior que frutos como o mirtilo ($3,39 \pm 0,06 \mu\text{mol}$ de trolox/g de polpa fresca), a amora ($6,34 \pm 0,04 \mu\text{mol}$ de trolox/g de polpa fresca) (ROJAS-OCAMPO, 2021), o açai ($15,1 \pm 4,1 \mu\text{mol}$ de trolox/g), a acerola ($96,1 \pm 6,1 \mu\text{mol}$ de trolox/g) e a jaboticaba ($37,5 \pm 1,4 \mu\text{mol}$ de trolox/g) (RUFINO et al., 2010).

Já em relação a capacidade de doação de elétrons, medida através do poder de redução férrica pelo método FRAP, observou-se uma capacidade de $11.876,97 \mu\text{mol Fe}_2\text{SO}_4$ por 100 gramas de polpa do fruto. Tais valores foram semelhantes ao encontrados por Seraglio et al. (2018) ao avaliarem a capacidade antioxidante em frutos do jambolão maduro através do potencial de redução do ferro, encontrando valores na ordem de $13.7777,52 \pm 269,16 \mu\text{mol Fe}_2\text{SO}_4$ por 100 gramas. Os autores ainda encontraram uma capacidade de redução do complexo $[\text{Fe}(\text{III}) - (\text{TPTZ})_2]^{3+}$, na ordem de $24.956,05 \pm 143,50 \mu\text{mol Fe}_2\text{SO}_4$ por 100 gramas e $15.188,28 \pm 490,3 \mu\text{mol Fe}_2\text{SO}_4$ por 100 gramas em frutos maduros Jaboticaba e Guabiju, respectivamente, superiores aos encontrados no presente trabalho.

Já Rufino et al. (2010) ao pesquisar o teor de compostos fenólicos e a capacidade antioxidante de 18 (dezoito) não tradicionais frutas tropicais encontradas no Brasil, encontrou para o jambolão uma capacidade de redução do Fe^{3+} em Fe^{2+} na ordem de $17.300,00 \pm 10,8 \mu\text{mol Fe}_2\text{SO}_4$ por 100 gramas do fruto.

Assim, é possível observar a potencialidade de uso da polpa do jambolão seja de forma *in-natura*, processada ou incorporada em diferentes produtos alimentícios, visto que além de fonte de macro nutrientes, esta é rica em compostos com propriedades bioativas, que inclusive, garantem a polpa de jambolão uma elevada capacidade antioxidante. Porém, para que haja um pleno uso do fruto, estudos que visem desenvolver melhores técnicas de conservação desta matéria-prima precisam ser desenvolvidos, e somados a isso, pesquisas que objetivem extrair os principais componentes do fruto, visando aplicações em escala industrial, seja de forma integral, incorporada a determinados produtos ou encapsuladas, podem garantir um melhor aproveitamento desse vegetal pela indústria farmacêutica, de alimentos e até comestícios.

4 CONCLUSÃO

Os frutos do jabolão avaliados nesta pesquisa apresentaram um peso médio de 4,11 \pm 1,06 g, com rendimento médio de polpa na ordem de 65,15 \pm 8,57 %. Essa última variável biométrica foi influenciada positiva e significativamente ($p < 0,05$) pelo peso do fruto (PF) e o diâmetro horizontal do fruto (DHF), determinado através dos coeficientes de correlação de Spearman (rS), de tal forma, que quanto maior o DHF, maior será o PF e, conseqüentemente, haverá maior disponibilidade de polpa, aumentando o rendimento (RP) no processo de extração.

Já em relação a composição físico-química da polpa, observou-se que esta apresentou uma constituição ideal para o processamento pela indústria de polpa de frutas e seus derivados, visto que esta é composta por diversos constituintes, incluindo os essenciais para dietas, como os carboidratos. Além disso, observou-se na polpa analisada, elevada concentração de compostos com propriedades bioativas, bem como uma boa capacidade antioxidante, medida através do potencial de sequestro de radical ABTS e da neutralização dos íons de Fe (FRAP).

Porém, para que haja o máximo aproveitamento possível dos frutos do jabolão pela indústria, seja de alimentos, farmacêutica ou outras, novas tecnologias devem ser adotadas, visando o melhoramento nos processos de colheita e conservação do fruto. Além disso, este estudo mostrou que novos processos de seleção podem ser empregados, utilizando de forma indireta variáveis, como o peso do fruto e seu diâmetro horizontal, como objetivo de garantir maiores rendimento de polpa e assim, maior rentabilidade no processamento.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, J.S.; ARAGÃO, C.G.; FERREIRA, S.A.N. Caracterização física e química dos frutos de araçá-pêra (*Psidium acutangulum* D.C.) **Acta Amazonica**, Manaus, v.23, n.2-3, p.213- 217, 1993
- AUGUSTA, I. M.; RESENDE, J. M.; BORGES, S. V.; MAIA, M. C. A.; COUTO, M. A. P. G. Caracterização física e química da casca e polpa de jambo vermelho (*Syzygium malaccensis*, (L.) Merryl & Perry). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, n. 4, p. 928–932, dez. 2010. DOI 10.1590/S0101-20612010000400014.
- BALIGA, M.S.; BHAT, H.P.; BALIGA, B.R.V.; WILSON, R.; PALATY, P.L.; 2011. Phytochemistry, traditional uses and pharmacology of *Eugenia jambolana* Lam. (black plum): a review. **Food Res. Int.** 44, 2011, 1776-1789.
- BASSO, S.M.S. Caracterização morfológica e fixação biológica de nitrogênio de espécies de *Adesmia* DC. e *Lotus* L. 268 f. **Tese de Doutorado em Zootecnia**, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil, 268 p, 1999.

BATISTA, A. G., OLIVEIRA, B. D., OLIVEIRA, M. A., GUEDES, T. J., SILVA, D. F., PINTO, N. A. V. D. Parâmetros de qualidade de polpas de frutas congeladas: uma abordagem para produção do agronegócio familiar no Alto Vale do Jequitinhonha. **Tecnologia e Ciência Agropecuária**, 7(4), 49-54, 2013.

BENHERLAL, P. S.; ARUMUGHAN, C. Chemical composition and in vitro antioxidant studies on *Syzygium cumini* fruit: Composition and antioxidant studies on *S. cumini* fruit. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 87, n. 14, p. 2560–2569, nov. 2007. DOI 10.1002/jsfa.2957.

BENZIE, I. F. F.; STRAIN, J. J. The Ferric Reducing Ability Power (FRAP) as a measure of antioxidant power: The FRAP assay. **Analytical Biochemistry**, v. 239, p. 70 – 76, 1996.

BHAVAMISHRA. BHAVPRAKASHA NIGHANTU. MISHRA B, editor. 11th ed. **Varanasi: Chaukhamba Sanskrit Bhawan**; 2007. Amradiphala varga 68. p.570.

BORGES, G. S. C; VIEIRA, F. G. K; COPETTI, C; GONZAGA, L.V; ZAMBLAZI, R. C; MANCINI-FILHO, J; FETT, R. Chemical characterization, bioactive compounds, and antioxidant capacity of jussara (*Euterpe edulis*) fruit from the Atlantic Forest in southern Brazil. **Food Research International**, v. 44, p. 2128–2133, 2011.

BOROSKI, M.; MORAIS, D. R. de; VISENTAINER, J. V.; COTTICA, S. M. Antioxidantes: Princípios e Métodos Analíticos. **Appris Ltda**. Curitiba - PR, 2015. v. 1º.

BOTEZELLI, L.; DAVIDE, A. C.; MALAVASI, M. M. Características dos frutos e sementes de quatro procedências de *Dpterixalata* Vogel (Baru). **Cerne**, Lavras, 6, 9-18, 2000.

BRANCO, I. G.; MORAES, I. C. F.; ARGANDOÑA, E. J. S.; MADRONA, G. S.; DOS SANTOS, C.; RUIZ, A. L. T. G.; DE CARVALHO, J. E.; HAMINIUK, C. W. I. Influence of pasteurization on antioxidant and in vitro anti-proliferative effects of jambolan (*Syzygium cumini* (L.) Skeels) fruit pulp. **Industrial Crops and Products**, v. 89, p. 225–230, 30 out. 2016.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Metodologia Científica: Determinação da Atividade Antioxidante Total em Frutas pela Captura do Radical Livre ABTS. Comunicado Técnico ABTS•+, 128, 2007.

BUENO, G. H.; GUEDES, M. N. S.; SOUZA, A. G. de; MADEIRA, A. P. C.; GARCIA, E. M.; TAROCO, H. A.; MELO, J. O. F. Caracterização Física E Físico-Química De Frutos De *Eugenia Dysenterica* Dc Originados Em Região De Clima Tropical De Altitude. **Revista Brasileira De Biometria**, v. 35, n. 3, p. 515–522, 29 set. 2017.

CARVALHO, J. E. U.; NAZARÉ, R.F.R.; OLIVEIRA, W. M. Características físicas e físico-químicas de um tipo de bacuri (*Platonia insignis* Mart.) com rendimento industrial superior. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Cruz das Almas, v. 25, p. 326-328, 2003.

CHISTÉ, R.; COHEN, C.; MATHIAS K. O. E. A.; RAMOS JÚNIOR, A. G. A. Qualidade da farinha de mandioca do grupo seca. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, 26 (4), 861-864, 2006.

- CHITARRA, A. B., AND CHITARRA, M. I. F. (2005). Pós-Colheita de Frutos e Hortaliças: Fisiologia e Manuseio, 2nd Edn. Lavras, MG: UFLA.
- COSTA, H. C. B.; SILVA, D. O.; VIEIRA, L. G. M. Physical properties of açai-berry pulp and kinetics study of its anthocyanin thermal degradation. **Journal of Food Engineering**, v. 239, p. 104–113, dez. 2018. DOI 10.1016/j.jfoodeng.2018.07.007.
- DO CARMO BRITO, B. de N.; DA SILVA PENA, R.; SANTOS LOPES, A.; CAMPOS CHISTÉ, R. Anthocyanins of Jambolão (*Syzygium cumini*): Extraction and pH-Dependent Color Changes: Anthocyanins of *Syzygium cumini*. **Journal of Food Science**, v. 82, n. 10, p. 2286–2290, out. 2017. DOI 10.1111/1750-3841.13847.
- DOWD, L. E. Spectrophotometric determination of quercetina. **Analytical Chemistry**. v. 31, n. 7, p. 1184-1187, 1959.
- FARIA, A. F.; MARQUES, M. C.; MERCADANTE, A. Z. Identification of bioactive compounds from jambolão (*Syzygium cumini*) and antioxidant capacity evaluation in different pH conditions. **Food Chemistry**, v. 126, n. 4, p. 1571–1578, 15 jun. 2011. DOI 10.1016/j.foodchem.2010.12.007.
- FERRAZ, Y. T.; REIS, A. T. S.; SOUZA, N. da S.; ALMEIDA, G. M. de; OKUMURA, R. S. Influência Biométrica Sobre o Rendimento da Polpa do Jambolão (*Syzygium Jambolanum* Dc.) em Capitão Poço/Pa. **Enciclopédia Biosfera**, v. 10, n.19, 2014.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia (UFLA)*, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.
- FORTALEZA, J. M.; PEIXOTO, J. R.; JUNQUEIRA, N. T. V.; OLIVEIRA, A. T. de; RANGEL, L. E. P. Características físicas e químicas em nove genótipos de maracujá-azedo cultivado sob três níveis de adubação potássica. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 27, n. 1, p. 124–127, abr. 2005.
- GRANATO, D.; NUNES, D. S. Análises Químicas, Propriedades Funcionais e Controle de Qualidade de Alimentos e Bebidas: Uma abordagem teórico-prática. 1 ed. Rio de Janeiro: **Elsevier**, 2016.
- GUSMÃO, E., VIEIRA, F.A., FONSECA-JÚNIOR, E.M., 2006. Biometria de frutos e endocarpos de murici (*Byrsonima verbascifolia* Rich. ex A. Juss.). **Cerne**, 12, 84-91.
- HAMINIUK, C. W. I.; PLATA-OVIEDO, M. S. V.; GUEDES, A. R.; STAFUSSA, A. P.; BONA, E.; CARPES, S. T. Chemical, antioxidant and antibacterial study of Brazilian fruits. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 46, n. 7, p. 1529–1537, 2011. DOI 10.1111/j.1365-2621.2011.02653.x.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Garanhuns. Disponível em <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/garanhuns>. Acesso em: 12 dez. 2021.
- JATOBÁ, L. Clima. In: ANDRADE, Manuel Correia de Oliveira (Org.). **Atlas Escolar Pernambuco**. 2. ed. João Pessoa: Grafset, 2004.

KISHORE, K. Phenological growth stages and heat unit requirement of Indian blackberry (*Syzygium cumini* L., Skeels). **Scientia Horticulturae**, v. 249, p. 455–460, abr. 2019. DOI 10.1016/j.scienta.2019.02.032.

LAGO, E. S.; GOMES, E.; SILVA, R. da. Produção de geléia de jambolão (*Syzygium cumini* Lamarck): processamento, parâmetros físico - químicos e avaliação sensorial. **Food Science and Technology**, v. 26, p. 847–852, dez. 2006. DOI 10.1590/S0101-20612006000400021.

LIMA, E.D.P.A.; LIMA, C.A.A.; ALDRIGUES, M.L.; GONDIM, P.J.S. Caracterização física e química dos frutos da umbu-cajazeira (*Spondias spp*) em cinco estádios de maturação da polpa congelada e néctar. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Cruz das Almas, v.24, p. 338-343, 2002.

LIMA, T. L. S.; CAVALCANTE, C. L.; SOUSA, D. G.; SILVA, P. H. A.; SOBRINHO, L. G. A. Avaliação da composição físico-química de polpas de frutas comercializadas em cinco cidades do Alto Sertão paraibano. **Revista Verde**, v.10, n.2, p. 49-55, 2015.

MARCOS FILHO, J. Fisiologia de sementes de plantas cultivadas. Piracicaba: Fealq, 2005. 495p.

MAZZA G, MINIATI E. **Anthocyanins in fruit, vegetables and grain**. Boca Raton, London: CRS Press, 1993.

MENEZES FILHO, A. C. P. de; OLIVEIRA FILHO, J.; DEMINSKI, G.; JESUS, A.; ANDRADE, M.; CASTRO, C. F. de S. Avaliação Colorimétrica E Caracterização Morfológica Por Microscopia Óptica De Alta Resolução Das Farinhas Dos Frutos Do Jatobá, Jambolão E Siriguela. **Multi-Science Journal**, v. 2, n. 1, p. 16–22, 24 fev. 2019. DOI 10.33837/msj.v2i1.544.

MERCADANTE, A.Z.; FARIA, A.F.; MARQUES, M.C.; Identification of bioactive compounds from jambolão (*Syzygium cumini*) and antioxidant capacity evaluation in different pH conditions. **Food Chem.** 126, 2011, 1571-1578.

MILDENBERGER, T.; ROZENHOLC, Y.; ZASADA, D.; histogram: Construction of Regular and Irregular Histograms with Different Options for Automatic Choice of Bins. R package version 0.0-25. 2019. <https://CRAN.R-project.org/package=histogram>.

MORAIS, S. M.; DEMETRIO, A. A.; CRISTINA, R.; OLIVEIRA, K. K. G. POTENCIAL ANTIOXIDANTE DO JAMBOLÃO (*Syzygium cumini*). In: **ANAIS DO SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIAS DE ALIMENTOS**, 2013. Anais eletrônicos... Campinas, Galoá, 2013, ISSN: 2447-2840vol. 1, 2013.

MOREIRA, W. K. O.; OLIVEIRA, S. S.; REIS, J. S.; PARAENSE, L. R. C.; GUIMARÃES, A. T; SILVA, R. T. L. Análise de correlação em frutos de pupunha (*Bactris gasipaes* KUNTH). **Global Science and Technology**, v. 09, n. 03, p.106 - 115, 2016.

MUSSI, L. P.; GUIMARÃES, A. O.; FERREIRA, K. S.; PEREIRA, N. R. Spouted bed drying of jambolão (*Syzygium cumini*) residue: Drying kinetics and effect on the antioxidant activity, anthocyanins and nutrients contents. **LWT - Food Science and Technology**, v. 61, n. 1, p. 80–88, 1 abr. 2015. DOI 10.1016/j.lwt.2014.11.040.

NOOMRIO, M.H.; DAHOT, M.U.; Nutritive value of Eugenia jambosa fruit. **J Islam Acad Sci** 1996; 9: 1.

OLIVEIRA, C. E. S.; ZUFFO, A. M.; FONSECA, W. L.; STEINER, F. Physical characterization of fruits and seeds Inga laurina (Sw.) Willd. (Fabaceae - Mimosaceae). **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v. 6, n. 3, p. 105-111, jul./set. 2019.

OLIVEIRA, C. E. S.; ZUFFO, A. M.; FONSECA, W. L.; STEINER, F. Physical characterization of fruits and seeds Inga laurina (Sw.) Willd. (Fabaceae - Mimosaceae). **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v. 6, n. 3, p. 105-111, jul./set. 2019. ISSN 2358-6303.

OLIVEIRA, G.F.; FURTADO, N.A.J.S.; FILHO, A.A.S.; MARTINS, C.H.G.; BASTOS, J.K.; CUNHA, W.R.; SILVA, M.L.A.; Antimicrobial activity of Syzygium cumini (Myrtaceae) leaves extract. **Braz. J. Microbiol.**, 38, 2007, pp. 381-384.

R CORE TEAM. R: **A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. 2021. URL <https://www.R-project.org/>.

REBOUÇAS, E. R.; GENTIL, D. F. de O.; FERREIRA, S. A. do N. Caracterização física de frutos e sementes de goiaba-da-costa-rica, produzidos em Manaus, Amazonas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, n. 2, p. 546–548, jun. 2008. DOI 10.1590/S0100-29452008000200048.

RESENDE, L. G. M.; SANTOS, J. dos; SANTOS, B. S. dos; TELES, A. R. S.; CONSTANT, P. B. L. Corante antociânico extraído do fruto jabolão: formulação e avaliação da estabilidade dos compostos bioativos. **Interação**, v. 21, n. 1, p. 645–658, 30 mar. 2021. DOI 10.53660/inter-072-SS07.

RIBEIRO, A. B.; BONAFÉ, E. G.; SILVA, B. C.; MONTANHER, P. F.; SANTOS JÚNIOR, O. O.; BOEING, J. S.; VISENTAINER, J. V. Antioxidant capacity, total phenolic content, fatty acids and correlation by principal component analysis of exotic and native fruits from Brazil. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 24, p. 797–804, maio, 2013. DOI 10.5935/0103-5053.20130105.

ROJAS-OCAMPO, E.; TORREJÓN-VALQUI, L.; MUÑOZ-ASTECKER, L. D.; MEDINA-MENDOZA, M.; MORI-MESTANZA, D.; CASTRO-ALAYO, E. M. Antioxidant capacity, total phenolic content and phenolic compounds of pulp and bagasse of four Peruvian berries. **Heliyon**, v. 7, n. 8, p. e07787, ago. 2021. DOI 10.1016/j.heliyon.2021.e07787.

RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F.; MANCINI-FILHO, J. Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. **Food Chemistry**, Barking, v. 121, n. 4, p. 996-1002, 2010.

SABINO, L. B. S.; DE BRITO, E. S.; DA SILVA JÚNIOR, I. J. Jambolan— Syzygium jambolanum. **Exotic Fruits**: Elsevier, 2018. p. 251–256. DOI 10.1016/B978-0-12-803138-4.00032-0.

SANTOS, C. A.; ALMEIDA, F. A.; QUECÁN, B. X. V.; PEREIRA, P. A. P.; GANDRA, K. M. B.; CUNHA, L. R.; PINTO, U. M. Bioactive Properties of *Syzygium cumini* (L.) Skeels Pulp and Seed Phenolic Extracts. **Frontiers in Microbiology**, v. 11, p. 990, 2020. DOI 10.3389/fmicb.2020.00990.

SEBASTIEN, L.E.; JOSSE, J.; HUSSON, F.; FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis. **Journal of Statistical Software**, 25(1), 1-18. 2008. 10.18637/jss.v025.i01.

SERAGLIO, S. K. T.; SCHULZ, M.; NEHRING, P.; DELLA BETTA, F.; VALESE, A. C.; DAGUER, H.; GONZAGA, L. V.; FETT, R.; COSTA, A. C. O. Nutritional and bioactive potential of Myrtaceae fruits during ripening. **Food Chemistry**, v. 239, p. 649–656, 15 jan. 2018. DOI 10.1016/j.foodchem.2017.06.118.

SILVA, M. C. B.; MOREIRA, F. J. C.; TAVARES, M. K. N.; SILVA, K. F. Biometria de Frutos e Sementes, Análise Química e Rendimento de Polpa de Araçá Amarelo (*Psidium cattleianum* Sabine). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 18, n. 3, p. 313–323, 30 set. 2016. DOI 10.15871/1517-8595/rbpa.v18n3p313-323.

SINGLETON, V. L.; JOSEPH, A.; ROSSI, J. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. **Journal of Enology and Viticulture**, v. 16, p. 144- 149, 1965.

SOARES, A. B.; TROLEIS, A. L. A expansão urbana de Garanhuns-PE entre 1811 e 2016 e suas implicações socioambientais. **Revista Movimentos Sociais e Dinâmicas Espaciais**, v. 7, n. 1, p. 185–209, 31 jul. 2018. DOI 10.51359/2238-8052.2018.230751.

SOUSA, M. de M.; LIMA, R. M. T. de; LIMA, A. de; REIS, A. C.; CAVALCANTE, A. A. de C. M.; SATTLER, J. A. G.; ALMEIDA-MURADIAN, L. B. de; LIMA NETO, J. de S.; MOREIRA-ARAUJO, R. S. dos R.; NOGUEIRA, N. do N. Antioxidant action and enzyme activity modulation by bioaccessible polyphenols from jambolan (*Syzygium cumini* (L.) Skeels). **Food Chemistry**, v. 363, p. 130353, nov. 2021. DOI 10.1016/j.foodchem.2021.130353.

SOUZA, N. D. S.; SILVA, M. K. F. da; OLIVEIRA, L. J. D. S. de; CARVALHO, H. D. C.; LIMA, I. L. e; SANTA BRÍGIDA, M. R. S. Biometria de frutos e sementes de jambol-vermelho (*Syzygium malaccensis* (L) Meer & Perry) nativo em Capitão Poço, Pará. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 13, n. 5, p. 605, 1 dez. 2018. DOI 10.18378/rvads.v13i5.5750.

STEINER, F.; ZUFFO, A. M.; ZOZ, T. Physical characterization of fruits and seeds of jambolan [*Syzygium cumini* (L.) Skeels] (Myrtaceae). **Acta Iguazu**, Cascavel, v. 6, n. 3, p. 79–90, 2017.

VITALLI, A.A. Importância da atividade de água em alimentos. In: Jardim, D.C.P. (Org.) **Seminário sobre a atividade de água em alimentos**, 1, 1987, Campinas. Resumos. Campinas: ITAL, p.1-5, 1987.

WARRIER, P.; NAMBIAR, V.; RAMANKUTTY. C. Indian Medical Plants, Vol. 5. 1st ed. **Hyderabad: Orient Longman Ltd.**; 1996. p. 225-228

WEI, T.; SIMKO, V. R package 'corrplot': Visualization of a Correlation Matrix (Version 0.91). 2021. Available from <https://github.com/taiyun/corrplot>

ZAR, J.H. Biostatistical analysis, quarta ed. River, Prentice-Hall/Upper Saddle, New Jersey, 1996.

ZUFFO, A. M.; GESTEIRA, G. de S.; JÚNIOR, J. M. Z.; ANDRADE, F. R.; SOARES, I. O.; ZAMBIAZZI, E. V.; GUILHERME, S. R.; SANTOS, A. S. dos. **Caracterização biométrica de frutos e sementes de mirindiba (*Buchenavia tomentosa* Eichler) e de inajá (*Attalea maripa* [Aubl.] Mart.) na região sul do Piauí, Brasil.** v. 3, n. 39, p. 331–340, 2016.

ZUFFO, A.M.; ANDRADE, F.R.; ZUFFO JÚNIOR, J.M. Caracterização biométrica de frutos e sementes de baru (*Dipteryx alata* Vog.) na região leste de Mato Grosso, Brasil. **Revista Ciências Agrárias**, v. 37, n. 4, p. 463- 471, 2014

CAPÍTULO III

**ARTIGO 2: EXTRATOS ANTOCIÂNICOS DO JAMBOLÃO (*S. cumini* L.
Skeels): ENCAPSULAMENTO, ESTABILIDADE E
BIOACESSIBILIDADE *IN-VITRO***

ARTIGO 2: EXTRATOS ANTOCIÂNICOS DO JAMBOLÃO (*S. cumini L. Skeels*): ENCAPSULAMENTO, ESTABILIDADE E BIOACESSIBILIDADE *IN-VITRO*

RESUMO: As antocianinas fazem parte do grupo de pigmentos de origem vegetal com elevada potencialidade como agente bioativo. Apesar disso, fatores como a interação com a matriz alimentar e a baixa estabilidade desses compostos ao longo do trato gastro intestinal tendem a diminuir a biodisponibilidade desses fitoprotetores e como meio de contornar esse problema, técnicas de encapsulamento, como a gelificação iônica, tem sido aplicadas objetivando proteger e garantir uma melhor estabilidade e entrega desses compostos. Nesse sentido, esse trabalho teve como finalidade otimizar o processo de encapsulamento de antocianinas do jambolão através de um Delineamento de Composto Central Rotacional (DCCR 2²) utilizando como variável resposta a eficiência de Encapsulamento de Antocianinas – EEA (%) e como variáveis independentes, variações nas concentrações de amido (%) e inulina (%). A cápsula otimizada (1,25% de Amido e 1,81 % de Inulina) apresentou uma EEA (%) na ordem de 67%, com preservação da atividade antioxidante com um poder de sequestro de radical ABTS na ordem 1335,15 μmol de Trolox equivalente/g (EE (%) – 125,53%) e uma capacidade de redução de íons Fe^{3+} na ordem de 21.822,42 μmol $\text{Fe}_2\text{SO}_4/100\text{g}$ (EE (%) – 97,49%). O processo de encapsulamento garantiu ao longo do processo de armazenamento tanto sob refrigeração (5°C), quanto a temperatura ambiente (30°C) manutenção do teor de antocianinas na ordem de 66,80% e 48,88% ao final de cinco semanas, quando comparado com o extrato (50% e 0,0%), respectivamente. Ainda, observou-se que a presença de amido e inulina na cápsula, apesar de influenciar na superfície do material, identificado através da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), não reduziu as taxas de liberação em fluído gástrico (FG) simulado, atingindo uma liberação de 96% ao final da digestão, taxa essa muito superior a polpa do fruto (50%), indicando que o processo de encapsulamento dos extratos garantiu uma plena entrega das antocianinas no FG. Os resultados encontrados no presente trabalho apontam para as potencialidades de uso da técnica de gelificação iônica no encapsulamento de antocianinas do jambolão, procedimento ainda não relatado na literatura e que garante uma maior estabilidade do pigmento, além de proporcionar uma maior entrega do composto em condições gástricas simuladas. Novos estudos *in-vivo* precisam ser realizados com objetivo de melhor compreender os processos de biacessibilidade e biodisponibilidade das antocianinas do jambolão, bem como como o processo de encapsulamento afeta esses processos.

PALAVRAS-CHAVE: digestão simulada; antocianinas; compostos fenólicos; eficiência de encapsulamento;

1 INTRODUÇÃO

As antocianinas são conhecidos metabólitos secundários vegetais, derivados dos flavonoides, que além de uma elevada solubilidade em água, são reconhecidos por impactarem

diretamente na cor de frutos, flores, vegetais e alguns grãos (HE; GIUSTI; 2010; MATTIOLI et al., 2020; KOOP et al., 2022). São um conjunto de moléculas derivadas quimicamente das antocianidinas (forma agliconada), que devido a variados processos bioquímicos de glicosilação e acilação, dão origem a uma vasta gama de compostos, incluindo a cianidina, a defidina, a peonidina, a malvidina, entre outros (CASTAÑEDA-OVANDO et al., 2009; SANTOS-BUELGA; GONZÁLEZ-PARAMÁS, 2019).

Esses pigmentos possuem um estrutura básica composta por dois anéis aromáticos interligados por um anel heterocíclico oxigenado e estruturado com três carbonos, bem como, ao longo da sua estrutura, é possível encontrar uma variedade de hidroxilas e açúcares interligados que, além de influenciarem na estabilidade desses compostos, conferem a antocianinas uma elevada solubilidade, bem como diversas propriedades bioativas (ESCRIBANO-BAILÓN; SANTOS-BUELGA; RIVAS-GONZALO, 2004; PRIOR; WU, 2006; HOSSEINIAN; LI; BET, 2008). Nesse contexto, Shen et al. (2022) reforçam as potencialidades das antocianinas como agentes promotores da saúde, apontando que seu consumo tem sido associado a diversos benefícios, incluindo o controle da diabetes, uma ação cardioprotetora, antitrombótica, além das potencialidades frente ao controle de microorganismos patogênicos e o estímulo ao desenvolvimento de microorganismos prebióticos.

Apesar dos benefícios descritos no parágrafo anterior, a baixa biodisponibilidade das antocianinas é um fator limitante no seu potencial como agente promotor da saúde (CONDEZO-HOYOS; GAZI; PÉREZ-JIMÉNEZ, 2021; SHEN et al., 2022). Somado a isso, as interações desse composto na matriz alimentar e a sua taxa de liberação ao longo do trato gastrointestinal humano, definida por Chang; Sciences; Jalil (2018) como bioacessibilidade, são fatores que podem diminuir a biatividade desses compostos (ALVAREZ-SUAREZ, 2021).

Além disso, a baixa estabilidade das antocianinas frente a agentes como elevadas temperaturas, o processamento, a presença de oxigênio e as variações do pH ao longo do trato gastrointestinal, são tidos como fatores que dificultam a aplicação desses compostos, por exemplo, em fármacos ou produtos alimentícios (RODRIGUEZ-AMAYA, 2019; KOOP et al., 2022). De tal forma, que para Ahmad et al. (2018) o desafio desses setores está em encontrar condições ótimas que promovam uma maior proteção desses compostos frente a deterioração, bem como em desenvolver mecanismos que atuem aumentando a sua bioacessibilidade e conseqüentemente a sua biodisponibilidade.

Nesse sentido, as tecnologias de encapsulamento de compostos bioativos vem ganhando destaque, visto que quando aplicadas, tendem a melhorar a estabilidade desses ativos frente a condições adversas (ZANONI et al., 2020; TARONE; CAZARIN; MAROSTICA JUNIOR, 2020; YANG et al. 2022), além de proporcionarem uma melhor biodisponibilidade e uma liberação controlada do agente ao longo do processo de digestão gastrointestinal humano (CHAI et al., 2018; SHEN et al., 2022).

Estudos utilizando a gelificação iônica no encapsulamento de extratos antociânicos de diversas fontes vegetais já foram desenvolvidos (ĆUJIC et al., 2016; CELLI et al., 2016; CARVALHO et al., 2019; ZHANG et al., 2020) demonstrando potencialidades de uso da técnica (MELO; CONSTANT, 2021), apesar de suas limitações no aprisionamento de compostos hidrofílicos (KUROZAWA; HUBINGE, 2017). Contudo, até o presente momento do desenvolvimento dessa pesquisa, não foram identificados estudos na literatura que visem encapsular extratos antociânicos extraídos dos frutos do jabolão (*S. cumini* L. Skeels) com a técnica de gelificação iônica.

Esse fruto, pertencente à família das myrtaceae, tem seu consumo associado na medicina popular a diversos benefícios, devido principalmente a sua constituição fitoquímica, representadas principalmente pelas antocianinas como a delphinidina, cianidina, a petunidina, a peonidina e a malvidina (LI; ZHANG; SERAM, 2009). Estudos recentes, tem apontado em extratos do fruto do jabolão elevado potencial antioxidante e anti-inflamatório (QMAR et al., 2022), elevada atividade anti-glicêmica (NAHID et al., 2017), além de ação no tratamento de *H. pylori* (efeito anti-úlceras) e no potencial anti-diaético (RAUF et al., 2021).

Nesse sentido, o presente trabalho teve como objetivo otimizar o processo de encapsulamento de extratos antociânicos de jabolão utilizando como técnica a gelificação iônica, bem como avaliar os efeitos do processo de encapsulamento da estabilidade das antocianinas ao longo do processo de armazenamento, bem como compreender o comportamento das taxas de liberação ao longo do processo de digestão simulada.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Aquisição da matéria prima

Os frutos do jabolão foram adquiridos na Central de Abastecimento (CEAGA) do município de Garanhuns – PE e transportados para o Laboratório de Tecnologia de Cereais da Universidade Federal do Agreste de Pernambuco - UFAPE, onde foram submetidos a processos

de seleção e sanitização em água clorada a 100 ppm por 15 minutos, sendo posteriormente congelamento (-18°C) até o momento de realização dos extratos.

2.2 Elaboração do extrato antociânico do jambolão (*S. cumini*)

Os frutos do jambolão foram descongelados sob refrigeração (5°C) e despulpados manualmente, sendo a polpa (epicarpo e mesocarpo) logo em seguida processada em um processador de alimentos (Britânia). Tal procedimento objetivou homogeneizar e aumentar a área superficial, através da diminuição do tamanho das partículas da polpa.

Os extratos de jambolão (*Syzygium cumini*) foram desenvolvidos segundo metodologia descrita por Resende (2016) na qual a polpa do fruto foi transferida para um erlemeyer protegido da luz, e na proporção 1:12 (p:v) foi submetida misturada com a solução extratora composta por etanol 99,8% acidificado com HCl 1 N até pH 2,0 na proporção 1:12 e submetida a um processo de sonicação em banho de ultrassom (Kondortech) por um período de 30 min. Após esse processo, o extrato permaneceu sob agitação (100 rpm) por um período de 24 h. Sendo em seguida filtrado a vácuo com auxílio do papel filtro Whatman 1 e transferido para o laboratório de Meio Ambiente da UFAPE, onde foi submetido ao processo de concentração sob pressão reduzida (pressão -760 mmHg/40°C ± 0,2°C) em rotaevaporador (Buchi Switzerland R 210) até 5% do volume inicial. O volume restante foi ressuspensionado em um igual volume de água destilada acidificada com HCl (pH 2,0), filtrado e armazenado sob temperatura de -18°C em vidro âmbar até o momento de caracterização e elaboração das cápsulas.

2.3 Encapsulamento do extrato pela técnica de gelificação iônica

A metodologia de superfície de resposta (MSR) foi utilizada para avaliar os efeitos de variações nas concentrações de inulina (0 – 10%) e amido (0- 2%) (variáveis independentes) na Eficiência de Encapsulamento de Antocianinas – EEA (%) (variável dependente) pela técnica de gelificação iônica externa. Os limites para as variáveis independentes estudados no presente trabalho, foram determinados levando em consideração os estudos desenvolvidos por López-Córdoba, Deladino e Martino (2014) e Čujić et al. (2016), os quais avaliaram os efeitos da adição do amido e da inulina na eficiência de encapsulação de antioxidantes naturais.

Um detalhamento dos níveis das variáveis analisadas (amido e inulina) pode ser identificado na Tabela 3.1, onde é possível encontrar os pontos experimentais gerados pelo Delineamento de Composto Central Rotacional - DCCR 2², com seus respectivos pontos axiais, fatoriais e centrais.

Tabela 3.1 –Variáveis independentes e dependentes (codificadas e não codificadas) utilizadas no planejamento experimental com seus respectivos níveis.

Variáveis	Axial (-)	Fatorial (-)	Central	Fatorial (+)	Axial (+)
Independentes	-1,41	-1	0	+1	+1,41
Amido (%)	0,00	0,21	1,00	1,71	2,00
Inulina (%)	0,00	1,46	5,00	8,55	10,00

Fonte: Autores, 2022.

Após definidas os níveis de cada variável a técnica utilizada para elaboração das cápsulas foi realizada de acordo com a metodologia proposta por Souza et al. (2012) e adaptações sugeridas por Carvalho et al. (2019), com algumas modificações. A solução de alginato, com o amido e a inulina foi previamente preparada utilizando 2% de alginato, com variações nas concentrações dos demais ingredientes, como descrito na Tabela 1, e mantida sob refrigeração, por um período de 12 h para hidratação do alginato e completa dissolução dos demais ingredientes.

Após esse período, a mistura descrita foi transferida para uma seringa com a ponta da agulha a uma distância de 6 cm da solução contendo o extrato antociânico do jambolão com cloreto de cálcio (0,20 M) (RAMDHAN et al., 2019). A proporção entre o volume da solução de alginato e da solução do extrato foi 1:1,25 (v/v), respectivamente (RAMDHAN et al., 2019).

O processo de gelificação ocorreu a partir do momento que o alginato era gotejado lentamente na solução do extrato com o cloreto de cálcio (0,20 M). Após o final, as cápsulas eram mantidas maturando dentro da solução do extrato por um período de 30 min, sendo ao recolhidas em peneiras, transferidas para um papel filtro para remoção do excesso de extrato e logo em seguida secas em uma estufa de circulação (LimaTec - LT 96CR) de ar por um período de 24h a 40°C ($\pm 2^\circ\text{C}$). Após o processo de secagem, as cápsulas eram armazenadas sob temperaturas de congelamento (-18°C) até o momento da determinação da Eficiência de Encapsulamento de Antocianinas – EEA (%).

2.4 Eficiência de encapsulamento – EE (%) dos compostos bioativos

Para que ocorresse a determinação do teor de antocianinas das cápsulas obtidas no planejamento experimental, foi necessário realizar a extração das antocianinas das seguindo a metodologia proposta por Ribeiro et al. (2013) com algumas modificações. Inicialmente as cápsulas foram transferidas para um erlemeyer, ao abrigo de luz, contendo o solvente extrator (etanol 70%) (MOURA et al. 2018) na proporção 1:10 (m/v), sendo em seguida submetidas a um banho de ultrassom (Kondortech) por 30 min e mantidas sob agitação por quatro horas.

Após esse processo, o extrato era filtrado e esse material submetido a concentração em rotaevaporador (Buchi Switzerland R 210) até 30% do volume inicial. O extrato concentrado foi utilizado para quantificação do teor de antocianinas monoméricas totais através da metodologia proposta por Lee, Durt e Wrolstad (2005), que leva em consideração as diferentes conformações as quais as antocianinas assumem em diferentes pH. E os resultados foram expressos através das Equações 1 e 2.

$$\text{Concentração de Antocianinas } \left(\frac{mg}{L}\right) = \frac{A*PM*fd*1000}{E*L} \quad (\text{Equação 1})$$

$$C \left(\frac{mg}{g}\right) = \frac{c\left(\frac{mg}{L}\right)*V}{m} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde: Absorvidade real: $A = (A_{520} - A_{700})_{pH1.0} - (A_{520} - A_{700})_{pH4.5}$; PM: Peso molecular da cianidina-3-glicosídeo (449.2 g/mol); fd: Fator de diluição; V: Volume total do solvente extrator utilizado (mL); E: Coeficiente de absorvidade molar, que para a cianidina-3-glicosídeo é igual a 26900 L/cm. Mol; L: largura da cubeta (1 cm); m: peso da cápsula.

Já a eficiência de encapsulamento foi determinada através da comparação entre o teor de antocianinas no extrato utilizado no momento da encapsulação com o teor encontrado nas cápsulas desenvolvidas através da Equação 3.

$$EE (\%) = \frac{\frac{mg \text{ de ativo na micropartícula}}{100 \text{ g de micropartícula}}}{\frac{mg \text{ de ativo no extrato antes do encapsulamento}}{100 \text{ g do extrato}}}$$

(Equação 3)

Onde: EEA (%): Eficiência de Encapsulamento (%).

2.5 Caracterização físico química do extrato e da cápsula otimizada

A caracterização físico-química do extrato e da cápsula otimizada obtida através do planejamento experimental foi realizada no Laboratório de Análises de Alimentos da Universidade Federal do Agreste de Pernambuco - UFAPE. Foram determinados parâmetros como umidade, sólidos totais, atividade de água (A_w), açúcares totais, na cápsula. Quanto ao extrato, ainda foram determinados a acidez total titulável e o pH. Todas as análises foram realizadas seguindo os métodos propostos pela Associação Analítica de Química (AOAC, 2002).

2.6 Quantificação dos compostos bioativos das cápsulas otimizadas

Tanto o extrato, quanto a cápsula elaborada na condição ótima, foram avaliados segundo os seguintes parâmetros: i) Determinação dos compostos fenólicos totais segundo metodologia proposta por Singleton; Joseph; Rossi (1965), modificado por Boroski et al. (2015); ii) Flavonóides Totais de acordo com metodologia proposta por Down (1959) e modificada por Boroski et al. (2015); iii) Antocianinas Monoméricas Totais segundo Lee; Durt; Wrolstad (2005) seguindo as Equações H e J; iv) Capacidade Antioxidante – ABTS, segundo Brasil (2007); v) Capacidade Antioxidante – FRAP (*Ferric Reducing Ability Power*) segundo metodologia descrita por Benzie; Strain (1996).

Os resultados descritos nos itens i, ii, iv e v, foram determinados com auxílios de curvas de calibração e estas podem ser encontradas nos Apêndices A, B, C e D, respectivamente. No mais, além dessas análises, com objetivo de avaliar os efeitos do processo de encapsulamento nos demais parâmetros, foi determinada a eficiência de encapsulamento para todos os parâmetros descritos no parágrafo anterior, levando em consideração o proposto na Equação 3.

2.7 Microscopia eletrônica de varredura (MEV) da cápsulas otimizadas

Nessa etapa, com objetivo de avaliar os efeitos da adição de amido e inulina na estrutura da cápsula, foi realizada a análise da morfologia das amostras. Para tal, foi utilizado equipamento da marca Tescan, modelo VEGA 3 LMU. Todas as amostras utilizaram recobrimento de ouro por meio de um Metalizador da marca Quorum, modelo Q150 R ES, por um período de 10 minutos, formando uma camada condutora em toda a superfície da amostra.

Logo em seguida a amostra foi transferida para uma câmera de vácuo, sendo submetida à varredura do feixe de elétrons para caracterização da superfície da amostra (CAVALCANTE et al., 2021).

2.8 Estudo de estabilidade do extrato e das cápsulas otimizadas em diferentes condições de armazenamento

Foi realizado um estudo da estabilidade das antocianinas tanto do extrato quanto da cápsula otimizada. Para isso amostras de ambos os materiais foram armazenados em recipientes “âmbar” e transferidos para uma câmera climática regulada a $30\pm 2^{\circ}\text{C}$ e em um freezer horizontal (Consul) regulado a $5^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$. Tais temperaturas foram escolhidas objetivando

simular as possíveis condições de armazenamento das cápsulas e do extrato e levando em consideração estudos anteriores (MOURA et al., 2018; CARVALHO et al., 2019).

A determinação do conteúdo de antocianinas monoméricas totais (LEE; DURT; WROLSTAD, 2005) nas amostras foi avaliado ao longo de cinco semanas. Onde a cada sete dias, ao longo de cinco semanas, amostras de ambos os materiais eram retirados e o teor de antocianinas era quantificado. O resultado foi expresso em percentual de retenção de antocianinas/tempo, segundo Equação 4.

$$\% \text{Retenção de ATC} = \left(\frac{C_i}{C_0} \right) \times 100\% \quad (\text{Equação 4})$$

Onde: ATC: Antocianinas; Ci: Concentração de antocianinas no tempo i; C0: Concentração de antocianinas no tempo 0.

2.9 Avaliação da digestibilidade *in-vitro* das cápsulas otimizadas

O estudo de liberação em fluido gástrico e intestinal simulado foi realizado tanto com a amostra da cápsula otimizada, quanto com a cápsula sem a adição do amido e inulina, com objetivo de avaliar os efeitos dos dois ingredientes na taxa de liberação. Além disso, ainda foram avaliadas o perfil de liberação da polpa do fruto do jabolão, como também do extrato antociânico do fruto. E para isso, utilizou-se a metodologia de execução proposta por Belscak-Cvitanovic et al. (2016), com adaptações propostas por Carvalho et al., (2019). Já os fluídos gástricos e intestinais foram elaborados segundo metodologia proposta por Sanguansri et al. (2013), com adaptações.

Para elaboração do fluído gástrico (FG) a 0,32 g de pepsina (Dinâmica) foi inicialmente diluída em água destilada (37°C), sendo logo em seguida adicionado 0,2 g de NaCl PA e 0,7 mL de Ácido Clorídrico (37%). Logo em seguida o volume foi completado para 100 mL com água destilada e o pH da solução ajustado para 1,2 com uma solução de HCl (6M). Em todo o processo, buscou-se manter a temperatura em torno de 37°C com auxílio de um banho maria.

Já para a elaboração do fluído intestinal (FI), 0,125 g de pancreatina do pâncreas suíno (Sigma Aldrich) foram inicialmente diluídas em água destilada (37°C), onde logo em seguida foram adicionados 0,68 g de fosfato monopotássio e 7,7 mL de cloreto de sódio 0,2 M. Logo em seguida o volume foi ajustado para 100 mL com água destilada e o pH ajustado para 7,4 com uma solução de NaOH (5M).

O estudo de liberação em fluido gástrico e intestinal foi desenvolvido transferindo-se uma amostra de 1 g do material (cápsula livre e otimizada, extrato, polpa do fruto) para um erlemeyer recoberto com papel alumínio e contendo 10 mL do FG. O conjunto foi direcionado para um banho termostático (37°C) e três alíquotas do fluido foram removidas no período de 5, 10, 20, 40, 80, 100 e 120 min, permitindo avaliar o perfil de liberação das antocianinas ao longo da etapa gástrica.

Ao final do período descrito no parágrafo anterior, as cápsulas e a polpa foram filtradas e transferidas para um erlemeyer recoberto com papel alumínio contendo 10 ml do fluido intestinal (pH 7,4). Para o extrato, 1 g deste foi retirada do fluido intestinal e misturada com 10 ml do fluido intestinal. As leituras do teor de antocianinas no FI foi realizado no período de 5, 10, 20, 40, 80, 100 e 120 min, possibilitando quantificar o teor desse composto nas amostras.

Os resultados foram analisados através do percentual de liberação (%) de antocianinas ao longo do tempo, levando em consideração o teor inicial nas amostras analisadas, bem como o teor de antocianinas no fluido em questão (FG ou FI), como apresentado na Equação 5.

$$\% \text{ Liberação} = \frac{[\text{ACN no FG ou FI no tempo } i]}{[\text{ACN na amostra}]} \times 100\%$$

(Equação 5)

Onde: ACN: antocianinas.

2.10 Análise estatística

Os dados do planejamento experimental foram analisados com o auxílio do software R na versão 4.1.1 (R CORE TEAM, 2021), utilizando o pacote “RSM” (LENTH, 2009), onde foi possível avaliar a adequação do processo a uma equação polinomial de segunda ordem (Equação 6), através do coeficiente de regressão (R^2) para a resposta analisada, bem como através da falta de ajuste (*lack of fit*). Além disso, o modelo foi avaliado estatisticamente por análise de variância (ANOVA) ($p < 0,05$) e teste F.

$$Y = \beta k_0 + \sum_{i=1}^n \beta k_i X_i + \sum_{i=1}^n \beta k_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \beta k_{ij} X_i X_j \quad (\text{Equação 6})$$

Onde Y= variável resposta (Eficiência de Encapsulamento de Antocianinas – EEA (%)); X_i = variável do processo codificada (amido ou inulina); βk_0 o valor no ponto central, ou seja, ponto (0,0,0) para resposta ajustada e βk_i , βk_{ii} e βk_{ij} foram os coeficientes de regressão linear, quadrática e de produto cruzado, respectivamente.

Já os dados da caracterização físico-química e da quantificação de compostos bioativos da cápsula e do extrato foram avaliados através de estatística descritiva sendo determinados parâmetros como média e desvio padrão.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Caracterização do extrato antociânico do jambolão

Os resultados da caracterização físico-química do extrato de jambolão utilizado no processo de encapsulamento pode ser encontrado na Tabela 3.2. Nela é possível observar que o extrato apresentou um teor médio de umidade de $92,64 \pm 0,59$ g/100 g e um teor de sólidos totais na ordem de $7,70 \pm 0,59$ g/100g. Sendo esse último fundamental para avaliar a eficiência dos processos de extração, além de impactar diretamente em processos posteriores, como a secagem e a aplicação do extrato em fórmulas farmacêuticas e alimentícias (SILVA; ROGEZ, 2013; JAPÓN et al., 2018).

Tabela 3.2 – Caracterização física, físico-química e quantificação dos compostos bioativos do extrato de jambolão (*Syzygium cumini* (L.) Skeels).

Parâmetros Físico-Químicos	Média ± Desvio Padrão
Umidade (g/100g)	$92,64 \pm 0,59$
Sólidos Totais (g/100g)	$7,70 \pm 0,59$
Atividade de Água (Aw)	$0,98 \pm 0,09$
Acidez Total Titulável (g de ácido cítrico/100g)	$2,24 \pm 0,03$
pH	$1,20 \pm 0,02$
Compostos Bioativos	
Compostos Fenólicos Totais (mg EAG/100 g)	$371,05 \pm 89,78$
Flavonóides Totais (mg EQ/100g)	$1270,53 \pm 47,39$
Antocianinas Monoméricas Totais (mg cianidina-3-glicosídeo/100g)	$926,79 \pm 43,67$
ABTS (μ mol de Trolox equivalente/g)	$10.387,87 \pm 715,91$
FRAP (μ mol/100g)	$22.383,03 \pm 87,36$
Coordenadas Colorimétricas	
L	$17,01 \pm 0,46$
a*	$+5,68 \pm 1,12$
b*	$+2,2 \pm 0,54$

Fonte: Autores, 2022.

Em relação a atividade de água (aw), o extrato apresentou um teor médio de $0,98 \pm 0,09$. Bem como foi identificado um teor de acidez de $2,24 \pm 0,03$ g de ácido cítrico por 100 g de extrato. E apesar da elevada atividade de água, que pode favorecer o desenvolvimento de

microorganismos deteriorantes no extrato, este apresentou baixos valores de pH ($1,2 \pm 0,02$) que pode atuar inibindo o desenvolvimento desses microrganismos.

Além disso, os valores de pH da solução são de suma importância no processo de dissolução do agente gelificante, que na presente pesquisa, foi o alginato de sódio. Pois, soluções cujo o pH sejam menores que o pKa dos constituintes do ácido algínico (manômeros de ácidos gulurônicos e manurônicos) tendem a dificultar a dissolução do alginato, impossibilitando conseqüentemente, a formação do gel. Os valores do pKa desses constituintes variam entre 3,65 para os manômeros de ácidos gulurônico e 3,38 para os manômeros de ácido manurônico (REHM, 2009; PAWAR; EDGAR, 2012). Valores esses superiores ao pH do extrato, que foi mantido na faixa de $1,2 \pm 0,02$, para garantir uma maior estabilidade das antocianinas.

Adequações metodológicas ao baixo pH do extratos antociânicos também foram necessárias no estudo desenvolvido Carvalho et al. (2019) que ao tentar encapsular extratos de jussara (*Euterpe edulis Martius*), com pH na faixa de 3,0, pela técnica de gelificação identificaram a formação de um gel fraco, com partículas sem formato definido, além de grandes perdas do extrato na solução de cloreto de cálcio (2%) devido aos processos de difusão do pigmento do interior para o exterior da cápsula. Como alternativa, os autores optaram por incorporar as cápsulas brancas, formadas por água destiladas e alginato-Na, na solução do extrato, garantindo melhores retenções do composto.

Nesse sentido, foi observado em testes preliminares a não dissolução do alginato no extrato devido as condições expostas no parágrafo anterior. Tal situação fez com que fosse buscada alternativa metodológica com objetivo de uso pleno do extrato, sem a necessidade de alteração do pH do meio. Dessa forma, ao invés de dissolver o alginato diretamente no extrato, processo inviável devido ao pH, optou-se por utilizar o extrato como solução coletora, ou reservatório cálcio, onde este foi previamente dissolvido e a solução de alginato (alginato+água destilada) foi gotejada, possibilitando a formação das cápsulas, por um processo de difusão dos íons cálcio e do extrato do meio externo para o interno (PAWAR; EDGAR, 2012), garantindo reticulação (Ca^{2+} - Alginato) e conseqüentemente a formação do gel e retenção do extrato.

Quanto aos parâmetros de cor, observou-se que em relação a luminosidade (L^*), o extrato apresentou um valor de $17,01 \pm 0,46$. Já em relação as coordenadas que estão relacionadas com a cromaticidade da amostra, a^* e b^* , observou-se para o primeiro parâmetro o extrato apresentou valores médios na ordem de $+5,68 \pm 1,12$, indicando que a amostra

apresentou tonalidades mais avermelhadas. Já em relação ao segundo parâmetro, observou-se um valor médio de $+2,2 \pm 0,54$, com tonalidades levando para o amarelo.

Os valores encontrados no presente trabalho são semelhantes ao reportado no estudo desenvolvido por Pereira et al. (2018), que ao buscar desenvolver metodologias para extração dos compostos bioativos dos frutos da juçara, encontraram valores de L^* , a^* e b^* na ordem de $15,27 \pm 0,38$, $7,84 \pm 0,62$ e $1,88 \pm 0,07$, no extrato do fruto. Segundo os autores, tal comportamento pode ser um indicativo de maior eficiência no processo de extração de compostos fenólicos, principalmente pelo fato do extrato apresentar baixos valores de luminosidade e transmitividade de luz (L^*), apontando para uma elevada concentração do pigmento extraído.

Tal comportamento, pode ser analisado diretamente pela quantificação dos compostos fenólicos, flavonoides totais e antocianinas encontrados no extrato de jambolão desenvolvido no presente trabalho. Como pode ser observado na Tabela 3.2, o extrato apresentou um teor de compostos fenólicos totais na ordem de $371,05 \pm 89,78$ mg Equivalente em Ácido Gálico por 100 g, valor esse superior ao reportado por Faria, Marquese e Mercadante (2011), que ao utilizarem etanol com H_3PO_4 (ácido fosfórico) para extrair os compostos fenólicos (CF) do jambolão (*Syzygium cumini*) encontraram valores desse composto no extratos na ordem de $86,3 \pm 3,9$ mg EAG/100g.

Já Sobeh et al. (2018) ao avaliarem a capacidade antioxidante e a atividade hepatoprotetora de extratos da maçã rosa (*Syzygium jambos*), um fruto da família das myrtaceae, identificaram teores de compostos fenólicos totais no fruto na ordem de 466 mg equivalentes de ácido gálico (GAE)/g de extrato, valores esses superiores ao reportado no presente trabalho.

É importante destacar que as diferenças apontadas nos estudos, podem estar relacionadas a diversos fatores, incluindo climáticos, geográficos e do solo que podem influenciar diretamente na síntese desses metabólitos secundários por parte dos vegetais. Além desses, fatores operacionais, como o tipo de solvente, bem como a técnica de extração utilizada, também podem impactar diretamente no rendimento de extração desses compostos da matéria-prima vegetal (QAMAR et al. 2021).

Os compostos fenólicos compreendem um grande grupo de fitoquímicos e tem como uma dos principais representantes os flavonóides. Tais agentes podem ainda ser subdivididos em

várias subclasses, destacando-se as antocianinas, as flavonas e as isoflavonas, cuja principal semelhança está relacionada a sua estrutura química, composta por dois anéis aromáticos ligados a um anel heterocíclico (C6-C3-C6) que conferem a esses compostos inúmeras propriedades bioativas, como eliminação de Espécies Reativas de Oxigênio (ERO) e a cura ou retardo do progresso de diversas doenças e condições de saúde (ABBAS; WINK, 2014; SANTIAGO, 2018; LA ROSA et al., 2019).

No presente trabalho o extrato apresentou teores de flavonoides totais e antocianinas monoméricas totais, na ordem de $1.270,53 \pm 47,39$ mg EQ e $926,79 \pm 43,67$ mg cianidina-3-glicosídeo por 100g (Tabela 3.2). Quanto ao primeiro, Faria, Marques e Mercadante (2011), reportaram valores na ordem de $20,8 \pm 3,3$ mg EC/100 g de amostra, podendo tal diferença ser atribuída tanto a matéria prima, quanto ao padrão utilizado na quantificação dos flavonoides totais, que no estudo em questão foi a catequina.

Já em relação as antocianinas os resultados encontrados no presente trabalho foram também superiores ao reportados por Brito et al. (2017), visto que os autores, ao avaliarem a eficiência de extração de antocianinas do jambolão por meio de diferentes solventes, encontraram valores máximos de extração de antocianinas na ordem 145 mg/100 g de extrato, ao utilizar o etanol 95% acidificado com 1% de HCl. Já Resende et al. (2021), ao utilizar o etanol 99,8% acidificado com HCl 1N (pH 2,0) como agente extrator das antocianinas do jambolão encontrou valores de antocianinas na ordem de $147,25 \pm 3,211$ mg/g de extrato seco, valor esse superior ao encontrado no presente trabalho, visto que em base seca, o extrato apresentou teores médios de 120,36 mg cianidina-3-glicosídeo/g.

Os efeitos benéficos do consumo de antocianinas vem sendo relatados em diversos estudos, como por exemplo o desenvolvido por Aboonabi, Singh e Rose'Meyer (2020) que avaliaram os efeitos citoprotetores de antocianinas extraídas de bagas contra o estresse oxidativo induzido e a inflamação em células endoteliais diabéticas humanas. Como principais achados, os autores identificaram que as antocianinas das bagas atuaram reduzindo os efeitos do estresse oxidativo induzido, bem como os processos inflamatórios causados pelo diabetes, indicando que esses compostos podem desempenhar um papel de proteção das células endoteliais devido principalmente às suas propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias.

Já Zhang et al. (2020) identificaram que a suplementação de antocianinas purificadas por 12 semanas tendem a melhorar, a depender da dose, a resposta ao estresse oxidativo, bem

como a capacidade anti-inflamatória em indivíduos com dislipidemia, atuando inibindo a progressão de doenças metabólicas nesses indivíduos.

Todos esses benefícios estão diretamente relacionados com a capacidade antioxidante das antocianinas e, para os extratos desenvolvidos, ela foi determinada através dos ensaios *in vitro* de determinação da capacidade de sequestro de radical ABTS^{•+} e através da determinação da capacidade de redução dos íons Fe³⁺ (FRAP). Quanto ao primeiro, observaram-se valores médios na ordem de 10.387,87 ± 715,91 µmol equivalente a Trolox por g de extrato. Já em relação ao segundo (FRAP), observou-se uma capacidade na ordem de 22.383,03 ± 619 µmol Fe₂SO₄/100g.

Tais resultados foram superiores aos descritos por Resende et al. (2021), que relataram em extratos de jambolão habilidades de sequestros do radical ABTS^{•+} na ordem de 8.465,65 ± 5,143 µmol Equiv. trolox/g extrato seco. Já em relação a atividade antioxidante, determinada pelo potencial de redução dos íons Fe³⁺, observou-se que os autores encontraram valores superiores de FRAP, encontrando valores na ordem de 3.455,58 ± 36,779 µmol de Fe₂SO₄/g extrato seco.

No estudo desenvolvido por Farias, Marques e Mercadante (2011), por sua vez, ao avaliarem os efeitos de variações no pH na capacidade de extratos do jambolão em sequestrarem radicais ABTS^{•+} identificaram valores inferiores ao reportado em nosso estudo, variando de 4,8 (pH 1,0) a 12,7 (pH 5,0) mol Trolox / g extrato.

Ainda, comparando os resultados encontrados no presente ensaio com extratos de outras frutas comercialmente utilizadas, observa-se elevada potencialidade do jambolão como um agente capaz de atuar como antioxidante natural, visto que foram encontrados para o mirtilo poder redutor férrico (FRAP) variando entre 35.163,63 a 54.315,15 µM Fe₂SO₄/100g (FONSECA; SANTOS; CUNHA, 2015) e para a amora e jabuticaba valores médios na ordem de 99,18 ± 19,71 e 906,76 ± 67,88 µM de sulfato ferroso/L de extrato (RINGOLON, 2017), valores esses semelhantes ao reportado nesta pesquisa.

Assim, é possível observar que os extratos do jambolão (*S. cumini*) possuem elevada potencialidade como fonte de compostos bioativos (QAMAR et al., 2021), incluindo as antocianinas como principal representante dos flavonoides e com elevada propriedade antioxidante (SUI et al., 2019). Dessa forma, levando-se em consideração as potencialidades do extrato de jambolão como uma fonte rica de compostos com propriedades bioativas e

objetivando o desenvolvimento de novas tecnologias que permitam uma maior proteção desses compostos, buscou-se otimizar o processo de encapsulamento pela técnica de gelificação iônica do extrato acima caracterizado, tendo como variável resposta a Eficiência de Encapsulamento de Antocianinas - EEA (%).

3.2 Influência da adição de amido e inulina na eficiência de encapsulamento de antocianinas pela técnica de gelificação iônica

Após o processo de gelificação, as cápsulas desenvolvidas em cada uma das condições experimentais descritas na Tabela 3.1, foram submetidas a um processo de secagem convectivo, a 40°C por 24 h. Essa etapa adicional foi realizada, visto que em testes preliminares foi observado elevado grau de sinérese das cápsulas ao longo do processo de armazenamento, causando principalmente perda por lixiviação do pigmento armazenado. Esse comportamento ocorre devido as interações eletrostáticas que ocorrem entre os grupamentos carboxila do alginato carregados negativamente (COO⁻) e os íons cálcio (Ca²⁺) ao longo do processo de gelificação, com diminuição do espaços intermoleculares, acarretando liberação da água do interior do gel para o meio externo (sinérese) (DASHEVSKY, 1998)

Dessa forma, o processo de secagem reduziu as perdas de antocianinas por lixiviação, além de permitir um melhor armazenamento das cápsulas. Além disso, Čujić *et al.* (2016) e Stojanović *et al.* (2016) ressaltam que o processo de secagem de cápsulas de hidrogel, tende a conferir maior estabilidade ao composto encapsulado, garantindo inclusive, um maior potencial de entrega do agente. Além disso, segundo os autores, tal procedimento garante uma maior gama de aplicação em alimentos ou produtos farmacêuticos da cápsula desidratada.

O resultado do efeito das variações de amido (%) e inulina (%) na Eficiência de Encapsulamento de Antocianinas – EEA (%) podem ser identificados na Tabela 3.3. Nela é possível observar que dentre os tratamentos, a maior EEA (%) – 61,27% ocorreu quando utilizado um percentual, em mistura com o alginato de sódio, de 1% de amido e 0% de inulina (Tratamento 5). Além disso, menor eficiência foi encontrada no Tratamento 6, ao se utilizar um percentual intermediário de amido de milho (1%) e um máximo de inulina (10%), de tal forma que essa mistura acarretou em uma EEA (%) na ordem de 0,50%, respectivamente. Inferindo-se assim, que ao manter-se constante a concentração de amido com respectivo aumento no teor de inulina, uma redução na eficiência de encapsulamento de antocianinas ocorreria.

Tabela 3.3 – Resultados experimentais do Delineamento de Composto Central Rotacional – DCCR 2², com as variáveis independentes e dependentes (codificadas e não codificadas) e a variável resposta - Eficiência de Encapsulamento de Antocianinas – EEA (%).

Tratamentos	Valores Codificados		Valores Decodificados		EEA (%)
	X1	X2	Amido de Milho (%)	Inulina (%)	
1	-1	-1	0,21%	1,46%	41,35%
2	-1	1	0,21%	8,55%	20,42%
3	1	-1	1,71%	1,46%	52,46%
4	1	1	1,71%	8,55%	15,62%
5	0	-1,41	1%	0%	61,27%
6	0	1,41	1%	10%	0,50%
7	-1,41	0	0%	5%	25,63%
8	1,41	0	2%	5%	40,04%
9	0	0	1%	5%	45,05%
10	0	0	1%	5%	49,25%
11	0	0	1%	5%	54,36%

Fonte: Autores, 2022.

Esse comportamento pode estar associado com a propriedade de barreira causada pela incorporação desses polissacarídeos (amido e inulina) na matriz, visto que podem atuar na diminuição dos poros do hidrogel de alginato de sódio, como bem relatado Kurozawa e Hubinger (2017). Tal comportamento, por exemplo, foi observado nos estudos desenvolvidos por Córdoba, Deladino e Martino (2013) e Čujić et al. (2016) que ao avaliarem isoladamente os efeitos da adição de amido e inulina nas características morfológicas, na estabilidade e na eficiência de encapsulamento de extratos ricos em antioxidantes da erva – mate e chokeberry (*Aronia melanocarpa L.*), identificaram redução nas taxas de liberação desse compostos em condições simuladas, utilizando como justificativa as propriedades de barreira desses polímeros quando incorporados a matriz de alginato.

Além desses, Balanč et al. (2016) ao avaliarem os efeitos da incorporação da inulina em microcápsulas formadas por alginato de sódio e incorporadas com extratos de carqueja identificaram que a incorporação da carboidrato preservou as características morfológicas da cápsula, como a esfericidade, por exemplo. Além disso, os autores identificaram que a presença desse polissacarídeo acarretou em menores taxas de encolhimento do grão, devido a um melhor preenchimento do interior da cápsula. Efeito esse semelhante ao amido de milho utilizado por Córdoba, Deladino e Martino (2013).

Dessa forma, observa-se que o amido e a inulina possuem um importante papel tecnológico quando objetiva-se garantir melhores propriedades morfológicas e taxas de

liberação de compostos bioativos controladas e devido as modificações operacionais realizadas no processo de encapsulamento, com a mistura prévia do alginato com o amido e a inulina e posterior gotejamento no extrato rico em Ca^{2+} , esses compostos atuaram diminuindo os tamanhos do póros, fator esse que impediu a difusão do extrato antociânico para o interior do involúcro. Esse resultado, pode ser observado detalhadamente através dos termos originados pelo modelo de regressão encontrados através do planejamento experimental.

Analisando as informações estatisticamente através da Análise de Variância (ANOVA) encontrada na Tabela 3.4, é possível observar que dentre as fontes de variação encontradas no modelo somente os termos lineares (TWO) e quadráticos (PQ) influenciaram estatisticamente no modelo gerado ($p < 0,05$). Comportamento inverso as interações entre as variáveis (TWI) ($p > 0,05$). Tal comportamento, fez com que o modelo gerado apresentasse uma elevada significância ($p = 0,002022$, $R^2 = 0,9306$), representando cerca de 93,06% da variações na eficiência de encapsulamento. Além disso, observa-se que a falta de ajuste (Lack of fit) não foi significativa ($p > 0,05$), indicando que o modelo ajusta-se ao processo. Dessa forma, observa-se um elevado potencial preditivo do modelo quadrático encontrado na presente pesquisa (Equação 7).

Tabela 3.4 – Análise de variância (ANOVA) do modelo de regressão gerado para antocianinas monoméricas totais do processo de encapsulamento do extrato de jambolão pela técnica de gelificação iônica.

Fonte de Variação	SQ	GL	MQ	F _{calculado}	F _{tabelado} ($p < 0,05$)	P(%)	R ²
FO (X1, X2)	2.669,01	2	1.334,51	27,8379	0,0009207	60,19	
TWI (X1, X2)	63,28	1	63,28	1,3201	0,2943114	1,43	
PQ (X1, X2)	1.126,47	2	563,23	11,7491	0,0084152	25,41	
Resíduos	287,63	6	47,94			6,49	
Lack of fit	126,65	3	42,22	0,7868	0,5757849	2,86	
Erro Puro	160,98	3	53,66			3,63	
Total	4.434,02	17				100	
Modelo					0,002022		0,9306

Onde: SQ: Soma dos Quadrados; GL: Graus de Liberdade; MQ: Média Quadrática; P(%): Contribuição percentual; FO: Termos Lineares do modelo; TWI: Termo representante da interação entre as variáveis codificadas; PQ: Termos quadráticos do modelo;

Fonte: Autores, 2022.

Quanto ao percentual de contribuição (P) na eficiência de encapsulação dos termos lineares (FO), quadráticos (PQ) e da interação entre as variáveis (TWI), determinada através da relação entre a SQ de cada variável, com a SQ Total (CELLI; GHANEM; BROOKS, 2016), observou-se que os termos lineares (FO) em conjunto com os termos quadráticos (PQ) afetaram cerca de 85,60% (60,19% – FO e 25,41% – PQ) da eficiência de encapsulamento, em

contrapartida, observou-se um menor efeito causado pelas interações (TWI) entre as variáveis independentes (X 1 - amido e X 2 - inulina), menor que 2% (1,43%), respectivamente.

Na Tabela 3.5, por sua vez, é possível observar de forma mais detalhada e isolada o efeito estimado de cada variável e suas interações na Eficiência de Encapsulamento de Antocianinas - EEA (%). Observa-se inicialmente que dentre os termos lineares, cuja a influência (P) no modelo ultrapassa os 60%, somente a inulina (Inulina – L) atuou significativamente ($p < 0,05$) no modelo, comportamento contrário ao amido (Amido – L) ($p > 0,05$).

Tabela 3.5 – Efeitos estimados, erro puro e significância estatística do processo de encapsulamento de antocianinas extraídas do jambolão.

Fatores	Efeito	Erro Puro	Valor de t	(p)
Interceptação	52.6803	3,4618	15.2174	5.083e-06 *
Amido – L	3.3384	2,4516	1.3618	0.2221845
Inulina – L	-17.9855	2,4516	-7.3363	0.0003279 *
Amido x Inulina	-3.9775	3,4619	-1.1489	0.2943114
Amido – Q	-9.7992	2.7483	-3.5656	0.0118474 *
Inulina – Q	-10.7800	2.7483	-3.9225	0.0077800 *

* Fatores significativos ao nível de 5% de significância.

Fonte: Autores, 2022.

Ainda é possível observar que os efeitos causados pela interação entre as variáveis independentes (Amido x Inulina) não foi significativo ($p > 0,05$), bem como que os termos quadráticos (Q) referente a inulina e ao amido atuaram significativamente na variável resposta estudada, Eficiência de Encapsulamento de Antocianinas – EEA (%).

Assim, o modelo quadrático que melhor representa os efeitos da adição de amido e inulina na eficiência de encapsulamento de antocianinas extraídas do jambolão, em variáveis codificadas, pode ser observado na Equação 7, onde os termos em negrito, correspondem os termos significativos no processo:

$$EEA (\%) = \mathbf{52,6803} + 3,3384 X1 - \mathbf{17,9855 X2} - 3,9775 X1 * X2 - \mathbf{9,7992 X1^2} - \mathbf{10,78 X2^2}$$

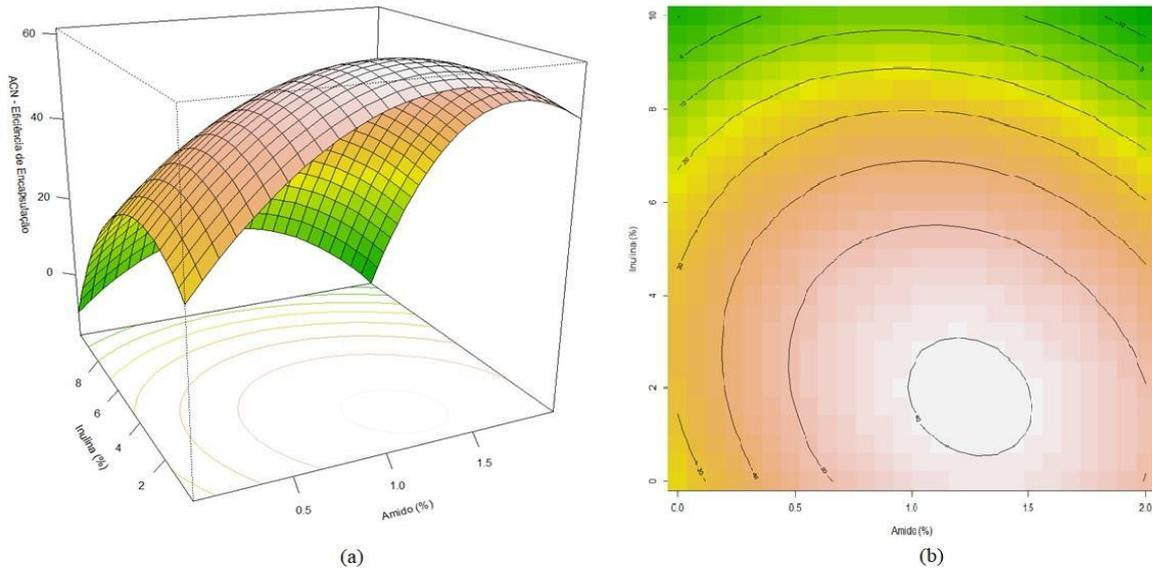
(Equação 7)

Onde EEA (%): Eficiência de encapsulamento de antocianinas; X1: Concentração de amido; X2: Concentração de inulina, em variáveis codificadas.

Por sua vez, o gráfico de superfície, em variáveis decodificadas, para a eficiência de encapsulamento de antocianinas - EEA(%) pode ser observado na Figura 3.1. Nela é possível

identificar que área onde encontra-se o ponto estacionário, ou pico máximo para a variável resposta, é aquela cujas as variações nas concentrações de amido e inulina estão na ordem de 1 e 1,5% e 1,5 e 3%, respectivamente.

Figura 3.1 – Superfície de resposta quadrática (a) e curvas de nível (b) para a avaliação do efeito da incorporação de amido e inulina na eficiência de encapsulamento de antocianinas pela técnica de gelificação iônica.



Fonte: Autores, 2022.

Esses valores, podem ser comprovados através da análise das respostas geradas pela função “rsm” no R, que ao analisar os dados de uma superfície de resposta, já aponta os valores do ponto estacionário tanto para variáveis codificadas quanto decodificadas, que no estudo em questão são 0,35 (codificada) e 1,25 % (decodificadas) para o amido e -0,89 (codificada) e 1,81 (decodificadas) % para a inulina. Nesse caso, ao utilizar os valores codificados na Equação 7, é possível prever uma EEA(%) de pela técnica de gelificação iônica superior a 61%, como pode ser observado na Tabela 3.6.

Tabela 3.6 - Ponto estacionário da superfície de resposta encontrados no modelo de regressão quadrático para as variáveis independentes e dependentes.

Tipo de Variável	Variáveis	Ponto Estacionário	EEA (%)
Codificada	X1	0,35	61,36 %
	X2	-0,89	
Decodificada	Amido (%)	1,25	61,36 %
	Inulina (%)	1,81	

Onde: EEA (%): Percentual de Eficiência de Encapsulamento de Antocianinas

Fonte: Autores, 2022.

A partir dos dados obtidos por meio do planejamento experimental, as condições ótimas de concentração de amido e inulina, foram utilizadas para o processamento cápsulas. As cápsulas otimizadas foram submetidas a processos de caracterização quanto a sua composição físico-química, teor de compostos com propriedades bioativas, capacidade antioxidante e caracterização morfológica. Além disso, também foi realizado estudos de estabilidade e avaliação da bioacessibilidade das antocianinas in-vitro.

3.3 Caracterização físico-química da cápsula otimizada pela técnica de gelificação iônica.

Os resultados da caracterização da cápsula obtida com as condições ótimas, podem ser encontrados Tabela 3.7. Inicialmente é possível observar que as cápsulas secas apresentaram um teor de umidade em torno de $36,63 \pm 0,44$ g de água por 100 g de cápsula seca. Além disso, observou-se teores de sólidos totais na ordem de $63,37 \pm 0,44$ g/100 g, bem como atividade de água (A_w) média próximos a $0,48 \pm 0,01$.

Tabela 3.7 – Caracterização da cápsula otimizada obtida com os parâmetros ótimos do delineamento experimental.

Parâmetros Físico-Químicos	Média ± Desvio Padrão
Umidade (g/100g)	$36,63 \pm 0,44$
Sólidos Totais (g/100g)	$63,37 \pm 0,44$
Atividade de Água (A_w)	$0,48 \pm 0,01$
Carboidratos Totais (g/100g)	$80,29 \pm 8,98$
Colorimetria	
L*	$17,07 \pm 1,04$
a*	$+1,20 \pm 0,20$
b*	$-1,8 \pm 0,81$

Fonte: Autores, 2022.

No presente trabalho, o teor de umidade e sólidos totais encontrados na cápsula antes do processo de secagem foi de 88,27% (g/100g) e 11,73% e tais resultados são semelhantes aos encontrados por Carvalho et al. (2019) que ao incorporarem extratos de jussara em cápsulas de alginato pré-formadas, encontraram valores de umidade e sólidos na ordem de $92,3 \pm 0,2\%$ e $7,7 \pm 0,2\%$, respectivamente.

Já em relação aos resultados de umidade e sólidos totais da cápsula seca, Otálora et al. (2016) ao incorporarem extratos de belataína de frutos de *Opuntia ficus-indica* em cápsulas de alginato submetidas a processos de secagem em estufa com circulação de ar forçada ($30 \pm 1^\circ\text{C}$ por 24 h) encontraram valores de umidade e sólidos totais na ordem de $2,862 \pm 0,004\%$ e

97,138±0,004%, respectivamente. Valores esses distintos aos reportados no presente trabalho (36,63 ± 0,44 e 63,37± 0,44 %).

As diferenças encontradas podem estar associadas a alguns fatores, incluindo as características da matéria-prima utilizada, ou seja o tipo de extrato, bem como o equipamento utilizado no processo de secagem. Além disso, é importante destacar a presença de amido e inulina nas cápsulas elaboradas, uma vez que tais agentes, devido a sua elevada higroscopicidade, podem ter interagido com as moléculas de água através de um processo de hidratação, dificultando conseqüentemente o processo de secagem (ROKART et al., 2006). Apesar dessa diferença, as cápsulas apresentaram uma baixa atividade de água (0,48 ± 0,01), fator que pode contribuir para uma maior estabilização da cápsula, frente a decomposição do seu agente encapsulado.

Em relação as biomoléculas, como as cápsulas foram elaboradas basicamente de alginato, amido e inulina, determinou-se o conteúdo total de carboidratos por 100 g de cápsulas secas e os resultados dessa análise podem ser encontrados também na Tabela 3.7. As cápsulas desidratadas apresentaram um elevado teor de carboidratos (CBO) totais na ordem de 80,29 ± 8,98 g /100 g.

Vale destacar as potencialidades do uso das cápsulas desenvolvidas no presente trabalho como um possível ingrediente funcional, visto que dentre os carboidratos utilizados no presente trabalho na formulação das cápsulas, há a presença da inulina. Apesar de sua quantificação no produto final não ter sido realizada, esse polissacarídeo além das potencialidades de uso como agente de reticulação e preenchimento, tem seu uso associado a diversas atividades biológicas, incluindo ação prebiótica e antioxidante (VLASEVA et al., 2014; STOJANOVIĆ et al., 2012; WAN et al., 2020).

Quanto as características colorimétricas da cápsula otimizada, os resultados da análise em parâmetros CIELAB podem ser encontrados na Tabela 3.7. Observou-se que esta apresentou um baixo valor de Luminosidade (L*), visto que para tal parâmetro a cápsula exibiu um valor médio de 17,07±1,04. Já em relação ao parâmetro a*, a cápsula apresentou valores positivos, na ordem de +1,20±0,20, indicando que a cápsula apresentou tonalidades tendendo para o vermelho. Já em relação ao parâmetro b*, as cápsulas otimizadas apresentaram valores médio de -1,8±0,81.

Os resultados encontrados para os parâmetros colorimétricos diferem dos reportados por Moura et al. (2018), visto que os autores, ao avaliarem os efeitos das técnicas de extrusão e atomização nas características colorimétricas de cápsulas obtidas pelo processo de gelificação iônica de emulsões simples de extratos antociânicos de cálices do hibisco (*Hibiscus sabdariffa* L.), encontraram valores de luminosidade (L^*) e cromaticidade (a^* e b^*) variando entre 50,16 e 70,40, 15,19 a 27,56 (a^*) e 2,75 a 5,78 (b^*) para as cápsula desenvolvidas. Tais variações, podem ser um indicativo da eficiência de encapsulamento, visto que menores valores de L^* indicam cápsulas que absorveram uma maior quantidade do pigmento. E um dos fatores que pode ter influenciado diretamente nos altos valores desse parâmetro é a emulsão realizada com o extrato.

3.4 Quantificação e eficiência de encapsulamento dos compostos bioativos na cápsula otimizada

Os principais compostos com propriedades bioativas também foram avaliados na cápsula otimizada e os resultados podem ser encontrados na Tabela 3.8. Nela, é possível observar que a cápsula otimizada apresentou um teor de compostos fenólicos totais (CFT) equivalentes a $226,61 \pm 22,95$ mg de Ácido Gálico por 100 g de cápsulas secas, representando uma eficiência de encapsulamento – EE (%) na ordem de 61,07%. Esses valores, foram superiores aos reportados por Čujić et al. (2016) que ao utilizarem a técnica de gelificação iônica para encapsular extratos de aronia (*Aronia melanocarpa* L.) encontraram teores de compostos fenólicos variando entre 0,23 a 3,57 mg GAE / g das cápsulas analisadas. Nesse sentido, os autores justificam que a baixa eficiência de encapsulamento (23%) dos polifenóis, pode estar relacionada a porosidade das partículas de alginato, que acarretou difusão desse composto do seu interior, sugerindo o armazenamento das cápsulas no extrato, como alternativa a essa condição.

Tabela 3.8 – Caracterização dos compostos bioativos na cápsula obtida com os parâmetros ótimos do delineamento experimental.

Parâmetros	Média ± Desvio Padrão	EE (%)
Compostos Fenólicos Totais (mg EAG/100g)	226,61 ± 22,95	61,07
Flavonóides Totais (mg EQ/100g)	779,14 ± 139,13	61,31
Antocianinas Monoméricas Totais (mg cianidina-3-glicosídeo/100g)	620,95 ± 43,67	67,10
ABTS (µmol de Trolox equivalente/g)	1335,15 ± 54,08	128,53
FRAP (µmol Fe ₂ SO ₄ /100g)	21822,42 ± 210,73	97,49

EE: Eficiência de Encapsulamento (%).

Fonte: Autores, 2022.

Por sua vez, Moura et al. (2018) identificaram EE (%) de polifenóis variando entre 80 e 95,6% e segundo os autores, um fator que influenciou diretamente nesse parâmetro foi o tamanho das partículas, visto que partículas menores, produzidas pela técnica de atomização, apresentaram maiores EE (%), quando comparados com as obtidas pelo processo de extrusão.

Um comportamento semelhante foi encontrado para os flavonoides totais (FT), visto que comparando com o extrato, a cápsula otimizada apresentou um teor de FT na ordem de $779,14 \pm 139,13$ mg EQ/100g, representando uma EE (%) de 61,31 %. É importante ressaltar que segundo Muzaffar et al. (2016) processos de encapsulamento de agentes de interesse tecnológico só são considerados eficientes, quando a EE (%) assume valores superiores a 50%, comportamento esse apresentado nos FT, bem como nas demais variáveis analisadas nesta pesquisa.

É importante destacar as potencialidades do uso dos diversos tipos de flavonoides no processo de controle de patologias, como cânceres, doenças cardiovasculares, neurodegenerativas (ND), bem como no controle da diabetes mellitus tipo 2 (XIAO, 2022; ZHOU et al., 2022). Esses compostos, principalmente devido as suas propriedades antioxidantes, vem sendo altamente explorados pela à indústria, incluindo em sua forma encapsulada, procedimento esse que pode inclusive aumentar a sua biodisponibilidade e consequentemente seus índices terapêuticos (ZHOU et al., 2022).

Dentre o grupo dos flavonoides, recebem destaque as antocianinas e no presente trabalho, a validação do planejamento experimental ocorreu através da análise da EE (%) de antocianinas nas condições ótimas apontadas pelo modelo experimental (Eq. 7) e pela Tabela 3.6. Como descrito anteriormente, a condição, traria uma eficiência de encapsulamento na ordem de 61%. Nesse sentido, ao avaliar o teor de Antocianinas Monoméricas Totais encontrados na cápsula otimiza (Tabela 3.8), é possível observar que esta apresentou um teor aproximado de $620,95 \pm 43,67$ mg equivalente a cianidina-3-glicosídeo/100g de cápsula seca. Tal resultado, representa uma EEA (%) de 67,01%, valor esse superior ao predito no modelo matemático.

Como já descrito anteriormente, o modelo matemático da Equação 7, apresentou um coeficiente de determinação (R^2) na ordem de 0,9306, indicando que o modelo consegue descrever cerca de 93,06% da variabilidade dos dados. No caso em questão, a diferença entre o

valor predito e o valor real, não ultrapassa os 6% (5,6%), indicando que, apesar de inferior, o modelo foi eficiente na predição dos dados.

Os estudos dos efeitos da técnica de encapsulamento por gelificação iônica na eficiência de aprisionamento de extratos antociânicos ainda são limitados, porém na literatura é possível identificar variações EEA (%) na ordem 17,97 a 63,12% para a madressilva de amora azul (*Lonicera caerulea*) (CELLI; GHANEM; BOOKS, 2016), de 84,3 a 93,9% para extratos do hibisco (MOURA et al., 2018) e 70,07 a 75,12% para extratos elaborados a partir da casca de uva (ZHANG et al., 2020). Comparando-se esses valores com os encontrados, observa-se elevada potencialidade de uso da técnica de gelificação no encapsulamento de antocianinas, incluindo as provenientes do jambolão, visto que até o presente momento, não há indícios de estudos que visem utilizar a técnica para encapsular extratos ricos em compostos fenólicos do fruto.

Carvalho et al. (2019) encontraram nas cápsulas de hidrogel pré-formadas e revestidas com quitosana e proteína do soro leite teores variando entre $5,2 \pm 0,4$ e de $8,4 \pm 0,2$ mg de equivalente de cianidina 3-glicosídeo/g de grânulo seco, inferior a esta pesquisa. Tais diferenças podem ser associadas ao processo complementar de revestimento das cápsulas com quitosana e proteína do soro do leite, dado que para que isso ocorra, as cápsulas após preparadas devem ser submersas nas soluções, fator esse que pode ter contribuído para liberação do pigmento do seu interior, devido a porosidade do hidrogel.

Em relação a capacidade antioxidante, observa-se que, quanto ao poder de sequestro de radical ABTS, a cápsula apresentou um capacidade equivalente a Trolox na ordem de $1335,15 \pm 54,08$ μmol por g de cápsula seca. Ainda, é importante destacar que houve um aumento de 28,53% nesse parâmetro para a amostra analisada. Esse comportamento superior detectado pelo método em questão (ABTS) pode estar associado ao potencial antioxidante presente em alguns polissacarídeos, incluindo a inulina, uma vez que estudos tem apontado o potencial desse carboidrato no estímulo a atividade de antioxidantes endógenos, bem como no próprio sequestro de espécies reativas de oxigênio (LIU;WU, 2015; STOYANOVA et al., 2010) demonstrando a potencialidade do uso da inulina como um agente importante no tratamento a doenças derivadas da presença desses radicais (WAN et al., 2020).

Já em relação a capacidade redução de íons Fe^{3+} (FRAP). Observou-se que houve uma preservação de cerca de 97,49% do poder de redução na cápsula desidratada quando comparado

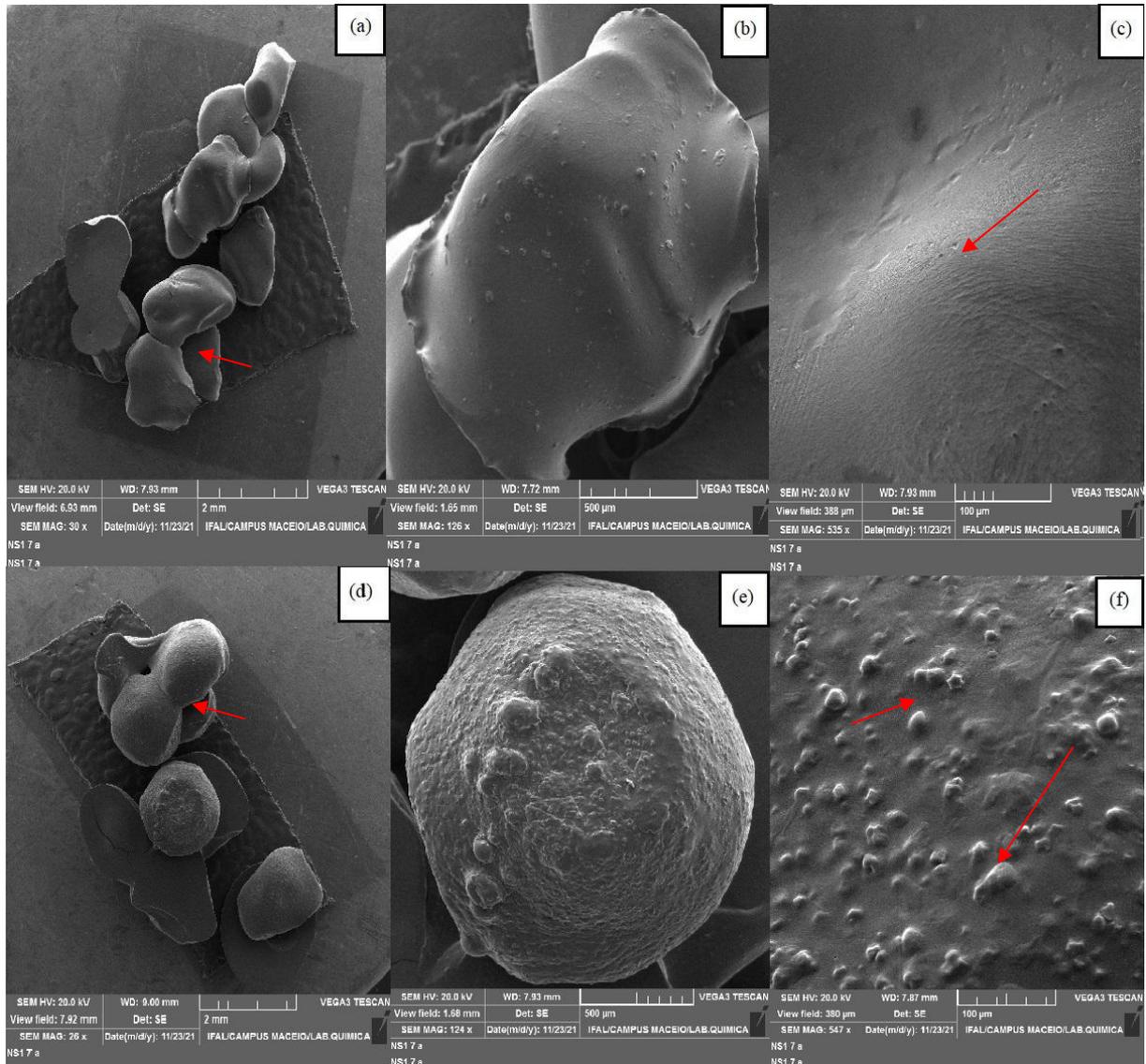
com o extrato, visto que essa apresentou um poder de redução de cerca de $21.822,42 \pm 210,73$ $\mu\text{mol Fe}_2\text{SO}_4/100\text{g}$. Resultados esses semelhantes aos reportados por Moura et al. (2018), onde foi observado uma manutenção da atividade antioxidante variando entre 92,1 a 96,4%, comportamento elevado, segundo os autores.

Dessa forma, observa-se que o processo de encapsulamento pela técnica de gelificação iônica demonstrou elevada potencialidade no aprisionamento de compostos bioativos, aumentando inclusive, a capacidade antioxidante. Apesar disso, é importante a avaliação dos efeitos da tecnologia na estabilidade dos compostos encapsulados, principalmente das antocianinas, principal composto estudado no presente trabalho.

3.5 Caracterização morfológica da cápsula otimizada pela técnica de gelificação iônica.

Na Figura 3.2 é possível avaliar a estrutura morfológica das cápsulas tanto otimizadas, quanto daquelas elaboradas nas mesmas condições, porém sem a adição do amido e da inulina. E, inicialmente, é possível observar que ambas as amostras tenderam a se aglutinarem (Figura 3.2 - (a) e (d)). Tal comportamento está diretamente relacionado ao processo de secagem adotado, estufa com circulação de ar ($40^\circ\text{C}/24\text{h}$). Essa aglutinação, segundo alguns autores, é desvantajosa, principalmente quando se objetiva aplicar o produto encapsulado em alguma matriz alimentar e como alternativas, sugere-se o uso de outras técnicas de secagem para as cápsulas de alginato, como a liofilização ou o uso do spray-dryer, por exemplo (ĆUJIĆ et al., 2016; AIZPURUA-OLAIZOLA et al. 2016).

Figura 3.2 – Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) das cápsulas de alginato elaboradas com (a, b e c) e sem (d, e e f) a adição de amido e inulina.



Fonte: Autores, 2022.

É importante destacar que as características morfológicas dos produtos encapsulados, são de extrema importância quando objetiva-se sua aplicabilidade posteriormente, principalmente por que a morfologia da sua superfície pode afetar significativamente as taxas de liberação do composto encapsulado (ĆUJIĆ et al., 2016) e nesse sentido, observa-se que as cápsulas incorporadas de amido e inulina (Figura 3.2 – (b)) apresentaram uma menor esfericidade, quando comparadas com as cápsulas livres (Figura 3.2 – (e)), resultados esses semelhantes aos reportados em outros trabalhos (ĆUJIĆ et al., 2016; MOURA et al., 2018; CARVALHO et al., 2019).

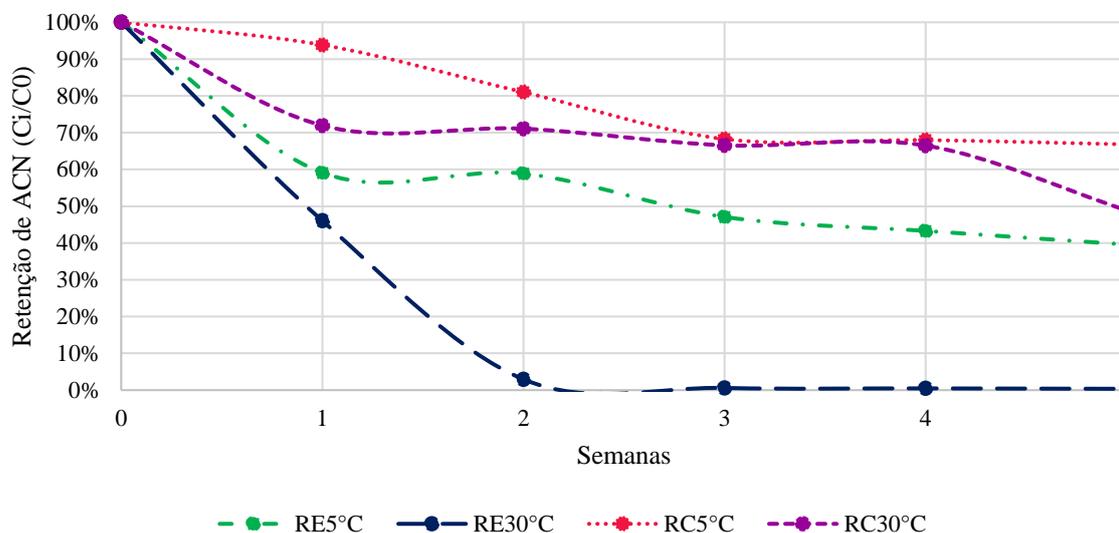
Quanto a superfície das cápsulas, é possível observar que a incorporação de amido e inulina possibilitou que a cápsula apresentasse uma estrutura superficial mais lisa (Figura 3.2 – (c)), quando comparada com a cápsula livre, sem adição dos insumos, (Figura 3.2 – (f)), apresentando uma superfície mais enrugada. Tal achado é de extrema importância, uma vez que partículas com textura irregular e áspera tendem a apresentar uma maior área superficial, tornando-a mais suscetível a deterioração e a oxidação quando comparadas com cápsulas com estrutura mais lisa, a medida que estas tendem a proporcionar uma melhor eficiência de encapsulamento e uma melhor defesa do material encapsulado frente a agentes externos (TONON et al., 2009; DA SILVA et al., 2013; PANT et al, 2022).

Dessa forma, nota-se que a incorporação do amido e da inulina na cápsula melhorou as propriedades estruturais, quando comparada com a cápsula sem adição dos insumos. Assim, os efeitos do processo de encapsulamento na estabilidade das antocianinas frente a diferentes condições de armazenamento foi avaliado.

3.6 Estudo da estabilidade das antocianinas em condições de ambientais (30°C) e refrigeradas (5°C)

Os resultados do estudo de avaliação dos efeitos da condição de armazenamento na estabilidade das antocianinas encapsuladas e livres, na forma de extrato, podem ser observadas na Figura 3.3. Nela observa-se que ao longo das cinco semanas, houve uma tendência de queda no teor de antocianinas para todos os materiais avaliados. Porém, tanto para as condições de armazenamento sob refrigeração (5°C), quanto em temperatura ambiente (30°C), os percentuais de retenção das antocianinas (C_i/C_0) foram maiores na cápsula ($RC_{5^\circ C}$ - 66,80% e $RC_{30^\circ C}$ - 48,88%) do que dos extratos ($RE_{5^\circ C}$ - 39,58% e $RE_{30^\circ C}$ - 0,36%). Ou seja, o processo de encapsulamento pela técnica de gelificação iônica promoveu a proteção das antocianinas, quando comparado ao extrato livre, dado que houve uma maior retenção deste composto ao final das 5 semanas.

Figura 3.3 – Percentual de retenção (R) de antocianinas ao longo do armazenamento sob refrigeração (5°C) e condições ambientais (30°C) da cápsula otimizada (RC) e do extrato (RE) antociânico do jambolão.



Fonte: Autores, 2022.

O potencial de proteção das antocianinas encapsuladas pela técnica de gelificação iônica é algo que vem sendo apresentado em diversos estudos, como por exemplo o de Zhang et al. (2020), que ao avaliarem a estabilidade de extratos de casca de uva encapsulados pela técnica, observaram maiores estabilidade para o material encapsulado quando comparado com o extrato livre, tanto a variações na concentração de luz, quanto nas variações de temperaturas, indicando que a técnica é uma alternativa promissora de proteção das antocianinas frente a condições ambientais adversas, como altas temperaturas.

Esse comportamento também foi identificado por Moura et al., (2018) com extratos e cápsulas de hibisco (*Hibiscus sabdariffa L*) livre e encapsulados e Carvalho et al. (2019) com extratos de jussara encapsulados com a mesma técnica.

Comparando as condições de armazenamento (refrigeração – 5°C e temperatura ambiente – 30°C), é possível observar (Figura 3.3) que essa proteção foi maior nas cápsulas armazenada sob refrigeração (5° C) do que naquelas armazenadas à temperatura ambiente (30°C), uma vez que na primeira houve uma retenção aproximada de 66,80% das antocianinas originais, diferente da segunda condição, onde houve uma prevalência de 48,88% das antocianinas originais. Além disso, observa-se que a maior diferença entre as concentrações nas cápsulas ocorreu somente na 5ª semana. Ou seja, os teores de antocianinas mantiveram-se constantes até a quinta semana.

Tais resultados concordam com os apresentados por Moura et al. (2018) e He et al. (2017), onde os autores observaram maiores retenções de antocianinas encapsuladas e armazenadas sob refrigeração, do as armazenadas sob temperaturas superiores a 25°C. Indicando que fatores extrínsecos (ambientais) ou intrínsecos (micropartícula) podem influenciar na estabilidade do pigmento.

Esse comportamento também foi observado no extrato, visto que ao longo das 5 semanas que o estudo foi realizado, houve uma retenção de cerca de 50% do teor de antocianinas no extrato armazenado sob refrigeração, mas não foi evidenciado no extrato armazenado a 30°C. Outra observação importante referente ao extrato armazenado nesta temperatura é que houve uma queda brusca do teor de antocianinas no extrato a partir da segunda semana, caindo de valores próximos a 50% para próximos a 0%. Desta forma, ficou evidente que o armazenamento de extratos ricos em antocianinas sob condições ambientais, com maiores temperaturas, tendem a acarretar uma maior deterioração do pigmento, quando comparada com o armazenamento sob refrigeração.

Tal comportamento assimilasse ao apontado por Sinela et al. (2017), Carvalho et al. (2019) e Moura et al. (2018), visto que a estabilidade das antocianinas depende de diversos fatores incluindo o pH, presença de oxigênio e enzimas, luz e principalmente a temperatura (ECHEGARAY et al. 2020). Esse último, influencia diretamente o conteúdo total de antocianinas em uma matriz, de tal forma que aquecimentos a temperaturas constantes tendem a promover uma destruição logarítmica do pigmento (SHANG; JING, 2020; ALVAREZ-SUAREZ et al. 2021).

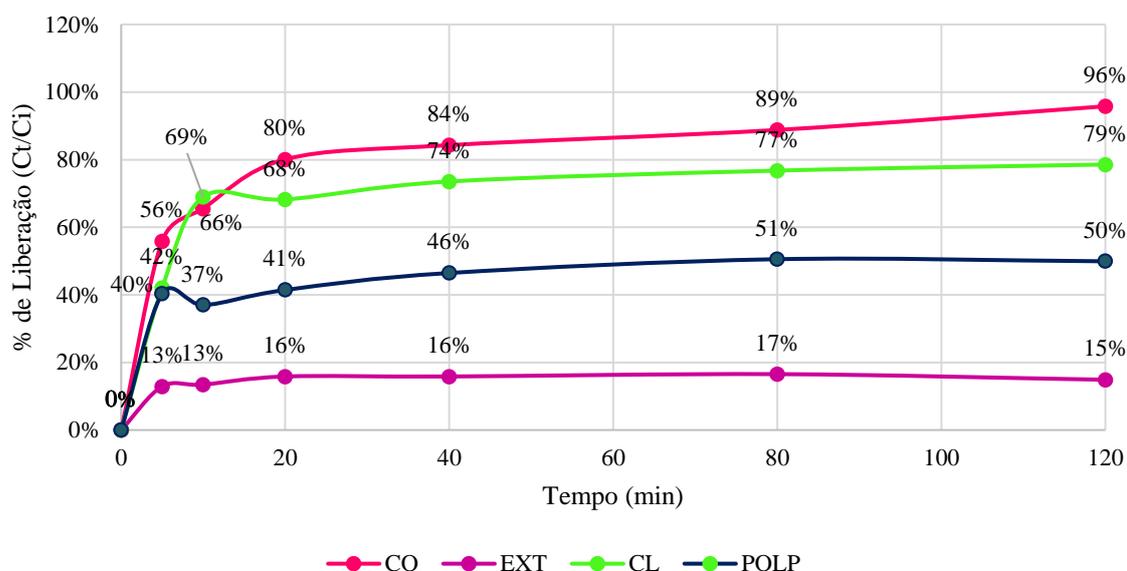
3.7 Bioacessibilidade da antocianinas do jambolão em diferentes matrizes

É sabido que os processos de digestão iniciam na boca e que na saliva ocorre a presença de atividades enzimáticas, incluindo a β -glicosidase, que podem vir a iniciar os processos de decomposição das antocianinas presente em uma determinada matriz alimentar (REQUENA et al., 2010; KAMONPATANA et al., 2014). Porém, devido ao curto período de residência na cavidade oral, acredita-se que as antocianinas cheguem ao estômago em sua forma nativa (FERNANDES et al., 2018) fator esse considerado no presente trabalho, uma vez que só foram analisadas os efeitos das condições gástricas e intestinais na liberação das antocianinas.

Em relação a avaliação dos efeitos do processo de encapsulamento nas taxas de liberação em fluido gástrico e intestinal, os resultados podem ser observados nas Figuras 3.4 e

3.5. Na primeira, é possível observar que a maior taxa de liberação de antocianinas (>50%) ocorreu nos primeiros 20 min em contato com o fluído gástrico, como bem descrevem Carvalho et al. (2019), afirmando que a porosidade do hidrogel de alginato não é reduzida completamente, de forma a evitar a difusão dos compostos de antocianinas da esfera. E esse comportamento foi semelhante para as quatro amostras analisadas, o extrato antociânico da polpa (EXT), a polpa do fruto (POLP), a cápsula livre (sem adição de amido e inulina) (CL) e a cápsula otimizada (CO), obtendo-se uma taxa de liberação, nos primeiros 20 minutos, na ordem de 16%, 41%, 68% e 80%, respectivamente. Observa-se também que após esse período, houve uma estabilização equilíbrio nas taxas de liberação de antocianinas no fluído gástrico.

Figura 3.4 - Percentual de liberação (%) (Ct/Ci) de antocianinas ao longo do processo de digestão em fluído gástrico simulado da Cápsula Otimizada (CO), da Cápsula Livre (CL), da Polpa (POLP) e do Extrato Antociânico (EXT) do fruto do jambolão.



Fonte: Autores, 2022.

Os resultados encontrados assemelham-se aos achados por Carvalho et al. (2019), uma vez que os autores observaram um aumento significativo no teor de antocianinas no fluído gástrico nos primeiros 40 min da etapa de digestão. Esse perfil também foi observado por Fang et al. (2020), onde os autores ao avaliarem o efeito do encapsulamento do extrato de antocianina purificada (ANP) do bagaço de amoreira na bioacessibilidade do pigmento, identificaram nos primeiros 30 min de digestão, uma liberação de antocianinas no fluído gástrico média de $98,92 \pm 1,27\%$ do total presente nas cápsulas desenvolvidas, valores esses ligeiramente superiores aos reportados no presente trabalho (84% e 74% para a CO e CL).

Ćujić et al. (2016) apontam que as taxas de liberação de polifenóis em cápsulas de alginato ocorrem em três fases distintas: i) fase de liberação rápida (efeito de explosão) que ocorre nos primeiros 10 min; ii) fase de liberação constantes que ocorre entre os 10 – 20 min de digestão (tempo de latência); iii) fase de declínio com tendência de diminuição na concentração de polifenóis no meio, devido principalmente ao fenômeno de saturação desse composto. Sendo esse perfil apresentado no presente trabalho.

Um fato importante e que pode ser observado na Figura 3.4 é que nos primeiros 120 min em contato com o fluído gástrico, houve uma percentual de liberação (%) de cerca de 96% do teor de antocianinas contidas na cápsula otimizada. E ao comparar esse comportamento, com a cápsula sem adição de amido e inulina, ou seja, livre (CL) desses agentes, observa-se que esta apresentou uma taxa de liberação menor, cerca de 79% do teor de antocianinas retidas originalmente na cápsula. Indicando que a presença dos agentes de preenchimento (amido/inulina) não interferiram nas taxas de liberação do pigmento.

Esse comportamento difere dos encontrados por Ćujić et al. (2016) e Córdoba, Deladino e Martino (2013), em que os autores observaram um efeito de prolongamento nas taxas de liberação de antocianinas e polifenóis de erva-mate nas cápsulas de alginato preenchidas com inulina e amido, respectivamente.

É importante salientar que são diversos os fatores que podem influenciar nas taxas de liberação em cápsulas de alginato, de toda forma, as maiores taxas de liberação no fluído gástrico estão associadas a carga protonada, a qual assume os grupamentos carboxílicos do alginato em baixos valores de pH, tal comportamento causa uma diminuição da repulsão entre as funções carboxílicas, causando conseqüentemente perda de água do interior da cápsula (sinérese), com conseqüente liberação do material aprisionado e diminuição do tamanho da partícula (AGARWAL et al., 2015; CONG et al., 2018; RANDHAN et al., 2019).

Nesse contexto, Randhan et al. (2019) avaliaram os efeitos das variações do pH do meio nas propriedades de gel de alginato elaborados pelo processo de gelificação iônica externa e segundo os autores, baixos valores de pH (pH 4,0) atuam proporcionando uma maior força e sinérese do gel. Essa condição foi identificada nesta dissertação, visto que as maiores taxas de liberação ocorreram no fluído gástrico (pH 1,5) para todas as cápsulas elaboradas.

Apesar dessa diferença, é importante destacar que em ambos os casos as taxas de liberação das antocianinas encapsuladas foram maiores do que a polpa, onde nos primeiros 120

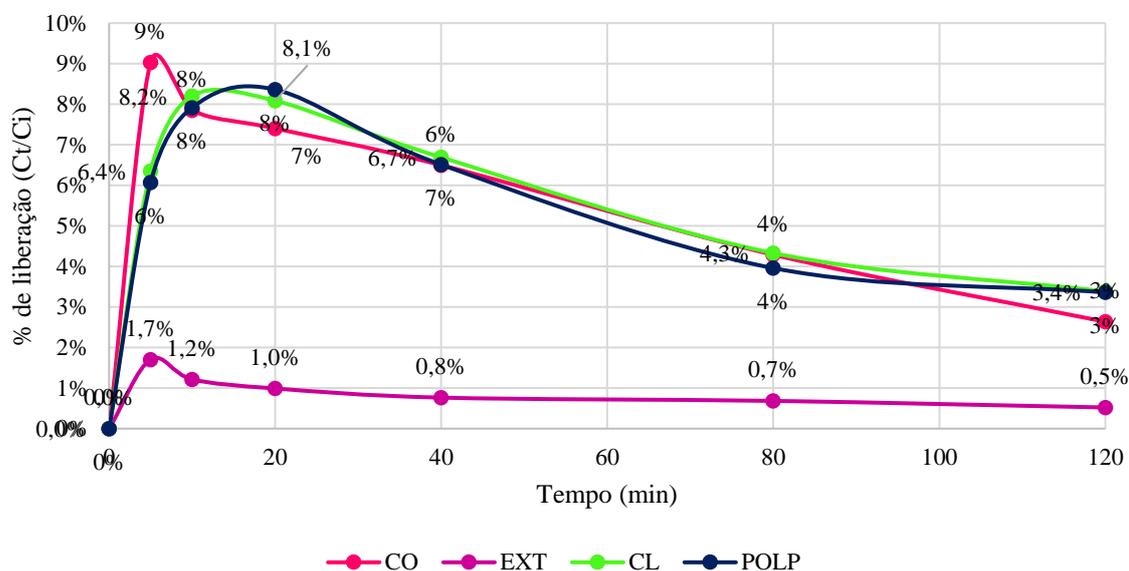
minutos de digestão simulada as taxas de liberação desta chegou a um máximo de 51% (80 min). Tal comportamento fundamenta-se na teoria descrita por Oliveira et al. (2015) de que o perfil de liberação de antocianinas não é afetada exclusivamente pelo ambiente gastrointestinal, mas irá depender também da matriz a qual esse pigmento está aprisionado.

Nesse sentido, estudos que visem a avaliação da bioacessibilidade das antocianinas nas diferentes matrizes são de fundamental importância, visto que dentre os flavonoides, as antocianinas são os compostos que possuem a menor biodisponibilidade, variando entre 1 e 12,38%, respectivamente (CZANK et al., 2013; LIMA et al., 2016). Assim, o desenvolvimento de alimentos, que permitam uma maior liberação desse composto, poderá atuar melhorando a sua biodisponibilidade e conseqüentemente seu efeito e de seus metabólitos no organismo humano.

Dessa forma, observa-se que o tipo de matriz a qual as antocianinas estão contidas, influenciam diretamente na bioacessibilidade desse composto. Como exemplo, observou-se que a matriz alimentar (polpa do fruto) atuou retendo o pigmento natural dentro de sua estrutura, diminuindo conseqüentemente a sua bioacessibilidade. Comportamento esse inverso as cápsulas livres (CL) e otimizadas (CO), que nos primeiros 120 minutos, liberaram quase que 100% do conteúdo encapsulado. Demonstrando a potencialidade de uso do processo de encapsulamento por gelificação iônica como uma ferramenta de liberação em condições ambientais específicas desse pigmento natural.

Além disso, maiores taxas de liberação no fluido gástrico simulado influenciaram diretamente no conteúdo de antocianinas no fluido intestinal simulado (Figura 3.5). E esse comportamento é de suma importância tendo em vista que em pH ácido as antocianinas encontram-se em sua forma estável de cátion flavílio, diferentemente da sua conformação (hemiacetal, chalcona, base quinoidal) instável em pH neutro e alcalino (DANGLES; FENGER, 2018). Dessa forma, observou-se menores concentrações de antocianinas para todos os materiais avaliados no fluido intestinal e além disso, houve uma queda no conteúdo de antocianinas ao longo do tempo, fator esse que pode estar associado a pH do fluido intestinal (7,4) que pode acarretar em maior instabilidade nas antocianinas ao longo do tempo, com conseqüente diminuição da sua biodisponibilidade (SUI; DONG; ZHOU, 2014; HERRERA-BALANDRANO et al., 2021).

Figura 3.5 - Percentual de liberação (%) (Ct/Ci) de antocianinas ao longo do processo de digestão em fluido intestinal simulado da Cápsula Otimizada (CO), da Cápsula Livre (CL), da Polpa (POLP) e do Extrato Antociânico (EXT) do fruto do jambolão.



Fonte: Autores, 2022.

Os resultados encontrados no presente trabalho em relação ao perfil de liberação em fluidos intestinais (pH 7,2) são semelhantes aos reportados no trabalho Zhang et al. (2020) e Oliveira et al. (2019), que identificaram queda no teor de antocianinas ao longo da fase intestinal simulada, apontando como principal causa o efeito adverso dos elevados valores de pH (neutro ou alcalino) na estabilidade e biodisponibilidade do pigmento.

Apesar dos resultados promissores encontrados no presente trabalho, que apontam um efeito protetor e melhor taxas de bioacessibilidade das antocianinas do jambolão (*S. cumini*) encapsuladas pela técnica de gelificação iônica, novos estudos precisam ser desenvolvidos com objetivo de avaliar os efeitos de tal processo em modelo *in-vivo* e, estudos de aplicação das cápsulas em matrizes alimentares ou na forma de fármacos também podem servir como ferramentas para elucidar os processos que envolvem a biodisponibilidade das antocianinas.

4 CONCLUSÕES

Nesse estudo buscou-se otimizar através de um Delineamento de Composto Central Rotacional (DCCR 2²) o processo de encapsulamento de extratos antociânicos do jambolão (*S. cumini* L. Skeels) pela técnica de gelificação iônica externa. O modelo matemático gerado pelo planejamento experimental, tendo como variável resposta a eficiência de encapsulamento de antocianinas – EEA (%), possuiu elevado poder preditivo (R² 0,9306), não necessitando de

ajustes (p do lack of fit $> 0,005$). Comportamento esse confirmado através do estudo de validação, visto que a cápsula otimizada (Amido - 1,25% e Inulina – 1,8) apresentou uma EEA (%) na ordem de 67,10%, próximo ao 61% predito como ponto máximo do modelo.

A cápsula otimizada apresentou uma eficiência de encapsulamento dos outros parâmetros bioativos superior a 50%, preservado inclusive a capacidade antioxidante do extrato, visto que para todos os valores (ABTS e FRAP) houve uma EE (%) superior a 90%.

Por fim, observou-se através da microscopia eletrônica de varredura (MEV) que a incorporação do amido e da inulina causou influência na estrutura física das cápsulas. E que o processo de encapsulamento garantiu uma maior estabilidade ao longo do armazenamento tanto sob refrigeração (5°C), quanto em temperatura ambiente (30°C). Além disso, observou-se que as cápsulas otimizadas garantiram maiores percentuais de liberação (96%) do pigmento encapsulado no fluido gástrico simulado, quando comparados inclusive com a polpa do fruto (50%).

Esses resultados são muito promissores. No entanto, novos estudos *in-vivo* precisam ser realizados com objetivo de uma melhor compreensão do perfil de liberação das antocianinas do jambolão livres, encapsuladas e dispostas em diversas matrizes alimentares, permitindo uma melhor compreensão dos fatores que afetam a sua bioacessibilidade e a sua biodisponibilidade.

REFERÊNCIAS

ABBAS, S.; WINK, M. Green Tea Extract Induces the Resistance of *Caenorhabditis elegans* against Oxidative Stress. **Antioxidants**, v. 3, n. 1, p. 129–143, mar. 2014. DOI 10.3390/antiox3010129.

ABOONABI, A.; SINGH, I.; ROSE, MEYER, R. Cytoprotective effects of berry anthocyanins against induced oxidative stress and inflammation in primary human diabetic aortic endothelial cells. **Chemico-Biological Interactions**, v. 317, p. 108940, 1 fev. 2020. DOI 10.1016/j.cbi.2020.108940.

AGARWAL, T.; NARAYANA, S. N. G. H.; PAL, K.; PRAMANIK, K.; GIRI, S.; BANERJEE, I. Calcium alginate-carboxymethyl cellulose beads for colon-targeted drug delivery. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 75, p. 409–417, 1 abr. 2015. DOI 10.1016/j.ijbiomac.2014.12.052.

AHMAD, M.; ASHRAF, B.; GANI, A.; GANI, A. Microencapsulation of saffron anthocyanins using β glucan and β cyclodextrin: Microcapsule characterization, release behaviour & antioxidant potential during in-vitro digestion. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 109, p. 435–442, abr. 2018. DOI 10.1016/j.ijbiomac.2017.11.122.

AIZPURUA-OLAIZOLA, O.; NAVARRO, P.; VALLEJO, A.; OLIVARES, M.; ETXEBARRIA, N.; USOBIAGA, A. Microencapsulation and storage stability of polyphenols from *Vitis vinifera* grape wastes. **Food Chemistry**, v. 190, p. 614–621, jan. 2016. DOI 10.1016/j.foodchem.2015.05.117.

ALAVI, F.; EMAM-DJOMEH, Z.; YARMAND, M. S.; SALAMI, M.; MOMEN, S.; MOOSAVI-MOVAHEDI, A. A. Cold gelation of curcumin loaded whey protein aggregates mixed with k-carrageenan: Impact of gel microstructure on the gastrointestinal fate of curcumin. **Food Hydrocolloids**, v. 85, p. 267–280, dez. 2018. DOI 10.1016/j.foodhyd.2018.07.012.

ALVAREZ-SUAREZ, J. M.; CUADRADO, C.; REDONDO, I. B.; GIAMPIERI, F.; GONZÁLEZ-PARAMÁS, A. M.; SANTOS-BUELGA, C. Novel approaches in anthocyanin research - Plant fortification and bioavailability issues. *Trends in Food Science & Technology, Plant-Based Bioactive Compounds: Healthy Promoters And Protective Agents*. v. 117, p. 92–105, 1 nov. 2021. DOI 10.1016/j.tifs.2021.01.049.

AOAC. Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis of AOAC international**. 17^a ed., Washington, 2002.

BALANČ, B.; KALUŠEVIĆ, A.; DRVENICA, I.; COELHO, M. T.; DJORDJEVIĆ, V.; ALVES, V. D.; SOUSA, I.; MOLDÃO-MARTINS, M.; RAKIĆ, V.; NEDOVIĆ, V.; BUGARSKI, B. Calcium-Alginate-Inulin Microbeads as Carriers for Aqueous Carqueja Extract: Alginate-inulin microbeads as carriers. **Journal of Food Science**, v. 81, n. 1, p. E65–E75, jan. 2016. DOI 10.1111/1750-3841.13167.

BELSCAK-CVITANOVIC A.; BUSIC, A. L. BARISIC; VRSALJKO, D.; KARLOVIC, S.; SPOLJARIC, I.; ; VRSALJKO, A.; MRSIC, G.; KOMES, D. Emulsion templated microencapsulation of dandelion (*Taraxacum officinale* L.) polyphenols and β -carotene by ionotropic gelation of alginate and pectin. **Food Hydrocolloids**, v. 57, p. 139 – 152, 2016.

BENZIE, I. F. F.; STRAIN, J. J. The Ferric Reducing Ability Power (FRAP) as a measure of antioxidante power: The FRAP assay. **Analytical Biochemistry**, v. 239, p. 70 – 76, 1996.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Metodologia Científica: Determinação da Atividade Antioxidante Total em Frutas pela Captura do Radical Livre ABTS. **Comunicado Técnico**, 128, 2007.

BRITO, B. N. C.; DA SILVA PENA, R.; SANTOS LOPES, A.; CAMPOS CHISTÉ, R. Anthocyanins of Jambolão (*Syzygium cumini*): Extraction and pH-Dependent Color Changes: Anthocyanins of *Syzygium cumini*.... **Journal of Food Science**, v. 82, n. 10, p. 2286–2290, out. 2017. DOI 10.1111/1750-3841.13847.

CARVALHO, A. G. S.; DA COSTA MACHADO, M. T.; DE FREITAS QUEIROZ BARROS, H. D.; CAZARIN, C. B. B.; MARÓSTICA JUNIOR, M. R.; HUBINGER, M. D. Anthocyanins from jussara (*Euterpe edulis* Martius) extract carried by calcium alginate beads pre-prepared using ionic gelation. **Powder Technology**, v. 345, p. 283–291, mar. 2019. DOI 10.1016/j.powtec.2019.01.016.

CASTAÑEDA-OVANDO, A.; PACHECO-HERNÁNDEZ, Ma. de L.; PÁEZ-HERNÁNDEZ, Ma. E.; RODRÍGUEZ, J. A.; GALÁN-VIDAL, C. A. Chemical studies of

anthocyanins: A review. **Food Chemistry**, v. 113, n. 4, p. 859–871, 15 abr. 2009. DOI 10.1016/j.foodchem.2008.09.001.

CAVALCANTE, G. C.; BARROS FILHO, D. de A.; FREITAS, A. J. D. de; SOUSA, J. dos S.; FREITAS, J. D. de; MOREIRA, W. M. Recobrimento de Superfícies metálicas por Filmes de Titânia meso-macroporosa. **Diversitas Journal**, v. 6, n. 1, p. 848–858, 30 jan. 2021. DOI 10.17648/diversitas-journal-v6i1-1467.

CELLI, G. B.; GHANEM, A.; BROOKS, M. S.-L. Optimized encapsulation of anthocyanin-rich extract from haskap berries (*Lonicera caerulea* L.) in calcium-alginate microparticles. **Journal of Berry Research**, v. 6, n. 1, p. 1–11, 1 jan. 2016. DOI 10.3233/JBR-150107.

CHAI, J.; JIANG, P.; WANG, P.; JIANG, Y.; LI, D.; BAO, W.; LIU, B.; LIU, B.; ZHAO, L.; NORDE, W.; YUAN, Q.; REN, F.; LI, Y. The intelligent delivery systems for bioactive compounds in foods: Physicochemical and physiological conditions, absorption mechanisms, obstacles and responsive strategies. **Trends in Food Science & Technology**, v. 78, p. 144–154, ago. 2018. DOI 10.1016/j.tifs.2018.06.003.

CHANG, S.K.; SCIENCES, H.; JALIL, B.; How Food Structure and Processing Affect the Bioavailability of Nutrients and Antioxidants. **Encyclopedia of Food Chemistry**, Elsevier (2018), 10.1016/B978-0-12-814026-0.21723-X

CHEN, Z.; FARAG, M. A.; ZHONG, Z.; ZHANG, C.; YANG, Y.; WANG, S.; WANG, Y. Multifaceted role of phyto-derived polyphenols in nanodrug delivery systems. **Advanced Drug Delivery Reviews**, v. 176, p. 113870, set. 2021. DOI 10.1016/j.addr.2021.113870.

CONDEZO-HOYOS, L.; GAZI, C.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J. Design of polyphenol-rich diets in clinical trials: A systematic review. *Food Research International*, v. 149, p. 110655, nov. 2021. DOI 10.1016/j.foodres.2021.110655. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0963996921005548>. Acesso em: 27 jan. 2022.

CONG, Z.; SHI, Y.; WANG, Y.; WANG, Y.; NIU, J.; CHEN, N.; XUE, H. A novel controlled drug delivery system based on alginate hydrogel/chitosan micelle composites. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 107, p. 855–864, 1 fev. 2018. DOI 10.1016/j.ijbiomac.2017.09.065.

CÓRDOBA, A. L.; DELADINO, L.; MARTINO, M. Effect of starch filler on calcium-alginate hydrogels loaded with yerba mate antioxidants. **Carbohydrate Polymers**, v. 95, n. 1, p. 315–323, 5 jun. 2013. DOI 10.1016/j.carbpol.2013.03.019.

ĆUJIĆ, N.; TRIFKOVIĆ, K.; BUGARSKI, B.; IBRIĆ, S.; PLJEVLJAKUŠIĆ, D.; ŠAVIKIN, K. Chokeberry (*Aronia melanocarpa* L.) extract loaded in alginate and alginate/inulin system. **Industrial Crops and Products**, v. 86, p. 120–131, ago. 2016. DOI 10.1016/j.indcrop.2016.03.045.

CZANK, C.; CASSIDY, A.; ZHANG, Q.; MORRISON, D. J.; PRESTON, T.; KROON, P. A.; BOTTING, N. P.; KAY, C. D. Human metabolism and elimination of the anthocyanin, cyanidin-3-glucoside: a ¹³C-tracer study. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 97, n. 5, p. 995–1003, 1 maio 2013. DOI 10.3945/ajcn.112.049247.

DA SILVA, F. C.; DA FONSECA, C. R.; DE ALENCAR, S. M.; THOMAZINI, M.; BALIEIRO, J. C. de C.; PITTIA, P.; FAVARO-TRINDADE, C. S. Assessment of production

efficiency, physicochemical properties and storage stability of spray-dried propolis, a natural food additive, using gum Arabic and OS A starch-based carrier systems. **Food and Bioproducts Processing**, v. 91, n. 1, p. 28–36, jan. 2013. DOI 10.1016/j.fbp.2012.08.006.

DANGLES, O.; FENGER, J.-A. The Chemical Reactivity of Anthocyanins and Its Consequences in Food Science and Nutrition. *Molecules*, v. 23, n. 8, p. 1970, 7 ago. 2018. DOI 10.3390/molecules23081970. Disponível em: <http://www.mdpi.com/1420-3049/23/8/1970>. Acesso em: 25 jan. 2022.

DASHEVSKY, A. Protein loss by the microencapsulation of an enzyme (lactase) in alginate beads. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 161, n. 1, p. 1–5, 9 fev. 1998. DOI 10.1016/S0378-5173(97)00172-5.

ECHEGARAY, N.; MUNEKATA, P. E. S.; GULLÓN, P.; DZUVOR, C. K. O.; GULLÓN, B.; KUBI, F.; LORENZO, J. M. Recent advances in food products fortification with anthocyanins. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 0, n. 0, p. 1–15, 16 nov. 2020. DOI 10.1080/10408398.2020.1844141.

ESCRIBANO-BAILÓN, M. T.; SANTOS-BUELGA, C.; RIVAS-GONZALO, J. C. Anthocyanins in cereals. **Journal of Chromatography.**, v. 1054, n. 1–2, p. 129–141, out. 2004. DOI 10.1016/j.chroma.2004.08.152.

SOUZA F.N.; GEBARA C; RIBEIRO, M.C.E.; CHAVES, K.S.; GIGANTE, M.L.; GROSSO, C.R.F. Production and characterization of microparticles containing pectin and whey proteins. **Food Res. Int.**, 49 (2012), pp. 560-566

FANG, J.-L.; LUO, Y.; YUAN, K.; GUO, Y.; JIN, S.-H. Preparation and evaluation of an encapsulated anthocyanin complex for enhancing the stability of anthocyanin. **LWT**, v. 117, p. 108543, 1 jan. 2020. DOI 10.1016/j.lwt.2019.108543.

FARIA, A. F.; MARQUES, M. C.; MERCADANTE, A. Z. Identification of bioactive compounds from jambolão (*Syzygium cumini*) and antioxidant capacity evaluation in different pH conditions. **Food Chemistry**, v. 126, n. 4, p. 1571–1578, 15 jun. 2011. DOI 10.1016/j.foodchem.2010.12.007.

FERNANDES, I.; MARQUES, C.; ÉVORA, A.; FARIA, A.; CALHAU, C.; MATEUS, N.; DE FREITAS, V. Anthocyanins: Nutrition and Health. In: MÉRILLON, J.-M.; RAMAWAT, K. G. (orgs.). **Bioactive Molecules in Food. Cham: Springer International Publishing**, 2018. p. 1–37. DOI 10.1007/978-3-319-54528-8_79-1.

FONSECA, M. D. S.; SANTOS, V. A. Q.; CUNHA, M. A. A. da. Determinação de Compostos Fenólicos, Antocianinas e Atividade Antioxidante de Mirtilos em Protocolos com Diferentes Agentes Extratores. In: V SIMPÓSIO DE BIOQUÍMICA E BIOTECNOLOGIA, 1., 2015. Blucher Biochemistry Proceedings [...]. [S. l.: s. n.], 2015. v. 1, p. 370–370.

FU, S.; THACKER, A.; SPERGER, D. M.; BONI, R. L.; BUCKNER, I. S.; VELANKAR, S.; MUNSON, E. J.; BLOCK, L. H. Relevance of Rheological Properties of Sodium Alginate in Solution to Calcium Alginate Gel Properties. **AAPS PharmSciTech**, v. 12, n. 2, p. 453–460, jun. 2011. DOI 10.1208/s12249-011-9587-0.

HE, B.; GE, J.; YUE, P.; YUE, X.; FU, R.; LIANG, J.; GAO, X. Loading of anthocyanins on chitosan nanoparticles influences anthocyanin degradation in gastrointestinal fluids and

stability in a beverage. **Food Chemistry**, v. 221, p. 1671–1677, 15 abr. 2017. DOI 10.1016/j.foodchem.2016.10.120.

HE, J.; GIUSTI, M. M. Anthocyanins: Natural Colorants with Health-Promoting Properties. **Annual Review of Food Science and Technology**, v. 1, n. 1, p. 163–187, 1 abr. 2010. DOI 10.1146/annurev.food.080708.100754.

HERRERA-BALANDRANO, D. D.; CHAI, Z.; BETA, T.; FENG, J.; HUANG, W. Blueberry anthocyanins: An updated review on approaches to enhancing their bioavailability. **Trends in Food Science & Technology**, v. 118, p. 808–821, 1 dez. 2021. DOI 10.1016/j.tifs.2021.11.006.

HOSSEINIAN, F. S.; LI, W.; BETA, T. Measurement of anthocyanins and other phytochemicals in purple wheat. **Food Chemistry**, v. 109, n. 4, p. 916–924, ago. 2008. DOI 10.1016/j.foodchem.2007.12.083.

JAPÓN, G. E. R.; JARAMILLO, C. G. J.; RUBIO, O. C.; HERAS, L. E. G. Composición química y actividad hipoglucémica de los extractos de *Anacardium occidentale* L. (marañón). **Revista Cubana de Plantas Medicinales**, v. 22, n. 4, 28 fev. 2018.

KAMONPATANA, K.; FAILLA, M. L.; KUMAR, P. S.; GIUSTI, M. M. Anthocyanin Structure Determines Susceptibility to Microbial Degradation and Bioavailability to the Buccal Mucosa. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 62, n. 29, p. 6903–6910, 23 jul. 2014. DOI 10.1021/jf405180k.

KOOP, L. B.; NASCIMENTO DA SILVA, M.; DINIZ DA SILVA, F.; THAYRES DOS SANTOS LIMA, K.; SANTOS SOARES, L.; JOSÉ DE ANDRADE, C.; AYALA VALENCIA, G.; RODRIGUES MONTEIRO, A. Flavonoids, anthocyanins, betalains, curcumin, and carotenoids: Sources, classification and enhanced stabilization by encapsulation and adsorption. **Food Research International**, v. 153, p. 110929, 1 mar. 2022. DOI 10.1016/j.foodres.2021.110929.

KOOP, L. B.; NASCIMENTO DA SILVA, M.; DINIZ DA SILVA, F.; THAYRES DOS SANTOS LIMA, K.; SANTOS SOARES, L.; JOSÉ DE ANDRADE, C.; AYALA VALENCIA, G.; RODRIGUES MONTEIRO, A. Flavonoids, anthocyanins, betalains, curcumin, and carotenoids: Sources, classification and enhanced stabilization by encapsulation and adsorption. **Food Research International**, v. 153, p. 110929, 1 mar. 2022. DOI 10.1016/j.foodres.2021.110929.

KUROZAWA, L. E.; HUBINGER, M. D. Hydrophilic food compounds encapsulation by ionic gelation. *Current Opinion in Food Science, Sensory Sciences and Consumer Perception* • **Food Physics and Material Science**, v. 15, p. 50–55, 1 jun. 2017. DOI 10.1016/j.cofs.2017.06.004.

LA ROSA, L. A.; MORENO-ESCAMILLA, J. O.; RODRIGO-GARCÍA, J.; ALVAREZ-PARRILLA, E. Chapter 12 - Phenolic Compounds. In: YAHIA, E. M. (org.). *Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables*. [S. l.]: **Woodhead Publishing**, 2019. p. 253–271. DOI 10.1016/B978-0-12-813278-4.00012-9.

LEE, J. H.; DURST, R. W.; WROLSTAD, R. E. Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juice, beverages, natural colorants, and wines by the pH

differential method: **Collaborative Study. Journal of AOAC . International** 88 (5), 1269-1278, 2005.

LENTH, R.V. (2009) “Response-Surface Methods in R, Using rsm”, *Journal of Statistical Software*, 32(7), 1–17. doi: 10.18637/jss.v032.i07

LI, L.; ZHANG, Y.; SEERAM, N. P. Structure of Anthocyanins from Eugenia Jambolana Fruit. **Natural Product Communications**, v. 4, n. 2, p. 1934578X0900400, fev. 2009. DOI 10.1177/1934578X0900400210.

LILA, M. A.; BURTON-FREEMAN, B.; GRACE, M.; KALT, W. Unraveling Anthocyanin Bioavailability for Human Health. **Annual Review of Food Science and Technology**, v. 7, n. 1, p. 375–393, 28 fev. 2016. DOI 10.1146/annurev-food-041715-033346.

LIU D.; WU P.; Studies on the antioxidant activity of inulin and its mechanism. **Journal of Food Science & Biotechnology**, 34 (9) (2015), pp. 1002-1007

LIU, K.; ZHA, X.-Q.; SHEN, W.-D.; LI, Q.-M.; PAN, L.-H.; LUO, J.-P. The hydrogel of whey protein isolate coated by lotus root amylopectin enhance the stability and bioavailability of quercetin. *Carbohydrate Polymers*, v. 236, p. 116009, maio 2020. DOI 10.1016/j.carbpol.2020.116009.

LÓPEZ-CÓRDOBA, A.; DELADINO, L.; MARTINO, M. Release of yerba mate antioxidants from corn starch–alginate capsules as affected by structure. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], v. 99, p. 150–157, 2014.

MAESTRELLI, F.; ZERROUK, N.; CIRRI, M.; MENNINI, N.; MURA, P. Microspheres for colonic delivery of ketoprofen-hydroxypropyl- β -cyclodextrin complex. **European Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 34, n. 1, p. 1–11, 10 maio 2008. DOI 10.1016/j.ejps.2008.02.001.

MATTIOLI, R.; FRANCIOSO, A.; MOSCA, L.; SILVA, P. Anthocyanins: A Comprehensive Review of Their Chemical Properties and Health Effects on Cardiovascular and Neurodegenerative Diseases. **Molecules**, v. 25, n. 17, p. 3809, jan. 2020. DOI 10.3390/molecules25173809.

MELO, F. de O.; CONSTANT, P. B. L. Microencapsulação por Gelificação Iônica: uma prospecção tecnológica com base no INPI. **Cadernos de Prospecção**, v. 14, n. 4, p. 1236–1247, 1 out. 2021. DOI 10.9771/cp.v14i4.37093..

MOURA, S. C. S. R.; BERLING, C. L.; GERMER, S. P. M.; ALVIM, I. D.; HUBINGER, M. D. Encapsulating anthocyanins from Hibiscus sabdariffa L. calyces by ionic gelation: Pigment stability during storage of microparticles. **Food Chemistry**, v. 241, p. 317–327, 15 fev. 2018. DOI 10.1016/j.foodchem.2017.08.095.

MUZAFFAR, K., WANI, S. A., DINKARRAO, B. V., KUMAR, P. Determination of production efficiency, color, glass transition, and sticky point temperature of spray-dried pomegranate juice powder, *Cogent Food & Agriculture*, v. 15, n. 1, p. 2–7. 2016.

NAHID, S.; MAZUMDER, K.; RAHMAN, Z.; ISLAM, S.; RASHID, Md. H.; KERR, P. G. Cardio- and hepato-protective potential of methanolic extract of *Syzygium cumini* (L.) Skeels

seeds: A diabetic rat model study. **Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine**, v. 7, n. 2, p. 126–133, 1 fev. 2017. DOI 10.1016/j.apjtb.2016.11.025.

OLIVEIRA, A.; PINTADO, M. In vitro evaluation of the effects of protein–polyphenol–polysaccharide interactions on (+)-catechin and cyanidin-3-glucoside bioaccessibility. **Food & Function**, v. 6, n. 11, p. 3444–3453, 4 nov. 2015. DOI 10.1039/C5FO00799B.

OLIVEIRA, H.; PEREZ-GREGÓRIO, R.; DE FREITAS, V.; MATEUS, N.; FERNANDES, I. Comparison of the in vitro gastrointestinal bioavailability of acylated and non-acylated anthocyanins: Purple-fleshed sweet potato vs red wine. **Food Chemistry**, v. 276, p. 410–418, 15 mar. 2019. DOI 10.1016/j.foodchem.2018.09.159.

OTÁLORA, M. C.; CARRIAZO, J. G.; ITURRIAGA, L.; OSORIO, C.; NAZARENO, M. A. Encapsulating betalains from *Opuntia ficus-indica* fruits by ionic gelation: Pigment chemical stability during storage of beads. **Food Chemistry**, v. 202, p. 373–382, 1 jul. 2016. DOI 10.1016/j.foodchem.2016.01.115.

PANT, K.; THAKUR, M.; CHOPRA, H. K.; NANDA, V. Encapsulated bee propolis powder: Drying process optimization and physicochemical characterization. **LWT**, v. 155, p. 112956, 1 fev. 2022. DOI 10.1016/j.lwt.2021.112956.

PAWAR, S. N.; EDGAR, K. J. Alginate derivatization: A review of chemistry, properties and applications. **Biomaterials**, v. 33, n. 11, p. 3279–3305, 1 abr. 2012. DOI 10.1016/j.biomaterials.2012.01.007.

PEREIRA, D. C. de S.; CAMPOS, A. N. da R.; MARTINS, M. L.; MARTINS, E. M. F. Extração de compostos bioativos dos frutos da Juçara: o açaí da Mata Atlântica. **Hig. aliment**, p. 113–120, 2018.

PRIOR, R. L.; WU, X. Anthocyanins: Structural characteristics that result in unique metabolic patterns and biological activities. **Free Radical Research**, v. 40, n. 10, p. 1014–1028, 1 jan. 2006. DOI 10.1080/10715760600758522.

QAMAR, M.; AKHTAR, S.; ISMAIL, T.; WAHID, M.; ALI, S.; NAZIR, Y.; MURTAZA, S.; ABBAS, M. W.; ZIORA, Z. M. *Syzygium cumini* (L.) Skeels extracts; in vivo anti-nociceptive, anti-inflammatory, acute and subacute toxicity assessment. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 287, p. 114919, 6 abr. 2022. DOI 10.1016/j.jep.2021.114919.

QAMAR, M.; AKHTAR, S.; ISMAIL, T.; YUAN, Y.; AHMAD, N.; TAWAB, A.; ISMAIL, A.; BARNARD, R. T.; COOPER, M. A.; BLASKOVICH, M. A. T.; ZIORA, Z. M. *Syzygium cumini*(L.),Skeels fruit extracts: In vitro and in vivo anti-inflammatory properties. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 271, p. 113805, 10 maio 2021. DOI 10.1016/j.jep.2021.113805.

R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

RAMDHAN, Tezar; CHING, Su Hung; PRAKASH, Sangeeta; BHANDARI, Bhesh. Time dependent gelling properties of cuboid alginate gels made by external gelation method: Effects of alginate-CaCl₂ solution ratios and pH. **Food Hydrocolloids**, v. 90, p. 232–240, maio 2019. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.12.022>.

RAUF, A.; KHAN, I. A.; MUHAMMAD, N.; AL-AWTHAN, Y. S.; BAHATTAB, O.; ISRAR, M.; MUBARAK, M. S. Phytochemical composition, in vitro urease, α -glucosidase and phosphodiesterase inhibitory potency of *Syzygium cumini* (Jamun) fruits. **South African Journal of Botany**, v. 143, p. 418–421, 1 dez. 2021. DOI 10.1016/j.sajb.2021.04.006.

REHM, B. (Org.). **Alginates: biology and applications**. Dordrecht ; New York: Springer, 2009 (Microbiology monographs, v. 13).

REQUENA, T.; MONAGAS, M.; POZO-BAYÓN, M. A.; MARTÍN-ÁLVAREZ, P. J.; BARTOLOMÉ, B.; DEL CAMPO, R.; ÁVILA, M.; MARTÍNEZ-CUESTA, M. C.; PELÁEZ, C.; MORENO-ARRIBAS, M. V. Perspectives of the potential implications of wine polyphenols on human oral and gut microbiota. **Trends in Food Science & Technology**, v. 21, n. 7, p. 332–344, 1 jul. 2010. DOI 10.1016/j.tifs.2010.04.004.

RESENDE, L. G. M.; SANTOS, J. dos; SANTOS, B. S. dos; TELES, A. R. S.; CONSTANT, P. B. L. Corante antociânico extraído do fruto jabolão: formulação e avaliação da estabilidade dos compostos bioativos. **Interação**, v. 21, n. 1, p. 645–658, 30 mar. 2021. DOI 10.53660/inter-072-SS07.

RESENDE, L. G. M.; **FORMULAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE CORANTES DE ANTOCIANINAS EXTRAÍDOS DO FRUTO TROPICAL JABOLÃO (*Syzygium cumini*)**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Sergipe - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, 2016.

RIBEIRO, Alessandra B.; BONAFÉ, Elton G.; SILVA, Beatriz C.; MONTANHER, Paula F.; SANTOS JÚNIOR, Oscar O.; BOEING, Joana S.; VISENTAINER, Jesuí V. Antioxidant Capacity, Total Phenolic Content, Fatty Acids and Correlation by Principal Component Analysis of Exotic and Native Fruits from Brazil. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, 2013. DOI 10.5935/0103-5053.20130105.

RIGOLON, T. C. B. **Predição do conteúdo de antocianinas, fenólicos totais e capacidade antioxidante dos frutos de amora (*Rubus sp.*), mirtilo (*Vaccinium sp.*) e casca de jaboticaba (*Plinia jaboticaba*) usando parâmetros colorimétricos**. 7 jul. 2017. Disponível em: <https://locus.ufv.br/handle/123456789/11724>. Acesso em: 20 jan. 2022.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Update on natural food pigments - A mini-review on carotenoids, anthocyanins, and betalains. **Food Research International**, v. 124, p. 200–205, out. 2019. DOI 10.1016/j.foodres.2018.05.028.

RONKART, S.; BLECKER, C.; FOUGNIES, C.; VAN HERCK, J. C.; WOUTERS, J.; PAQUOT, M. Determination of physical changes of inulin related to sorption isotherms: An X-ray diffraction, modulated differential scanning calorimetry and environmental scanning electron microscopy study. **Carbohydrate Polymers**, v. 63, n. 2, p. 210–217, 3 fev. 2006. DOI 10.1016/j.carbpol.2005.08.030.

RUDHRABATLA, P. V. S. A.; JALABABU, R.; KRISHNA RAO, K. S. V.; SURESH REDDY, K. V. N. Fabrication and characterisation of curcumin loaded pH dependent sodium alginate-g-poly(acryloyl phenylalanine)-cl-ethylene glycol vinyl ether-co- hydroxyethyl acrylate hydrogels and their in-vitro, in-vivo and toxicological evaluation studies. **Journal of Drug Delivery Science and Technology**, v. 51, p. 438–453, jun. 2019. DOI 10.1016/j.jddst.2019.03.020.

SANGUANSRI, L.; DAY, L.; SHEN, Z.; FAGAN, P.; WEERAKKODY, R.; CHENG, L. J.; AUGUSTIN, A. Encapsulation of mixtures of tuna oil, tributyrin and resveratrol in a spray dried powder formulation. **Food & Function**, v.4, p. 1794-1802, 2013.

SANTIAGO, G. de L. **Compostos bioativos fenólicos de frutos nativos da família Myrtaceae: Avaliação da bioacessibilidade e do potencial funcional relacionado às doenças cardiovasculares**. Mestrado em Bromatologia – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018. DOI 10.11606/D.9.2018.tde-06042018-142314.

SANTOS-BUELGA, C.; GONZÁLEZ-PARAMÁS, A. M. Anthocyanins. **Encyclopedia of Food Chemistry**: Elsevier, 2019. p. 10–21. DOI 10.1016/B978-0-08-100596-5.21609-0.

SHEN, Y.; ZHANG, N.; TIAN, J.; XIN, G.; LIU, L.; SUN, X.; LI, B. Advanced approaches for improving bioavailability and controlled release of anthocyanins. **Journal of Controlled Release**, v. 341, p. 285–299, jan. 2022. DOI 10.1016/j.jconrel.2021.11.031.

SILVA, J. J. M. da; ROGEZ, H. Avaliação da estabilidade oxidativa do óleo bruto de açaí (*Euterpe oleracea*) na presença de compostos fenólicos puros ou de extratos vegetais amazônicos. **Química Nova**, v. 36, p. 400–406, 2013. DOI 10.1590/S0100-40422013000300009

SINELA, A.; RAWAT, N.; MERTZ, C.; ACHIR, N.; FULCRAND, H.; DORNIER, M. Anthocyanins degradation during storage of *Hibiscus sabdariffa* extract and evolution of its degradation products. **Food Chemistry**, v. 214, p. 234–241, 1 jan. 2017. DOI 10.1016/j.foodchem.2016.07.071.

SINGLETON, V. L.; JOSEPH, A.; ROSSI, J. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. **Journal of Enology and Viticulture**, v. 16, p. 144- 149, 1965.

SOBEH, M.; ESMAT, A.; PETRUK, G.; ABDELFAHATTAH, M. A. O.; DMIRIEH, M.; MONTI, D. M.; ABDEL-NAIM, A. B.; WINK, M. Phenolic compounds from *Syzygium jambos* (Myrtaceae) exhibit distinct antioxidant and hepatoprotective activities in vivo. **Journal of Functional Foods**, v. 41, p. 223–231, 1 fev. 2018. DOI 10.1016/j.jff.2017.12.055.

STOJANOVIĆ, R.; BELŠČAK-CVITANOVIĆ, A.; MANOJLOVIĆ, V.; KOMES, D.; NEDOVIĆ, V.; BUGARSKI, B.; Encapsulation of thyme (*Thymus serpyllum* L.) aqueous extract in calcium-alginate beads **J. Sci. Food Agric.**, 92 (2012), pp. 685-696

STOYANOVA, S.; GEUNS, J.; HIDEG, É.; VAN DEN ENDE, W. The food additives inulin and stevioside counteract oxidative stress. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v. 62, n. 3, p. 207–214, maio 2011. DOI 10.3109/09637486.2010.523416.

SUI, X.; DONG, X.; ZHOU, W. Combined effect of pH and high temperature on the stability and antioxidant capacity of two anthocyanins in aqueous solution. **Food Chemistry**, v. 163, p. 163–170, 15 nov. 2014. DOI 10.1016/j.foodchem.2014.04.075.

SUI, X.; ZHANG, Y.; JIANG, L.; ZHOU, W. Anthocyanins in Food. **Encyclopedia of Food Chemistry**. [S. l.]: Elsevier, 2019. p. 10–17. DOI 10.1016/B978-0-08-100596-5.21669-7.

TARONE, A. G.; CAZARIN, C. B. B.; MAROSTICA JUNIOR, M. R. Anthocyanins: New techniques and challenges in microencapsulation. **Food Research International**, v. 133, p. 109092, 1 jul. 2020. DOI 10.1016/j.foodres.2020.109092.

TONON, R. V.; BARONI, A. F.; BRABET, C.; GIBERT, O.; PALLET, D.; HUBINGER, M. D. Water sorption and glass transition temperature of spray dried açai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice. **Journal of Food Engineering**, v. 94, n. 3–4, p. 215–221, out. 2009. DOI 10.1016/j.jfoodeng.2009.03.009.

VLASEVA, R.; IVANOVA, M.; DENEV, P.; PETKOVA, N. Preparation of dairy dessert with addition of encapsulated biologically active substances. In University of Sibiu: **Proceedings of the International Conference Agri-Food Sciences Processes and Technologies**. Romania, Sibiu, may, 2014.

WAN, X.; GUO, H.; LIANG, Y.; ZHOU, C.; LIU, Z.; LI, K.; NIU, F.; ZHAI, X.; WANG, L. The physiological functions and pharmaceutical applications of inulin: A review. *Carbohydrate Polymers*, v. 246, p. 116589, 15 out. 2020. DOI 10.1016/j.carbpol.2020.116589.

XIAO, J. Recent advances in dietary flavonoids for management of type 2 diabetes. **Current Opinion in Food Science**, v. 44, p. 100806, 1 abr. 2022. DOI 10.1016/j.cofs.2022.01.002.

YANG, W.; GUO, Y.; LIU, M.; CHEN, X.; XIAO, X.; WANG, S.; GONG, P.; MA, Y.; CHEN, F. Structure and function of blueberry anthocyanins: A review of recent advances. **Journal of Functional Foods**, v. 88, p. 104864, 1 jan. 2022. DOI 10.1016/j.jff.2021.104864.

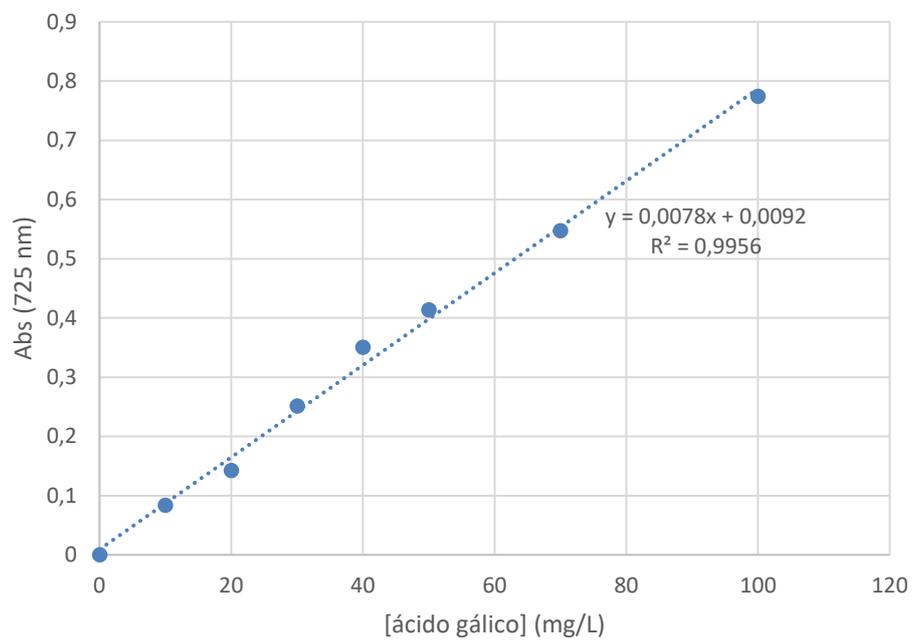
ZHANG, H.; XU, Z.; ZHAO, H.; WANG, X.; PANG, J.; LI, Q.; YANG, Y.; LING, W. Anthocyanin supplementation improves anti-oxidative and anti-inflammatory capacity in a dose–response manner in subjects with dyslipidemia. **Redox Biology**, v. 32, p. 101474, 1 maio 2020. DOI 10.1016/j.redox.2020.101474.

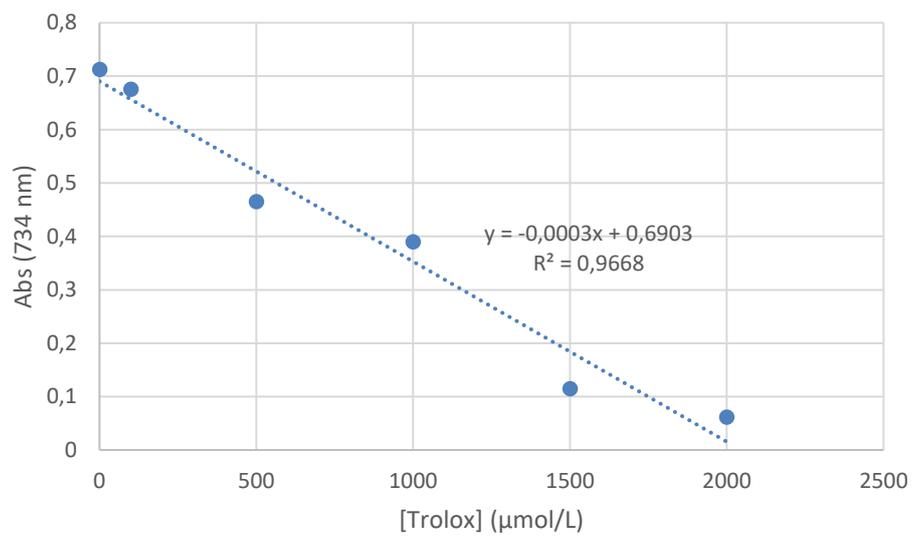
ZHANG, N.; JING, P. Anthocyanins in Brassicaceae: composition, stability, bioavailability, and potential health benefits. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 0, n. 0, p. 1–15, 1 dez. 2020. DOI 10.1080/10408398.2020.1852170.

ZHANG, R.; ZHOU, L.; LI, J.; OLIVEIRA, H.; YANG, N.; JIN, W.; ZHU, Z.; LI, S.; HE, J. Microencapsulation of anthocyanins extracted from grape skin by emulsification/internal gelation followed by spray/freeze-drying techniques: Characterization, stability and bioaccessibility. **LWT**, v. 123, p. 109097, 1 abr. 2020. DOI 10.1016/j.lwt.2020.109097.

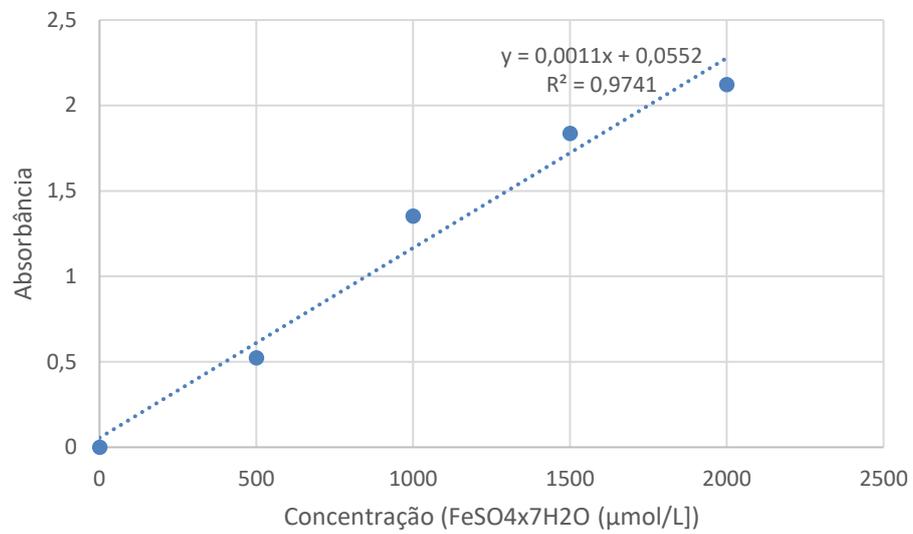
ZHOU, D.; BAI, Z.; GUO, T.; LI, J.; LI, Y.; HOU, Y.; CHEN, G.; LI, N. Dietary flavonoids and human top-ranked diseases: The perspective of in vivo bioactivity and bioavailability. **Trends in Food Science & Technology**, v. 120, p. 374–386, 1 fev. 2022. DOI 10.1016/j.tifs.2022.01.019.

APÊNDICE A - CURVA DE CALIBRAÇÃO DO ÁCIDO GÁLICO (COMPOSTOS FENÓLICOS)



APÊNDICE B – CURVA DE CALIBRAÇÃO DO TROLOX (ABTS)

APÊNDICE C – CURVA DE CALIBRAÇÃO DO SULFATO DE FERRO (II) (FRAP)



APÊNDICE D – CURVA PADRÃO DE QUERCETINA PARA FLAVONÓIDES TOTAIS

