UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO CONSUMO
PROGRAMA DE PÓS–GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

ESTABILIDADE DAS ANTOCIANINAS E APLICAÇÃO, COMO CORANTE, DO JAMBOLÃO (*Syzygium cumini (L.) Skeels*) DESIDRATADO EM ALIMENTOS

PANAIT ABU NIDAL ALVES DOS SANTOS

2023

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO CONSUMO
PROGRAMA DE PÓS–GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

PANAIT ABU NIDAL ALVES DOS SANTOS

ESTABILIDADE DAS ANTOCIANINAS E APLICAÇÃO, COMO CORANTE, DO JAMBOLÃO (*Syzygium cumini (L.) Skeels*) DESIDRATADO EM ALIMENTOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientadora: Profª. Drª. Maria Inês Sucupira Maciel.

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S237e Santos, Panait Abu Nidal Alves dos
Estabilidade das antocianinas e aplicação, como corante, do jambolão (Syzygium cumini (L.) Skeels) desidratado em alimentos / Panait Abu Nidal Alves dos Santos. - 2023.
84 f. : il.

Orientadora: Maria Ines Sucupira Maciel.
Inclui referências.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Recife, 2023.

1. Antocianinas. 2. Jambolão. 3. Atomização. 4. Microencapsulação. 5. Estabilidade. I. Maciel, Maria Ines Sucupira, orient. II. Título

CDD 664

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO CONSUMO
PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

ESTABILIDADE DAS ANTOCIANINAS E APLICAÇÃO, COMO CORANTE, DO JAMBOLÃO (*Syzygium cumini (L.) Skeels*) DESIDRATADO EM ALIMENTOS

Por Panait Abu Nidal Alves dos Santos

Esta dissertação foi defendida para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos e aprovada em 28/02/2023 pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimento em sua forma final.

Banca Examinadora

_____
Profa. Dra. Luciana Leite de A. Lima Arruda
Membro Interno Titular
Universidade Federal Rural de Pernambuco

_____
Profa. Dra. Michelle Barreto de Souza
Membro Interno Titular
Universidade Federal Rural de Pernambuco

_____
Profa. Dra. Daniele Silva Ribeiro
Membro Externo Titular
Universidade Federal do Agreste de Pernambuco

Dedico este trabalho à força que tudo cria;

aos meus mestres pelos ensinamentos de cada dia

e a cada um que a sua maneira contribuiu para

a idealização, execução e conclusão deste trabalho.

Sem o amor, o incentivo diário e a paciência

nada teria sido possível.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por estar sempre presente em todos os momentos da minha vida e por ser o maior responsável das minhas conquistas.

À professora Dra. Maria Inês Sucupira Maciel pela orientação, ensinamentos e pela grande contribuição para realização deste trabalho. Ao Dr. Marcony Edson da Silva Júnior por todo auxilio no laboratório e apoio ao desenvolvimento do trabalho.

A todas as professoras e professores do programa de pós graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da UFRPE, pelos ensinamentos ao longo de toda a jornada e que contribuíram, cada um ao seu modo, com minha formação profissional e pessoal.

À minha mãe, Adjane Tavares, ao meu pai, Carlos Antônio, e ao meu irmão, Ardilles Juan, que são a minha base. Obrigada por estarem sempre ao meu lado. A minha cunhada por torcer pelo meu sucesso.

A todos familiares e amigos pela grata alegria de fazerem parte da minha vida, tornando-a sempre mais fácil e mais bela de ser vivida.

“Oh, não deixeis que se apague a chama!
Mantida de século em século,
nesta escura caverna, neste templo sagrado,
sustentado por puros ministros do amor...
Não deixeis apagar esta divina chama!”
(E. Carpenter)

RESUMO

A crescente preocupação da população com saúde e boa alimentação tem contribuído para um maior espaço no mercado de produtos que possuem efeito positivo sobre a saúde do consumidor. Observando esse nicho, novos alimentos ricos em compostos bioativos vem sendo elaborados. Casca e polpa do jambolão (*Syzygium cumini (L) Skeels*) apresentam quantidades expressivas de compostos fenólicos, em especial as antocianinas. Sendo assim, este estudo teve como objetivo avaliar a estabilidade dos compostos fenólicos e das antocianinas presentes no extrato aquoso de jambolão (*Syzygium cumini (L.) Skeels*) microencapsulado por atomização, seguido do estudo de aplicação do jambolão liofilizado e do extrato microencapsulado em matriz alimentícia. Um mini *spray dryer* (MSD® 1.0 LM, LABMAQ do Brasil LTDA) foi utilizado com temperatura de entrada do ar de secagem 150°C, fluxo de alimentação de 10mL/min., vazão de ar 35L/min. e temperatura de saída 80°C. O material de parede, maltodextrina 20DE, foi misturado ao extrato aquoso de jambolão, até atingirem 26,23% de sólidos totais. As microcápsulas foram submetidas às análises de atividade de água (Aa), teor de umidade (U), eficiência de encapsulação (EE), higroscopicidade, solubilidade, teores de compostos fenólicos, antocianinas totais e identificação por cromatografia líquida de alta eficiência e à microscopia eletrônica de varredura (MEV). As partículas apresentaram baixo teor de Aa, U e higroscopicidade (0,30 ±0,01, 5,15% ±0,16 e 14,92gH_2O/100g ±0,01, respectivamente), alta EE para compostos fenólicos (89,23% ±1,67) e antocianinas (94,56% ±1,61) e solubilidade (97,27% ±0,28). O total de compostos fenólicos nas microcápsulas, após 90 dias de armazenamento, foi 403,17mgEAG/100g ±0,54 e 437,07mgEAG/100g ±0,33, a 5ºC e 28ºC, respectivamente. O teor de antocianinas nas microcápsulas, após 90 dias, foi estatisticamente maior a 5ºC (117,18mg/100g ±0,47), do que a 28ºC (105,72mg/100g ±4,63). As microcápsulas apresentaram estabilidade, em ambas temperaturas, por um período de três meses, com formato esférico e variação de tamanho, características típicas de materiais microencapsulados por atomização. Foram identificados 31 compostos fenólicos, dentre eles, 9 antocianinas. A maior contribuição veio da pelargonidina 3,5-diglicosídeo com 10,13mg/100g ±0,01 no extrato aquoso e 2,07mg/100g ± 0,38, nas microcápsulas. Em relação à aplicação, o pó para gelatina industrializado contendo as microcápsulas, armazenado por 30 dias a 28ºC, apresentou teor de compostos fenólicos estável até o último dia (55,46%), estatisticamente

significativa maior que ao das antocianinas (45,21%). Quanto a aplicação da fruta liofilizada no iogurte natural industrializado, os compostos fenólicos (214,28mgEAG/100g ±3,44) não variaram significativamente, enquanto o valor final das antocianinas (204,60mg/100g ±1,05) diminuiu significativamente. A liofilização das cascas e da polpa do jambolão e a microencapsulação do extrato aquoso do jambolão mostraram-se ser técnicas, economicamente viáveis, para obtenção de produtos, com potencial para ser utilizado como ingrediente, ou mesmo como corante natural, visando a elaboração de itens com propriedades funcionais nas indústrias de alimentos e farmacêuticas.

Palavras chave: Antocianinas, Jambolão, atomização, Microencapsulação, Estabilidade.

ABSTRACT

The growing concern of the population with health and good nutrition has contributed to a greater space in the market for products that have a positive effect on consumer health. Observing this niche, new foods rich in bioactive compounds have been developed. Peel and pulp of jambolan (Syzygium cumini (L) Skeels) have expressive amounts of phenolic compounds, especially anthocyanins. Therefore, this study aimed to evaluate the stability of anthocyanins present in jambolan extract (Syzygium cumini (L.) Skeels) microencapsulated by atomization, followed by the study of the application of freeze-dried jambolan extract and microencapsulated extract in food matrix. A mini spray dryer (MSD® 1.0 LM, LABMAQ do Brasil LTDA) was used, with drying air inlet temperature of 150°C, feed flow of 10mL/min., air flow of 35L/min. and outlet temperature 80°C. The wall material, maltodextrin 20DE, was mixed with jambolan extract until reaching 26.23% of total solids. The microcapsules were submitted to analyzes of water activity (Aa), moisture content (U), encapsulation efficiency (EE), hygroscopicity, solubility, total phenolic and anthocyanin contents and scanning electron microscopy (SEM). The particles showed low levels of Aa, U and hygroscopicity (0.30 ±0.01, 5.15% ±0.16 and 14.92gH2O/100g ±0.01, respectively), high EE for phenolic compounds (89, 23% ±1.67) and anthocyanins (94.56% ±1.61), and solubility (97.27% ±0.28). The total phenolic compounds in the microcapsules, after 90 days of storage, was 403.17mgEAG/100g ±0.54 and 437.07mgEAG/100g ±0.33, at 5ºC and 28ºC, respectively. The anthocyanin content in the microcapsules, after 90 days, was statistically higher at 5ºC (117.18mg/100g ±0.47) than at 28ºC (105.72mg/100g ±4.63). The microcapsules showed stability, at both temperatures, for a period of three months, with a spherical shape and size variation, typical characteristics of materials microencapsulated by atomization. Thirty-one phenolic compounds were identified, including nine anthocyanins. The greatest contribution came from pelargonidin 3,5-diglycoside with 10.13mg/100g ±0.01 in the extract and 2.07mg/100g ± 0.38 in the microcapsules. Regarding the application, the industrialized gelatin powder containing the microcapsules, stored for 30 days at 28ºC, showed a stable percentage of phenolics until the last day (55.46%), statistically significantly higher than that of anthocyanins (45.21%). As for the application of lyophilized fruit in industrialized natural yogurt, the phenolic compounds (214.28mgEAG/100g ±3.44) did not vary significantly, while the final value of anthocyanins (204.60mg/100g ±1.05) decreased statistically significantly.

Lyophilization of the edible parts of jambolan and microencapsulation of jambolan extract proved to be economically viable techniques for obtaining products with potential to be used as an ingredient, or even as a natural dye, aiming at the elaboration of items with functional properties in the food and pharmaceutical industries.

Keywords: Anthocyanins, Jambolan, Atomization, Microencapsulation, Stability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Imagens das partes que compõe a árvore do jamelão (A) árvore, (B) folhas, (C) flores e (D) frutos de *Syzygium cumini (L.) Skeels.*……..……....21

Figura 2. Cátion *flavylium*. R1 e R2 = –H, –OH ou –OCH_3, R3 = –glicosil ou –H, R4 = –OH ou –glicosil….……...……..25

Figura 3. Representação das estruturas das antocianinas presentes no jambolão….....26

Figura 4. Modificações estruturais das antocianinas em meio aquoso e em diferentes faixas de pH.…….……...27

Figura 5. Figura esquemática de *spray-dryer*…….……33

Figura 6. Fluxograma dos procedimentos realizados com o jambolão....……..35

Figura 7. Polpa e casca do jambolão *in natura* (A) e liofilizada (B).……..…46

Figura 8. Cor identificada pelo colorímetro instrumental do jambolão *in natura* (A) e liofilizada (B).…….……46

Figura 9. Cor identificada pelo colorímetro instrumental do extrato de jambolão.. ……..……48

Figura 10. Cor identificada pelo colorímetro instrumental do extrato de jambolão microencapsulado.……...…….…...50

Figura 11. Imagens da microscopia eletrônica de varredura (MEV) do extrato de jambolão microencapsulado: a) aproximação de 100µm; b) aproximação de 50µm; c) aproximação de 20µm….……53

Figura 12. Gráfico da estabilidade do teor de fenólicos, quantificados pelo espectrofotômetro, do extrato de jambolão microencapsulado e armazenado a 05ºC e 28ºC.……..……..54

Figura 13. Gráfico da estabilidade do teor de antocianinas, quantificados pelo espectrofotômetro, do extrato de jambolão microencapsulado e armazenado a 05ºC e 28ºC…….55

Figura 14. Fotos do extrato aquoso de jambolão microencapsulado:……....56

Figura 15. Jambolão liofilizado adicionado ao iogurte natural industrializado nas seguintes proporções 0,5%, 1,0% e 1,5% (da esquerda para a direita, respectivamente). …….61

Figura 16. Cor identificada pelo calorímetro instrumental do jambolão liofilizado

(0,5%) + iogurte natural industrializado..……...….61
Figura 17. Gráfico da estabilidade dos compostos fenólicos totais do iogurte natural e industrializado + jambolão liofilizado…….62
Figura 18. Gráfico da estabilidade das antocianinas totais do iogurte natural industrializado + jambolão liofilizado……..…….62
Figura 19. Jambolão liofilizado (à esquerda) e extrato microencapsulado (à direita) adicionado a gelatina incolor..…...……..64
Figura 20. Cor identificada pelo colorímetro instrumental do jambolão liofilizado (à esquerda) e extrato microencapsulado (à direita) adicionado a gelatina……. ……..……...64
Figura 21. Gráfico da estabilidade dos fenólicos totais da gelatina + jambolão liofilizado……..…….65
Figura 22. Gráfico da estabilidade das antocianinas totais da gelatina + jambolão liofilizado…….65
Figura 23. Gráfico da estabilidade dos fenólicos totais da gelatina + extrato de jambolão microencapsulado……...…….……66
Figura 24. Gráfico da estabilidade das antocianinas totais da gelatina + extrato de jambolão microencapsulado……67

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Classificação científica de *Szygium cumini* (L.) Skeels……...22

Tabela 02 - Diferenças estruturais das antocianidinas nos respectivos substituintes R1 e R2 e coloração correspondente……...25

Tabela 03 - Composição centesimal da casca e polpa de jambolão (*Syzygium cumini (L.) skeels*) *in natura* e liofilizada……...……44

Tabela 04 - Caracterização físico-química da casca e polpa do jambolão *in natura* e liofilizada……45

Tabela 05 - Caracterização cromática e dos compostos bioativos da casca e polpa do jambolão *in natura* e liofilizada……..…46

Tabela 06 - Características físico-químicas do extrato e das microcápsulas do extrato de jambolão…….……47

Tabela 7 - Características cromáticas e dos compostos fenólicos do extrato e das micro-cápsulas do extrato de jambolão……..48

Tabela 8 - Características físicas do extrato de polpa de jambolão microencapsulado..51

Tabela 9 - Perfil de ácidos fenólicos do extrato de jambolão e do extrato microencapsu-lado……..57

Tabela 10 - Perfil de flavones, flavanóis, flavonóis, flavanonas, estilbenos e taninos condensados do extrato de jambolão e do extrato microencapsulado…….58

Tabela 11 - Perfil de antocianinas do extrato de jambolão e do extrato microencapsula-do…….59

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO …….……17

2 - PROBLEMA DE PESQUISA E HIPÓTESE ……20

3 – OBJETIVOS ……...20

4 - REVISÃO DA LITERATURA ……...21

4.1 – *Syzyuim cumini (L.) skeels* …….……..21

4.2 – Antocianinas …….23

4.2.1 – Estrutura e características gerais …….23

4.2.2 – Antocianinas do jambolão…..…….……26

4.2.3 - Estabilidade das antocianinas ……...…...27

4.2.3.1 – pH ……27

4.2.3.2 – Temperatura …….28

4.2.3.3 – Luz e copigmentação ……...29

4.2.3.4 – Oxigênio e ácido ascórbico …….30

4.3 – Aplicação de corantes naturais na indústria de alimentos…...……..…...30

4.3.1 - Corantes Alimentares …….……30

4.3.2 - Técnica de Encapsulação ……...……..31

5 – MATERIAL E MÉTODOS ……..…..34

5.1 Obtenção e Processamento do jambolão…...……..……..34

5.1.1 Liofilização da polpa e casca do jambolão…..……..…….35

5.1.2 Caracterização química e físico-química da polpa e casca do jambolão *in natura* e liofilizada…….36

5.1.3 Determinação dos parâmetros cromáticos da polpa e casca do jambolão *in natura* e liofilizada……..…...…….36

5.1.4 Determinação do teor de compostos fenólicos e das antocianinas totais na polpa e casca do jambolão *in natura* e liofilizada….…….……..37

5.2 Produção do extrato aquoso de jambolão….……37
5.2.1 Parâmetros físico-químicos do extrato aquoso de jambolão…….…….38
5.2.2 Microencapsulação do extrato aquoso de jambolão…….……..38
5.2.3 Eficiência de encapsulação dos compostos fenólicos do extrato aquoso de jambolão microencapsulado……...…….38
5.2.4 Eficiência de encapsulação de antocianinas totais do extrato aquoso de jambolão microencapsulado……...…….39
5.2.5 Identificação e quantificação dos compostos fenólicos do extrato aquoso e das microcápsulas por cromatografia Líquida de Alta Eficiência com detector de arranjo de diodos……..…….40
5.2.6 Determinação de higroscopicidade e solubilidade…….…41
5.2.7 Morfologia do extrato aquoso microencapsulado…..……..……...41
5.3 Estudo da estabilidade dos compostos fenólicos e das antocianinas no extrato aquoso microencapsulado…….……...42
5.4 Aplicação da casca e polpa liofilizada em iogurte natural industrializado..…..42
5.5 Aplicação da casca e polpa liofilizada na gelatina em pó sem sabor, incolor e industrializada……..…….43
5.6 Aplicação e estabilidade do extrato aquoso de jambolão microencapsulado na gelatina sem sabor, incolor e industrializada……...……...43
5.7 Análise Estatística..……..43
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO….……..44
6.1 Caracterização química, físico-química e quantificação de compostos fenólicos do jambolão *in natura* e liofilizado…….……..44
6.2 Caracterização físico-química e quantificação de compostos fenólicos e antocianinas do extrato aquoso de jambolão……..……47
6.2.1 Caracterização físico-química, cromática e determinação dos compostos fenólicos e antocianinas totais do extrato aquoso de jambolão microencapsulado…….49
6.2.2 Avaliação da eficiência, higroscopicidade e solubilidade do extrato aquoso de jambolão microencapsulado……..……..50
6.2.3 Perfil fenólico do extrato aquoso e do extrato aquoso de jambolão microencapsulado……..….…….53
6.2.4 Morfologia do extrato aquoso de jambolão microencapsulado…..……....56
6.3 Estabilidade da cor e dos compostos bioativos do extrato aquoso de jambolão microencapsulado.……57

6.4 Estabilidade da cor e dos compostos bioativos da casca e polpa liofilizada em iogurte natural industrializado…….……65
6.5 Estabilidade da cor e dos compostos bioativos da casca e polpa liofilizada e do extrato de jambolão microencapsulado na gelatina em pó sem sabor, incolor e industrializada……...68
7 – CONCLUSÕES……73
8. - REFERÊNCIAS……..75

1. INTRODUÇÃO

Jambolão [*Syzygium cumini (L.) Skeels*] é uma planta da família *myrtaceae*, nativa da Ásia tropical, com 121 gêneros e entre 3800 a 5800 espécies, amplamente distribuída em regiões tropicais e subtropicais do globo. Apesar de sua origem asiática, o jambolão passou por extensa adaptação ao clima tropical do Brasil (AKTER et al., 2019; FREITAS et al., 2021; ROMUALDO et al., 2021; EMAM & EL-NASHAR, 2022).

Essas frutas contêm altas quantidades de compostos fenólicos, como antocianinas, que são pigmentos antioxidantes encontrados principalmente na casca. Descobertas anteriores mostraram que diferentes componentes da fruta do jambolão (casca, polpa, sementes ou frutas inteiras), ricos em polifenóis, exercem efeitos benéficos ao organismo humano. Esses frutos são verdes quando imaturos e roxo-escuros quando totalmente maduros. O fruto maduro tem sabor agridoce e é utilizado no preparo de drinks, sucos, geleias e bebidas fermentadas (BEZERRA et al., 2015; LESTARIO et al., 2017; SERAGLIO et al., 2018).

Segundo Bezerra et al. (2015) apesar dos beneficios nutricinais e do potencial bioativo do jambolão, não há mercado estabelecido para produtos de jambolão no Brasil. Portanto, há a necessidade de desenvolver processos tecnológicos que possam realmente utilizá-los como ingredientes alimentícios. A fruta jambolão é altamente perecível e a secagem é uma técnica conveniente que pode prolongar a vida útil, concentrar compostos ativos naturais e expandir o mercado desta, além de onde ela é colhida localmente (AKTER et al., 2019; SAHU et al., 2023).

Estudos recentes revelaram a complexa composição química e de compostos fenólicos no jambolão. Estes incluem ácidos fenólicos, flavanóis, taninos hidrolisáveis e condensados e as antocianinas (LESTARIO et al., 2017; PANGHAL et al., 2019; FREITAS et al., 2021). Tem sido sugerido que esses compostos possuem várias características funcionais, ou seja, atividades antioxidantes, antimutagênicas, antimicrobianas, antiglicêmicas, anticarcinogênicas e antivirais (FREITAS-SÁ et al., 2018; PAUL & DAS, 2018; SERAGLIO et al., 2018; EMAM & EL-NASHAR, 2022).

As antocianinas são baseadas em 17 estruturas básicas que produzem cores que vão do escarlate ao azul e são encontradas principalmente em flores e frutas (FREITAS-SÁ et al., 2018; GAIBOR et al., 2022). Recentemente, tem havido um aumento do interesse e da pesquisa científica sobre pigmentos de antocianinas, principalmente

devido ao papel de nutracêuticos e benefícios à saúde conferidos por antioxidantes naturais (CARVALHO et al., 2020; MACHADO et al., 2022). No entanto, a estabilidade das antocianinas depende de uma combinação de fatores químicos e ambientais, como pH, temperatura, íons metálicos, oxigênio, atividade enzimática e exposição à luz. Portanto, a introdução desses compostos em alimentos é um desafio devido à baixa estabilidade às condições ambientais durante o processamento e armazenamento (MAHDAVI et al., 2016; MACHADO et al., 2022).

O potencial benéfico dos compostos fenólicos para a saúde atraiu um interesse significativo pelo jambolão pela comunidade científica e dos fabricantes de alimentos industriais, como matéria-prima para o desenvolvimento de uma variedade de produtos (SAHU et al., 2023). Devido à natureza sazonal e perecível da fruta, vários estudos avaliaram a secagem da fruta usando várias técnicas, como liofilização, secagem por pulverização e secagem com ar quente usando secadores de convecção forçada de ar (SANTHALAKSHMY et al., 2015; CARVALHO et al., 2017; SAHU et al., 2023).

Na percepção e avaliação da aparência geral dos alimentos, a cor é o atributo de qualidade mais importante que afeta a aceitação do consumidor, e uma cor desagradável levará à baixa aceitação e reduzirá seu valor de mercado. Os consumidores associam a cor dos alimentos com segurança, qualidade e como um indicador de bom processamento (FREITAS-SÁ et al., 2018; GAIBOR et al., 2022).

Muitos corantes alimentícios sintéticos foram desenvolvidos para melhorar a qualidade e as propriedades sensoriais dos alimentos. Com o tempo, no entanto, a maioria deles foi banida devido a efeitos colaterais significativos, sinais de toxicidade de curto e longo prazo e capacidade de colocar em risco a saúde do consumidor, incluindo possíveis efeitos cancerígenos. Os danos à saúde causados pelos corantes sintéticos levaram ao fato de que apenas quantidades limitadas desse tipo de corante são usadas atualmente, cujo uso é proibido em determinados países do globo (MAHDAVI et al., 2016; FREITAS et al., 2021; GAIBOR et al., 2022; MACHADO et al., 2022).

Por outro lado, os corantes alimentícios de origem natural parecem apresentar grande qualidade, eficácia e propriedades sensoriais, além de seu papel promotor da saúde. Os corantes e outros aditivos naturais são considerados não apenas intensificadores sensoriais de alimentos naturais, mas também intensificadores do estado nutricional e da saúde (FREITAS-SÁ et al., 2018; PANGHAL et al., 2019).

O mercado de alimentos funcionais cresceu rapidamente nos últimos anos em resposta à crescente demanda de consumidores preocupados com a saúde para comprar

produtos com supostos benefícios à saúde (KAPOOR et al., 2015; EMAM & EL-NASHAR, 2022). Esta nova situação tem implicações diretas para a indústria de alimentos, que é desafiada a introduzir novos produtos com propriedades funcionais desejáveis, praticidade e qualidade sensorial (BEZERRA et al., 2015; PANGHAL et al., 2019).

A microencapsulação é o processo de encapsulamento de uma substância (material de recheio) incorporada à outra (material da parede). O principal objetivo é proteger o material de recheio de condições adversas, como luz e oxigênio, aumentando a estabilidade da cor e do valor nutricional, além de facilitar a liberação controlada de materiais da matriz de encapsulamento. Desta forma, pode-se aumentar a vida útil do produto e a liberação gradual do composto encapsulado (CARVALHO et al., 2020). Existem muitas tecnologias de encapsulamento, algumas delas foram aplicadas com sucesso às antocianinas. A escolha da tecnologia de encapsulamento depende da aplicação e de parâmetros específicos, tais como as propriedades físicas e químicas do material de recheio e parede, o mecanismo de liberação, e o custo de processamento~~, etc~~. Os materiais de parede mais comuns são maltodextrina, goma arábica e amido emulsionado (MAHDAVI et al., 2016).

A técnica de microencapsulamento por atomização pode ser descrita como um processo no qual a umidade é removida por rápida exposição ao calor. A microencapsulação por atomização garante proteção contra oxigênio, umidade, luz e outros elementos, melhora a estabilidade e facilita o manuseio ao converter líquidos em pós. Além disso, estes produtos simplificam o armazenamento e o transporte, reduzindo o peso e o volume (MACHADO et al., 2022).

2. PROBLEMA DE PESQUISA E HIPÓTESE

2.1 Problema de pesquisa

As antocianinas presentes na casca e polpa do jambolão após liofilização, extração aquosa e microencapsulação manterão sua estabilidade durante o armazenamento, e na aplicação em produtos alimentícios?

2.2 Hipótese

As antocianinas presentes na casca e polpa do jambolão após liofilização, extração aquosa e microencapsulação manterão sua estabilidade durante o armazenamento e durante a aplicação em produtos alimentícios.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Avaliar a estabilidade dos compostos fenólicos e das antocianinas presentes no extrato aquoso de jambolão (*Syzygium cumini (L.) Skeels*) microencapsulado por atomização, seguido do estudo de aplicação do jambolão liofilizado e do extrato microencapsulado em matriz alimentícia.

3.2 Objetivos Específicos

- Quantificar compostos fenólicos totais e antocianinas no extrato obtido;
- Avaliar a estabilidade dos compostos fenólicos e das antocianinas no extrato aquoso do jambolão microencapsulado por atomização;
- Identificar e quantificar compostos fenólicos presentes no extrato aquoso de jambolão;
- Avaliar a estabilidade da cor das microcápsulas em diferentes faixas de temperatura;
- Aplicar e avaliar a estabilidade dos compostos fenólicos e das antocianinas do jambolão liofilizado e as microcápsulas em matriz alimentícia.

4. REVISÃO DA LITERATURA

4.1 *Syzygium cumini* (L.) Skeels

Syzygium cumini (L.) Skeels (Figura 1), popularmente conhecida como jambolão, ameixa-preta, amora preta indiana ou jamelão (AYYANAR & SUBASH-BABU, 2012) é uma espécie arborícola, perene, pertencente ao gênero *Myrtaceae*, nativa da Índia e que pode atingir até 20 metros de altura (SANTIAGO et al., 2016). Apresenta grande dispersão geográfica devido ao sucesso das introduções da espécie na América tropical e subtropical (BALIGA et al., 2011).

Figura 1. Imagens das partes que compõe a árvore do jamelão (A) árvore, (B) folhas, (C) flores e (D) frutos de *Syzygium cumini (L.) Skeels*.

Fonte: SABINO, 2019.

Com largo potencial agroindustrial, os seus frutos são amplamente consumidos em regiões tropicais como a Índia e a América do Sul devido à abundância de nutrientes (XU et al., 2019), assim como a presença de componentes bioativos, em todas as partes da planta tradicionalmente usada para fins medicinais, exibindo atividades antibacteriana, antioxidante, antifúngica, antitumoral, além de serem empregadas no tratamento de diabetes, de constipação, ulcerações venéreas, disenteria, asma, bronquite, gengivite, estomatite, queimaduras, descamações (pele) (SILVA e SÁ & SABAA-SRUR, 2012; PAULO FARIAS et al., 2020). A classificação científica de *S. cumini* (L.) Skeels é apresentada na Tabela 1.

Do ponto de vista taxonômico *S. cumini* (L.) Skeels apresenta sinonímia, definido pelo Código Internacional de Nomenclatura Botânica quando um táxon recebe mais de um nome. Baseado nisso, alguns sinônimos da espécie incluem *Eugenia jambolana* Lam., *Eugenia cumini* (L.) Druce e *Syzygium jambolanum* (XU et al., 2019; TAVARES et al., 2016).

Tabela 1. Classificação científica de *Szygium cumini* (L.) Skeels.

Classificação científica	
Reino	*Plantae*
Sub-reino	*Viridiplantae*
Infra-reino	*Streptophyta*
Superdivisão	*Embryophyta*
Divisão	*Tracheophyta*
Infra-divisão	*Spermatophytina*
Classe	*Magnoliopsida*
Subclasse	*Rosanae*
Ordem	*Myrtales*
Família	*Myrtaceae*
Gênero	*Syzygium*
Espécie	*Szygium cumini (L.) Skeels*

Fonte: (RUGGIERO, 2022)

Morfologicamente as folhas são coriáceas, glabras, aromáticas, podem ser elípticas ou oblongas e medem de 8 a 14 cm de comprimento (SANTIAGO et al., 2016). Possuem na sua composição terpenos, taninos, flavonoides e compostos fenólicos como ácido cafeico, ácido elágico, ácido ferúlico, ácido gálico e ácido betulínico. Do ponto de vista nutricional apresentam proteínas, gordura, fósforo, cálcio e óleos essenciais (CHHIKARA et al., 2018).

As flores, ricas em flavonoides como quercetina, miricetina e kaempferol, se arranjam em forma de cacho, apresentam o cálice em forma de funil e numerosos estames, sendo estes maiores do que o cálice (AYYANAR & SUBASH-BABU, 2012).

Os frutos são pequenos, ovoides, suculentos, com polpa branca e casca de coloração escura, quando madura, devido à presença de antocianinas, o que a torna uma fonte mais barata de corantes naturais para uso industrial (FARIA et al., 2011; SANTIAGO et al., 2016). Nutricionalmente, a polpa do fruto é rica em carboidratos como glicose, manose, sacarose maltose, frutose e galactose; minerais como cálcio, fósforo, ferro, zinco, sódio e potássio; aminoácidos livres como alanina, asparagina, tirosina, glutamina e cisteína; vitaminas solúveis em água como ácido ascórbico, tiamina e niacina (BALIGA et al., 2011). A proporção de compostos bioativos presentes é dependente do estádio de maturação do fruto e da idade da planta (PATEL & RAO, 2014).

Na semente é possível detectar taninos, terpenos, flavonoides e uma maior proporção de componentes fenólicos como corilagina, 3,6 hexa-hidroxidifenil-D-glicose, 1-galoil-glicose glicosídeo, 3-galoil-glicose e 4,6 hexa-hidroxidifenoil-D-glicose em relação ao restante da planta (CHHIKARA et al., 2018).

Partes do jambolão, como as sementes, cascas, folhas e frutos são transformados em extratos, xaropes, chás e infusões com o objetivo de adicioná-lo à dieta regular e poder ser incluída em preparações, promovendo uma melhora na sua qualidade (SILVA E SA & SABAA-SRUR, 2012). Não há comercialização ou mesmo consumo expressivo do jambolão pela população, sendo a maior parte da safra desperdiçada. Esse fato chama a atenção pois a fruta possui um alto potencial de venda devido a sua riqueza de nutrientes e substâncias que promovem efeito benéfico ao organismo, além de ser uma boa fonte de matéria-prima para a produção de corante natural (SANTIAGO et al., 2016; SABINO et al., 2021).

Uma maneira de agregar valor ao fruto do jambolão, promovendo um alimento com alto potêncial biológico e que ainda não apresenta um potencial mercadológico consolidado, é a aplicação de tecnologias para melhorar a sua conservação (ALBUQUERQUE, 2019).

4.2 Antocianinas

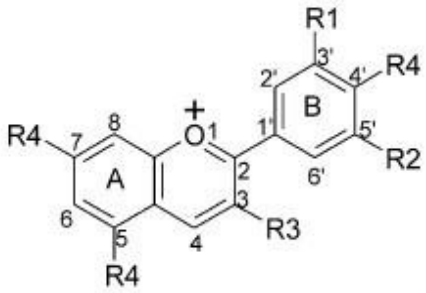
4.2.1 Estrutura e características gerais

As antocianinas (ACs) são compostos bioativos que atribuem as cores vermelha, azul e roxa em vegetais (DE BRITO et al., 2007). São empregadas pela indústria alimentícia como uma fonte alternativa de corantes alimentares em substituição aos sintéticos. Além de serem, utilizadas como eliminadores de sabor, produção de comprimidos, cápsulas, xaropes, suplementos e conservante natural protegendo ingredientes alimentícios contra estresse ambiental durante o armazenamento e transporte (CHAUDHARY & MUKHOPADHYAY, 2013; BELWAL et al., 2020; SABINO et al., 2021).

Estruturalmente, ACs são compostos polifenólicos glicosilados, solúveis em água, pertencentes à família dos flavonoides, compondo um grupo de metabólitos secundários das plantas, localizados nos vacúolos celulares, podendo estar livres ou associados a compostos orgânicos, íons metálicos e biopolímeros. Essas moléculas são responsáveis por garantir proteção contra estresses bióticos e abióticos, em parte, devido às suas propriedades antioxidantes (POURCEL et al., 2010; LIU et al., 2018; RAMAN et al., 2020).

Na natureza são encontradas como glicosídeos de polihidroxi e/ou polimetoxi derivados do íon *flavilium* ou 2-fenilbenzopirilium (Figura 2). Sua estrutura consiste em um arranjo de 15 carbonos (C_6-C_3-C_6) constituindo dois anéis aromáticos (A e B) ligados por três carbonos em um heterociclo oxigenado. As ACs diferem entre si de acordo com o grau e padrão de hidroxilação e metoxilação; número, posição e tipo de açúcar na molécula, e número e natureza dos ácidos aromáticos ou alifáticos ligados ao açúcar (KONG et al., 2003; PRIOR & WU, 2006). A estrutura básica das antocianinas está apresentada na Figura 2.

Figura 2. Cátion *flavylium*. R1 e R2 = –H, –OH ou –OCH_3, R3 = –glicosil ou –H, R4 = –OH ou –glicosil.



Fonte: KONG et al., 2003.

Quando o agrupamento do açúcar da antocianina é hidrolisado, a aglicona resultante deste processo é chamada de antocianidina, sendo esta menos hidrossolúvel do que os seus correspondentes glicosilados, além de não serem encontradas livremente na natureza (SCHWARTZ et al., 2010). As diferenças estruturais entre as antocianidinas estão representadas na Tabela 2.

Tabela 2. Diferenças estruturais das antocianidinas nos respectivos substituintes R1 e R2 e coloração correspondente.

Antocianidinas	***R1***	***R2***	***Coloração***
Perlagonidina	–H	–H	Laranja
Cianidina	–OH	–H	Vermelho
Delfinidina	–OH	–OH	Violeta
Peonidina	–OCH_3	–H	Vermelho
Petunidina	–OCH_3	–OH	Violeta
Malvidina	–OCH_3	–OCH_3	Violeta

Fonte: PRIOR & WU, 2006; KONG et al., 2003.

Foram identificadas em torno de 30 antocianidinas diferentes na natureza, apresentando diferenças nas posições e no grau de hidroxilação e metilações em sua estrutura. Variações em tipo, quantidade e posição em que os açucares estão ligados e o número de aromáticos ou ácidos alifáticos ligados ao açúcar também contribuem para essa grande diversidade (TARONE et al., 2020).

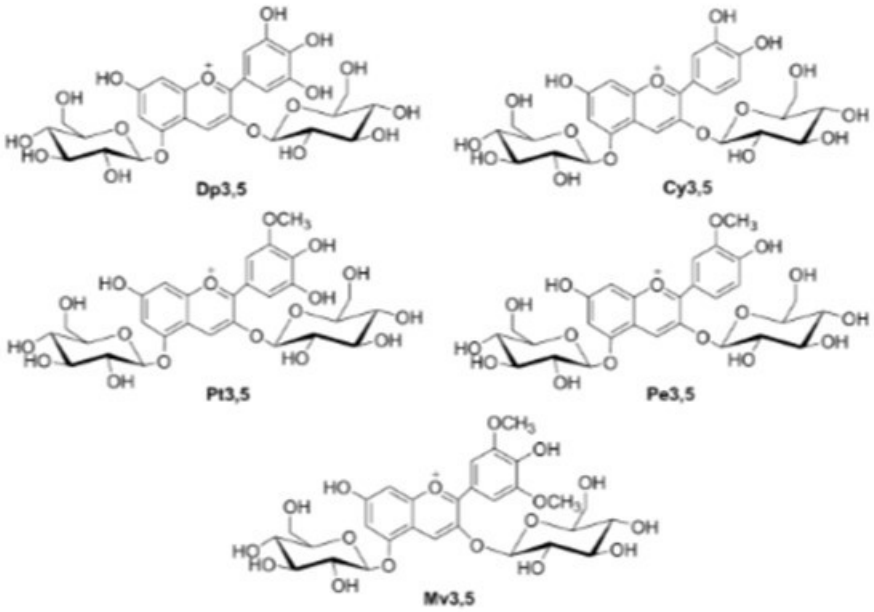
ACs apresentam alto valor de mercado, estimado em USD 305 milhões em 2018 e mostra uma taxa de crescimento anual de 4,5% durante o período de previsão 2020-2025, devido a uma crescente demanda impulsionada pela busca de produtos e formulações com componentes orgânicos, sendo os setores de alimentos e bebidas

responsáveis pela maior fatia do mercado (BELWAL et al., 2020; Global Anthocyanin Market Report, 2021-2026).

4.2.2 Antocianinas do jambolão

No jambolão foram identificadas cinco antocianinas, sendo elas a malvidina, petunidina, delfinidina, cianidina e peonidina nas versões mono e diglucosidases (Figura 3), que caracterizam a cor roxa intensa do fruto e colaboram para seu sabor característico (SHARMA et al., 2016; DAMETTO et al., 2017; LI et al., 2009; SABINO et al., 2021).

Figura 3. Representação das estruturas das antocianinas presentes no jambolão.



Fonte: SHARMA et al., 2016.

A cianidina e a delfinidina são ACs primárias que diferem entre si pelo número de hidroxilas em seus anéis B. A peonidina é derivada da cianidina por uma única metilação, assim como a metilação simples ou dupla da delfinidina resulta em petunidina e malvidina, respectivamente (LIU et al., 2018).

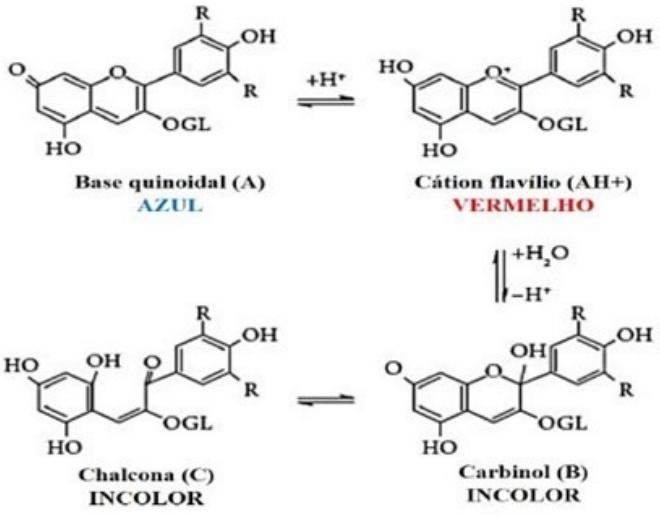
4.2.3 Estabilidade das antocianinas

A estabilidade dessas moléculas é dependente de fatores físicos, químicos e ambientais relacionados a pH, temperatura, luz (UV/visível), copigmentação, oxigênio, ácido ascórbico, umidade relativa, presença de açúcares, dióxido de enxofre ou sulfitos, enzimas e íons metálicos (SHARMA et al., 2016). A conformação do anel B e a presença de hidroxilações ou metilações influem na estabilidade dessas moléculas em solução (SABINO, 2019). O aumento da glicosilação proporciona uma maior estabilidade, contudo, o tipo de açúcar do meio também influencia neste parâmetro (SCHWARTZ et al., 2010). Algumas particularidades desses agentes são abordadas a seguir.

4.2.3.1 pH

A natureza iônica das ACs é um fator de grande importância para a estabilidade dessas substâncias. Em solução, essas moléculas apresentam quatro formas químicas, a saber: o cátion *flavylium* vermelho (AH^+), a base quinoidal azul, a pseudobase carbinol incolor e a chalcona incolor (SCHWARTZ et al., 2010). O esquema usualmente aceito, relativo às diferentes reações (transferência de prótons, isomerização e tautomerização) envolvendo o cátion *flavylium* vermelho quando as antocianinas estão em diferentes condições de pH é apresentado na Figura 4.

Figura 4 Modificações estruturais das antocianinas em meio aquoso e em diferentes faixas de pH.



Fonte: SABINO, 2019.

Em pH ácido (pH ≤ 2,5) a forma dominante das ACs é o cátion *flavylium* vermelho (AH^+). O aumento do pH (acima de 3) induz um ataque nucleofílico por moléculas de água com subsequente perda de prótons formando a pseudobase carbinol incolor (B). Por outro lado, nas mesmas condições de pH, pode ocorrer uma hidratação do AH+ favorecendo a formação do carbitol, o qual ao sofrer tautomerismo forma a chalcona incolor (C). O equilíbrio entre (B) e (C) é atingido de forma lenta. Em pH superior a 7, as ACs são degradadas, dependendo dos seus grupos substituintes (SILVA et al., 2016).

As escalas de tempo típicas para as diferentes reações mencionadas acima são de nanossegundos a microssegundos para a reação ácido (AH+) - base (A), segundos a minutos para a conversão em hemiacetal e a tautomerização de abertura do anel e várias horas para a isomerização de chalcona (FREITAS et al., 2011).

Fleschhut (2005) demonstrou a instabilidade das antocianidinas de malvinidina, petunidina, delfinidina, cianidina e perlagoginina em meio neutro. Estruturalmente, a presença de hidroxilações ou metoxilações ligadas ao anel B, assim como os substituintes diminuem a estabilidade da aglicona. Por outro lado, os derivados monoglicosídeos e, principalmente, os diglicosídeos são mais estáveis nessas condições de pH devido a presença de moléculas de açúcar, as quais evitarão a degradação dos intermediários instáveis em ácidos fenólicos e aldeídos.

O pH também influencia na absorção no espectro UV-visível das ACs. Bordignon et al., (2009) apontaram que o aumento do pH sucede a uma diminuição nas ligações duplas conjugadas, as quais são responsáveis pelo aumento dos máximos de absorção devido a protonação do (AH+). Essas diminuições promovem um deslocamento dos máximos de absorção das ACs para comprimentos de onda menores resultando na perda de coloração (tonalidade e saturação).

4.2.3.2 Temperatura

Em geral as características que levam ao aumento de estabilidade do pH também levam ao aumento da estabilidade térmica. Antocianidinas com alta hidroxilação são menos estáveis em relação àquelas metiladas, glicolisadas ou aciladas (SCHWARTZ et al., 2010).

O aumento da temperatura leva a degradação das ACs tanto em meio sólido quanto em solução. Este fenômeno é visível pela formação de compostos complexos em tom castanho-marrom, cuja síntese é desacelerada pela presença de oxigênio (CASTAÑEDA-OVANDO et al., 2009).

Lin & Chou (2009) demonstraram, por meio de experimentos com extratos de *Aspergillus awamori*, que a cinética de degradação das ACs ocorre em escala logarítmica e que o aumento da temperatura influencia na diminuição da capacidade antioxidante dessas moléculas.

4.2.3.3 Luz e copigmentação

As radiações luminosas atuam tanto na síntese quanto na degradação de ACs, ocorrendo este último caso, principalmente, durante o armazenamento de produtos que contenham estas moléculas, devido a reações fotoquímicas. Esse efeito adverso tem sido demonstrado em sucos de frutas e vinho tinto (CASTAÑEDA-OVANDO et al., 2009; SCHWARTZ et al., 2010).

Simões et al., (2009) demonstraram, por meio de experimentos com culturas de *Cleome rósea,* que a irradiação de luz influencia positivamente na produção de ACs, no sentido da mesma afetar a atividade de enzimas-chave envolvidas na biossíntese dessas moléculas, como a chalcona sintase. O mesmo foi demonstrado por Zhang et al., (2002) em ensaios envolvendo aprimoramento da biossíntese de ACs em *Vitis vinifera,* no qual o incremento de luz juntamente com o ácido jasmônico geraram um estresse fotooxidativo que culminou no aumento da expressão das enzimas chalcona sintase, chalcona isomerase e di-hidro-flavonol 4-redutase *in vitro*.

A copigmentação, ou seja, a condensação de ACs consigo mesmas ou com compostos orgânicos, pode acelerar ou retardar a degradação. Este fator também pode aumentar a coloração das ACs por meio de efeito batocrômico, o qual proporciona uma alta na absorção de luz para um comprimento de onda máximo. Tais complexos tendem a serem mais estáveis durante o processamento e armazenamento (SCHWARTZ et al., 2010).

4.2.3.4 Oxigênio e ácido ascórbico

A natureza insaturada das ACs as tornam suscetíveis ao oxigênio molecular e, em sua presença, o ácido ascórbico, o qual é um componente presente de forma natural ou incorporada aos alimentos como aditivo, pode induzir a degradação dessas moléculas por meio de um possível envolvimento de clivagem oxidativa do anel de *pirylium* com formação de peróxido de hidrogênio (H_2O_2). Além disso, a exposição à luz também acelera a degradação das ACs via mecanismo foto-oxidativo. Esses fenômenos independem do pH do meio e, baseado neles, as condições que não favorecem a formação de H_2O_2 durante a oxidação do ácido ascórbico são os determinantes para a estabilidade da antocianina (IACOBUCCI & SWEENY, 1983; FURTADO et al., 1993; SCHWARTZ et al., 2010).

4.3 Aplicação de corantes naturais na indústria de alimentos

4.3.1 Corantes Alimentares

Os corantes mais usadas na indústria de alimentos, com o objetivo de tornar os produtos produzidos mais atraentes e aceitáveis pelos consumidores, são em geral corantes sintéticos cuja aplicação tem promovido nos últimos anos questões legais e de saúde (GAIBOR et al., 2022; MACHADO et al., 2022). A procura por corantes naturais vem como resposta à busca da sociedade contemporânea por mais fontes de alimentos saudáveis. “Os benefícios à saúde associados a muitos pigmentos de ocorrência natural os tornam uma alternativa atrativa ao uso de corantes sintéticos” (SCHWARTZ; VON ELBE & GIUSTI, 2010). Várias plantas têm sido usadas desde a antiguidade como corantes naturais em alimentos, à exemplo do açafrão, da cúrcuma e do “pandan”, para realçar as características sensoriais e estéticas do alimento, além de agregar valor à ele (AZIMA et al., 2017). Incluir extratos de plantas como corantes naturais tem recebido um impulso na indústria de alimentos, e já possui reconhecimento em vários países, desde que começaram a aumentar os casos de alergias, intoxicação e reações adversas que os corantes sintéticos têm causado à saúde do consumidor (LAO & GIUSTI, 2018).

Por causa da toxicidade de alguns corantes sintéticos à saúde humana e ao meio ambiente, eles estão sendo subistituídos por corantes naturais. Usar antocianinas como

corante alimentar promove melhorias no aspecto visual do produto (MACHADO et al., 2022).

O desafio do cenário atual é desenvolver processos que reduzam perdas dos compostos extraídos para se obter um produto mais estável e desejável pelos consumidores. Várias tecnologias têm sido utilizadas para aumentar a estabilidade das antocianinas durante o desenvolvimento, armazenamento e consumo do produto, reduzindo perdas sensoriais e nutricionais (AHMAD et al., 2018). A microencapsulação secagem apresenta grandes vantagens como prevenção da deterioração bioquímica do produto (degradação das antocianinas), limita a atividade enzimática e o crescimento microbiano (MACHADO et al., 2022).

4.3.2 Técnica de Encapsulação

O processo de encapsulação tem ganhado destaque por proteger os compostos fenólicos de condições do meio, como oxigênio, umidade, luz e temperatura aumentando assim a vida de prateleira (KUCK; WESOLOWSKI & NOREÑA, 2017; MAR et al. 2020).

A tecnologia de encapsulação consiste em misturar a substância que se deseja proteger, no estado sólido, líquido ou gasoso (material de recheio), com um agente de encapsulação (material de parede) (AHMAD et al., 2018). Os agentes de encapsulação têm como objetivo proteger componentes sensíveis de alimentos contra condições ambientais desfavoráveis melhorando a estabilidade, a eficiência de encapsulamento preservando sabores e aromas, promovendo a liberação controlada dos compostos bioativos, além de reduzir a volatilidade e reatividade dos mesmos (TONON, BRABET & HUBINGER, 2008; MAR et al., 2020).

Vários tipos de materiais tem sido utilizado para o processo de microencapsulação como: gomas, proteínas, açúcares, polissacarídeos naturais e modificados, lipídeos e polímeros sintéticos. As capsulas produzidas podem ainda ser classificadas de acordo com as suas dimensões. Essa variação pode ir de nano (<1,0μm), micro (1,0 – 5000μm) e macro (>5000μm) (JAFARI et al., 2008).

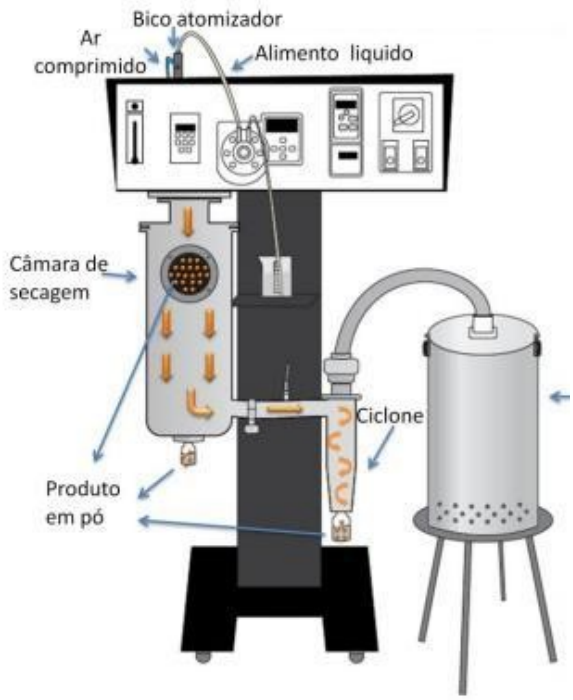
A maltodextrina é um aditivo alimentar que pode ser aplicado como agente encapsulante transportador. A sua adição proporciona a manutenção das propriedades

funcionais do produto finalizado como baixa viscosidade, ampliação da vida de prateleira, protegendo contra a oxidação, melhorando a solubilidade e a liberação controlada dos compostos ao meio, além de ser um produto de baixo custo (SINGH, PASWAN & RAI, 2019).

Para a realização do encapsulamento podem ser usados diversos processos físicos, dentre os quais a atomização por *spray dryer*. O método de atomização ou, como é mais conhecido, *spray dryer* é o mais antigo e mais usado, por promover uma produção rápida, de micropartículas secas de alta qualidade, melhor controle nas dimensões destas partículas, além de ser um processo de baixo custo de produção (MAHDAVI et al., 2016[a]).

Nesse método o material de recheio é misturado ao material de parede e pulverizado no interior de uma câmara onde as partículas se expandem e a área central é preenchida pelo vazio causado pela expansão (Figura 5) (JAFARI et al., 2008). O curto tempo de residência é favorável para a microencapsulação por atomização de ingredientes alimentícios sensíveis ao calor, como as antocianinas, pois promove maior retenção de sabor, cor e nutrientes (RAMAN et al., 2020). No entanto, mesmo esse método sendo rápido e de baixo custo, as altas temperaturas empregadas para secagem da fase líquida podem degradar as antocianinas (ZHAO, TEMELLI & CHEN, 2017).

Figura 5. Figura esquemática de *spray-dryer*.



Fonte: LARA JUNIOR, 2017.

Contudo, em razão da viscosidade causada pela alta proporção de açúcares de baixo peso molecular presentes em hortaliças e frutas é difícil a transformação do extrato líquido em pó. Essa alta viscosidade limita a microencapsulação por atomização e gera perdas econômicas, pois a mistura pode grudar na câmara de secagem resultando em baixo rendimento de produção e problemas no funcionamento do equipamento. Então, diferentes produtos tem sido estudados como agentes de revestimento, à exemplo da maltodextrina, para a microencapsulação por atomização (TONON, BRABET & HUBINGER, 2008; SINGH, PASWAN & RAI, 2019; RAMAN et al., 2020).

A estabilidade química de compostos fenólicos pode ser influenciada por alguns fatores como a temperatura e o tempo de armazenamento, prejudicando a utilização de extratos atomizados como ingredientes funcionais ou corantes (TAVARES et al., 2020).

5. MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida nos laboratórios de Processamento de Alimentos e Análises físico-químicas de Alimentos do Departamento de Ciências do Consumo da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) e no laboratório de Instrumentação e Análise do CENAPESQ (Centro de Apoio à Pesquisa da UFRPE).

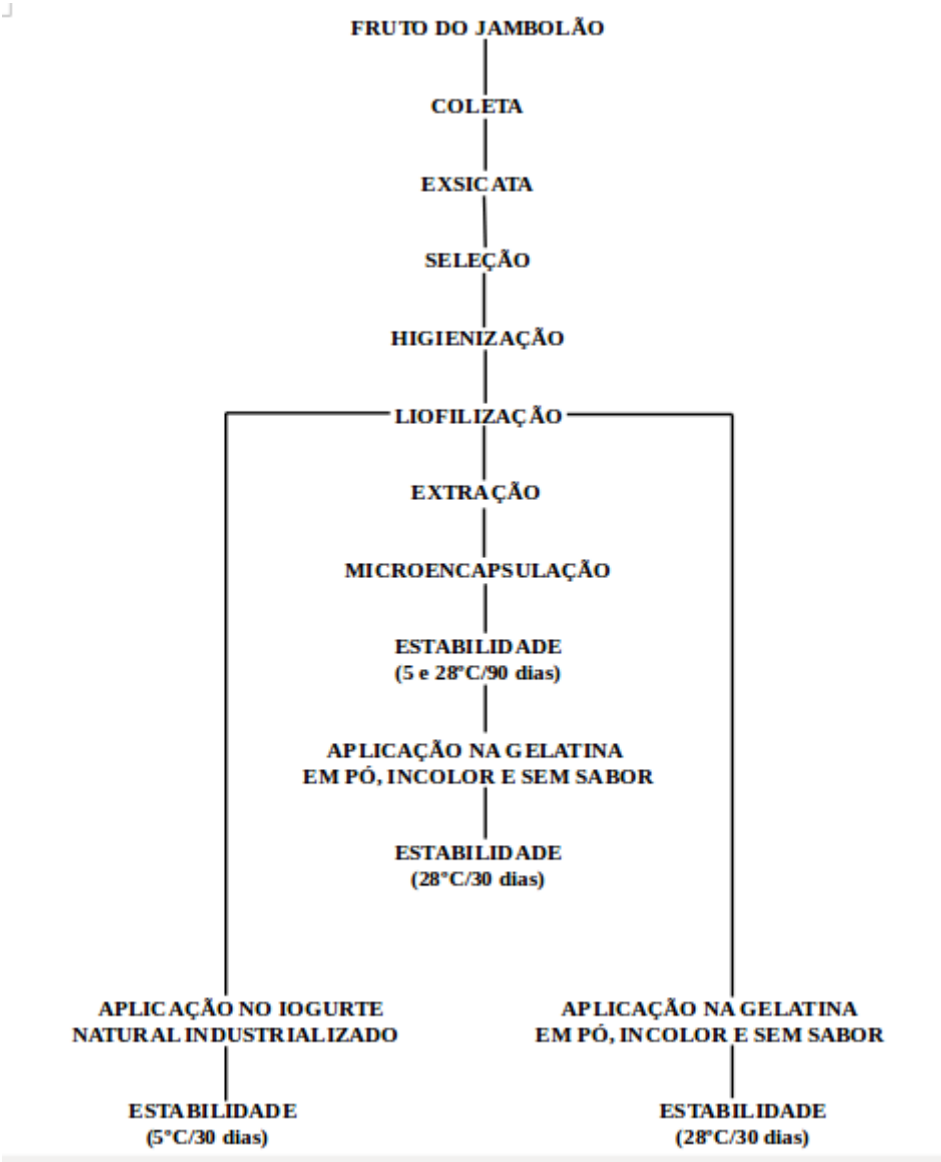
5.1 Obtenção e Processamento do jambolão

Cerca de 13kg de frutos do jambolão foram coletados na praia de Gaibu, localizada na cidade do Cabo de Santo Agostinho, região metropolitana de Pernambuco (Latitude: 8° 17' 15" S., Longitude: 35° 2' 7" O.), entre os meses de fevereiro e março de 2021. Exsicatas desse material vegetal foram produzidas no Herbário Professor Vasconcelos Sobrinho, na UFRPE, com número de registro 55893. No Laboratório de Processamento de Alimentos realizou-se uma seleção, descartando aqueles de aparência verde, machucados ou com avarias físicas. Em seguida foram lavados, sanitizados em solução de hipoclorito de sódio (2,5%) por 15 minutos, e enxaguadas para retirar o excesso de sanitizante (ROMUALDO et al., 2021), para em seguida ser realizada a remoção manual da semente.

Polpa e a casca do jambolão com massa final de 7,3 kg foram transferidas para sacos de polietileno de baixa densidade, congeladas e armazenadas a -18ºC para uso posterior. O descongelamento foi realizado sob refrigeração, (5ºC) por 24h de antecedência de sua utilização.

Todas as etapas envolvendo a coleta e processamento do jambolão, e as aplicações em matriz alimentícia estão apresentados no fluxograma abaixo (Figura 6).

Figura 6. Fluxograma dos procedimentos realizados com o jambolão.



5.1.1 Liofilização da polpa e casca do jambolão

Um liofilizador de bancada (MARTIN CHRIST, ALPHA 1-4 LD PLUS) foi utilizado até que a polpa e casca atingissem teor de umidade constante (LESTARIO et al., 2017). O material liofilizado foi triturado em liquidificador doméstico (ARNO), embalado em sacos de polietileno de baixa densidade e armazenado a -18ºC, ao abrigo de luz até posterior utilização.

Todas as etapas envolvendo a coleta, o processamento e as aplicações nos alimentos do jambolão e seus respectivos derivados estão apresentados no fluxograma abaixo (Figura 6)

5.1.2 Caracterização química e físico-química da polpa e casca do jambolão *in natura* e liofilizada

As análises químicas realizadas nas cascas e polpa foram as seguintes: umidade utilizando balança com fonte de calor infravermelho (Marte ID50, Marconi, Brasil), cinzas, lipídios, proteínas e açúcares totais. Para a caracterização físico-química foram realizadas as análises de atividade de água, pH utilizando potenciômetro calibrado (TECNAL® TEC-3MP, Piracicaba/SP), acidez titulável por meio de titulação potenciométrica, neutralizando com solução de hidróxido de sódio (0,1M) (expressa em equivalente de ácido cítrico) e sólidos solúveis pelo índice de refração, por meio de refratômetro digital (REICHERT® r2i300), com resultado expresso em ºBRIX (g de sacarose/100g de amostra) (MARTINSEN et al., 2020). Todas as medidas foram feitas em triplicata, de acordo com a metodologia proposta pela AOAC (2016).

5.1.3 Determinação dos parâmetros cromáticos da polpa e casca do jambolão *in natura* e liofilizada

A determinação instrumental da cor foi realizada com colorímetro (CR400/410, Minolta Co. Ltd., Osaka, Japan) calibrado com placa de calibração (Y = 92,78; x = 0,3139; y = 0,3200). Foram determinados os valores de L, a* e b*, como também os valores de croma (C) e hue (hº).

A variação de cor durante o tempo de armazenamento e na matriz alimentar foi calculado pelo ΔE mostrado na eq. (1), onde o índice “i” se refere as análises feitas no dia 01 e o índice “f” se refere a última análise realizada (YEKDANE et al., 2019).

$$\Delta E = \sqrt{(L*i - L*f)^2 + (a*i - a*f)^2 + (b*i - b*f)^2} \quad (1)$$

5.1.4 Determinação do teor de compostos fenólicos e das antocianinas totais na polpa e casca do jambolão *in natura* e liofilizada

As absorbâncias foram determinadas em espectrofotômetro UV-Visível (SHIMADZU®, UV-1650PC, Japão), utilizando cubeta de quartzo e percurso ótico de 1cm.

Os compostos fenólicos totais foram determinados por reação, em ausência de luz, com o reagente fenólico Follin Ciocaulteau (Sigma Aldrich®, St. Louis, MO, USA), estabilizada com solução saturada de carbonato de sódio segundo metodologia descrita por Wettasinghe e Shahidi (1999). Absorbâncias foram lidas a 725nm e o teor de compostos fenólicos totais foi determinado por interpolação da absorbância das amostras contra uma curva padrão de ácido gálico (10,00 e 280,00µg/mL) e os resultados foram expressos em mg de equivalente de ácido gálico (EAG)/g em matéria seca.

A determinação de antocianinas totais foi realizada pelo método do pH diferencial descrito por Wrolstad et al. (2005), em triplicata. Alíquota diluída do extrato reagiu com duas soluções tampão, cloreto de potássio a 0,025M (pH=1) e acetato de sódio a 0,4M (pH=4,5), por 50 minutos em temperatura ambiente. As absorbâncias foram medidas a 520 nm e 700 nm, concentração de antocianinas totais foram determinadas por meio de equação e os resultados expressos como mg de cianidina 3-glicosídeo por 100 g de amostra.

$$\mathbf{AcT} = \{[(A_{522nm} - A_{700nm})_{pH=1} - (A_{522nm} - A_{700nm})_{pH=4,5}] \times M\omega \times DF\} / \varepsilon \times L$$

Onde:

A: Absorbância em determinados comprimentos de onda;

Mω: Peso molecular da cianidina 3-glisosídeo (449.2 g/mol);

DF: Fator de diluição;

ε: Coeficiênte molar de absorvidade (29,600 L/(cm.mol));

L: Percurso óptico (1cm).

5.2 Produção do extrato aquoso de jambolão

O extrato aquoso de jambolão foi obtido seguindo a metodologia de Merz et al. (2020). Um grama da casca e polpa do jambolão liofilizada foi misturada com 200mL de uma solução acidificada de água (99:1 v/v, H2O: HCl 37%) por 80 minutos, ao

abrigo da luz, a 35ºC e sob agitação constante (100 rpm). A mistura foi filtrada para remoção das partes sólidas e o extrato foi armazenado a -18ºC em frasco de vidro âmbar até a realização da caracterização físico-química, química e microencapsulação.

5.2.1 Parâmetros físico-químicos do extrato aquoso de jambolão

Foram realizadas as seguintes análises físico-químicas, em triplicata: sólidos solúveis, pH e acidez titulável, previamente descritas no item 5.1.2 (AOAC, 2016).

Foram realizadas também no extrato a determinação dos parâmetros cromáticos e as quantificações dos teores de compostos fenólicos e antocianinas totais de acordo com nos itens 5.1.4.

5.2.2 Microencapsulação do extrato aquoso de jambolão

A microencapsulação foi realizada de acordo com a metodologia proposta por Santhalakshmy et al. (2015) com algumas modificações. Foi preparada uma solução com extrato aquoso de jambolão, material de recheio, e maltodextrina 20DE, material de parede. O material de parede foi misturado ao material de recheio, até atingirem 26,23% de sólidos totais e agitados até completa solubilização. Um mini spray dryer (MSD® 1.0 LM, LABMAQ do Brasil LTDA) foi utilizado para a obtenção das microcápsulas nas seguintes condições: temperatura de entrada do ar de secagem, 150°C, fluxo de alimentação de 10mL/min., vazão de ar 35L/min. e temperatura de saída 80°C. As microcápsulas produzidas foram mantidas em saco Stand-up Pouch metalizado (80mL, 8x12,5cm) e armazenadas a -18ºC até sua utilização.

Foi determinada a atividade de água foi determinada pelo medidor instrumental de atividade de água (AQUA LAB®, modelo 4TE) a temperatura ambiente e a umidade de acordo com o item 5.1.2 e o resultado expresso em % de umidade de acordo com AOAC, (2016) em triplicata.

5.2.3 Eficiência de encapsulação dos compostos fenólicos do extrato aquoso de jambolão microencapsulado

Para determinação do teor dos fenólicos totais nas microcápsulas (TCF), 100 mg das microcápsulas foram dispersas em 1 mL da solução etanol: ácido acético: água

destilada (50:8:42 v/v). A mistura foi agitada em vortex por 1 min. e filtrada em microfiltro (Syringe Filters K18-230) de 0,22 µm (SAÉNZ et al., 2009). O teor de compostos fenólicos foi determinado por método espectrofotômetro, com espectro de absorção registrado no comprimento de onda de 725 nm, utilizando o reagente de Folin-Ciocalteau (Merk), solução de carbonato de sódio e curva padrão de ácido gálico (WETTASINGHE; SHAHIDI, 1999). Os resultados foram expressos em mg em equivalente de ácido gálico por 100g microcápsulas (mg EAG/100g amostra).

O teor de compostos fenólicos totais na superfície da microcápsula (TCFS) foi determinado segundo procedimento descrito por Saénz et al. (2009). Foram pesados 100 mg de microcápsulas dispersas em 1 mL de etanol:metanol (1:1 v/v), agitada levemente por 5 min e filtrada em microfiltro de 0,22 µm. O teor de compostos fenólicos foi determinado conforme descrito por Wettasinghe e Shahidi (1999).

Eficiência do Encapsulamento (EE) foi calculada considerando a equação descrita por Rocha et al. (2019).

$EE (\%) = [(TCF - TSF)/TCF] \times 100$, onde:

EE: Eficiência de encapsulamento;
TCF: Teor compostos fenólicos;
TSF: Teor superficial de compostos fenólicos.

5.2.4 Eficiência de encapsulação de antocianinas totais do extrato aquoso de jambolão microencapsulado

A determinação da eficiência de encapsulação (EE) das antocianinas seguiu a metodologia descrita por Kanha et al. (2021). Foi determinado o teor de antocianinas totais nas microcápsulas (TACm) e da superfície das microcápsulas (TACs) por espectrofotometria, utilizando o método do pH diferencial (WROLSTAD et al., 2005).
Para a análise do TACm foi adicionado 1ml de água destilada em 100mg das microcápsulas, em seguida a mistura foi agitada (agitador tipo Vortex) para destruir as paredes das microcápsulas, por 2 minutos e a temperatura ambiente. A extração das antocianinas foi realizada com solução de etanol 99% e agitação em vórtice por 5 minutos. A mistura seguiu para centrífuga a 6.000rpm durante 5 minutos, o

sobrenadante foi separado e filtrado. Em seguida, foi determinado o teor de antocianinas por espectrofotometria de absorção molecular UV/Vis (WROLSTAD et al., 2005).

Para a determinação do TACs foi misturada a mesma massa de amostra de microcápsulas com 5ml de etanol e misturado em vortex por 30 segundos, seguido de 5 minutos na centrifuga a 6.000 rpm em temperatura ambiente. Após a filtração foi analisado o TAC do sobrenadante, conforme Wrolstad et al. (2005).

A eficiência de microencapsulação foi calculada pela equação mostrada em Mahdavi et al. (2016a).

$EE(\%) = [(TACt - TACs)/TACt] \times 100$, onde:

EE: Eficiência de encapsulamento;
TACt: Teor antocianinas total;
TACs: Teor antocianinas superficial.

5.2.5 Identificação e quantificação dos compostos fenólicos do extrato aquoso e das microcápsulas por cromatografia Líquida de Alta Eficiência com detector de arranjo de diodos

Para esta etapa foi realizada extração a partir do extrato aquoso de jambolão e também nas microcápsulas obtidas por atomização utilizando metanol acidificado com ácido clorídrico (6,0mol/L) e ultrassom a 40kHz por 30min a 25°C (UNIQUE, modelo USC-1800, Brasil). O extrato foi centrifugado a 3000×*g* por 20min (centrífuga SL-701; Solab, São Paulo, Brasil), e o sobrenadante foi coletado, diluído a 10% com solução de ácido fosfórico a 0,52mol/L - pH = 2,0 e filtrado a 0,45 µm (PTFE) (Millex Millipore, Barueri, SP, Brasil), para identificação e quantificação dos compostos fenólicos por cromatografia líquida de alta eficiência com detector de arranjo de diodos.

A identificação dos compostos fenólicos seguiu a metodologia validada por Padilha et al. (2017), com adaptações de Dutra et al. (2018), em relação ao gradiente e tempo de eluição para quantificação de antocianinas, flavanóis, taninos condensados e flavanonas, utilizando um cromatógrafo líquido Agilent 1260 Infinity LC System (Agilent Technologies, Santa Clara – EUA) acoplado a um detector de arranjo de diodos (DAD) (modelo G1315D). A separação cromatográfica dos compostos fenólicos utilizou como fase estacionária a coluna Zorbax Eclipse Plus RP-C18 (100 × 4,6 mm, 3,5 µm)

acoplada a pré-coluna Zorbax C18 (12,6 × 4,6 mm, 5 µm), e como fase móvel os solventes A (solução de ácido fosfórico a 0,52mol/L - pH = 2,0) e B (metanol acidificado com 0,5% H_3PO_4). O fluxo da fase móvel foi de 0,8 mL/min, utilizando o seguinte gradiente: 5% de B por 5 minutos, aumento linear para 23% em 14 minutos, seguindo de aumento linear do solvente B até 50% em 30 minutos e, finalizando a corrida com aumento linear para 80% de B nos últimos 3 minutos. O volume de injeção foi de 20µL e a temperatura da coluna de 35°C. A detecção dos compostos foi feita em 220, 280, 320, 360 e 520 nm, e a identificação e quantificação por comparação com padrões externos. Os resultados foram expressos em mg/100g de amostra em massa seca. A coleta e análise dos dados foram realizadas no software OpenLAB CDS ChemStation Edition (Agilent Technologies, Santa Clara – EUA).

5.2.6 Determinação de higroscopicidade e solubilidade

A determinação da higroscopicidade seguiu a metodologia utilizada por Tonon, Brabet & Hubinger (2008), modificada. Amostra do pó microencapsulado (2g) foi colocada, em triplicata, em um recipiente hermético contendo uma solução saturada de NaCl (umidade relativa de 75,1%) por uma semana. A higroscopicidade foi expressa pela massa de água absorvida por 100g de amostra.

A solubilidade foi determinada de acordo com Shittu & Lawal (2007), com modificações, em triplicata. Um grama da amostra de microcápsulas foi adicionado em 10ml de água destilada e agitado por 30 minutos. A mistura foi centrifugada a 6000 rpm por 5 minutos. O sobrenadante foi coletado e seco a 105ºC por 24h. A relação entre a massa do sólido seco, vindo do sobrenadante, pela massa da amostra resultou na porcentagem de solubilidade.

5.2.7 Morfologia do extrato aquoso microencapsulado

Foi realizada por meio da microscopia eletrônica de varredura (MEV), modelo Scanning microscope JSM-5800LV – Jeol. As amostras foram fixadas em porta espécimens metálicos (stubs) com uma fita adesiva de dupla face condutora convencional, em seguida metalizadas com ouro (metalizador Leica, modelo EM SCD500), a uma taxa de recobrimento de 15 nm de espessura, por 80 segundos e corrente de 40 mA e, observadas em um microscópio eletrônico de varredura (FEI,

modelo Quanta 200 FEG), operando com 30 kV. A aquisição das imagens foi realizada pelo software XT mcroscop (UTPOTT et al., 2020).

5.3 Estudo da estabilidade dos compostos fenólicos e das antocianinas no extrato aquoso microencapsulado

O estudo da estabilidade das antocianinas nas microcápsulas seguio a metodologia proposta por Tavares et al. (2020), com algumas modificações. Alíquotas das microcápsulas (5g) foram coletadas, em triplicata, transferidas para sacos de Stand-up Pouch metalizado (80mL, 8x12,5cm), armazenadas em ambiente de umidade relativa controlada e protegida da exposição à luz. As amostras foram armazenadas sob refrigeração e a temperatura ambiente (5ºC e 28ºC, respectivamente), por 90 dias. Os testes realizados para acompanhar a estabilidade das microcápsulas, nas diferentes faixas de temperatura, foram a determinação instrumental da cor, compostos fenólicos e antocianinas totais.

5.4 Aplicação da casca e polpa liofilizada em iogurte natural industrializado

A aplicação da fruta liofilizada no iogurte natural industrializado seguiu a metodologia proposta por Freitas-Sá et al. (2018), com algumas modificações. Foi adicionado ao iogurte natural proporções de 0,5%, 1,0% e 1,5% de casca e polpa do jambolão liofilizada. Em seguida as misturas foram comparadas com amostra controle, o iogurte da marca *Grego* (Nestlé®) de sabor frutas vermelhas (morango, amora e framboesa) adicionado de corante natural carmim, produzido industrialmente, por meio da determinação instrumental da cor com o colorímetro (CR400/410, Minolta Co. Ltd., Osaka, Japan). As amostras foram armazenadas sob refrigeração (5ºC) e protegida da exposição à luz até a realização das análises.

- Estabilidade cromática e fenólica na matriz alimentar

Para o estudo da estabilidade foi selecionada a mistura (iogurte + fruta liofilizada) que apresentou o resultado de cor instrumental mais próximo ao do iogurte comercial. Os testes realizados para acompanhar a estabilidade da fruta liofilizada no

iogurte, durante 30 dias, foram a determinação instrumental da cor, compostos fenólicos e antocianinas totais.

5.5 Aplicação da casca e polpa liofilizada na gelatina em pó sem sabor, incolor e industrializada

Alíquotas das amostras liofilizadas foram coletadas, em triplicata, e aplicadas em pó para gelatina incolor, sem sabor seguindo metodologia proposta por Mahdavi et al. (2016[b]). As amostras foram produzidas misturando a fruta liofilizada com a gelatina sem sabor, açúcar e maltodextrina, nas proporções 7%, 15%, 75% e 3% (m/m), respectivamente. Essas amostras foram armazenadas em ambiente de umidade relativa controlada e protegida da exposição à luz até a realização das análises.

No momento da análise, a mistura foi dissolvida em 200mL de água morna, ajustando o pH para 4,3 com 0,08% de uma solução de ácido cítrico (20%) e estabilizado com 0,01% de uma solução de benzoato de sódio (0,05%). A mistura ficou 50 minutos sob refrigeração e em seguida foram realizadas as análises (MAHDAVI et al., 2016[b]).

Os testes realizados para acompanhar a estabilidade da fruta liofilizada no pó para gelatina foram a determinação instrumental da cor, compostos fenólicos e antocianinas totais.

5.6 Aplicação e estabilidade do extrato aquoso de jambolão microencapsulado na gelatina sem sabor, incolor e industrializada

Após o processo de microencapsulação, alíquotas das amostras microencapsuladas foram coletadas, em triplicata, e aplicadas em pó para gelatina incolor, sem sabor seguindo a mesma metodologia proposta por Mahdavi et al. (2016[b]) utilizada na aplicação do jambolão liofilizado na gelatina em pó. Os testes realizados para acompanhar a estabilidade das microcápsulas na gelatina foram a determinação instrumental da cor, fenólicos e antocianinas totais.

5.7 Análise Estatística

Os dados experimentais foram analisados e apresentados como valores médios e desvios-padrão de dados obtidos em triplicata. Foi realizado análise de variância

43

(ANOVA) e o teste de diferenças de médias (t-Student) com o auxílio do software Statistica versão 12.0 (StatSoft Inc., Tulsa, EUA) ao nível de 5% de significância.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Caracterização química, físico-química e quantificação de compostos fenólicos do jambolão *in natura* e liofilizado

Devido à grande diversidade de componentes na parte comestível da fruta do jambolão, responsáveis pelos atributos sensoriais e nutricionais, informações sobre a composição química são de suma importância (ALBUQUERQUE et al., 2019).

Na Tabela 3 estão apresentados os resultados da composição centesimal realizada na casca e polpa de jambolão *in natura* e liofilizada.

Tabela 03 - Composição centesimal da casca e polpa de jambolão (*Syzygium cumini (L.) skeels*) *in natura* e liofilizada.

Parâmetros	*In natura**	Liofilizada*
Umidade (%)	87,28 ± 0,01[a]	14,18 ± 0,04[b]
Proteínas (%)	0,80 ± 0,10[b]	4,83 ± 0,04[a]
Lipídeos (%)	0,51 ± 0,05[b]	0,68 ± 0,04[a]
Cinzas (%)	0,22 ± 0,01[b]	1,87 ± 0,01[a]
Açúcares Totais (%)	10,35 ± 0,19[b]	48,56 ± 0,25[a]

*Média de três repetições ± desvio padrão

Médias nas linhas seguidas por letras iguais não diferem significativamente entre si (p >0,05), pelo teste de Tukey.

Os valores encontrados para a composição química do jambolão estão próximos aos valores apresentados pelo estudo que Silva e Sá & Sabaa-Srur (2012) realizaram com a parte comestível *in natura* do jambolão, casca e polpa (84,93% ± 0,19; 1,86% ± 0,26; 0,55% ± 0,12; 0,62% ± 0,15 e 9,97% ± 0,94 para umidade, proteínas, lipídeos, cinzas e açúcares totais, respectivamente). Barcia et al. (2012) reportam, em seus estudos com jambolão *in natura* coletados em três cidades diferentes (Pelotas, Capão do Leão e Santa Vitória do Palmar) resultados semelhantes para umidade (81,7% ±3.6 a 83,9%±1,5), cinzas (0,35%±0,1 a 0,42%±0,1) e proteínas (0,73%±0,0 a 0,91%±0,3). A parte comestível da fruta apresentou alto teor de umidade, podendo ser utilizado na indústria alimentícia como ingrediente para sucos e néctares. O baixo teor de lipídios encontrado na polpa faz desta fruta uma boa candidata para dietas de baixa caloria.

Os resultados encontrados por Santiago et al. (2016) para a casca e polpa do jambolão liofilizado estão próximos ao do presente estudo (9,98% ±0.08; 3,97% ± 0.00; 0,64% ± 0.01; 3,33% ± 0.03; 59,57% ± 0.12, para umidade, proteínas, lipídeos, cinzas e açúcares totais, respectivamente).

A parte comestível do jambolão apresentou valores de pH próximos aos encontrados por Carmo Brito et al. (2017) (3,79) (Tabela 4), que o classifica como um alimento ácido (pH<4,5). A relação entre os sólidos solúveis e a acidez titulável nos dá informações sobre o estado de maturação e grau de doçura da fruta (SILVA e SÁ & SABAA-SRUR, 2012). Esses parâmetros são usados principalmente para determinar o melhor momento para colher os frutos e aplicá-los nas preparações. O jambolão em estudo apresentou relação entre sólidos solúveis e acidez titulável próximas às encontradas por Silva e Sá & Sabaa-Srur (2012), 13ºBrix e 0,97 ±0,07 (g/100 g ác. Málico), respectivamente.

Tabela 4. Caracterização físico-química da casca e polpa do jambolão *in natura* e liofilizada.

Parâmetros	*In natura**	*Liofilizada**
Atividade de água (Aw)	0,98 ±0,00[a]	0,26 ±0,02[b]
Sólidos solúveis (°Brix)	10,2 ± 0,0[a]	5,46 ±0,05[b]
pH	3,72 ± 0,13[a]	3,81 ±0,04[a]
Acidez titulável (g/100 g ác. málico)	1,64 ±0,04[b]	15,64 ±0,31[a]

*Média de três repetições ± desvio padrão
Médias nas linhas seguidas por letras iguais não diferem significativamente entre si (p >0,05), pelo teste de Tukey.

Os parâmetros de cor refletem as características visuais do alimento, além de ser o primeiro componente que atrai o consumidor (SANTHALAKSHMY et al., 2015; WADIBHASME et al., 2020). A fruta do jambolão seca foi estudada por Carmo Brito et al. (2017) e apresentou resultados próximos aos do presente estudo (Tabela 5) revelando baixa luminosidade (L=22,20), cor viva (C*=20,72), sendo uma mistura entre o vermelho (a*= 20,30) e o azul (b*= -4,17) de coloração roxo avermelhado (Figuras 9 e 10).

Tabela 5. Caracterização cromática e dos compostos bioativos da casca e polpa do jambolão *in natura* e liofilizada.

Parâmetros	*In natura**	*Liofilizada**
Cor (CIELAB)		
L*	13,86 ±0,15[b]	22,61 ±0,02[a]
a*	25,65 ±0,32[a]	22,61 ±0,18[b]
b*	-8,09 ±0,26[b]	-0,98 ±0,03[a]
Croma	26,89 ±0,31[a]	22,63 ±0,18[b]
Hue (º)	0,30 ±0,01[a]	0,04 ±0,00[b]
FT (mgEAG/100g)	610,3 ±3,47[b]	2323,18 ±4,54[a]
TAC(mg/100g)	207,76 ±1,24[b]	1574,80 ±26,75[a]

*Média de três repetições ± desvio padrão
Médias nas linhas seguidas por letras iguais não diferem significativamente entre si (p >0,05), pelo teste de Tukey.
FT: Fenólicos totais; TAC: Total de antocianinas.

Figura 7. Polpa e casca do jambolão *in natura* (A) e liofilizada (B).

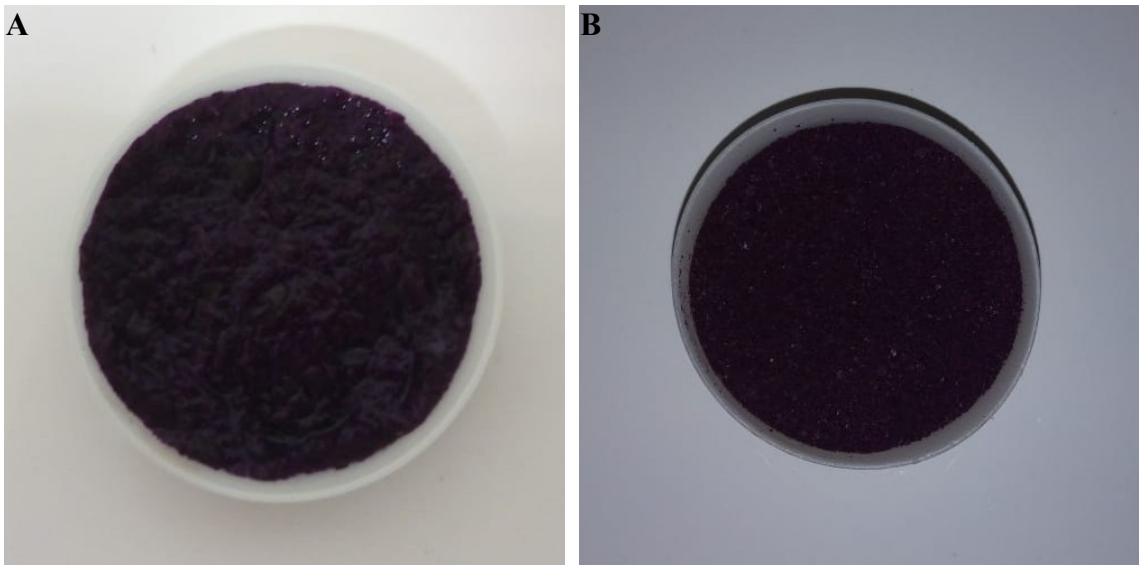


Figura 8. Cor identificada pelo calorímetro instrumental do jambolão *in natura* (A) e liofilizada (B).

Fonte: Nix Sensor Ltd (2022).

Com relação aos compostos bioativos, a fruta *in natura* do jambolão possui um total de compostos fenólicos abaixo do reportado por Singh, Paswan & Rai (2019), 450 g EAG/100g e próximo ao teor de antocianinas 198 mg/100g (Tabela 5). Carmo Brito et al. (2017) encontraram valor superior para antocianinas 296,00 ±16,00 mg/100g. Alguns fatores devem ser levados em consideração para explicar essas diferenças como, mudanças no solo ou no clima.

6.2 Caracterização físico-química e quantificação de compostos fenólicos e antocianinas do extrato aquoso de jambolão

O extrato aquoso do jambolão apresentou alta atividade de água, pH baixo e baixa acidez titulável (Tabela 6). Resultados próximos aos apresentados por Santhalakshmy et al. (2015), que obtiveram (0,99 ±0,00; 3,1±0,0; 1,04g/100g ác. málico ±0,03, para atividade de água, pH e acidez titulável, respectivamente) em extrato aquoso. Os autores defendem que um extrato que apresenta essas características de pH e acidez titulável tem o crescimento microbiológico inibido. O extrato possui uma coloração avermelhada (Figura 14) próxima ao exibido pelo software Nix Sensor Ltd (2022) (Figura 15).

Tabela 6. Características físico-químicas do extrato e das microcápsulas do extrato de jambolão.

Parâmetros	*Extrato**	*Microcápsulas**
Atividade de água (aw)	0,99 ±0,01[a]	0,30 ±0,01[b]
Umidade (%)	98,58 ±0,12[a]	5,15 ±0,16[b]
Sólidos solúveis (°Brix)	0,66 ±0,05[b]	5,39 ±0,06[a]
pH	3,04 ±0,03[a]	2,33 ±0,02[b]
Acidez titulável (g/100 g ác. málico)	1,74 ±0,03[a]	0,58 ±0,04[b]

*Média de três repetições ± desvio padrão

Médias nas linhas seguidas por letras iguais não diferem significativamente entre si (p >0,05), pelo teste de Tukey.

Figura 8. Extrato aquoso de jambolão.

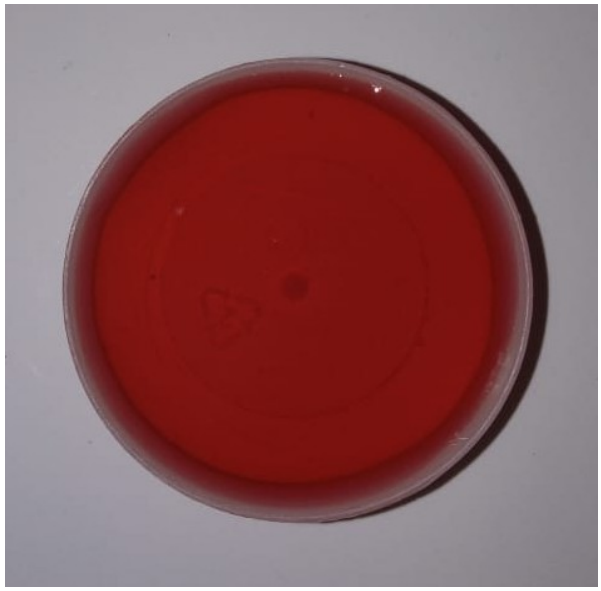


Figura 9. Cor identificada pelo colorímetro instrumental do extrato de jambolão.

Fonte: Nix Sensor Ltd (2022).

O valor de antocianinas totais encontrado nesse estudo (Tabela 7) foi superior ao apresentado por Sabino et al. (2021) (6050,0 mg/100g), no extrato aquoso de jambolão Merz et al. (2020) determinaram teores de antocianinas em extrato de jambolão nos tempos 30, 60 e 80 min (2504,84 ± 155,87 mg/100g; 2925,65 ± 28,33 mg/100g e 2795,39 ± 189,84 mg/100g, respectivamente) para determinar o melhor tempo de extração.

Tabela 7. Características cromáticas e dos compostos fenólicos do extrato e das microcápsulas do extrato de jambolão.

Parâmetros	***Extrato****	***Microcápsulas****
Cor (CIELAB)		
L*	35,06 ±0,43[b]	88,27 ±0,17[a]
a*	38,7 ±0,14[a]	25,72 ±0,12[b]
b*	26,79 ±0,37[a]	0,09 ±0,01[b]

Croma	47,07 ±0,27[a]	25,72 ±0,12[b]
Hue (º)	0,60 ±0,00[a]	0,003 ±0,00[b]
FT(mgEAG/100g)	556,52 ±4,73[a]	522,72 ±1,64[b]
TAC(mg/100g)	8969,50 ±18,01[a]	128,9 ±1,16[b]

*Média de três repetições ± desvio padrão

Médias nas linhas seguidas por letras iguais não diferem significativamente entre si (p >0,05), pelo teste de Tukey.

FT: Fenólicos totais; TAC: Total de antocianinas.

6.2.1 Caracterização físico-química, cromática e determinação dos compostos fenólicos e antocianinas totais do extrato aquoso de jambolão microencapsulado

A determinação da atividade de água revela a quantidade de água livre no alimento responsável por todas as reações bioquímicas, microbiológicas e de deterioração (WADIBHASME et al., 2020). Os valores baixos de atividade de água encontrados nas microcápsulas (Tabela 6) do presente estudo são considerados mais seguros e promovem maior estabilidade ao pó microencapsulado.

Determinar o teor de umidade das microcápsulas é importante pois está relacionado com a eficiência da secagem e consequentemente da segurança microbiológica do produto, além de características como a aderência e a cristalização. Wadibhasme et al. (2020) apresentaram valores de atividade de água, umidade e acidez titulável (0,333 ±0,002; 3,90% ±0,02; 0,65g/100 g ác. málico ±0,05, respectivamente) próximos aos encontrados no presente estudo, contudo o valor de pH foi um pouco maior (3,45 ±0,04). Singh, Paswan & Rai (2019) reportaram valor inferior para a umidade (2,13% ± 0.02) em microcapsulas produzidas com suco de jambolão com adição de 10% de maltodextrina. Levando em conta a atividade de água e umidade encontrada no extrato aquoso de jambolão microencapsulado (Tabela 6) pode-se considerá-lo microbiologicamente seguro.

Com relação aos parâmetros cromáticos (Tabela 7) tem-se valores superiores aos de Wadibhasme et al. (2020) tanto no L* (72,81 ±0,006) quanto no a* (19,83 ±0,04) e b* (-12,89 ±0,006), revelando que o extrato de jambolão microencapsulado neste estudo possui maior luminosidade, maior intensidade da cor vermelha e pouca presença do azul

na cor final em relação ao do autor acima citado (Figura 10).

Figura 10. Cor identificada pelo colorímetro instrumental do extrato de jambolão microencapsulado.

Fonte: Nix Sensor Ltd (2022).

Os valores de compostos fenólicos totais (330,0 mg EAG/100g) apresentados na Tabela 7 são inferiores aos reportados por Tavares et al. (2020) em seu pó produzido a partir de uma espuma feita com o suco do jambolão e seca em secador com circulação de ar quente.

O teor de antocinaninas (Tabela 7) encontrado no extrato aquoso de jambolão microencapsulado foi superior ao valor reportado por Singh, Paswan & Rai (2019) (100,67 mg/100g) e Raman et al. (2020) no pó do suco de jambolão, produzido na hora da análise, sem a adição de agente encapsulante (140,0 mg/100g) e do pó produzido com a adição de maltodextrina (70±0,01mg/100g) e inferior ao reportado por Tavares et al. (2020) (247,9 mg/100g).

6.2.2 Avaliação da eficiência, higroscopicidade e solubilidade do extrato aquoso de jambolão microencapsulado

A eficiência de encapsulamento é uma variável que revela o potencial do material da parede para prender ou encapsular o material do núcleo a ser encapsulado, sendo portanto, um parâmetro importante para partículas microencapsuladas (MAHDAVI et al., 2016[b]). Para o método de encapsulamento ser considerado eficiente é necessário a obtenção de altas concentrações dos materiais do núcleo e baixas concentrações dos materiais do núcleo na superfície das partículas microencapsuladas (MAHDAVI et al., 2016[a]). Dessa forma pode-se afirmar que altos valores da eficiência de extração (EE) estão relacionados com baixas concentrações do material de interesse na superfície da partícula, consequentemente uma maior proteção e estabilidade desse material. O contrário também é verdadeiro, ou seja, menores valores de EE indicam menor estabilidade dos compostos de interesse decorrente da não proteção das cápsulas às condições adversas do ambiente (ANTONIO-GÓMEZ et al., 2021).

Alguns fatores podem afetar a EE desde a própria natureza dos agentes encapsulantes e do material do núcleo, como tambem o tipo de emulsão formada. Os parâmetros de secagem aplicados também tem papel importante no sucesso ou não da EE. Ahmad et al. (2018) destacam alguns fatores aplicados na microencapsulação por atomização como as temperaturas de entrada e saída, taxa de fluxo de alimentação, fluxo de ar e umidade. Além disso durante o processo de *spray-drying* podem ocorrer perdas de compostos bioativos decorrentes de alguns fatores como a formação de poros nas microcápsulas, fissuras na superfície das partículas formadas e a liberação prematura dos compostos emcapsulados devido a evaporação rápida da água em razão do uso de altas temperaturas (REZENDE, NOGUEIRA & NARAIN, 2018).

A Tabela 8 apresenta a eficiência de extração dos compostos fenólicos e o percentual de umidade e higroscopicidade do jambolão microencapsulado.

Tabela 8. Características físicas do extrato de polpa de jambolão microencapsulado.

Parâmetros	***Microcápsulas****
EE (%) compostos fenólicos totais	89,23 ±1,67
EE (%) antocianinas	94,56 ±1,61
Solubilidade (%)	97,27 ±0,28
Higroscopicidade ($gH_2O/100g$)	14,92 ±0,01

*Média de três repetições ± desvio padrão.

A EE para compostos fenólicos no extrato de jambolão microencapsulado (Tabela 6) foi superior ao apresentado por Rezende, Nogueira & Narain (2018) (69,75%) no estudo com o extrato da polpa de acerola microencapsulada e inferior à EE (94,21%) encontrada por Rocha et al. (2019) em mistura de extratos microencapsulado de jussara, jabuticaba e blueberry. Ahmad et al. (2018) reportou que os extratos microencapsulados de açafrão em β-glucana e em β-ciclodextrina possiem EE das antocianinas de 45% e 63,25%, respectivamente. Mahdavi et al. (2016[b]) produziu dois extratos de berberis e microencapsulou usando 100% maltodextrina em um e uma mistura de maltodextrina com goma arábica (50%-50%) como agente encapsulante e obteve EE para antocianinas de 91,5% e 93%, respectivamente. Na pesquisa realizada

com extrato de Chagalapoli microencapsulado Antonio-Gómez et al. (2021) apresenta valor de EE para antocianinas (99,40% ±0,00) superior ao do presente estudo.

A diferença nos valores de EE no presente trabalho depende de alguns fatores, como o método, condições de extração, de microencapsulação, material de parede e sua respectiva concentração. Além disso, a eficiência de encapsulação para os compostos fenólicos totais não seguiu o mesmo comportamento das antocianinas. Em seu estudo Robert, et al. (2010) encontraram comportamento semelhante a este trabalho, onde a EE de antocianinas de suco de romã foi de 80% usando maltodextrina, mas apenas 70%, para os fenólicos. Eles atribuíram essas diferenças às cargas existentes nos compostos bioativos, levando em consideração que as antocianinas contém carga positiva, possuindo maior afinidade pela maltodextrina em relação aos demais fenóis, que apresentam carga negativa, com menor afinidade pela maltodextrina (ROBERT, et al., 2010).

A solubilidade é uma das propriedades mais importântes a ser analisada num pó microencapsulado, e informa como o pó vai se comportar em solução aquosa, fundamental para a reconstituição do mesmo (WADIBHASME, et al., 2020). Os autores Singh, Paswan & Rai (2019) e Wadibhasme, et al. (2020) apresentaram resultados inferiores para a solubilidade do pó do jambolão (93,15% e 92,01% ±0,02, respectivamente), contudo Santhalakshmy, et al. (2015) reportaram uma maior solubilidade para o pó do extrato aquoso do jambolão microencapsulado (98,67% ±0,02) .

O valor de higroscopicidade reportado por Santhalakshmy et al. (2015) para o pó do extrato aquoso do jambolão microencapsulado foi superior (22,33 ±1,52 $gH_2O/100g$), revelando que o pó em estudo absorveu menos água.

6.2.3 Perfil fenólico do extrato aquoso e do extrato aquoso de jambolão microencapsulado

Por meio da cromatografia líquida de alta eficiência associada ao detector de arranjo de diodos foram identificados, no extrato aquoso de jambolão e no extrato microencapsulado, 31 compostos fenólicos, dentre estes 4 flavanóis, 6 ácidos fenólicos, 4 flavonóis, 2 estilbenos, 2 flavanonas, 3 taninos condensados, uma flavona e 9 antocianinas (Tabelas 9, 10 e 11).

Tabela 9. Perfil de ácidos fenólicos do extrato de jambolão e do extrato microencapsulado.

Composto	Extrato (mg/100g)	Microcápsulas (mg/100g)
Ácido gálico	N.Q.	N.Q.
Ácido siríngico	N.Q.	N.Q.
Ácido trans-caftárico	N.Q.	N.Q.
Ácido clorogênico	N.Q.	N.Q.
Ácido cafeico	N.Q.	N.Q.
Ácido p-cumárico	N.Q.	0

Alguns compostos fenólicos como a catequina, miricetina, rutina, caempferol e quercetina (Tabela 10), além das antocianinas mono glicosiladas malvidina 3-glicosídeo e cianidina 3-glicosídeo foram reportadas por Azima, Noriham & Manshoor (2017) no extrato aquoso da fruta do jambolão. Vale ressaltar que os autores Azima, Noriham & Manshoor (2017) ainda afirmaram que a presença de ácidos fenólicos e flavonoides na polpa do jambolão podem atuar como copigmentadores, preservando e estabilizando as antocianinas durante o processo de extração e preparação da amostra. Seraglio et al. (2018) também encontraram a quercetina, rutina, cianidina e delfinidina no jambolão. Carvalho et al. (2017) reportaram ter identificado a miricetina e vários de seus derivados, dentre eles os 3-glicosídeos e 3-galactosídeos.

Tabela 10. Perfil de flavones, flavanóis, flavonóis, flavanonas, estilbenos e taninos condensados do extrato de jambolão e do extrato microencapsulado.

Composto	Extrato (mg/100g)	Microcápsulas (mg/100g)
Rutina	N.Q.	0
Procianidina B1	N.Q.	N.Q.
Procianidina B2	N.Q.	N.Q.
Procianidina A2	N.Q.	0,44 ±0,01
Naringenina	N.Q.	N.Q.
Hesperidina	N.Q.	0
cis-Resveratrol	N.Q.	N.Q.

Trans-Resveratrol	N.Q.	N.Q.
Miricetina	N.Q.	N.Q.
Isorhamnetina	N.Q.	N.Q.
Quercetina	N.Q.	N.Q.
Kaempferol	N.Q.	N.Q.
Catequina	0,81 ±0,002	N.Q.
Epicatequina	N.Q.	N.Q.
Galato de epigalocatequina	N.Q.	N.Q.
Galato de epicatequina	N.Q.	0,36 ±0,04

*Média de três repetições ± desvio padrão

Médias nas linhas seguidas por letras iguais não diferem significativamente entre si (p >0,05), pelo teste de Tukey.

**N.Q.: Compostos não quantificados.

Observando apenas o perfil das antocianinas (Tabela 11), foram identificadas 3 diglicosiladas: cianidina 3,5-diglicosídeo, pelargonidina 3,5-diglicosídeo e a malvidina 3,5-diglicosídeo, e 6 mono glicosiladas: delfinidina 3-glicosídeo, cianidina 3-glicosídeo, pelargonidina 3-glicosídeo, peonidina 3-glicosídeo, malvidina 3-glicosídeo e a petunidina 3-glicosídeo.

Tabela 11. Perfil de antocianinas do extrato de jambolão e do extrato microencapsulado.

Composto	Extrato (mg/100g)	Microcápsulas (mg/100g)
Cianidina 3,5-diglicosídeo	0,70 ±0,008[a]	0,35 ±0,0001[b]
Pelargonidina 3,5-diglicosídeo	10,13 ±0,01[a]	2,07 ±0,38[b]
Delfinidina 3-glicosídeo	N.Q.	N.Q.
Malvidina 3,5-diglicosídeo	N.Q.	N.Q.
Cianidina 3-glicosídeo	1,19 ±0,04[a]	0,57 ±0,01[b]
Pelargonidina 3-glicosídeo	N.Q.	N.Q.
Peonidina 3-glicosídeo	N.Q.	N.Q.
Malvidina 3-glicosídeo	N.Q.	0

Petunidina 3-glicosídeo	N.Q.	N.Q.

*Média de três repetições ± desvio padrão

Médias nas linhas seguidas por letras iguais não diferem significativamente entre si (p >0,05), pelo teste de Tukey.

**N.Q.: Compostos não quantificados.

Carvalho et al. (2017) identificaram nove antocianinas em amostras da parte comestível do jambolão, a fruta, suco e o suco desidratado. Dentre elas tem-se a cianidina e a malvidina nas versões mono e diglicosiladas e as delfinidina e a petunidina nas versões monoglisociladas, contudo, não foi identificada a pelargonidina 3,5-diglicosídeo, maior fonte de contribuição das antocianinas no presente estudo. Os valores encontrados pelos autores acima citados para cianidina 3-glicosídeo na fruta liofilizada e no suco desidratado foram 0.006 ± 0.001 e 0.012 ± 0.008 mg/100g, respectivamente, valores inferiores ao presente estudo, assim como da cianidina 3,5-diglicosídeo (0,337 ± 0.01 e 0,407± 0.021 mg/100g, para a fruta liofilizada e o suco desidratado, respectivamente).

Quatro antocianinas também foram relatadas por Lestario et al. (2017) e Santiago et al. (2015), a cianidina e a malvidina diglicosiladas e a delfinidina monoglicosilada e a cianidina monoglicosilada por Romualdo et al. (2021). Os valores de cianidina 3,5-diglicosídeo reportados por Romualdo et al. (2021) para a casca desidratada do jambolão (11.18 ±2.10mg/100g) e Lestario et al. (2017) (35.6 ±0.69) para a fruta do jambolão madura são superiores ao do presente estudo.

A diferença presente entre os resultados apresentados neste estudo e os de Lestario et al. (2017), Romualdo et al. (2021), Santiago et al. (2015) e Carvalho et al. (2017) pode ter como causa diferentes condições ambientais de desenvolvimento, diferênça varietal da espécie e diferentes métodos de extração.

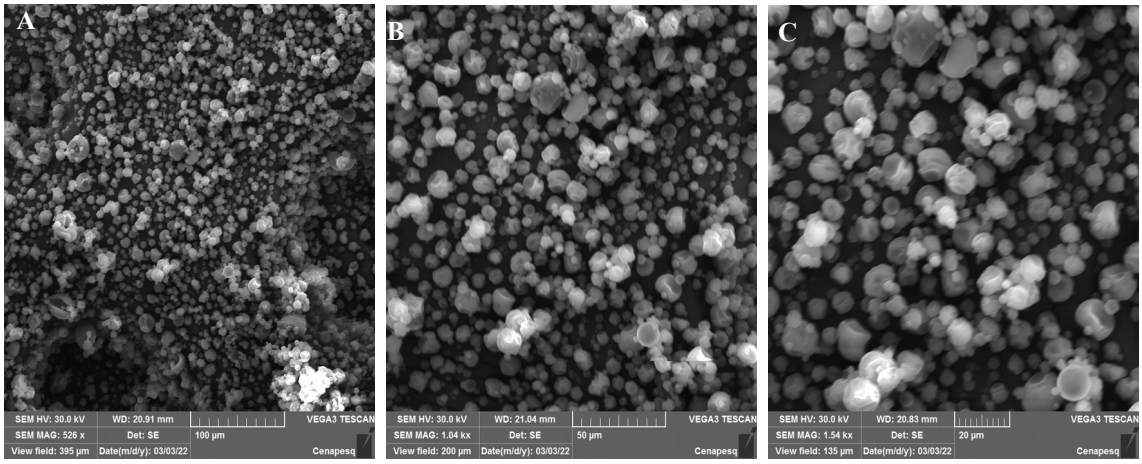
6.2.4 Morfologia do extrato aquoso de jambolão microencapsulado

A morfologia das microcápsulas do extrato aquoso de jambolão é um parâmetro crítico na avaliação de produtos encapsulados porque superfícies rachadas podem diminuir a estabilidade de compostos bioativos (MAR et al. 2020). As micropartículas de extrato de jambolão apresentaram formato esférico e variavam em tamanho, características típicas daquelas produzidas por microencapsulação por atomização

(Figura 16). Esse efeito se dá pela rápida evaporação da água formando uma crosta lisa e dura (TONON, BRABET & HUBINGER, 2008).

MAR et al. (2020) destacam que as superfícies externas das micropartículas produzidas pelo processo *spray drying* podem ficar rugosas, possivelmente devido ao encolhimento do agente carreador nos estágios iniciais da secagem, contudo, ressalta que as micropartículas produzidas com carreadores de boas propriedades viscoelásticas e taxas de secagem favoráveis são menos rugosas.

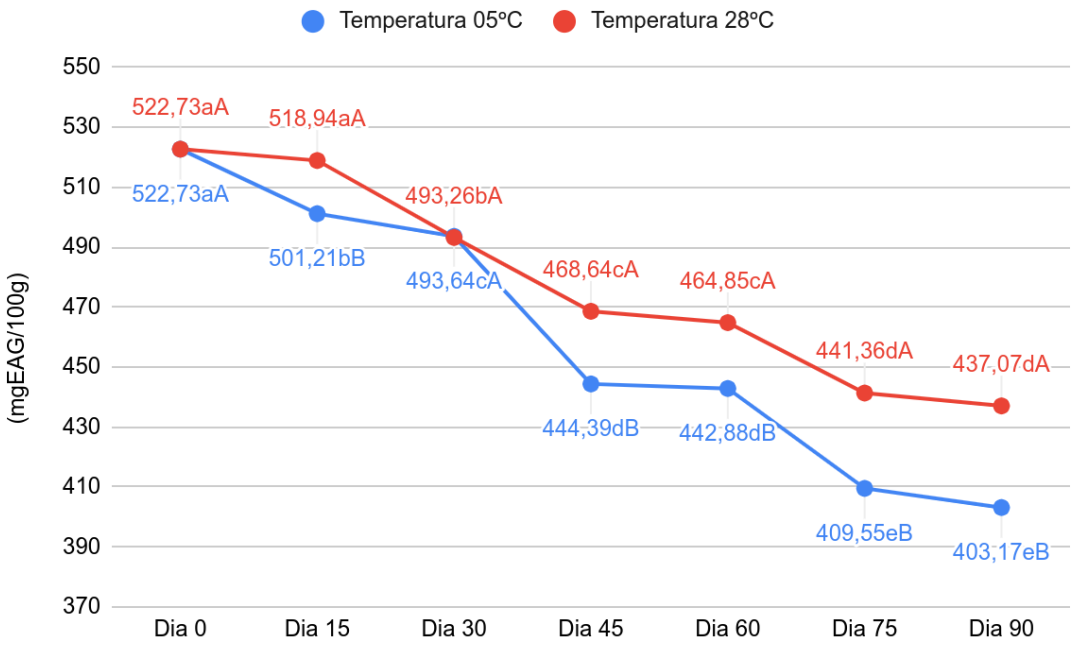
Figura 11. Imagens da microscopia eletrônica de varredura (MEV) do extrato de jambolão microencapsulado: a) aproximação de 100µm; b) aproximação de 50µm; c) aproximação de 20µm.



6.3 Estabilidade da cor e dos compostos bioativos do extrato aquoso de jambolão microencapsulado

Observando o gráfico da estabilidade dos compostos fenólicos (Figura 18) pode-se notar que em ambos os casos o teor de fenólicos sofreu queda, partindo de 522,73mgEAG/100g ±1,64 e ao final dos noventa dias de 403,17mgEAG/100g ±0,54 e 437,07mgEAG/100g ±0,33 para o extrato de jambolão microencapsulado armazenado em 5ºC e 28ºC, respectivamente. Importante destacar que o extrato de jambolão microencapsulado armazenado a 28ºC apresentou maior estabilidade dos compostos fenólicos (83,61%) que o armazenado a 5ºC (77,12%).

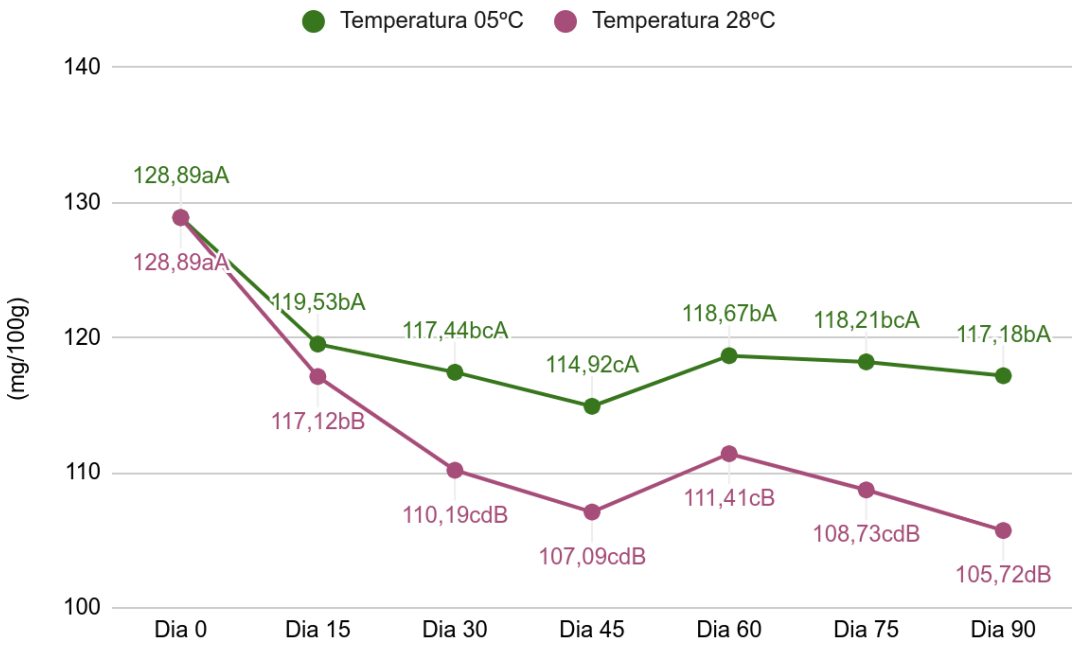
Figura 12. Gráfico da estabilidade do teor de fenólicos, quantificados pelo espectrofotômetro, do extrato de jambolão microencapsulado e armazenado a 05ºC e 28ºC.



Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas linhas em cada uma das análises, não diferem significativamente (p >0,05), pelo teste de Tukey. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula entre as linhas em cada uma das análises, não diferem significativamente (p >0,05), pelo teste de Tukey.

As antocianinas presentes no extrato de jambolão microencapsulado também reduziram durante o amazenamento de 30 dias a 5ºC e 28ºC (Figura 19). No inicio do processo, tinha-se 128,29mg/100g ±1,16 e no final do armazenamento a 5ºC baixou para 117,18mg/100g ±0,47 e no armazenamento a 28ºC abaixou para 105,72mg/100g ±4,63, em ambos os casos os decréscimos apresentaram diferaça estatística significativa. O extrato de jambolão microencapsulado armazenado a 5ºC apresentou maior estabilidade (90,91%) para as antocianinas do que o armazenado a 28ºC de 82,02%.

Figura 13. Gráfico da estabilidade do teor de antocianinas, quantificados pelo espectrofotômetro, do extrato de jambolão microencapsulado e armazenado a 05ºC e 28ºC.

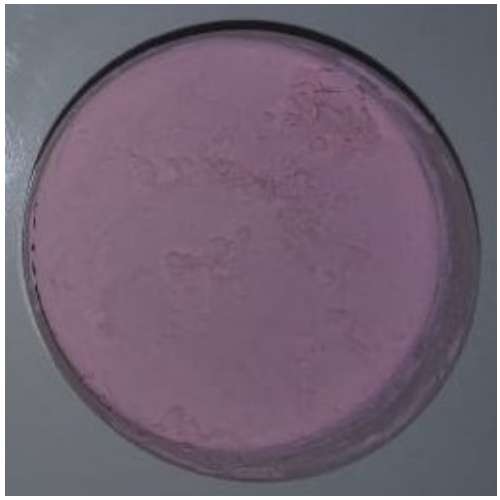


Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas linhas em cada uma das análises, não diferem significativamente (p >0,05), pelo teste de Tukey. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula entre as linhas em cada uma das análises, não diferem significativamente (p >0,05), pelo teste de Tukey.

Esses resultados se refletem na variação de cor ao final dos 90 dias, onde o extrato de jambolão microencapsulado armazenado a 5ºC apresentou ΔE de 5,29 ±39, enquanto que a 28ºC foi estatisticamente significante a diferença (10,16 ±0,73) devido a maior degradação das antocianinas. Pode-se notar que o extrato de jambolão microencapsulado armazenado a 28ºC aprensentou ao final dos 90 dias um aspecto mais granuloso, diferente do que estava armazenado a 5ºC, essa alteração pode ter sido em docorrência de absorção de umidade (Figura 13).

Figura 13. Fotos do extrato aquoso de jambolão microencapsulado:

(a1): Dia 30 (05ºC)



(a2): Dia 30 (28ºC)

(b1): Dia 60 (05ºC)

(b2): Dia 60 (28ºC)

(c1): Dia 90 (05ºC)

(c2): Dia 90 (28ºC)

No estudo realizado por Tavares et al. (2020) com o pó de suco de jambolão obtido pela produção de espuma e seco em secador com circulação de ar quente, o teor

de fenólicos apresentou uma estabilidade de 96% e as antocianinas de 84,99%, após um período de armazenamento de 150 dias a 35ºC.

Gaibor et al. (2022) tem-se a produção do extrato acidificado e concentrado de jambolão. O extrato usado apresenta valores de 1781,32mgEAG/100g para o teor de fenólicos e 66,91mg/100g para antocianinas. O extrato produzido é microencapsulado e colocado em forno em três faixas de temperatura 45, 50 e 55°C. O extrato microencapsulado colocado a 45ºC foi o que apresentou menor decréscimo das antocianinas (40%) em relação ao extrato, para as faixas de 50 e 55ºC os decréscimos foram de 60 e 80%, respectivamente. Em todos os casos acima citados a estabilidade das antocianinas no extrato de jambolão microencapsulado do presente trabalho foi superior às reportadas pelos autores.

6.4 Estabilidade da cor e dos compostos bioativos da casca e polpa liofilizada em iogurte natural industrializado

As misturas de iogurte natural com as diferentes proporções de jambolão liofilizado podem ser vistas na Figura 11. Por apresentarem parâmetros de cor próximos ao iorgurte da marca Grego (Nestlé®) de sabor frutas vermelhas (morango, amora e framboesa) adicionado de corante natural carmim (L= 81,90 ±1,67, a*= 3,68 ±0,41 e b*= 4,10 ±01,04), a amostra de iogurte escolhida para as análies de estabilidade foi a com a adição de 0,5% de fruta liofilizada (L= 83,37 ±0,56, a*= 2,75 ±0,08 e b*= 2,65 ±0,21) (Figura 12).

Figura 15. Jambolão liofilizado adicionado ao iogurte natural industrializado nas seguintes proporções 0,5%, 1,0% e 1,5% (da esquerda para a direita, respectivamente)

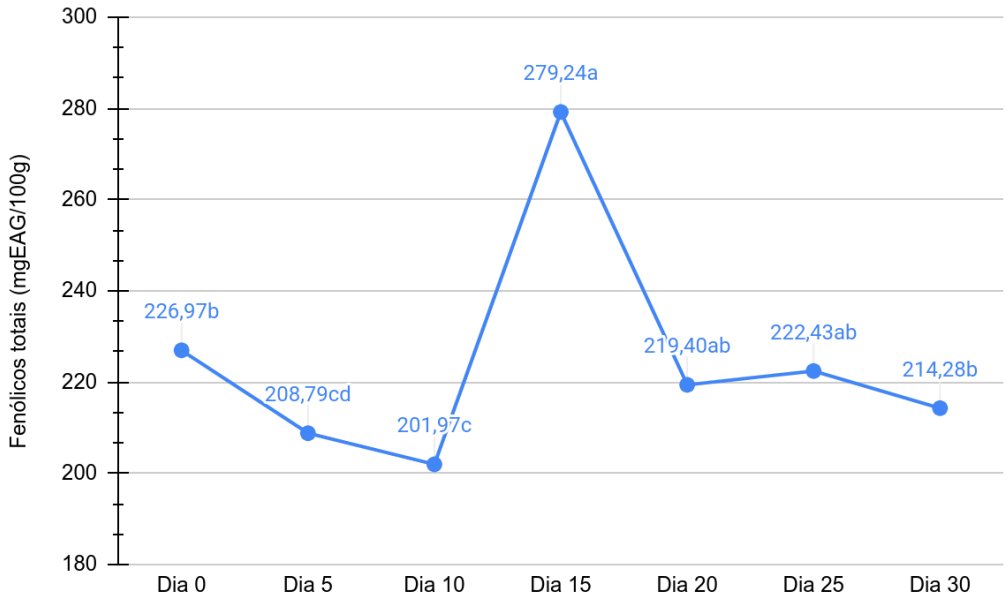
Figura 16. Cor identificada pelo calorímetro instrumental do jambolão liofilizado (0,5%) + iogurte natural industrializado.

Fonte: Nix Sensor Ltda (2022).

Com relação aos teores de compostos fenólicos totais da amostra pode-se notar que sofreu um decréssimo numérico não sigificativo de 226,97mgEAG/100g ±8,36 para 214,28mgEAG/100g ±1,05 e que representa uma estabilidade de 94,40% durante o amazenamento a 5ºC por 30 dias (Figura 1). Com relação aos teores de antocianinas totais o decréscimo foi maior 224,86mg/100g ±3,47 para 204,60mg/100g ±3,44 e significante, com diferença estatistica significativa uma estabilidade de 90,98% (Figura 1).

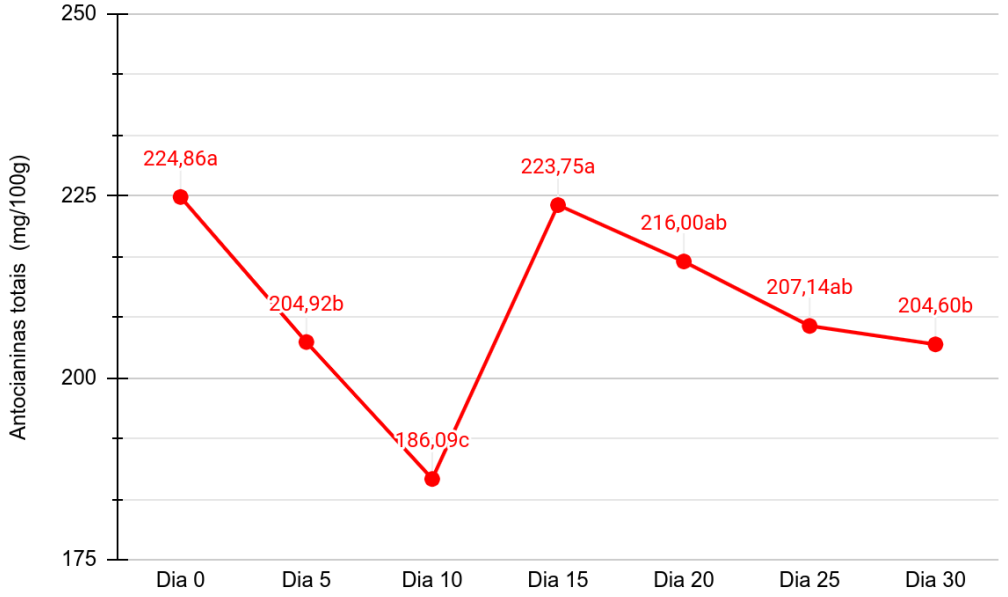
Com relação as alterações na cor, o ΔE ao final dos trinta dias a 05ºC foi de 1,88 ±0,17, expressando mudança na cor não perceptível ao olho humano (ΔE < 3,0), o que pode-se atribuir a alta estabilidade apresentada pelos compostos fenólicos e antocianinas.

Figura 17. Gráfico da estabilidade dos compostos fenólicos totais do iogurte natural e industrializado + jambolão liofilizado.



Médias seguidas pela mesma letra, não diferem significativamente (p >0,05), pelo teste de Tukey.

Figura 18. Gráfico da estabilidade das antocianinas totais do iogurte natural industrializado + jambolão liofilizado.



Médias seguidas pela mesma letra, não diferem significativamente (p >0,05), pelo teste de Tukey.

O conteúdo de compostos fenólicos e de antocianinas total do iogurte natural e industrializado enriquecido com jambolão liofilizado foi superior ao reportado por

Bezerra et al. (2015) ao aplicarem a polpa *in natura* do jambolão, obtendo valores de 7,95mgEAG/100g para o teor de compostos fenólicos e 1,18mg/100g para as antocianinas. Os autores também aplicaram ao iogurte o extrato de jambolão microencapsulado (5,25mgEAG/100g, para compostos fenólicos e 0,76mg/100g, para as antocianinas). Contudo, vale ressaltar que no presente estudo o extrato aquoso de jambolão microencapsulado não alterou a coloração do iogurte natural. apenas quando adicionou-se o jambolão liofilizado houve uma alteração na coloração do iogurte natural. Panghal et al. (2019) também apresentaram valores inferiores de fenólicos totais (111,2 mgEAG/100g ±0,08 a 176,3mgEAG/100g ±0,84) para a pasta preparada adicionando diferentes concentrações de polpa de jambolão *in natura* e processada, tipo um purê (0%, 10%, 20%, 30% e 40%).

Emam & El-Nashar (2022) fizeram testes de aceitação de iogurte natural adicionado de extrato aquoso de jambolão nas proporções de 5% e 10%, utilizando escala hedônica de nove pontos e observaram que a adição de 5% do extrato foi a que apresentou melhores resultados para cor, sabor, odor e aceitabilidade global do produto.

6.5 Estabilidade da cor e dos compostos bioativos da casca e polpa liofilizada e do extrato de jambolão microencapsulado na gelatina em pó sem sabor, incolor e industrializada

A gelatina incolor em pó misturada com o jambolão liofilizado e com o extrato microencapsulado apresentaram colorações distintas (L= 51,91 ±8,46, a*= 35,34 ±7,17 e b*= 18,6 ±1,68, e L= 70,75 ±2,05, a*= 20,41 ±0,38 e b*= 5,04 ±0,04, respectivamente) (Figura 21). Aplicando os valores obtidos pelo colorímetro instrumental ao software Nix Sensor Ltd. Encontrou-se cores próximas às amostras (Figura 22).

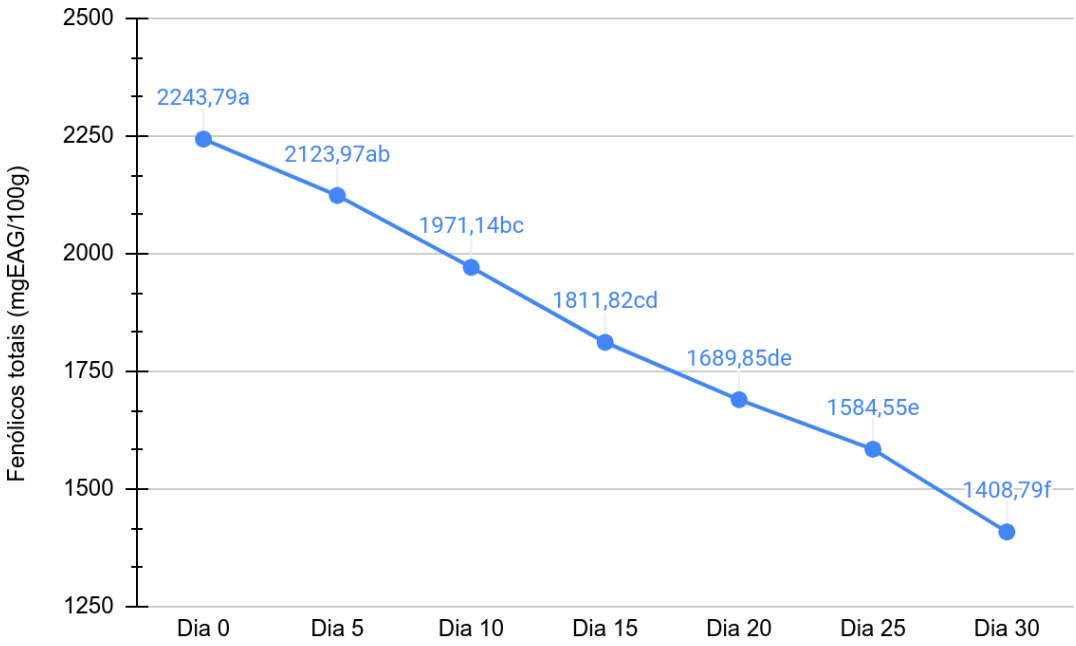
Figura 19. Jambolão liofilizado (à esquerda) e extrato microencapsulado (à direita) adicionado a gelatina incolor.

Figura 20. Cor identificada pelo colorímetro instrumental do jambolão liofilizado (à esquerda) e extrato microencapsulado (à direita) adicionado a gelatina.

Fonte: Nix Sensor Ltd (2022).

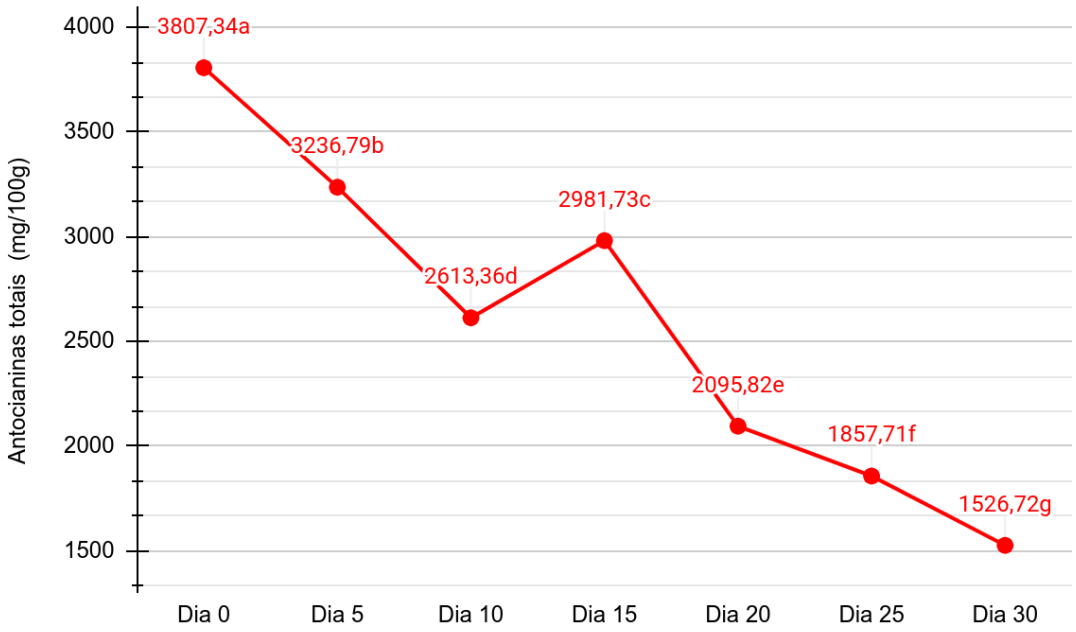
A amostra de gelatina incolor misturada com o jambolão liofilizado apresentou valores altos, tanto para os fenólicos totais como para as antocianinas, 2243,79mgEAG/100g ±61,43 e 3837,04mg/100g ±25,05, respectivamente. Ao final do armazenamento por 30 dias a 28ºC, ambos os valores apresentaram decréscimo estatisticamente significativo para os fenólicos 1408,79mgEAG/100g ±5,71 e para as antocianinas 1526,72mg/100g ±8,34 (Figuras 23 e 2). O que representa uma estabilidade de 62,78% para os compostos fenólicos e de 40,09% para as antocianinas. Apesar dos valores de decréscimo serem altos ao final do armazenamento, os pós preparados para gelatina ainda apresentava coloração viva.

Figura 21. Gráfico da estabilidade dos fenólicos totais da gelatina + jambolão liofilizado.



Médias seguidas pela mesma letra, não diferem significativamente (p >0,05), pelo teste de Tukey.

Figura 22. Gráfico da estabilidade das antocianinas totais da gelatina + jambolão liofilizado.



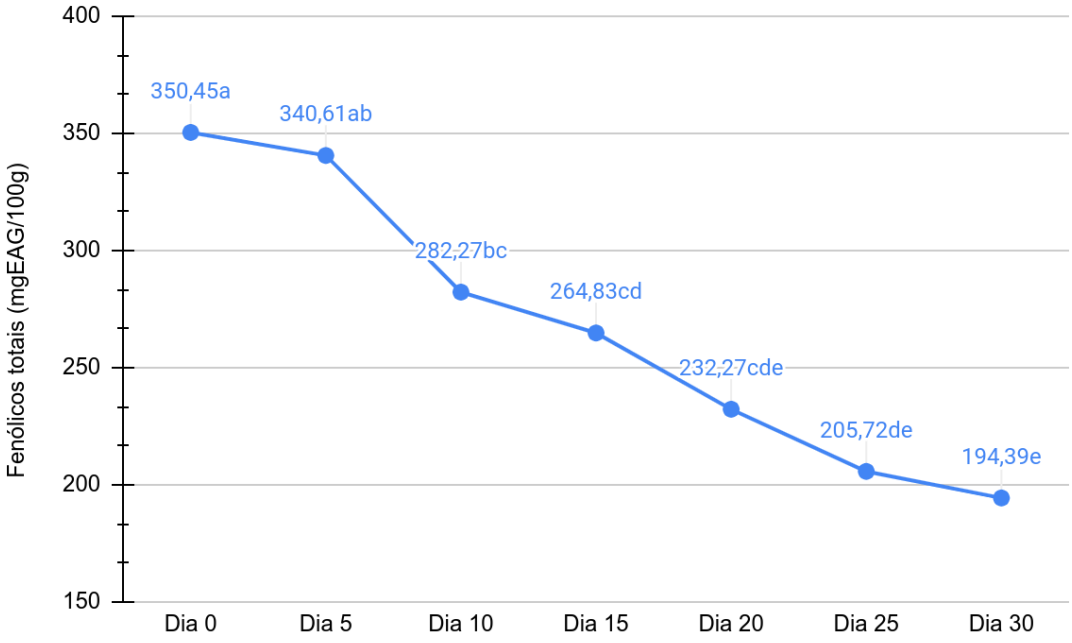
Médias seguidas pela mesma letra, não diferem significativamente (p >0,05), pelo teste de Tukey.

Os resultados para a amostra de gelatina incolor misturada com o extrato de jambolão microencapsulado seguem a mesma tendência, com valores significativos de

fenólicos (350,45mgEAG/100g ±41,09) e antocianinas (481,48mg/100g ±21,01) para o dia da aplicação. Ao final dos 30 dias os fenólicos apresentaram um valor de 194,39mgEAG/100g ±3,44, cuja a estabilidade foi de 55,46%, e as antocianinas 217,70mg/100g ±5,67, com estabilidade de 45,21% (Figuras 23 e 24).

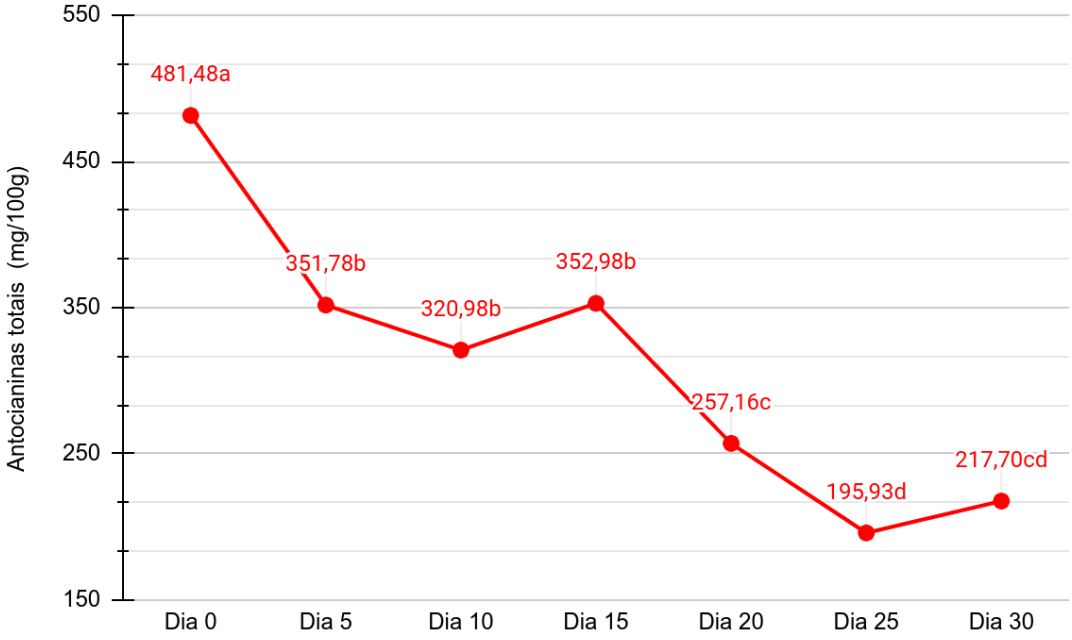
Dessa forma observa-se que em ambos os casos o decréscimo nos valores das antocianinas resulta na variação de cor obtida pelo ΔE para a gelatina incolor misturada com o jambolão liofilizada (15,28 ±0,33) e para a gelatina incolor misturada com o extrato de jambolão microencapsulado (20,72 ±0,91).

Figura 23. Gráfico da estabilidade dos fenólicos totais da gelatina + extrato de jambolão microencapsulado.



Médias seguidas pela mesma letra, não diferem significativamente (p >0,05), pelo teste de Tukey.

Figura 24. Gráfico da estabilidade das antocianinas totais da gelatina + extrato de jambolão microencapsulado.



Médias seguidas pela mesma letra, não diferem significativamente (p >0,05), pelo teste de Tukey.

Com base nos dados observados, adicionar 7% do corante no pó para gelatina incolor, tanto da fruta liofilizada, como do extrato de jambolão microencapsulado, apresentou coloração e concentração de antocianinas indicando que a adição dessa quantidade de corante natural na formulação da gelatina é eficaz e uma alternativa aceitável para cores artificiais (MAHDAVI et al., 2016).

O jambolão é uma rica fonte de compostos bioativos naturais com atividade antioxidante. Pode-se observar também que as amostras de pó para gelatina contendo extrato aquoso de jambolão microencapsulado continham valores menores nos teores de fenólicos e antocianinas, em relação as amostras produzidas com jambolão liofilizado. Essa tendência indica que, embora o uso do pó para gelatina com o extrato aquoso de jambolão microencapsulado seja mais prático, ele produz amostras com valores teóricos de bioatividade mais baixos. Bezerra et al. (2015) chama a atenção ao uso da palavra "teoricamente" fazendo alusão à pesquisas que indicam que fenóis indetectáveis não são necessariamente menos ativos

7 - CONCLUSÕES

Este estudo fornece dados importantes para informações nutricionais, bem como para o desenvolvimento econômico do jambolão. Esta fruta pode ser considerada uma fonte de compostos naturais bioativos e nutritivos que podem ser utilizados como matérias-primas promissoras para a indústria alimentícia.

A parte comestível do jambolão liofilizada contém elevados teores de compostos fenólicos e antocianinas. Além de ser uma boa fonte de compostos bioativos benéficos à saúde humana. E também tem se mostrado uma boa fonte de corante natural para alimentos como o iogurte natural e pó para gelatina. Os valores obtidos para compostos fenólicos e antocianinas totais são condizentes com outros alimentos da dieta humana que são fontes desses compostos. O extrato foi obtido a partir de solução aquosa acidificada e os resultados para suas propriedades físico-químicas, bem como para compostos fenólicos e antocianinas foram próximos aos de outros estudos realizados com extratos da fruta do jambolão. A microencapsulação por atomização possibilitou bons índices de eficiência de encapsulamento para compostos fenólicos e características morfológicas e físico-químicas favoráveis.

Ao final de 90 dias de armazenamento, o extrato de jambolão microencapsulado apresentou diminuição de compostos fenólicos e antocianinas, mas ainda continha quantidades significativas destes compostos, indicando seu potencial como ingrediente funcional e pigmento natural para a indústria alimentícia e farmacêutica.

Os resultados apresentados demonstram que o iogurte com a adição de jambolão liofilizado, conseguiu manter uma taxa satisfatória de estabilidade das antocianinas durante 30 dias de armazenamento refrigerado a 5ºC. Dessa forma, o jambolão liofilizado pode ser considerado uma opção de corante natural para laticínios.

As formulações de pó para gelatina feitas com 7% de corante natural mostram coloração satisfatória, mesmo após o tempo de armazenamento, melhorando a coloração e tornando alimentos mais saudáveis. Como o produto final conterá quantidades significativas de antocianinas.

A decisão final sobre a melhor opção para adicionar ao alimento deve ser baseada em critérios adicionais, como tipo do alimento que se deseja tingir e custo final. Por fim tem-se a necessidade de maiores estudos sobre formas de otimizar o processo de microencapsulação para reduzir perdas das antocianinas, além de mais pesquisas sobre a

estabilidade na aplicação da fruta do jambolão liofilizada e do extrato de jambolão microencapsulado em alimentos.

8. REFERÊNCIAS

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, 2018.

AKTER, S., ISLAM, M. N., SUZAUDDULA, M., RABBY, M. G., BISWAS, M., & MAHMUDUL, M. Development of Jelly, Ice-cream, Yogurt, Squash and Drink from Black Jamun. **Environmental and Biological Research**, v. 1, p. 54-60, 2019.

ALBUQUERQUE, G. A.; CARVALHO, A. V.; FARIA, L. J. G. de; CHISTÉ, R. C.; MARTINS, L. H. da S. & LOPES, A. S. Effects of thermal pasteurization on jambolan tropical juice bioactive compounds. **British Food Journal**, v. 121, p. 2821-2834, 2019.

ANTONIO-GÓMEZ, M. V., SALINAS-MORENO, Y., HERNÁNDEZ-ROSAS, F., MARTÍNEZ-BUSTOS, F., ANDRADE-GONZÁLEZ, I., & HERRERA-CORREDOR, J. A. Optimized Extraction, Microencapsulation, and Stability of Anthocyanins from *Ardisia compressa K.* Fruit. **Polish Journal of Food and Nutrition Sciences**, v. 71, p. 299-310, 2021.

AOAC, Association of Official Analytical Chemists. **Official Methods of Analysis of the Association Analytical Chemists.** 20 ed. Maryland, 2016.

AQIL, F.; GUPTA, A.; MUNAGALA, R.; JEYABALAN, J.; KAUSAR, H.; SHARMA, R. J.; SINGH, I. P.; GUPTA, R. C. (2012). Antioxidant and antiproliferative activities of anthocyanins/ellagitannin-enriched extracts from *Syzygium cumini* L. (jamun, the Indian blackberry). **Nutrition and Cancer**, v. 64, p. 428–438, 2012.

ARUMUGAM, R.; KANNAN, R. R. R.; JAYALAKSHMI, J.; MANIVANNAN, K.; DEVI, G. K.; ANANTHARAMAN, P. Determination of element contents in herbal drugs: chemometric approach. **Food Chemistry**, v. 135, p. 2372-2377, 2012.

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

AZIMA, A.M. S.; NORIHAM, A.; MANSHOOR, N. Phenolics, antioxidants and color properties of aqueous pigmented plant extracts: *ardisia colorata var. elliptica , clitoria ternatea , garcinia mangostana and syzygium cumini*. **Journal of Functional Foods**, v. 38, p. 232-241, 2017.

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 Research International**, v. 44, p. 1776-1789, 2011.

BARCIA, M. T., PERTUZATTI, P. B., JACQUES, A. C., GODOY, H. T., & ZAMBIAZI, R. Bioactive compounds, antioxidant activity and percent composition of jambolão fruits (*Syzygium cumini*). **The Natural Products Journal**, v. 2, p. 129-138, 2012.

BELWAL, T.; SING, G.; JEANDET, P.; PANDEY, A.; GIRI, L.; RAMOLA, S.; BHATT, I. D.; VENSKUTONIS, P. R.; GEORGIEV, M. I.; CLÉMENT, C.; LUO, Z. Anthocyanins, multi-functional natural products of industrial relevance: Recent biotechnological advances. **Biotechnology Advances**, v. 43, n. 107600, 2020.

BORDIGNON, C. L.; FRANCESCATTO, V.; NIENOW, A. A.; CALVETE, E.; REGINATTO, F. H. Influência do pH da solução extrativa no teor de antocianinas em frutos de morango. **Ciência e Tecnologia dos Alimentos**, v. 29, p. 183-188, 2009.

BRITO, B. D. N. do C.; PENA, R. da S.; LOPES, A. S. & CHISTÉ, R. C. Anthocyanins of jambolão (*Syzygium cumini*): Extraction and pH-dependent color changes. **Journal of food science**, v. 82, p. 2286-2290, 2017.

BRITO, E. S. de; ARAÚJO, M. C. P. de; ALVES, R. E.; CARKEET, C.; CLEVIDENCE, B. A.; NOVOTNY, J. A. Anthocyanins Present in Selected Tropical Fruits: acerola, jambolão, jussara, and guajiru. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 55, p. 9389-9394, 2007.

CARVALHO, C., PAGANI, A., TELES, A., SANTOS, J., PACHECO, T., JUNIOR, R. C., & POZZA, M. Jamelao capsules containing bioactive compounds and its aplication in yoghurt. **Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria**, v. 19, p. 47-56, 2020.

CARVALHO, T. I. M. de, NOGUEIRA, T. Y. K., MAURO, M. A., GOMEZ-ALONSO, S., GOMES, E., Da-SILVA, R., HERMOSÍN-GUTIÉRREZ I. & LAGO-VANZELA, E. S. Dehydration of jambolan [*Syzygium cumini (L.)*] juice during foam mat drying: Quantitative and qualitative changes of the phenolic compounds. **Food Research International**, v. 102, p. 32-42, 2017.

CASTAÑEDA-OVANDO, A. et al. Chemical studies of anthocyanins : A review. **Food Chemistry**. v. 113, p. 859–871, 2009.

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**, v. 64, p. 363-371, 2013.

CHHIKARA, N.; KAUR, R.; JAGLAN, S.; SHARMA, P.; GAT, Y.; PANGHAL, A. Bioactive compounds and pharmacological and food applications of *Syzygium cumini* - a review. **Food & Function**, v. 9, p. 6096-6115, 2018.

DAMETTO, A. C.; AGUSTONI, D.; MOREIRA, T. F.; PLAZA, C. V.; PRIETO, A. M.; SILVA, T. G.A.; SOUZA, F. O.; BORALLE, N.; SORBO, J. M.; SILVA, D. H.s. Chemical composition and in vitro chemoprevention assessment of *Eugenia jambolana Lam. (Myrtaceae)* fruits and leaves. **Journal of Functional Foods**, v. 36, p. 490-502, 2017.

DUTRA, M. C. P.; RODRIGUES, L. L.; OLIVEIRA, D.; PEREIRA, G. E.; LIMA, M. S. Integrated analyses of phenolic compounds and minerals of Brazilian organic and conventional grape juices and wines: Validation of a method for determination of Cu, Fe and Mn. **Food Chesmitry**, v. 269, p. 157-165, 2018.

EMAM, A. O. & EL-NASHAR, H. A. Technological and nutritional aspects of incorporating jamun (*Syzygium cumini (L.) skeels*) fruit extract into yoghurt. **Journal of Food Research**, v. 11, p. 1-28, 2022.

ERLUND, I.; KOLI, R.; ALFTHAN, G.; MARNIEMI, J.; PUUKKA, P.; MUSTONEN, P.; MATTILA, P.; JULA, A. Favorable effects of berry consumption on platelet function, blood pressure, and HDL cholesterol. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 87, p. 323-331, 2008.

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, p. 1571-1578, 2011.

FARIAS, D. de P.; NERI-NUMA, I. A.; ARAðJO, F. F. de; PASTORE, G. M. A critical review of some fruit trees from the *Myrtaceae* family as promising sources for food applications with functional claims. **Food Chemistry**, v. 306, n. 125630, 2020.

FLESCHHUT, J.; KRATZER, F.; RECHKEMMER, G.; KULLING, S. E. Stability and biotransformation of various dietary anthocyanins in vitro. **European Journal of Nutrition**. v. 45, p. 7-18, 2006.

FREITAS, A. A.; DIAS, L. G.; MAÇANITA, A. A.; QUINA, F. H. Substituent effects on the pH-dependent multiequilibria of flavylium salt analogs of anthocyanins. **Journal of Physical Organic Chemistry**, v. 24: p. 1201-1208, 2011.

FREITAS, B. F. D., MAGALHÃES, G. L., JÚNIOR, M. S. S., & CALIARI, M. Produção de corante natural extraído de jambolão (*Syzygium cumini*). **Research, Society and Development**, v. 10, p. e27410212600-e27410212600, 2021.

FREITAS-SÁ, D. D. G. C.; SOUZA, R. C. de; ARAUJO, M. C. P. de; BORGUINI, R. G.; MATTOS, L. D. S. de; PACHECO, S.; & GODOY, R. L. de O. Effect of jabuticaba (*Myrciaria jaboticaba (Vell) O. Berg*) and jamelão (*Syzygium cumini (L.) Skeels*) peel powders as colorants on color-flavor congruence and acceptability of yogurts. **LWT**, v. 96, p. 215-221, 2018.

FURTADO, P., FIGUEIREDO, P., CHAVES DAS NEVES, H., PINA, F. Photochemical and thermal degradation of anthocyanidins. **Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry**, v. 75, p. 113-118, 1993.

GAIBOR, F. M., RODRÍGUEZ, D., GARCÍA, M. A., PERAZA, C. M., VIDAL, D., NOGUEIRA, A., & CASARIEGO, A. Development of a food colorant from *Syzygium cumini L.(Skeels)* by spray drying. **Journal of Food Science and Technology**, v. 59, p. 4045-4055, 2022.

Global Anthocyanin Market Report - growth, trends, covid-19 impact and forecasts (2021. 2026). Disponível em: https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/anthocyanin-market. Acessado em: 27/09/2021.

HOSSEINIAN, F. S.; LI, W., & BETA, T. Measurement of anthocyanins and other phytochemicals in purple wheat. **Food Chemistry**, v. 109, p. 916–924, 2008.

IACOBUCCI, G. A., SWEENY, J. G. The chemistry of anthocyanins, anthocyanidins and related flavylium salts. **Tetrahedron** v. 39, p. 3005-3038. 1983.

JAFARI, S. M.; ASSADPOOR, E.; HE, Y.; BHANDARI, B. Encapsulation efficiency of food flavours and oils during spray drying. **Drying Technology**, v. 26, p. 816–835, 2008.

KANHA, N.; REGENSTEIN, J. M.; SURAWANG, S.; PITCHAKARN, P.; LAOKULDILOK, T. Properties and kinetics of the in vitro release of anthocyanin-rich microcapsules produced through spray and freeze-drying complex coacervated double emulsions. **Food Chemistry**, v. 340, n. 127950, 2021.

KAPOOR, S. PUSHPINDER S. R., BALJIT S., SAVITA S. Product characterization and antioxidant potential of rice-based jamun (*Syzygium cumini L.*) powder-supplemented extruded snacks. **International Journal on Nutraceuticals, Functional Foods and Novel Foods**, v. 15, p. 49-58, 2021.

KOIDE, T.; KAMEI, H.; HASHIMOTO, Y.; KOJIMA, T.; HASEGAWA, M.; TERABE, K. Antitumor effect of anthocyanin fractions extracted from red soybeans and red beans in vitro and in vivo. **Cancer Biotherapy and Radiopharmacology**, v. 12, p. 277-280, 1997.

KONG, J. -M.; CHIA, L. -S.; GOH, N. -K.; CHIA, T. –F.; BROUILLARD, R. Analysis and biological activities of anthocyanins. **Phytochemistry**, v. 64, p. 923-933, 2003.

KONICA MINOLTA SENSING. **Entendendo o Espaço de Cor L*a*b***. Disponível em: https://sensing.konicaminolta.us/wp-content/uploads/Lab-Tolerance_BR.jpg. Acesso em: 27 dez. 2022.

KUCK, L. S.; WESOLOWSKI, J. L.; NOREÑA, C. P. Z. Effect of temperature and relative humidity on stability following simulated gastro-intestinal digestion of microcapsules of Bordo grape skin phenolic extract produced with different carrier agents. **Food Chemistry**, v. 230, p. 257-264, 2017.

LAO, F.; GIUSTI, M. M. Extraction of purple corn (*Zea mays L.*) cob pigments and phenolic compounds using food-friendly solvents. **Journal of Cereal Science**, v. 80, p. 87-93, 2018.

LARA JUNIOR, J. M. **Obtenção de polpa de manga (*Mangifera indica L.*) em pó pelo processo em *spray-dryer***. 2017. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/22555/1/2017_dis_jmlarajunior.pdf. Acesso em: 27 dez. 2022.

LESTARIO, L. N.; HOWARD, L. R.; BROWNMILLER, C.; STEBBINS, N. B.; LIYANAGE, R.; LAY, J. O. Changes in polyphenolics during maturation of Java plum (*Syzygium cumini Lam.*). **Food Research International**, v. 100, p. 385-391, 2017.

LI, L.; ZHANG, Y. J.; SEERAM, N. P. Structure of anthocyanins from *Eugenia jambolana* fruit. **Natural Product Communications**, v. 4, p. 217-219, 2009.

LIN, Y. C.; CHOU, C. C. Effect of heat treatment on total phenolic and anthocyanin contents as well as antioxidant activity of the extract from *Aspergillus awamori* - fermented black soybeans, a healthy food ingredient. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**. v. 60, p. 627–636, 2009.

LIU, Y.; TIKUNOV, Y.; SCHOUTEN, R. E.; MARCELIS, L. F. M.; VISSER, R. G. F.; BOVY, A. Anthocyanin biosynthesis and degradation mechanisms in *Solanaceous* vegetables: a review. **Frontiers in Chemistry**, v. 6, p. 1-52, 2018.

MACHADO, M. H., da ROSA ALMEIDA, A., MACIEL, M. V. D. O. B., VITORINO, V. B., BAZZO, G. C., da ROSA, C. G., SGANZERLA, W. G., MENDES, C. & BARRETO, P. L. M. Microencapsulation by spray drying of red cabbage anthocyanin-rich extract for the production of a natural food colorant. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 39, p. 102287, 2022.

MAHDAVI, S. A., JAFARI, S. M., ASSADPOOR, E., & DEHNAD, D. Microencapsulation optimization of natural anthocyanins with maltodextrin, gum Arabic and gelatin. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 85, p. 379-385, 2016[a].

MAHDAVI, S. A., JAFARI, S. M., ASSADPOUR, E., & GHORBANI, M. Storage stability of encapsulated barberry's anthocyanin and its application in jelly formulation. **Journal of food engineering**, v. 181, p. 59-66, 2016[b].

MAR, J. M., SILVA, L. S. da, LIRA, A. C., KINUPP, V. F., YOSHIDA, M. I., MOREIRA, W. P., BRUGINSKI, E., CAMPOS, F. R., MACHADO, M. B., SOUZA, T. P. de, CAMPELO, P. H., BEZERRA, J. de A. & SANCHES, E. A. Bioactive compounds-rich powders: Influence of different carriers and drying techniques on the chemical stability of the *Hibiscus acetosella* extract. **Powder Technology**, v. 360, p. 383-391, 2020.

MARTINSEN, B. K.; AABY, K.; SKREDE, G. Effect of temperature on stability of anthocyanins, ascorbic acid and color in strawberry and raspberry jams. **Food Chemistry**, v. 316, n. 126297, 2020.

MERZ, B., CAPELLO, C., LEANDRO, G. C., MORITZ, D. E., MONTEIRO, A. R., & VALENCIA, G. A. A novel colorimetric indicator film based on chitosan, polyvinyl alcohol and anthocyanins from jambolan (*Syzygium cumini*) fruit for monitoring shrimp freshness. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 153, p. 625-632, 2020.

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, 2018.

NAWAZ, M. S.; SHEIKH, S. A.; NIZAMANI, S. M.; BHANGER, M. I.; AFRIDI, I. Determination of mineral elements in Jamun fruit (*Eugenia jambolana*) products. **Pakistan Journal of Nutrition**, v. 20, p. 1-7, 2010.

NIX SENSOR LTD. **Need a quick and free color converter?** Disponível em: https://www.nixsensor.com/free-color-converter/. Acesso em: 11 out. 2022.

NUENGCHAMNONG, N.; INGKANINAN, K. On-line characterization of phenolic antioxidants in fruit wines from family *myrtaceae* by liquid chromatography combined

with electrospray ionization tandem mass spectrometry and radical scavenging detection. **Lwt - Food Science and Technology**, v. 42, p. 297-302, 2009.

PADILHA, C. V. S.; MISKINIS, G. A.; SOUZA, M. E. A. O.; PEREIRA, G. E.; OLIVEIRA, D.; BORDIGNON-LUIZ, M. T.; LIMA, M. S. Rapid determination of flavonoids and phenolic acids in grape juices and wines by RP-HPLC/DAD: Method validation and characterization of commercial products of the new Brazilian varieties of grape. **Food Chesmistry**, v. 228, p. 106-115, 2017.

PANGHAL, A.; KAUR, R.; JANGHU, S.; SHARMA, P.; SHARMA, P.; CHHIKARA, N. Nutritional, phytochemical, functional and sensorial attributes of *Syzygium cumini L.* pulp incorporated pasta. **Food Chemistry**, v. 289, p. 723-728, 2019.

PATEL, P. R.; RAO, T. V. R. Growth and ripening in black plum [*Syzygium cumini* (L.) skeels]. **International Journal of Fruit Science**, v. 14, p. 147-156, 2014.

PAUL, I. D. & DAS, M. Microwave-convective hot airdried jamun (*Syzygium cumini L.*) pulp powder: Optimization of drying aids. **Journal of Food Process Engineering**, v. 42, p. e13166, 2019.

PEDRO, A. C.; GRANATO, D.; ROSSO, N. D. Extraction of anthocyanins and polyphenols from black rice (*Oryza sativa L.*) by modeling and assessing their reversibility and stability. **Food Chemistry**, v. 191, p. 12-20, 2016.

POURCEL, L.; IRANI, N. G.; LU, Y.; RIEDL, K.; SCHWARTZ, S.; GROTEWOLD, E. The formation of Anthocyanic Vacuolar Inclusions in *Arabidopsis thaliana* and implications for the sequestration of anthocyanin pigments. **Molecular Plant**, v.3, p. 78-90, 2010.

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

RAMAN, R. K., SANTHALAKSHMY, S., BOSCO, S. J. D., & GANGULY, S. Phytochemical properties of spray dried jamun juice powder as affected by encapsulating agents. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 9, p. 599-602, 2020.

REZENDE, Y. R. R. S., NOGUEIRA, J. P., & NARAIN, N. Microencapsulation of extracts of bioactive compounds obtained from acerola (*Malpighia emarginata DC*) pulp and residue by spray and freeze drying: Chemical, morphological and chemometric characterization. **Food Chemistry**, v. 254, p. 281-291, 2018.

ROBERT, P., GORENA, T., ROMERO, N., SEPULVEDA, E., CHAVEZ, J., & SAENZ, C. Encapsulation of polyphenols and anthocyanins from pomegranate (*Punica granatum*) by spray drying. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 45, p. 1386-1394, 2010.

ROCHA, J. D. C. G., BARROS, F. A. R. de, PERRONE, Í. T., VIANA, K. W. C., TAVARES, G. M., STEPHANI, R., & STRINGHETA, P. C. Microencapsulation by atomization of the mixture of phenolic extracts. **Powder Technology**, v. 343, p. 317-325, 2019.

ROHDEN, A. **Colorimetria - Transformando Teoria em Resultados (Parte 2)**. Disponível em: http://4.bp.blogspot.com/_iefPDdrTUGY/TKeX8Zt1xEI/AAAAAAAAAk8/w5Jvq3Y_vik/s1600/sistema-de-cores-munsell.png. Acesso em: 27 dez. 2022.

ROMUALDO, G. R.; SOUZA, I. P. de; SOUZA, L. V. de; PRATA, G. B.; FRAGA-SILVA, T. F. de C.; SARTORI, A.; BORGUINI, R. G.; SANTIAGO, M. C. P. de A.;

FERNANDES, A. A. H.; COGLIATI, B. Beneficial effects of anthocyanin-rich peels of *Myrtaceae* fruits on chemically-induced liver fibrosis and carcinogenesis in mice. **Food Research International**, v. 139, n. 109964, 2021.

RUGGIERO, M. **Syzygium cumini (L.) Skeels**. Disponível em: https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=505419#null. Acesso em: 20 set. 2022.

SABINO, L. B. de S. **Antocianinas presentes nos frutos do jambolão (*Syzygium cumini (L.) Skeels*): estudo de extração e aplicação em sistemas de liberação controlada.** 2019. 125 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

SABINO, L. B. de S., FILHO, E. G. A., FERNANDES, F. A. N., BRITO, E. S. de, & JUNIOR, I. J. da S. Optimization of pressurized liquid extraction and ultrasound methods for recovery of anthocyanins present in jambolan fruit (*Syzygium cumini L.*). **Food and Bioproducts Processing**, v. 127, p. 77-89, 2021.

SAÉNZ, C.; TAPIA, S.; CHÁVEZ, J.; ROBERT, P. Microencapsulation by spray drying of bioactive compounds from cactus pear (*Opuntia ficus-indica*). **Food Chemistry**, v.11, p. 616–622, 2009.

SAHU, I., MOHAPATRA, M., PANDA, M. K., NAYAK, R., PAL, U. S., RAYAGURU, K., & DASH, S. K. Foam mat drying of Indian blackberry (*Syzygium cuminii L.*) fruit pulp: Optimization of process parameters and its powder characteristics. **Research Square**, 2022.

SANTHALAKSHMY, S.; BOSCO, S. J. D.; FRANCIS, S.; & SABEENA, M. Effect of inlet temperature on physicochemical properties of spray-dried jamun fruit juice powder. **Powder Technology**, v. 274, p. 37-43, 2015.

SANTIAGO, M. C. P. A.; GOUVÊA, A. C. M. S.; PEIXOTO, F. M.; BORGUINI, R. G.; GODOY, R. L. O.; PACHECO, S.; NASCIMENTO, L. S. M.; NOGUEIRA, R. I. Characterization of jamelão (*Syzygium cumini* (L.) Skeels) fruit peel powder for use as natural colorant. **Fruits**, v. 71, p. 3-8, 2016.

SCHWARTZ, S. J.; VON ELBE, J. H.; GIUSTI, M. M. Corantes. In: FENNEMA, O. R.; DAMODARAN, S.; PARK, K. L. **Química de alimentos de Fennema**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010. p. 445-495.

SERAGLIO, S. K. T., SCHULZ, M., NEHRING, P., BETTA, F. D., 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, 2018.

SHARMA, R. J.; GUPTA, R. C.; SINGH, S.; BANSAL, A. K.; SINGH, I. P. Stability of anthocyanins- and anthocyanidins-enriched extracts, and formulations of fruit pulp of *Eugenia jambolana* ('jamun'). **Food Chemistry**, v. 190, p. 808-817, 2016.

SHITTU, T. A.; LAWAL, M. O. Factors affecting instant properties of powdered cocoa beverages. **Food Chemistry**, v. 100, p. 91-98, 2007.

SILVA, S.; COSTA, E. M.; CALHAU, C.; MORAIS, R. M.; PINTADO, M. E.. Anthocyanin extraction from plant tissues: a review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 57, p. 3072-3083, 2017.

SILVA e SÁ, A. P. C. da, & SABAA-SRUR, A. U. O. Chemical and Physical Aspects of the Edible Fractions and Seeds of Jamelão (*Syzygium cumini, L. Skeels*). **The Natural Products Journal**, v. 2, p. 123-128, 2012.

SILVA, V. O.; FREITAS, A. A.; MAÇANITA, A. L.; QUINA, F. H. Chemistry and photochemistry of natural plant pigments : the anthocyanins. **Journal of Physical Organic Chemistry**, v. 29, p. 594-599, 2016.

SIMÕES, C.; BIZARRI, C. H. B.; DA SILVA CORDEIRO, L.; DE CASTRO, T. C.; COUTADA, L. C. M.; DA SILVA, A. J. R.; ALBARELLO, N.; MANSUR, E. Anthocyanin production in callus cultures of *Cleome rosea*: Modulation by culture conditions and characterization of pigments by means of HPLC-DAD/ESIMS. **Plant Physiology. Biochemistry**, v. 47, p. 895-903, 2009.

SINGH, A.; KOCHER, G. S. Standardization of seed and peel infused *Syzygium cumini* -wine fermentation using response surface methodology. **LWT - Food Science and Technology**, v. 134, n. 109994, 2020.

SINGH, C. S.; PASWAN, V. K. & RAI, D. C. Process optimization of spray dried Jamun (*Syzygium cumini L.*) pulp powder. **LWT - Food Science and Technology**, v. 109, p. 1-6, 2019.

SINGH, M. C.; KELSO, C.; PRICE, W. E.; PROBST, Y. Validated liquid chromatography separation methods for identification and quantification of anthocyanins in fruit and vegetables: a systematic review. **Food Research International**, v. 138, n. 109754, 2020.

SRIKANTA, A. H.; KUMAR, A.; SUKHDEO, S. V.; PEDDHA, M. S.; GOVINDASWAMY, V. The antioxidant effect of mulberry and jamun fruit wines by ameliorating oxidative stress in streptozotocin-induced diabetic Wistar rats. **Food & Function**, v. 7, p. 4422-4431, 2016.

SUBASH, S.; ESSA, M. M.; AL-ADAWI, S.; MEMON, M. A.; MANIVASAGAM, T.; AKBAR, M. Neuroprotective effects of berry fruits on neurodegenerative diseases. **Neural Regeneration Research**, v. 9, p. 1557-1566, 2014.

TARONE, A. G.; CAZARIN, C. B. B.; JÚNIOR, M. R. M. Anthocyanins: new techniques and challenges in microencapsulation. **Food Research International**, v. 133, n. 109092, 2020.

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**, v. 82, p. 1-13, 2016.

TAVARES, I. M. de C.; SUMERE, B. R.; GÓMEZ-ALONSO, S.; GOMES, E.; HERMOSÍN-GUTIÉRREZ I.; DA-SILVA, R.; LAGO-VANZELA, E. S. Storage stability of the phenolic compounds, color and antioxidant activity of jambolan juice powder obtained by foam mat drying. **Food Research International**, v. 128, n. 108750, 2020.

TONON, R. V.; BRABET, C. & HUBINGER, M. D. Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai (*Euterpe oleraceae Mart.*) powder produced by spray drying. **Journal of Food Engineering**, v. 88, p. 411-418, 2008.

TSUDA, T.; HORIO, F.; UCHIDA, K.; AOKI, H.; OSAWA, T. Dietary Cyanidin 3-*O*-β-D-Glucoside-Rich Purple Corn Color Prevents Obesity and Ameliorates Hyperglycemia in Mice. **The Journal of Nutrition**, v. 133, p. 2125-2130, 2003.

TSUDA, T.; WATANABE, M.; OHSHIMA, K.; NORINOBU, S.; CHOI, S.W.; KAWAKISHI, S.; OSAWA, T. Antioxidative activity of the anthocyanin pigments cyanidin-3-O-beta-$_{D}$-glucoside and cyanidin. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 42, p. 2407-2410, 1994.

UTPOTT, M.; ASSIS, R. Q.; PAGNO, C. H.; KRIGGER, S. P.; RODRIGUES, E.; RIOS, A. de O.; FLÔRES, S. H. Evaluation of the Use of Industrial Wastes on the Encapsulation of Betalains Extracted from Red Pitaya Pulp (*Hylocereus polyrhizus*) by Spray Drying: powder stability and application. **Food and Bioprocess Technology**, v. 13, p. 1940-1953, 2020.

VENUGOPAL, K. S., CHERITA, C., ANU-APPAIAH, K. A. Augmentation of chemical and organoleptic properties in *Syzygium cumini* wine by incorporation of grape seeds during vinification. **Food Chemistry,** v. 242, p. 98-105, 2018.

WADIBHASME, U.; ATHMASELVI, K. A., HEMKE, J. & KALKOTE, S. Development and evaluation of Jamun (*Syzygium cumini*) fortified "Instant drink mix" by utilizing the spray drying technique, v. 09, p. 103-110, 2020.

WETTASINGHE, M.; SHAHIDI, F. Evening primrose meal: a source of natural antioxidants and scavenger of hydrogen peroxide and oxygen-derived free radicals. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 47, p. 1801-1812, 1999.

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

XU, J.; LIU, T.; LI, Y.; LIU, W.; DING, Z.; MA, H.; SEERAM, N. P.; MU, Y.; HUANG, X.; LI, L. Jamun (*Eugenia jambolana Lam.*) Fruit Extract Prevents Obesity by Modulating the Gut Microbiome in High-Fat-Diet-Fed Mice. **Molecular Nutrition & Food Research**, v. 63, n. 1801307, 2019.

YEKDANE, N.; GOLI, S. A. H. Effect of Pomegranate Juice on Characteristics and Oxidative Stability of Microencapsulated Pomegranate Seed Oil Using Spray Drying. **Food and Bioprocess Technology**, v. 12, p. 1614-1625, 2019.

ZHANG, W.; CURTIN, C.; KIKUCHI, M.; FRANCO, C. Integration of jasmonic acid and light irradiation for enhancement of anthocyanin biosynthesis in *Vitis vinifera* suspension cultures. **Plant Science**, v. 162, p. 459-468, 2002.

ZHAO, L.; TEMELLI, F. & CHEN, L. Encapsulation of anthocyanin in liposomes using supercritical carbon dioxide: Effects of anthocyanin and sterol concentrations. **Journal of Functional Foods**, v. 34, p. 159–167, 2017.