



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
PROGRAMA PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

LORRANE RIBEIRO DE SOUZA

**MICROENCAPSULAÇÃO DE EXTRATOS NATURAIS
PIGMENTADOS, EXTRAÍDOS DE CASCAS DE FRUTOS
AMAZÔNICOS PARA APLICAÇÃO EM ALIMENTOS**

Palmas - TO

2023

LORRANE RIBEIRO DE SOUZA

**MICROENCAPSULAÇÃO DE EXTRATOS NATURAIS
PIGMENTADOS, EXTRAÍDOS DE CASCAS DE FRUTOS
AMAZÔNICOS PARA APLICAÇÃO EM ALIMENTOS**

Dissertação apresentada à coordenação do Programa de Pós- Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Tocantins, para obtenção do título de mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Linha de pesquisa: Desenvolvimento de novos produtos

Orientadora: Prof^ª. Dra. Clarissa Damiani

Coorientadora: Prof^ª. Dra. Elisângela Elena Nunes Carvalho

Coorientador: Prof. Dr. Diego Alvarenga Botrel

Palmas - TO

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

S729m Souza, Lorrane Ribeiro de.

Microencapsulação de extratos naturais pigmentados, extraídos de cascas de frutos amazônicos para aplicação em alimentos. / Lorrane Ribeiro de Souza. – Palmas, TO, 2023.

168 f.

Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Pós-Graduação (Mestrado) em Ciência e Tecnologia de Alimentos, 2023.

Orientador: Clarissa Damiani

1. Frutos amazônicos. 2. Pigmentos naturais. 3. Carotenoides. 4. Microencapsulação. I. Título

CDD 664

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizada desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
PROGRAMA PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS

LORRANE RIBEIRO DE SOUZA

**MICROENCAPSULAÇÃO DE EXTRATOS NATURAIS
PIGMENTADOS, EXTRAÍDOS DE CASCAS DE FRUTOS
AMAZÔNICOS PARA APLICAÇÃO EM ALIMENTOS**

Dissertação DEFENDIDA e APROVADA em 01 de fevereiro de 2023, pela Banca
Examinadora constituída pelos membros:



Prof.ª. Dra. Clarissa Damiani (Presidente)



Prof. Dr. Mario Roberto Maróstica Júnior



Prof.ª. Dra. Caroline Roberta Freitas Pires

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pela oportunidade de subir mais um degrau na escada dos meus sonhos, até aqui as mãos dele tem me sustentando. Dedico um agradecimento a minha estrelinha no céu, minha doce mãezinha que onde quer esteja espero que se orgulhe de mim. Agradeço também a minha família que são meus principais pilares na vida, ao meu parceiro de vida Whatson Teodoro e aos meus irmãos Solange Ribeiro, Anderson Ribeiro, Pedro Santos e Uelisson Ribeiro, vocês são a razão da minha vida e o motivo de minhas lutas diárias.

Obrigados a todos os amigos da minha turma de mestrado Roze Anne, Catarina, Wallace, Bruna, Delma, Laís, Thaís, Jackson e Wellington que de alguma forma me ajudaram durante esse período. Deixo um agradecimento especial aos grandes amigos que deixaram meus dias mais alegres e felizes durante o período que passei na UFLA, Ingrid (minha baiana favorita), Gilson (narutinho), Elano (Ellas), Hanna, Graciele e João Paulo, todos foram meus melhores presentes durante essa fase muito importante da minha vida.

Agradeço a minha orientadora de mestrado Dra. Clarissa Damiani, pela confiança que depositou em mim desde o início. Muito obrigado por todas as lições. Agradeço os meus orientadores Dr. Diego Alvarenga Botrel e Dra. Elisângela Elena Nunes de Carvalho por disponibilizar uma excelente estrutura, viabilizando meu trabalho.

Agradeço a todos que contribuíram de alguma forma durante essa caminhada. Foram dias valiosos de constante aprendizado em que pude crescer profissionalmente e pessoalmente.

RESUMO

A flora amazônica apresenta ampla diversidade de plantas, frutos e flores que vêm despertando grande interesse na ciência. Dentre estes, destacam-se o bacupari, a pupunha e o tucumã, os quais ostentam vasta disponibilidade de pigmentos, sendo alternativas de aplicação nas indústrias de alimentos e farmacêuticas. A cor é considerada o principal atributo organoléptico quando se trata de aceitação e preferência de um alimento e o uso de aditivos, com intuito de torna-lo atrativos, visualmente, é comum nas indústrias, porém há suspeitas de que os corantes artificiais acarretem potenciais efeitos nocivos para a saúde humana, existindo a necessidade de substituição desses por corantes naturais. Os carotenoides são pigmentos naturais, encontrados em frutas e vegetais, que desempenham papel importante na fotossíntese e fotoproteção, contudo são compostos instáveis na presença de altas temperaturas, luz e oxigênio, demonstrando dificuldades em manter suas propriedades, quando submetidos em determinadas condições intrínsecas de variados produtos. A microencapsulação é um processo baseado no confinamento de substâncias ativas em microcápsulas, que podem fornecer proteção contra fatores instáveis. Logo, o objetivo deste trabalho foi elaborar, caracterizar e avaliar a estabilidade de microcápsulas, contendo pigmentos naturais extraídos de casca de frutos Amazônicos (bacupari, pupunha e tucumã), visando sua aplicação em alimentos como corante natural.

Palavras Chave: Carotenoides, cascas, Materiais de parede

ABSTRACT

The Amazonian flora presents a wide diversity of plants, fruits and flowers that have aroused great interest in science. Among these, bacupari, pupunha and tucumã stand out, which boast a wide availability of pigments, being alternatives for application in the food and pharmaceutical industries. Color is considered the main organoleptic attribute when it comes to acceptance and preference of a food and the use of additives, with the aim of making it visually attractive, is common in industries, but there are suspicions that artificial colorings have potential effects harmful to human health, and there is a need to replace them with natural dyes. Carotenoids are natural pigments, found in fruits and vegetables, which play an important role in photosynthesis and photoprotection, however they are unstable compounds in the presence of high temperatures, light and oxygen, demonstrating difficulties in maintaining their properties when subjected to certain intrinsic conditions of various products. Microencapsulation is a process based on the confinement of active substances in microcapsules, which can provide protection against unstable factors. Therefore, the objective of this work was to elaborate, characterize and evaluate the stability of microcapsules, containing natural pigments extracted from the peel of Amazonian fruits (bacupari, pupunha and tucumã), aiming at their application in foods as a natural dye.

Keywords: Carotenoids, bark, Wall materials

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	9
2. REVISÃO DE LITERATURA	11
2.1 Frutos amazônicos	11
2.1.1 Bacupari (<i>Garcinia brasiliensis</i> (Mart.))	12
2.1.2 Pupunha (<i>Bactris gasipaes</i> Kunth)	13
2.1.3 Tucumã (<i>Astrocaryum aculeatum</i>)	15
2.2 Pigmentos naturais	17
2.3 Extração de Pigmentos	19
2.4 Microencapsulação	19
2.4.1 Técnicas de Microencapsulação	20
2.4.2 Agentes Encapsulantes	21
2.5 Adição de Corantes em Alimentos	24
2.6 Aproveitamento de resíduos	24
3. OBJETIVOS	25
3.1 Objetivos Gerais	25
3.2 Objetivos específicos	25
4. REFERENCIAS	26
5. ARTIGOS	32
Artigo I	32
MICROENCAPSULAÇÃO POR <i>SPRAY DRYING</i> DE CAROTENOIDES EXTRAÍDOS DAS CASCAS DE BACUPARI (<i>GARCINIA BRASILIENSIS</i> (MART.)), UTILIZANDO DIFERENTES MATERIAIS DE PAREDE	32
1. INTRODUÇÃO	34
2. MATERIAL E MÉTODOS	35
2.1 Obtenção dos frutos e Armazenamento	35
2.2 Obtenção do extrato pigmentado	36
2.3 Caracterização do extrato	36
2.3.1 Determinação do pH	36
2.3.2 Análise de cor	37
2.3.3 Teor de carotenoides	37
2.4 Microencapsulação por <i>Spray drying</i>	37

2.5 Caracterização das Microcápsulas	38
2.5.1 Umidade Relativa (UR)	38
2.5.2 Atividade de água (Aw)	39
2.5.3 Teor de carotenoides	39
2.5.4 Rendimento	40
2.5.5 Solubilidade em água	40
2.5.6 Eficiência da microencapsulação	40
2.5.7 Análise de cor	41
2.5.8 Compostos Fenólicos Totais	41
2.5.9 Atividade antioxidante	42
2.5.10 Espectroscopia no infravermelho médio (FTIR-ATR)	43
2.5.11 Análise termogravimétrica (TGA/DTA)	43
2.5.12 Morfologia e tamanho de partículas	44
2.6 Estabilidade das microcápsulas	44
2.6.1 Estabilidade das microcápsulas em diferentes pH	44
2.6.2 Estabilidade das microcápsulas em ausência e presença de luz em diferentes temperaturas	44
2.7 Aplicação em diferentes matrizes alimentares	45
2.7.1 Iogurte	45
2.8 Análise Estatísticas	45
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
3.1 Caracterização do extrato	46
3.2 Caracterização das microcápsulas	47
3.2.1 Umidade	47
3.2.2 Atividade de água (Aw)	48
3.2.3 Teor de carotenoides	49
3.2.4 Rendimento	49
3.2.5 Solubilidade em água	50
3.2.6 Eficiência da microencapsulação	50
3.2.7 Análise de cor	51
3.2.8 Atividade antioxidante e compostos fenólicos	52
3.2.9 Compostos fenólicos	54
3.2.10 Espectroscopia no infravermelho médio (FTIR-ATR)	54
3.2.11 Análise termogravimétrica (TGA/DTG)	56

3.2.12 Morfologia e tamanho de partículas.....	57
3.2.13 Análise de componentes principais (PCA).....	60
3.3 Estabilidade das microcápsulas.....	62
3.3.1 Estabilidade das microcápsulas em diferentes pH.....	62
3.3.2 Estabilidade das microcápsulas em ausência e presença de luz em diferentes temperaturas.....	63
3.4 Aplicação em Alimentos.....	65
3.4.1 Iogurte.....	65
4. CONCLUSÃO.....	66
5. REFERÊNCIAS.....	66
Artigo II.....	75
EXTRAÇÃO E MICROENCAPSULAÇÃO DE PIGMENTOS DA CASCA DA PUPUNHA (<i>Bactris gasipaes Kunth</i>) PARA APLICAÇÃO EM ALIMENTOS COMO UM CORANTE NATURAL.....	75
1. INTRODUÇÃO.....	77
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	79
2.1 Obtenção dos frutos e Armazenamento.....	79
2.2 Obtenção do extrato pigmentado.....	79
2.3 Caracterização do extrato.....	80
2.3.1 Determinação do pH.....	80
2.3.2 Análise de cor.....	80
2.3.3 Teor de carotenoides.....	80
2.4 Microencapsulação por <i>Spray drying</i>	81
2.5 Caracterização das Microcápsulas.....	82
2.5.1 Umidade Relativa (UR).....	82
2.5.2 Atividade de água (Aw).....	82
2.5.3 Teor de carotenoides.....	82
2.5.4 Rendimento.....	83
2.5.5 Solubilidade em água.....	83
2.5.6 Eficiência da microencapsulação.....	84
2.5.7 Análise de cor.....	84
2.5.8 Compostos Fenólicos Totais.....	84
2.5.9 Atividade antioxidante.....	85
2.5.10 Espectroscopia no infravermelho médio (FTIR-ATR).....	86

2.5.11	Análise termogravimétrica (TGA/DTA)	87
2.5.12	Morfologia e tamanho de partículas	87
2.6	Estabilidade das microcápsulas	87
2.6.1	Estabilidade das microcápsulas em diferentes pH	87
2.6.2	Estabilidade das microcápsulas em ausência e presença de luz em diferentes temperaturas	87
2.7	Aplicação em diferentes matrizes alimentares	88
2.7.1	Iogurte	88
2.8	Análise Estatísticas	88
3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	89
3.1	Caracterização do extrato	89
3.2	Caracterização das microcápsulas	90
3.2.1	Umidade	91
3.2.2	Atividade de água (Aw)	91
3.2.3	Teor de carotenoides	92
3.2.4	Rendimento	92
3.2.5	Solubilidade em água	93
3.2.6	Eficiência da microencapsulação	93
3.2.7	Cor	94
3.2.8	Atividade Antioxidante	96
3.2.9	Compostos fenólicos	97
3.2.10	FTIR-ATR	98
3.2.11	Análise termogravimétrica (TGA/DTG)	99
3.2.12	Morfologia e tamanho de partículas	101
3.2.13	PCA	104
3.3	Estabilidade das microcápsulas	107
3.3.1	Estabilidade das microcápsulas em diferentes pH	107
3.3.2	Estabilidade das microcápsulas em ausência e presença de luz sob diferentes temperaturas	108
3.4	Aplicação em alimentos	110
3.4.1	Iogurte	110
4.	CONCLUSÃO	111
5.	REFERÊNCIAS	111
	Artigo III	120

MICROENCAPSULAÇÃO DE CAROTENOIDES EXTRAÍDOS DAS CASCAS DE TUCUMÃ (<i>ASTROCARYUM ACULEATUM</i>) UTILIZANDO GOMA ARÁBICA E MALTODEXTRINA COMO MATERIAIS DE PAREDE	120
1. INTRODUÇÃO	122
2. MATERIAL E MÉTODOS	124
2.1 Obtenção dos frutos e Armazenamento	124
2.2 Obtenção do extrato pigmentado	124
2.3 Caracterização do extrato	124
2.3.1 Determinação do pH	125
2.3.2 Análise de cor	125
2.3.3 Teor de carotenoides	125
2.4 Microencapsulação por <i>Spray drying</i>	125
2.5 Caracterização das Microcápsulas	127
2.5.1 Umidade Relativa (UR)	127
2.5.2 Atividade de água (Aw)	127
2.5.3 Teor de carotenoides	127
2.5.4 Rendimento	128
2.5.5 Solubilidade em água	128
2.5.6 Eficiência da microencapsulação	128
2.5.7 Análise de cor	129
2.5.8 Compostos Fenólicos Totais	129
2.5.9 Atividade antioxidante	130
2.5.10 Espectroscopia no infravermelho médio (FTIR-ATR)	131
2.5.11 Análise termogravimétrica (TGA/DTA)	131
2.5.12 Morfologia e tamanho de partículas	132
2.6 Estabilidade das microcápsulas	132
2.6.1 Estabilidade das microcápsulas em diferentes pH	132
2.6.2 Estabilidade das microcápsulas em ausência e presença de luz em diferentes temperaturas	132
2.7 Aplicação em diferentes matrizes alimentares	133
2.7.1 Iogurte	133
2.8 Análise Estatísticas	133
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	134
3.1 Caracterização do extrato	134

3.2 Caracterização das microcápsulas	135
3.2.1 Umidade	136
3.2.2 Atividade de água (Aw)	136
3.2.3 Teor de Carotenoides	137
3.2.4 Rendimento	137
3.2.5 Solubilidade em água	138
3.2.6 Eficiência da microencapsulação	139
3.2.7 Cor	139
3.2.8 Atividade Antioxidante	141
3.2.9 Compostos fenólicos	142
3.2.10 Espectroscopia no Infravermelho Médio (FTIR-ATR)	143
3.2.11 Análise termogravimétrica (TGA/DTA)	144
3.2.12 Morfologia e tamanho de partículas	146
3.2.13 Análise de Componentes Principais (PCA)	149
3.3 Estabilidade das microcápsulas	151
3.3.1 Estabilidade das microcápsulas em diferentes pH	151
3.3.2 Estabilidade das microcápsulas em ausência e presença de luz sob diferentes temperaturas	152
3.4 Aplicação em alimentos	154
3.4.1 Iogurte	154
4. CONCLUSÃO	155
5. REFERÊNCIAS	155

1. INTRODUÇÃO GERAL

A flora amazônica apresenta vasta variedade de plantas, frutos e flores, com características peculiares, podendo ser aplicados em diversos produtos alimentícios como matéria-prima ou coadjuvante tecnológico. Como nativos desse bioma, pode-se encontrar o Bacupari (*Garcinia brasiliensis* (Mart.)), a Pupunha (*Bactris gasipaes* Kunth) e o Tucumã (*Astrocaryum aculeatum*).

O bacupari, também conhecido como bacoparé de mangostão, é um fruto amazônico, de polpa bastante saborosa, com casca de coloração amarela, pouco conhecido e explorado, porém com possível fonte de pigmentos naturais para a aplicação em alimentos. Já a pupunha, também fruto encontrado na Amazônia, apresenta casca fina, de coloração diversificada, que varia de amarelo a laranja escura até o vermelho, dependendo da variedade e estágio de maturação. Este fruto destaca-se por sua capacidade antioxidante e boa qualidade nutritiva, possuindo potencialidade para produção sustentável, econômica e ambiental (LIMA, 2020; NERI-NUMA et al., 2018).

O tucumã é um fruto fibroso, oriundo da palmeira *Astrocaryum aculeatum*, de coloração amarelo-alaranjado, encontrado na região amazônica, com predominância em áreas de pastagem, campos e vegetações secundárias. O fruto possui características de drupa ovoides lisa, apresentando alto teor de vitaminas C, propriedades anti-inflamatórias e antioxidantes, certamente devido à presença de β -caroteno e flavonoides (DA SILVA, 2019).

A cor é considerada o principal atributo organoléptico, quando se trata de aceitação e preferência de um alimento. O uso de aditivos em alimentos, com intuito de torná-lo atrativo, visualmente, é comum nas indústrias químicas e de alimentos, porém é sabido que os corantes artificiais acarretam potenciais efeitos nocivos para a saúde humana, existindo necessidade de substituição desses por corantes naturais (NEVES, SILVA & MEIRELES, 2019).

Existe diversas técnicas de extração de pigmentos de fontes naturais, dentre elas destaca-se a extração assistida por enzimas, a qual oferece grande promessa de isolamento de pigmentos naturais. As enzimas são investigadas para quebrar a estrutura da parede celular, elevando a extração de pigmentos (NADAR et al., 2018). Essa técnica possibilita acelerar a liberação de pigmentos de materiais vegetais compactos como raízes e cascas de frutos (SOWBHAGYA & CHITRA, 2018).

A tendência mundial por produtos naturais e a preocupação com a segurança alimentar tem feito com que se deseje substituir ingredientes sintéticos por ingredientes naturais. Entre os principais pigmentos naturais de origem vegetal estão os carotenoides, encontrados em frutas e vegetais, e que desempenham papel importante na fotossíntese e fotoproteção (DŁUŻEWSKA, et al., 2020). Estes formam um grupo de pigmentos, com cerca de 700 compostos, que variam a coloração entre amarelo, laranja ou vermelho (ABREU et al., 2018), instáveis na presença de altas temperaturas, luz e oxigênio, demonstrando dificuldades em manter suas propriedades, quando submetidos em determinadas condições intrínsecas de variados produtos. Uma forma de aumentar essa estabilidade de armazenamento e uso em produtos alimentícios é por meio da microencapsulação, que tem a capacidade de aprisionar os compostos em cápsulas pequenas, alcançadas por diferentes técnicas.

O uso de ingredientes microencapsulados na indústria de alimentos está aumentando, sendo esta técnica usada para proteger os materiais ativos de condições adversas, apresentando mais vantagens quando usada com liberação controlada. Suas vantagens incluem materiais de embalagens estáveis, resposta de controle de oxidação, liberação de substâncias ativas de forma controlada, cobertura do gosto, cor ou cheiro indesejados, redução de toxicidade de substâncias ativas, prolongamento da vida útil e proteção dos compostos com valor nutricional, uma vez que o material de parede ou encapsulante pode isolar total ou parcial o material ativo (PEREIRA et al, 2018; JUSTUS et al., 2020). Diversas técnicas são empregadas para fazer a microencapsulação, como métodos físicos (secagem por pulverização, precipitação supercríticas dos fluídos, liofilização), métodos químicos (polimerização interfacial, complexação de inclusão molecular) e métodos físico-químicos (coacervação simples ou complexa, lipossomas, gelificação iônica) (GOTTARDO, 2021).

Vale ressaltar que um dos principais fatores que influenciam na eficiência dos compostos microencapsulados é o material de parede. Dentre os materiais mais comumente usados, em microcápsulas, estão os carboidratos (amido, dextrina, sacarose), celulose (carboximetilcelulose, acetilcelulose, metilcelulose, etilcelulose e nitrocelulose), lipídios (parafina, cera, ácido esteárico, ácido triestérico, monoglicerídeos, óleos, gorduras hidrogenadas), proteínas (glúten, caseína, proteína de soro de leite isolada, gelatina e albumina) e gomas (alginato de sódio, carragenina e goma arábica etc.) (NUNES, 2018).

Lêdo et al. (2021) explicam que as etapas de seleção de agentes encapsulantes incluem sua não reatividade com o material a ser encapsulado, suas propriedades físicas e químicas, como massa molar, solubilidade e porosidade, o método final usado para produzir partículas e a aplicação final desejada.

Além desses fatores, algumas propriedades desejáveis do material de revestimento são descritas, incluindo baixa viscosidade em altas concentrações, fácil manuseio durante a microencapsulação, baixa absorção de umidade e capacidade de ser bem incorporado no material a ser encapsulado para evitar sua perda e proteger a embalagem de materiais de ambientes desfavoráveis (NUNES, 2018).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Frutos amazônicos

A floresta amazônica ocupa área de 4.196.943 km² e corresponde mais de 40% do território brasileiro, sendo constituída por floresta tropical, apresentando vasta biodiversidade. Destaca-se pela sua extensão e vegetação robusta e, principalmente, pela beleza dos seus frutos, porém, tal biodiversidade ainda é desconhecida. Os nativos dessa região consomem os frutos exóticos que essa flora disponibiliza sem se preocupar com suas composições químicas ou nutricionais (SACCARO JUNIOR, 2011).

Nas últimas décadas, tem-se percebido o interesse por esses frutos exóticos pelos pesquisadores, não apenas pelo seu potencial nutritivo, mas também por sua viabilidade econômica, pois esses frutos contêm determinados nutrientes e ácidos graxos essenciais que exercem várias funções nos organismos vivos. Os mesmos são matérias primas para elaboração de diversos produtos alimentícios, de ampla aceitação pelos consumidores como sucos, néctares, geleias, doces e sorvetes que são comercializados em lanchonetes, escolas, supermercados, além do consumo doméstico (MARHA JUNIOR; CONTINI; NAVARRO, 2011). Dentre esses frutos, destacam-se o Bacupari (*Garcinia brasiliensis* (Mart.)), o Tucumã (*Astrocaryum aculeatum*), e a pupunha (*Bactris gasipaes* Kunth), as quais passaram a receber atenção especial por parte da comunidade científica, sendo necessária a adoção de políticas públicas que possam incentivar o seu cultivo e exploração de forma sustentável (PANIC et al., 2019).

2.1.1 Bacupari (*Garcinia brasiliensis* (Mart.))

O Bacupari (*Garcinia brasiliensis* (Mart.)) é uma espécie do gênero *Garcia* pertencente à família *Clusiaceae*, possuindo tronco reto, com casca de coloração amarelada ou esverdeada, com característica extirpada e copa piramidal. Sua árvore pode chegar a seis metros de altura e suas folhas são rígidas de coloração verde brilhante. Possuem flores esverdeadas que brotam timidamente, pois apresentam dimensões pequenas (VASCONCELOS et al., 2019). Os frutos apresentam-se em formato no tipo de baga, com uma folha elíptica, de cor amarelada ou alaranjada quando se encontrado no estado de maturação, com polpa de consistência mucigelatinosa transparente, e sabor adocicado, podendo ser consumido pelos seres humanos (MELO et al., 2021).

A frutificação do bacupari (Figura 1) ocorre do mês de janeiro ao mês de março, com propagação por intermédio de suas sementes. O bacupari é muito consumido na sua forma *in natura* e na forma de doces, tais como compotas e geleias, já que esta fruta possui sabor adocicado e boa preservação após a colheita. O fruto, normalmente, apresenta certa de 2,5 centímetros, pesando entre quinze a cinquenta gramas, possuindo cerca de 40% da sua estrutura comestível, com casca e semente em seu interior (MELO et al, 2021).

Figura 01: Bacupari (*Garcinia gardneriana*)



Fonte: <https://correioparaense.com.br/>

O bacupari dispõe de várias características medicinais, sendo rico em vitamina C e propriedades antioxidantes, auxiliando no processo de cicatrização, digestivo, anti-inflamatório e anticancerígeno. Em relação aos componentes presentes em cerca de 100

gramas da fruta, pode-se encontrar 46 gramas de calorias, sendo 0,1 gramas de lipídios, 1,90 gramas de proteínas, 2 gramas de gorduras totais e 7,4 gramas de fibras alimentares (ARAÚJO et al., 2021).

O bacupari apresenta grande potencial econômico, já que seus frutos podem ser consumidos em seu estado natural e/ou de maneira processada, podendo vir a estabelecer em curto ou médio prazo um mercado pautado em frutas exóticas. Dentre as substâncias químicas encontradas na fruta, percebe-se a presença de 7-epiclusianona, guttiferona-A, 1,3,6,7-tetra-hidroxioxantona (noratiriol) e fukugetin. 7-Epiclusianona (CHISTÉ et al., 2021). Dessa forma, a organização Mundial da Saúde recomenda o consumo desses alimentos regularmente, devido a atividade antioxidante e os benefícios secundários oferecidos por ele (ELIK; YANIK; GÖĞÜŞ, 2020).

Analisando a semente do bacupari, Souza e Santos (2020) determinaram que as frutas desta planta possuem sua composição pautada em micronutrientes. Em sua pesquisa, analisaram a polpa, a semente e a casca da fruta, encontrando alguns minerais como Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Magnésio (Mg) e Sódio (Na). É interessante mencionar que partes normalmente jogadas no lixo (casca e as sementes), possuem grande quantidade de proteínas brutas, sais minerais, ácidos graxos e atividades antioxidantes, com grande valor nutricional e funcional (ANUNCIACÃO et al., 2019).

Diversos estudos relacionados a este fruto estão sendo desenvolvidos, pois ele apresenta qualidades muito relevantes e necessitam de mais destaque por parte da comunidade científica (ORDOÑEZ-SANTOS; MARTÍNEZ-GIRÓN; RODRÍGUEZ-RODRÍGUEZ, 2019).

2.1.2 Pupunha (*Bactris gasipaes* Kunth)

A pupunheira (Figura 2) é uma palmeira nativa da América latina tropical capaz de reduzir as reservas naturais de juçara e açaí por meio do extrativismo, sendo considerada importante substituto no cultivo sustentável, além de ajudar a reduzir o impacto sobre juçara e o açaí, com rápido crescimento e formação de perfilhos. Na verdade, essas características tornam a pupunheira desejável pelos produtores, porque os perfilhos não precisam de novo plantio por muito tempo, e seu rápido crescimento permite cortes frequentes. Outras vantagens são alta produtividade, rusticidade, boa palatabilidade, falta de oxidação do palmito e vantagem econômica (SANTOS et al, 2019).

Figura 02: Pupunha (*Bactris gasipaes* Kunth)



Fonte: <https://correioaraense.com.br/>

A pupunha pertence à família palmaceae, ocupando posição importante na região norte, servindo como fonte de alimento devido ao seu alto valor nutricional. Com uma grande variedade de espécies, é uma planta monóica, alogâmica, espinhosa, com mais de um caule, podendo chegar a vinte metros de altura. Sua inflorescência surge a partir das regiões caracterizadas como frondes senescentes, com cada cacho desenvolvido por esta planta podendo ter de cinquenta a mil frutos que possuem uma semente única, contendo um epicarpo de consistência fibrosa. Seus frutos variam em forma, tamanho e cor, quando amadurecem, podendo ter casca vermelha, amarela, laranja ou totalmente verde (ALVES et al., 2021; NERI-NUMA et al., 2018). Quanto à forma, podem ser esféricas, ovais ou cônico-esférico, sendo que o diâmetro dos frutos sem sementes varia de 1 a 1,5 cm, e o diâmetro dos frutos semeados podem chegar a 7 cm (SANTOS et al, 2019).

O fruto da pupunheira (*Bactris gasipaes* Khunt) possui diversas características e estruturas capazes de gerar comercialização em fase de desenvolvimento, requerendo pesquisas e soluções aos consumidores, levando à aceitação e decisão de compra dos produtos. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE (2020),

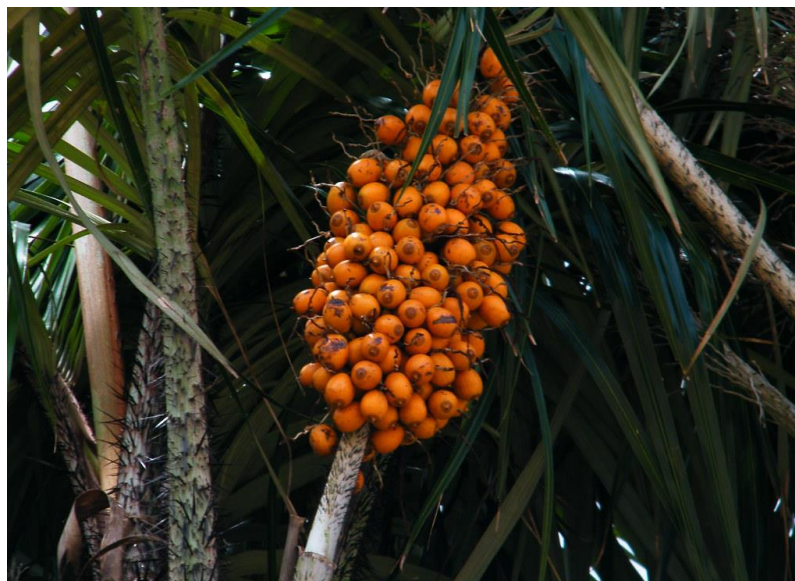
na safra 2016 a 2017, a produção de cachos de frutas no Brasil foi de 8.873 toneladas, sendo a região Norte com a maior produção (5.386 toneladas), com destaque para os estados da Amazônia (2.058 toneladas) e Pará (2.056 toneladas). Esses dados refletem a importância das espécies como produtora de frutas comestíveis na região (BRANDÃO et al., 2021). Vale ressaltar que, além de ser considerado o maior produtor e consumidor mundial dessa espécie, no Brasil, o produto também é exportado, respondendo por cerca de 95% de todo o consumo no mundo. O beneficiamento desses produtos segue as etapas de recebimento, refrigeração (opcional), limpeza final, corte e classificação (ARAÚJO et al., 2021).

A composição química da pupunha é formada por antocianinas, que possuem em sua composição química a seguinte estrutura: cianidina 3-glicosídeo, cianidina 3-rutinosídeo e peonidina-3-rutinosídeo, proantocianidinas, outros flavonóides que possuem como estrutura química: epicatequina, quercetina, catequina, velutina, ácido homólico, orientimou, isovitexinolina, e ácido goxifolínico-fenólico e protocatechuic, p-cummaric, ellagic, vanillic, e Syringic acid) e stilben (resveratrol) (CABALLERO-SERRANO et al., 2019). Devido à presença de cristais de oxalato, os frutos não devem ser consumidos *in natura*, uma vez que estimula o cálcio (ácido oxálico) e inibe a digestão de proteínas, especialmente em crianças, por isso, eles geralmente são consumidos com alimentos cozidos com água e sal, podendo ser combinados com manteiga, maionese, mel e geleia (ALVES et al., 2021).

2.1.3 Tucumã (*Astrocaryum aculeatum*)

O tucumã (Figura 3) é um fruto oriundo de uma palmeira da família das arecaceae, presente na região norte, cujo fruto tem formato ovoide e um mesocarpo fibroso, podendo ser utilizado como fonte energética, prevenindo carências nutricionais, além de poder ser usado, também, como fonte alternativa de pigmentos naturais (SANTOS et al., 2018).

Figura 03: Tucumã (*Astrocaryum Vulgare* Mart.)



Fonte: <https://www.amazonoil.com.br/pt/pt-tucuma-manteiga/>

O tucumanzeiro chega a medir em torno de 10 a 25 metros de altura com largura de 15 a 30 cm de diâmetro; cada planta possui capacidade de produção de cerca de 250 frutos, divididos de dois a sete cachos, sendo que sua média consiste na oferta de cerca de 4 cachos por ano. Seu período frutífero acontece nos meses de janeiro a abril. Na fase de maturação, os frutos apresentam casca lisa e brilhante e uma cor verde; quando maduros, apresentam coloração vermelho-amarelado ou marrom amarelado (ORDOÑEZ-SANTOS; MARTÍNEZ-GIRÓN; RODRÍGUEZ-RODRÍGUEZ, 2019).

Nos frutos do tucumanzeiro é normal encontrar a presença de rachaduras na região do epicarpo que podem se expandir até o mesocarpo, indicando que o fruto alcançou sua máxima maturação. Dessa forma, a coloração que advém da casca do tucumã, pode auxiliar o agricultor a encontrar as sementes que estão prontas para serem plantadas (REGINA et al., 2018).

Uma palmeira de tucumã produz cerca de cinquenta quilos de frutos no decorrer de um ano, mesmo que esteja em solo não favorável, possuindo a capacidade de se desenvolver em áreas que passaram por degradação e em lugares de vegetação secundária. Seu consumo pode ocorrer através da fruta *in natura*, bem como em doces e pratos típicos, utilizado também na fabricação da produtos de limpeza e óleos, podendo ser consumido por animais e peixes (ORDOÑEZ-SANTOS; MARTÍNEZ-GIRÓN; RODRÍGUEZ-

RODRÍGUEZ, 2019). Esse fruto possui alta concentração de carotenoides, podendo ser fonte alternativa para a extração desses pigmentos (XAVIER et al, 2019).

2.2 Pigmentos naturais

As indústrias alimentícias fazem o uso de corantes sintéticos e naturais para compensar a perda da cor no processamento de diversos alimentos, pois a aparência dos alimentos é uma das principais características que atraem os consumidores (SHARMILA et al., 2019). Os pigmentos sintéticos possuem ampla utilização nas indústrias de alimentos, porém seu uso é restrito, devido aos efeitos nocivos que causam riscos à saúde humana. Diante desta afirmação, o grande desafio da comunidade científica é encontrar fontes de pigmentos naturais que sirvam como alternativa viável para substituir esses corantes sintéticos (RORIZ ET AL., 2017; ARRULDAS, 2018).

Os pigmentos naturais são os mais preferíveis pelas indústrias e consumidores, extraídos de plantas, insetos, minerais e, também, sintetizados por microrganismos. Dentre os principais pigmentos naturais encontrados estão os carotenóides, antocianinas, betalaínas e a clorofila (SHARMILA et al., 2019)..

Os carotenóides são uma classe de compostos que conferem a coloração amarelo-laranja-vermelho nos alimentos. São solúveis em água, lipídeos e solventes orgânicos e desempenham o papel de agente antioxidante e anti-angiogênico, além de fornecer proteção contra radicais livres (SOARES, 2018). A existência de carotenóides na natureza é muito abrangente, podendo ser encontrados em diversos tipos de seres vivos (microrganismos a animais), possuindo estrutura tetraterpenos (C₄₀), formados por unidades de isopreno, pirofato de isopentenila (IPP) e seus isômeros de dimetilalil difosfato (DMAPP), e contém cinco átomos de carbono (C₅) (ABREU et al., 2018).

Antocianinas são polifenóis de baixo peso molecular, encontrados em várias espécies de plantas e em vários tecidos vegetais, sendo os responsáveis por verificar a pigmentação, ajudando a atrair polinizadores e dispersores de sementes (CARNEIRO, 2017). Algumas folhas, caules e raízes das plantas podem variar do vermelho brilhante ao roxo/azul. Esses pigmentos são compostos fenólicos pertencentes às categorias de flavonoides, que são um grupo de pigmentos naturais amplamente distribuídos no reino vegetal, sendo composto solúvel em água que é altamente instável em altas temperaturas. É caracterizada por um núcleo ônio amarelo básico (cátion 2-fenilbenzopirano), consistindo de dois anéis aromáticos conectado por uma unidade de três carbonos e

condensado por oxigênio (CASTAÑEDA, 2017). A molécula de antocianina consiste em duas a três partes, uma aglicona (Antocianinas), um grupo de açúcares e, geralmente, um grupo de ácidos orgânicos.

A betalaína é um pigmento laranja e/ou vermelho/roxo, presente de forma limitada nas espécies de *Dianthus*, a partir do aminoácido tirosina, solúvel em água (SILVA, 2019). Esses pigmentos são armazenados nos vacúolos das células, sendo encontrada principalmente em buganvílias, beterraba, fruta do dragão e no cacto, possuindo características antioxidante e proporcionando proteção cardíaca e antibacteriana. Existe mais de 70 betalaínas naturais bem conhecidas, e todas elas têm a mesma estrutura básica (R1 e R2), as quais podem ser hidrogênio ou substituintes aromáticos. No entanto, como a betalaína é dividida em dois grupos (betaxantinas e betacianinas), existem diferenças estruturais nos β antocianinas.

A clorofila é o pigmento natural mais abundante nas plantas, existindo nos cloroplastos das folhas e em outros tecidos vegetais. É uma molécula formada a partir de um complexo derivado da porfirina com Mg (magnésio) como seu átomo central que possui uma estrutura macrocíclica assimétrica, totalmente insaturada composta por quatro anéis de pirrole (ALMEIDA, 2017). Estudos de uma variedade de plantas mostraram que os pigmentos de clorofila são os mesmos em todas as plantas existentes.

Os pigmentos naturais de origem vegetal têm ganhado grande visibilidade não somente como resposta aos corantes artificiais existentes, mas também como compostos bioativos de grande importância para a saúde humana. Carotenoides, betalaínas, antocianinas e clorofila são exemplos desses compostos que têm sido alvo de estudos de diversos estudos (VOLP et al., 2009; GIUFFRIDA et al., 2011; RODRIGUEZ-AMAYA, 2016; LAQUI-VILCA et al., 2018; MIRANDA et al., 2021).

A estabilidade é um fator de grande importância e influência na escolha de pigmentos, visto que pode ser um indicador de suas possíveis aplicações tecnológicas. O calor, luz, pH, oxigênio e a acidez são variáveis que têm influência na estabilidade de pigmentos (EBRAHIMI & AMP; GASHTI, 2016). Independentemente de ser um corante natural ou sintético, a estabilidade e permanência dos pigmentos são de essencial importância e devem ser sempre considerados (OTÁLORA et al., 2016; MIRANDA et al., 2021). Como resposta a esta problemática, diversas pesquisas têm sido feitas em busca de obter tecnologias e métodos que propiciem maior estabilidade para os pigmentos naturais.

2.3 Extração de Pigmentos

Normalmente, a extração de pigmentos é realizada através da utilização de água e solventes orgânicos como método extrator. No entanto, o uso de técnicas alternativas para melhorar o mecanismo de extração de pigmentos naturais são necessárias, devido às restrições impostas pelos processos convencionais. Diversos métodos têm sido estudados para maximar a extração de pigmentos, tais como extração assistida por microondas, extração por solventes, extração assistida por campo elétrico pulsado, extração por líquido pressurizado e extração assistida por enzimas. Todas essas técnicas têm sido utilizadas para extrair compostos bioativos presentes em inúmeras matrizes alimentícias (CAÑADAS et al., 2020; LIU et al., 2019; ORDÓÑEZ-SANTOS et al., 2020; SANTOS et al., 2020).

A extração assistida por enzimas têm ganhado a atenção de pesquisadores pela tecnologia eficiente sustentável e verde, que apresenta vantagens como alta eficiência e menores tempos de extração. O princípio dessa técnica consiste em realizar a quebra da parede celular da planta e liberar compostos da camada intracelular como materiais ativos e pigmentos de interesse (SHELDON et al., 2013).

Uma grande variedade de enzimas podem ser aplicadas na extração de pigmentos (CATALKAYA & KAHVECI, 2019). Dentre elas, destacam-se as pectinases, celulasas, hemicelulasas e ligninases. Catalkaya & Kahveci (2019) relataram que a utilização de enzima aumentou a taxa de extração e o teor de compostos fenólicos de licopeno em tomates quando foram associados ao uso de acetato de etila combinado em baixas temperaturas.

2.4 Microencapsulação

A microencapsulação é uma tecnologia que tem aplicabilidade em diferentes áreas (Indústrias farmacêuticas, alimentos e cosméticas). Nas indústrias alimentícias, possui ampla utilização ligada à melhoria e eficácia de muitos compostos valiosos extraídos de produtos naturais (pigmentos, vitaminas, aromas, sabores e compostos antioxidantes), promovendo barreira física entre os principais componentes dos produtos. Sua principal função é isolar e proteger determinadas substâncias contra os fatores externos, tais como luz, oxigênio calor e umidade. Essa tecnologia tem controle extremamente rígido sobre

os atributos específicos do produto, e suas ações são controladas ou programadas (MENEGAZZI et al., 2020).

O conceito de microencapsulação foi desenvolvido, pela primeira vez, nas indústrias farmacêuticas com o objetivo de controlar e/ou alterar a liberação de medicamentos. Atualmente, esse é o campo de maior aplicação de microencapsulação (68%), enquanto que a área da alimentação representa apenas 13%. A introdução da tecnologia de microencapsulação na indústria de alimentos fez com que diversos aditivos fossem adicionados aos alimentos, melhorando suas características funcionais e permitindo o desenvolvimento de produtos com alto valor agregado (PEREIRA et al., 2018).

Na concepção de IPT (2021), a microencapsulação envolve um conjunto de tecnologias específicas que consiste em produzir estruturas nos quais os compostos bioativos (núcleo) são aprisionados em diferentes materiais de parede, formando barreira protetora, evitando assim, a evaporação de compostos voláteis, mascarando sabores e odores desagradáveis e melhorando o processamento e textura de vários ingredientes.

As cápsulas são classificadas conforme o seu tamanho em macrocápsulas (>5000 μm), microcápsula (0,2-5000) e nanocápsulas ($<0,2$), sendo divididas em dois grupos, a saber, microcápsulas (possuem núcleo na região central protegido por um material de revestimento) e microesferas (possuem pequenos núcleos uniforme em uma matriz). No entanto, o termo microencapsulação tem sido usado para as duas formas (OLIVEIRA, 2014).

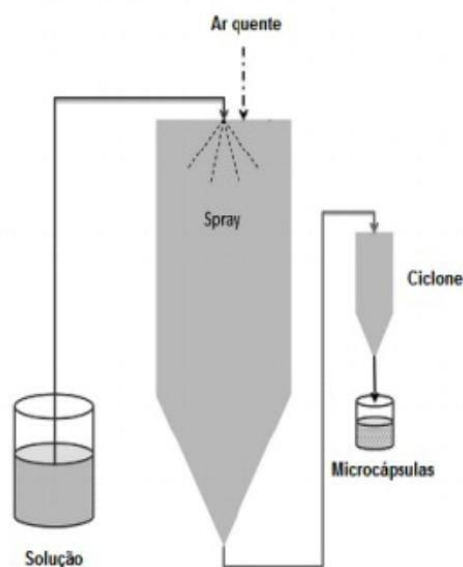
2.4.1 Técnicas de Microencapsulação

Atualmente, existem diversos métodos patenteados de microencapsulação. A escolha do método adequado depende do tipo, aplicação, tamanho da microcápsula desejada, dos custos de operação e sensibilidade do encapsulado. Além disso, deve-se levar em consideração as propriedades físico-químicas do material ativo e do material encapsulante e seu mecanismo de liberação (YANG, 2020).

Entre os métodos de microencapsulação podem-se citar os físicos (spray Drying, spray cooling, spray-Chiling, extrusão, leite fluidizado, pan coating, liofilização), os químicos (inclusão molecular, Polimerização interfacial) e os métodos físico-químicos (coacervação simples e complexa, emulsificação por evaporação de solvente, emulsão complexa) (DIAS, 2019).

O spray drying (Figura 4) está entre os métodos físicos de microencapsulação mais utilizado, sendo o mais antigo nas indústrias alimentícias, devido ao baixo custo, eficiência e disponibilidade de equipamentos. Nesse método, um produto líquido, por remoção ou suspensão, é automatizado por uma corrente de gás que pode ser ar ou ozônio quente, visando obter um pó de forma instantânea. Para o referido processo, é necessário, em um primeiro momento, a preparação da dispersão ou emulsão e, em seguida, a homogeneização, alcançando, como procedimento final, a atomização da massa dentro da câmara de secagem, produzindo um pó muito fino ou grandes partículas, situação que varia de acordo com as condições de alimentação do material (AZEVEDO et al., 2018). Para que haja um processo com alta eficiência durante o a microencapsulação é necessário considerar o tipo de material de parede de acordo a função e aplicação desejada (ÁLVAREZ-HENAO et al., 2018).

Figura 04: Microencapsulação por *Spray drying*



Fonte: (ROSA, 2017)

2.4.2 Agentes Encapsulantes

O agente encapsulante é uma substância que forma uma película fina em torno do composto desejado. No processo de microencapsulação, diversos encapsulantes têm sido utilizados, os quais são responsáveis por revestir a substância de interesse e, também,

formar micropartículas. Esses revestimentos podem vir de diferentes fontes, incluindo naturais, sintéticos e semissintéticos, dentre os quais estão os polímeros, materiais hidrofílicos e hidrofóbicos, ou mesmo a combinação dos dois (BARBOSA, 2019).

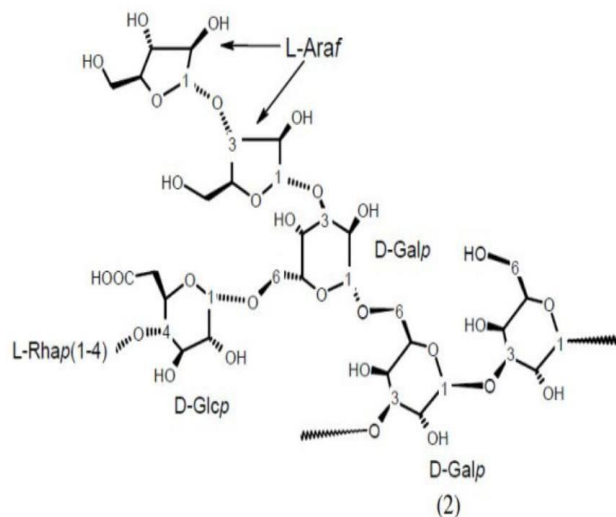
O grande desafio da microencapsulação é a escolha do material de revestimento utilizado no processo. É imprescindível que esse material não reaja com o material encapsulado, e apresente algumas características tecnológicas, tais como boas propriedades de secagem, baixo custo, disponibilidade no mercado, baixa viscosidade e higroscopicidade, devendo ser estável e apresentar proteção satisfatória ao material encapsulado (VANISK, et al., 2017).

Os materiais que são frequentemente utilizados para obtenção das microcápsulas são os carboidratos (amido, maltodextrinas, xarope de milho, dextrana, sacarose e ciclodextrina), celulose (carboximetilcelulose, metil e etil celulose, acetil celulose e nitrocelulose), lipídeos (parafina, cera, triestearina, mono e diglicerídeos, óleos e gorduras), gomas (goma arábica, ágar, alginato de sódio, carragena) e proteínas (glúten, caseína, gelatina, albumina, peptídeos e hemoglobina) (NUNES, 2018).

2.4.2.1 Goma Arábica

A goma arábica (Figura 5) é comumente utilizada nas indústrias alimentícias por apresentar características inodoras, incolor e sem sabor. É composta, principalmente, de glicoproteínas, polissacarídeos e sais de cálcio, magnésio e potássio. Sua cadeia de polissacarídeos é composta por D-galactose, ligada ao ramo de L-ramnose, L-arabinose e ácido L-glucurônico. Além disso, também contém cerca de 2% de um ingrediente de proteína que está covalentemente ligada a este arranjo molecular, o qual determina as propriedades emulsificantes de goma de mascar (PEREIRA, et al, 2018).

Figura 05: Goma arábica



Fonte: (CARNEIRO, 2017)

Santos (2018) explica que a goma arábica sempre foi considerada excelente material encapsulante, devido à sua solubilidade, baixa viscosidade, boas propriedades emulsificantes e alta estabilidade à oxidação. É também um ingrediente multifuncional, usado em sistemas alimentares por causa da sua flexibilidade molecular, e por ser compatível com outros carboidratos, proteínas e amidos modificados, potencializando o processo de microencapsulação. Embora a goma arábica seja considerada excelente material de parede, há vários problemas com o uso desse material devido ao alto custo e o fornecimento limitado desses materiais (OLIVEIRA, 2019).

2.4.2.2 Maltodextrina

A maltodextrina é um carboidrato que se apresenta em aspectos e forma de pó branco, obtida através da hidrólise ácida do amido. Dentre os principais materiais encapsulantes, utilizados na microencapsulação, a maltodextrina tem sido muito usada devido a sua baixa viscosidade e solubilidade em água, além de ser excelente para contribuir com corpo de sistemas alimentícios (KANNAN; PRIYENKA DEVI, 2012).

A maltodextrina possui algumas características como sabor suave levemente doce, baixo custo e eficiência considerável. Em contrapartida, apresenta baixa concentração de compostos voláteis e capacidade de emulsão limitada. Além de ser utilizada como agente encapsulante, a maltodextrina pode ser empregada como substituto de gorduras, complemento nutricional, formador de filmes e, também, para prevenção de cristalizações. A maltodextrina DE 10 e DE 20 são as mais indicadas para microencapsulação de cores e aromas, enquanto que a DE 5 e DE 15, com adição de

proteínas, são bastante utilizadas para microencapsular óleos essenciais (GHARSALLAOUI et al., 2007).

2.5 Adição de Corantes em Alimentos

A crescente preocupação com a saúde entre os consumidores aumentou a busca por produtos naturais, pois além de agradáveis sensorialmente, os alimentos devem ser seguros, nutritivos e benéficos a saúde humana. Muitos corantes naturais, além de conferir cor aos alimentos, possuem propriedades benéficas para a saúde humana, apresentando características funcionais (antioxidante, anti-inflamatórias), tornando sua utilização conveniente e interessante, pois melhora a aparência dos alimentos e promovem saúde e bem-estar de quem os consome (RODRIGUEZ-AMAYA, 2016).

A adição de corantes nesses produtos tem como finalidade lembrar o sabor escolhido, referente a uma determinada fruta e para conferir, intensificar ou restaurar a coloração desse alimento. A adição do corante deve ser incorporada em conjunto com o aroma, de forma a proporcionar lembrança agradável. Por outro lado, as cores características contribuem na escolha do produto, tornando-se um fator importante que auxilia na decisão de compra. Além de proporcionar aparência mais convidativa de acordo com o ponto de vista sensorial, também possui grande importância sob o ponto de vista tecnológico para assegurar a uniformidade ao produto (SHARMILA et al., 2019).

2.6 Aproveitamento de resíduos

Coprodutos, também conhecidos como subprodutos ou resíduos de alimentos, são partes de matéria prima obtidas no processamento de frutas e hortaliças em processos agroindustriais, que podem ser aproveitadas de várias formas, o que pode gerar economia, melhoria da renda familiar, menores impactos ambientais e melhoria da segurança alimentar (SILVA et al., 2009; SOUSA et al., 2011; DAMIANI et al., 2020).

O desperdício de alimentos é um problema de escala global que tem causado grande preocupação, uma vez que toneladas de resíduos de alimentos (cascas, talos, folhas e sementes) são geradas diariamente pelas indústrias alimentícias em todo mundo, resultando em grandes consequências ambientais (DAMIANI et al., 2020).

Em todo o mundo busca-se formas de redução do volume de resíduos gerados pela as indústrias (CASTRO et al., 2011; ALVES, 2020). Comumente, esses subprodutos

agroindustriais são empregados na alimentação de animais, na formulação de fertilizantes e biocombustíveis (Cui et al., 2015). Devido demonstrarem a presença de compostos bioativos, nutrientes, pigmentos e micronutrientes em sua composição (GUTIÉRREZ-MACÍAS et al., 2017).

O aproveitamento de resíduos produzidos pelo processamento de frutos Amazônicos também se apresentam como uma possibilidade para a desenvolvimento de novos produtos promissores para indústria alimentícia, farmacêutica e de biocombustíveis. Em razão de que diversas pesquisas evidenciaram que cascas de pupunha, bacupari, tucumã são ricas fontes de carotenoides e compostos antioxidantes, demonstrando um potencial ainda maior para estes frutos presentes na flora brasileira (MATOS et al., 2019; MENDONÇA et al., 2019; MORAIS et al., 2020; MELO et al., 2021).

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivos Gerais

Elaborar e avaliar microcápsulas, contendo pigmentos naturais (carotenoides) extraídos de casca de frutos amazônicos (pupunha, bacupari e tucumã) para possível aplicação em alimentos como corante natural.

3.2 Objetivos específicos

- Realizar a produção dos extratos pigmentados das cascas dos frutos amazônicos (bacupari, pupunha e tucumã);
- Realizar a caracterização dos extratos das cascas dos frutos amazônicos quanto ao pH, teor de carotenoides e cor;
- Realizar a microencapsulação de pigmentos naturais, extraídos de frutos amazônicos com agentes de encapsulação (maltodextrina e goma arábica) em diferentes combinações por atomização (*spray drying*) (GA 1:1, GA 1:3 e MD-GA 1:1);
- Caracterizar física e quimicamente as microcápsulas produzidas;
- Analisar a estabilidade das microcápsulas pigmentadas;
- Aplicar as microcápsulas pigmentadas em matriz alimentar.

4. REFERENCIAS

ABREU, L. F.; CARDOSO, T. N.; DANTAS, K. G. F.; OLIVEIRA, M. S. P. **Prospecção e quantificação de carotenoides em frutos de tucumã-do-Pará**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2020.

AOAC. Official methods of analysis. **Association of Official Analytical Chemistry.**, p. 3000, 2012.

ALVES, W. F.; RIBEIRO, G. S.; SOUZA, M. C.; SOUZA, R. L.; OLIVEIRA, F. N. L.; MESQUITA, F.R. **Análise físico-química do óleo essencial de pupunha (*Bactris gasipaes* Kunth - Arecaceae), do município de Cruzeiro do Sul, Acre, Brasil**. *Ci. Fl.*, Santa Maria, v. 31, n. 1, p. 533-549, jan./mar. 2021

ARAUJO, N. M. P.; ARRUDA, H. S.; MARQUES, D. R. P.; OLIVEIRA, W. Q.; PEREIRA, G. A.; PASTORE, G. M. Functional and nutritional properties of selected Amazon fruits: A review. **Food Research International**, p. 110520, 2021.

ARAÚJO, F. O.; MOREIRA, M. E. C.; LIMA, C. F.; TOLEDO, R. C. P.; SOUSA, A.R.; VELOSO, M. P.; FREITAS, P. G.; SANTOS, M. H.; SOUZA, E. C. G.; MANTOVANI, H. C.; MARTINO, H. S. D. Bacupari (*Garcinia brasiliensis*) extract modulates intestinal microbiota and reduces oxidative stress and inflammation in obese rats. **Food research international**, v. 122, p. 199-208, 2019.

ANUNCIACÃO, P. C.; GIUFFRIDA, D.; MURADOR, D. C.; FILHO, G. P.; DUGO, G.; SANT'ANA, H. M. P. Identification and quantification of the native carotenoid composition in fruits from the Brazilian Amazon by HPLC–DAD–APCI/MS. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 83, p. 103296, 2019.

BAGETTI, M.; FACCO, E. M. P.; RODRIGUES, D. B.; VIZZOTTO, M.; TATIANA EMANUELLI, T. **Antioxidant capacity and composition of pitanga seeds**. *Ciência Rural*, v. 39, n. 8, pg. 2504-2510, 2009.

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

BRANDÃO, C. P.; OLIVEIRA, M. S. P.; SANTOS, JUNIOR, M. C. M. O. Perfil e preferências do consumidor de frutos de pupunha da cidade de Belém, Pará. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 7. 2021.

CABALLERO-SERRANO, V.; MCLAREN, B.; CARRASCO, J. C.; ALDAY, J. G.; FIALLOS, L.; AMIGO, J.; ONAINDIA . Traditional ecological knowledge and medicinal plant diversity in Ecuadorian Amazon home gardens. **Global Ecology and Conservation**, v. 17, p. e 00524, 2019.

- CAÑADAS, R., GONZÁLEZ-MIQUEL, M., GONZAÁLEZ, E. J., DÍAZ, I., & RODRÍGUEZ, M. Overview of neoteric solvents as extractants in food industry: A focus on phenolic compounds separation from liquid streams. *Food Research International*, 136, 109558. (2020).
- CANO-CHAUCA, M.; STRINGHETA, P. C.; RAMOS, A. M.; CAL-VIDAL, J. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its funcional characterization. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, v. 6, p. 420-428, 2005.
- CATALKAYA, G., & KAHVECI, D. Optimization of enzyme assisted extraction of lycopene from industrial tomato waste. *Separation and Purification Technology*, 219, 55–63, 2019.
- CHISTÉ, R. C.; COSTA, E. L. N.; MONTEIRO, S. F.; MERCADANTE.; A. Z. Carotenoid and phenolic compound profiles of cooked pulps of orange and yellow peach palm fruits (*Bactris gasipaes*) from the Brazilian Amazonia. *Journal of Food Composition and Analysis*, v. 99, p. 103873, 2021.
- CEJUDO-BASTANTE M. J.; HURTADO N.; DELGADO A.; HEREDIA FJ. Impact of pH and temperature on the colour and betalain content of Colombian yellow pitaya peel (*Selenicereus megalanthus*). *Journal of Food Science and Technology*, v. 53, n. 5, p. 2405–2413, 2016.
- CONSTANT, P. B. L.; MELO, T, S.; PIMENTEL, A. A.; ARAUJO, R. R .S.; FANCHIOTTI, F. E.; SILVA, A. G.; SANTOS, J. A. B.; STRINGHETA, P. C. et al. Aplicação da bixina microencapsulada em sistemas alimentícios. *Brazilian Journal of Development*. Curitiba, v. 6, n. 7, p. 47604-47617, 2020.
- DE PAULA, F.C.; DE PAULA, C.B.C.; CONTIERO, J. Prospective biodegradable plastics from biomass conversion processes. In: *Biofuels - State of Development*. London: IntechOpen, 2018.
- DA SILVA, A, J, B. **Característica de alguns frutos das palmeiras nativas da Amazônia Brasileira**. Meio Ambiente, Sustentabilidade e Tecnologia, v. 3, p. 18, 2019.
- DŁUŻEWSKA, E. FLOROWSKA, A. DOMIAN, E. MASZEWSKA. The Influence of the Agglomeration Process on Stability of Microencapsulated β -Carotene. *International Journal of Food Engineering*. 2020.
- ELIK, A.; YANIK, D. K; GÖĞÜŞ, F. Microwave-assisted extraction of carotenoids from carrot juice processing waste using flaxseed oil as a solvent. *Lwt*, v. 123, p. 109100, 2020.
- FRANCO, T. S.; POTULSKI, C D.; VIANA, L. C.; FORVILLE, E.; ANDRADE, A. S.; MUNIZ; G. I. B. Nanocellulose obtained from residues of peach palm extraction (*Bactris gasipaes*). *Carbohydrate polymers*, v. 218, p. 8-19, 2019.
- GIUSTI, M. M.; WROLSTAD, R. E. Acylated anthocyanins from edible sources and their applications in food systems. *Biochemical Engineering Journal*, v. 14, n. 3, p. 217–225, 2003.

GOTTARDO, F. M. **Microencapsulação de óleos essenciais de orégano e canela combinados com ação sobre listeria monocytogenes em produtos de carne.** Dissertação. Passo fundo. 2021

JUSTUS, A.; BENASSI, M. T.; IDA, E. L.; KUROZAWA, L. E Estabilidade física e química de hidrolisados proteicos de okara microencapsulados por spray drying. **Braz. J. Food Technol.**, Campinas, v. 23, 2020.

LÊDO, C. M.; CUNHA, M. N. C.; OLIVEIRA, J. P.; NETO, J. M. W. N.; PORTO, A. L. F. **Matrizes poliméricas para encapsulação de bioinseticidas.** Pesq. agropec. pernamb., Recife, v. 26, n. 1, 2021.

LI, X. Y.; WU, M. B.; XIAO, M.; LU, S. H.; WANG, Z. M.; YAO, J. M; YANG, L. R. Microencapsulated β -carotene preparation using different drying. **Biomed & Biotechnol.**, v. 20, n. 11, p.901-909, 2019.

LIU, Y., LI, J., FU, R., ZHANG, L., WANG, D., & WANG, S. Enhanced extraction of natural pigments from Curcuma longa L. using natural deep eutectic solvents. **Industrial Crops And Products**, 140, 111620, 2019.

LIU, C., XUE, H., SHEN, L., LIU, C., ZHENG, X., SHI, J., & XUE, S. Improvement of anthocyanins rate of blueberry powder under variable power of microwave extraction. **Separation and Purification Technology**, 226, 286–298, 2019.

LIMA, D. G; SILVA, R. F; FURTADO, M. T. Composição química e aspectos microbiológicos de pães enriquecidos com polpa integral de pupunha desidratada. **Revista Geintec**, v. 10, n. 1, p. 5352-5366, 2020.

MARTINS, M. N.; MARTIM, S. R. GELEIA MISTA DE TUCUMÃ E CUPUAÇU ENRIQUECIDA COM EXOCARPO DE BANANA VERDE. **Saber Científico (1982-792X)**, v. 9, n. 1, p. 90-101, 2021.

MELO, A. M.; BARBI, R. C. T.; COSTA, B. P.; IKEDA, M.; CARPINÉ, D.; RIBANI, R, S. Valorization of the agro-industrial by-products of bacupari (Garcinia brasiliensis (Mart.)) through production of flour with bioactive properties. **Food Bioscience**, p. 101343, 2021.

MELO FILHO, A. A.; DA COSTA, A.M.; MONTERO FERNANDEZ, I.; CARVALHO DOS SANTOS, R.; ALVES CHAGAS, E.; CARDOSO CHAGAS, P.; TAKAHASHI, J. A.; FERRAZ, V. P. Fatty acids, physical-chemical properties, minerals, total phenols and anti-acetylcholines-terase of abiu seed oil. **Chemical Engineering Transactions**, v. 64, n.1, p. 283-288, 2018.

MENSOR, L.L.; MENEZES, F.S.; LEITÃO, G.G.; REIS, A.S.; SANTOS, T.C.; COUBE, C.S.; LEITÃO, S.G. Screening of Brazilian Plant Extracts for Antioxidant Activity by the Use of DPPH free Radical. **Method Phytotherapy Research**, v.15, n.2, p.127-130, 2001.

MORAIS, R. A.; SANTOS, A. L.; SOUSA, H. M.; SOARES, C. M.; SILVA, D. L.; MARTINS, G. A. DETERMINAÇÃO DOS COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS EM

CASCAS DE FRUTAS ENCONTRADAS NO CERRADO BRASILEIRO. **DESAFIOS-Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins**, v. 7, n. Especial, p. 26-33, 2020.

NADAR, S. S.; RAO, P.; RATHOD, V. K. **Enzyme assisted extraction of biomolecules as an approach to novel extraction technology: A review** *Food Research International* Elsevier Ltd, 1 jun. 2018.

NADAR, S. S.; VAIDYA, L.; RATHOD, V. K. Enzyme embedded metal organic framework (enzyme–MOF): De novo approaches for immobilization. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 149, p. 861–876, 15 abr. 2020.

NEVES, M. I. L.; SILVA, E. K., & MEIRELES, M. A. Trends and challenges in the industrialization of natural colorants. **Food Public Health**, pg. 33-44, 2019.

NUNES, G. L. **Microencapsulação de culturas probióticas por spray drying utilizando diferentes agentes encapsulantes**. Tese de doutorado. Santa Maria, 2018.

NERI-NUMA, A. I.; SANCHO, R. A. S.; PEREIRA, A. P. A.; PASTORE, G. M. Angélica et al. Small Brazilian wild fruits: Nutrients, bioactive compounds, health-promotion properties and commercial interest. **ood Research International**, v. 103, p. 345–360, 2018.

ORDOÑEZ-SANTOS, L. E.; MARTÍNEZ-GIRÓN, J.r; RODRÍGUEZ-RODRÍGUEZ, D. X. Extraction of total carotenoids from peach palm fruit (*Bactris gasipaes*) peel by means of ultrasound application and vegetable oil. **Dyna**, v. 86, n. 209, p. 91-96, 2019.

ORDÓÑEZ-SANTOS, L. E.; ESPARZA-ESTRADA, J.; VANEGAS-MAHECHA, P. Ultrasound-assisted extraction of total carotenoids from mandarin epicarp and application as natural colorant in bakery products. **LWT**, 2020.

PANIĆ, M. VERONIKA, G.; CRAVOTTO. G.; REDOVNIKOVIC, I. R. Enabling technologies for the extraction of grape-pomace anthocyanins using natural deep eutectic solvents in up-to-half-litre batches extraction of grape-pomace anthocyanins using NADES. **Food chemistry**, v. 300, p. 125185, 2019.

PEREIRA, K. C.; FERREIRA, D. C. M.; ALVARENGA, G. F.; PEREIRA, M. S. S.; BARCELOS, M. C. S.; COSTA, J. M. G. Microencapsulação e liberação controlada por difusão de ingredientes alimentícios produzidos através da secagem por atomização: revisão. **Brazilian Journal of Food Technology**. 2018.

PURI, M.; SHARMA, D.; BARROW, C. J. Enzyme-assisted extraction of bioactives from plants. **Trends in Biotechnology**, v. 30, n. 1, p. 37–44, 2012.

REGINA, E. A. Elaboração de uma esfirra sem glúten de tucumã com recheio de chuchu e filé de dourado. **Revista Diálogos: Economia e Sociedade (ISSN: 2594-4320)**, v. 2, n. 1, p. 123-135, 2018.

- SANTOS, L. N. D. Gestão ambiental e caracterização de resíduos sólidos de agroindústrias de palmito pupunha do estado do paraná. **Exacta**, v. 19, n. 1, p. 166-187, jan./mar. 2021.
- SANTOS, P. H., KAMMERS, J. C., SILVA, A. P., OLIVEIRA, J. V., & HENSE, H. AntioXidant and antibacterial compounds from feijoa leaf extracts obtained by pressurized liquid extraction and supercritical fluid extraction. **Food Chemistry**, 128620, 2020.
- SANTOS, M. M. R.; FERNANDES, D. S.; CÂNDIDO, C. J.; CAVALHEIRO, L. F.; SILVA, A. F.; NASCIMENTO, V. A.; RAMOS; M. M.; SANTOS.; E. F.; HIANE, P. A. Physical-chemical, nutritional and antioxidant properties of tucumã (Astrocaryum huaimi Mart.) fruits. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 39, n. 4, p. 1517-1531, 2018.
- SANTOS, L. N.; BOLANHO, B. C.; DANESI, E. D. G. Gestão ambiental e caracteriza o de resíduos sólidos de agroindústrias de palmito pupunha do estado do Paraná. **Exacta**, v. 19, n. 1, p. 166-187, 2021.
- SILVA, A. S.; ALVES, M. A. M.; CERQUEIRA, G. A.; SANTOS, P. S. G.; SANTOS, J. C. **Aceitabilidade sensorial de sobremesa láctea com bacupari (Rheedia brasiliensis) para provável uso nos refeitórios do IFAL**. Anais. VI Congresso de Pesquisa da Rede Norte e Nordeste de Educa o Tecnológica. Natal, 2011.
- SOWBHAGYA, H.B.; CHITRA, V. N. Enzyme assisted extraction of flavorings and colorants from plant materials. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, p. 146–161, 2010.
- SUTTER, S. C.; BUERA, M. P.; ELIZALDE, B. E.; β -carotene encapsulation in a mannitol matrix as affected by divalent cations and phosphate anion. **International Journal of Pharmaceutics**, v.332, p.45-54, 2007.
- SHELDON, R. A., & PELT, S. V. Enzyme immobilisation in biocatalysis: Why, what and how. **Chemical Society Reviews**, 42(15), 6223–6235, 2013.
- TOLEDO-MADRID, K. I.; VELÁSQUEZ, T. G. G.; VALENCIA F. T.; REVILLA, G. I. O. Microencapsula o por atomiza o de extrato de casca de palma forrageira (*Opuntia ficus indica*) e estabilidade de armazenamento de compostos bioativos. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v. 31, n. 12, pág. 958-968, 23 jan. 2020.
- VASCONCELOS, L. F. L.; VELOSO, M. E. C.; ARAUJO, E. C. E. VAL, A.D.B. Hidroconserva o de sementes de bacupari. In: **Embrapa Meio-Norte-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 26., 2019, Juazeiro, BA/Petrolina, PE. Fruticultura de precisão: desafios e oportunidades-anais. Petrolina: Embrapa Semiárido: UNIVASF: SBF, 2019. p. 733-736., 2019.
- YAHIA, E. M. **The contribution of fruit and vegetable consumption to human Health**. p. 3–51, 2010.
- YUYAMA, L. K. O; MAEDA, R. N.; PANTOJA, L.; AGUIAR, J. P. L; MARINHO, H. A. Processing and shelf-life evaluation of dehydrated and pulverized tucuman

(*Astrocaryum aculeatum* Meyer). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 2, p. 408–412, 2008.

XAVIER, D. T. O. SOARES, P.P.; ROSETTO, F.; SOUZA, H. B. S.; BRISQUELEAL, F. N. L. S; SILVA, F. N. L.; SOUZA, R. A. L. Substituição do farelo de milho por farinha de torta de tucumã em dietas para tabaqui. **PUBVET**, v. 13, p. 130, 2019.

ZHUANG, G.; RODRIGUES, F. ZHANG, Z.; FONSECA, P. W.; WALTER, P.; JABER. M. Dressing protective clothing: stabilizing alizarin/halloysite hybrid pigment and beyond. **Dyes and Pigments**, v. 166, p. 32-41, 2019.

5. ARTIGOS

Artigo I

MICROENCAPSULAÇÃO POR *SPRAY DRYING* DE CAROTENOIDES EXTRAÍDOS DAS CASCAS DE BACUPARI (*GARCINIA BRASILIENSIS* (MART.)), UTILIZANDO DIFERENTES MATERIAIS DE PAREDE

Lorrane Ribeiro de Souza¹, Ingrid Alves Santos², Gilson Gustavo Lucinda Machado³, Hanna Elisia Araújo de Barros⁴ Eduardo Valério de Barros Villas Boas⁵, Diego Alvarenga Botrel⁶, Elisângela Elena Nunes de Carvalho⁷, Clarissa Damiani⁸

RESUMO: Os subprodutos do bacupari, como casca e semente, representam cerca de 60% da massa do fruto, sendo ricos em compostos bioativos, como os carotenoides que, apesar dos seus efeitos benéficos, são altamente sensíveis a luz, oxigênio, calor e ao pH. Portanto, o objetivo deste estudo foi microencapsular carotenoides extraídos de cascas de bacupari (*Garcinia brasiliensis* (Mart.)), por *spray drying*, utilizando goma arábica e maltodextrina como material de parede (GA 1:1, GA 1:3 e MD-GA 1:1) e determinando suas características físico-químicas, compostos bioativos e atividade antioxidante. A extração dos carotenoides foi feita utilizando etanol 50% e enzima pectinase, seguida de rotaevoração e atomização. Após a secagem, as microcápsulas foram caracterizadas quanto aos teores de umidade, atividade de água, carotenoides, rendimento, solubilidade, eficiência, compostos fenólicos totais (Folin-Ciocalteu e Fast Blue) e atividade antioxidante (captura do radical ABTS⁺ e sistema β -Caroteno/ácido linoleico). Além disso, realizou-se a espectroscopia no infravermelho médio (FTIR-ATR), a análise termogravimétrica (TGA) e a análise morfológica por meio da microscopia eletrônica de varredura (MEV-FEG). As microcápsulas apresentaram baixos teores de umidade e atividade de água, com boa retenção de carotenoides, boa solubilidade em água com a preservação de compostos fenólicos e capacidade antioxidante. As partículas apresentaram-se com formato esféricos de tamanhos heterogêneos com poucas aglomerações. Em relação a estabilidade, as microcápsulas apresentaram cores estáveis nos pH entre 1 a 10 com alteração em pH 11, 12 e 13; apresentaram menores perdas de carotenoides, quando armazenadas em temperaturas de refrigeração -4 ± 2 °C. Sobre a aplicação em iogurte ao final de 30 dias, houve redução nas coordenadas a^* e b^* e aumento nos valores da coordenada L^* , indicando que ao longo do tempo, os iogurtes contendo as microcápsulas tornou-se mais claros devido a degradação dos compostos.

Palavras-Chaves: Carotenoides, Microcápsulas, Material de parede

ABSTRACT: Bacupari by-products, such as peel and seed, represent about 60% of the fruit mass, being rich in bioactive compounds such as carotenoids which, despite their beneficial effects, are highly sensitive to light, oxygen, heat and pH. Therefore, the objective of this study was to microencapsulate carotenoids extracted from bacupari (*Garcinia brasiliensis* (Mart.)) peels, by spray drying, using gum arabic and maltodextrin as wall material (GA 1:1, GA 1:3 and MD-GA 1:1) and determining its physicochemical characteristics, bioactive compounds and antioxidant activity. The extraction of carotenoids was performed using 50% ethanol and pectinase enzyme, followed by rotaevaporation and atomization. After drying, the microcapsules were characterized for moisture content, water activity, carotenoids, yield, solubility, efficiency, total phenolic compounds (Folin-Ciocalteu and Fast Blue) and antioxidant activity (abts+ radical capture and β -Carotene system /linoleic acid). In addition, mid-infrared spectroscopy (FTIR-ATR), thermogravimetric analysis (TGA) and morphological analysis using scanning electron microscopy (SEM-FEG) were performed. The microcapsules showed low moisture content and water activity, with good retention of carotenoids, good solubility in water with preservation of phenolic compounds and antioxidant capacity. The particles had spherical shapes of heterogeneous sizes with few agglomerations. Regarding stability, the microcapsules showed stable colors at pH between 1 to 10 with alteration at pH 11, 12 and 13; showed lower carotenoid losses when stored at -4 ± 2 °C refrigeration temperatures. Regarding the application in yogurt at the end of 30 days, there was a reduction in the a^* and b^* coordinates and an increase in the values of the L^* coordinate, indicating that over time, the yogurts containing the microcapsules became lighter due to the degradation of the compounds.

Keywords: Carotenoids, Microcapsules, Wall material

1. INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta inúmeras frutas nativas promissoras que, ainda, são pouco exploradas, dentre essas tem-se o bacupari (*Garcinia brasiliensis* (Mart.)). Pertencente à família *Guttiferae*, nativa da Amazônia, a literatura evidencia o bacupari como fruta rica em propriedades fitoterápicas e antioxidante, devido as suas propriedades bioativas (ESPIRITO SANTO et al., 2020; MELO et al., 2022).

Os subprodutos do bacupari, como as cascas, representam cerca de 60% da massa desse fruto, cujo resíduo (coproduto) são ricos em compostos bioativos como os carotenoides, classe de pigmentos naturais encontrados, na sua grande maioria, em frutas e hortaliças, mas que também podem ser sintetizados por alguns microrganismos (MELO et al., 2022). Alguns carotenoides como β -caroteno, licopeno, luteína e zeaxantina são extraídos e utilizados como suplementos e corantes naturais em diversos produtos alimentícios.

Dentre as técnicas utilizadas para extração desses compostos, encontra-se a extração assistida por enzimas, um método que têm-se mostrado alternativa de grande potencial quando comparados com os métodos tradicionais com solventes (MIRANDA et al., 2021). A extração assistida por enzima têm como princípio a quebra da parede celular da planta e liberação do componente intracelulares. Esse método de extração apresenta vantagens como redução do uso de solventes inflamáveis, menor tempo de extração e aumento na concentração do composto extraído (SHELDON et al., 2013). Em diversos estudos são relatados que o tratamento enzimático aumentou de 1,5 a 20 vezes a extração de licopeno em tomates (ZUORRO et al., 2011; CUCCOLINI et al., 2013; LADOLE et al., 2018).

Apesar dos seus efeitos, os carotenoides são altamente sensíveis a luz, oxigênio, calor e pH, o que limita seu uso na indústria (CAMPO et al., 2019; KALAJAHI; GHANDIHA, 2022). Portanto, pesquisas inovadoras têm sido realizadas para explorar fontes alternativas de extração desses corantes naturais para atender os desafios do mercado e as restrições regulatórias para aplicações alimentícias (RORIZ et al., 2017).

Nos últimos anos, os métodos de microencapsulação têm sido estudados como métodos promissores para estabilizar pigmentos, utilizando diferentes técnicas (CASTRO-ENRÍQUEZ et al., 2020). O *spray drying* está entre os métodos físicos de microencapsulação, sendo o mais antigo e um dos mais utilizados nas indústrias alimentícias, devido ao baixo custo, eficiência e disponibilidade de equipamentos. Além

disso, permite a produção de sólidos, a partir de substâncias líquidas e aumenta a estabilidade de compostos bioativos (BAKRY et al., 2016; EUN et al., 2019).

Santos et al. (2021), microencapsularam óleo de tucumã, rico em carotenoides, pelo processo de atomização por spray-dryer e relataram que os pós apresentaram-se estáveis durante o armazenamento à temperatura ambiente e quando submetido a altas temperaturas. Nos estudos de Lima et al. (2021), ao microencapsularem carotenoides a partir das cascas da abóbora, os autores relataram que os pigmentos apresentaram a menor degradação durante 90 dias de armazenamento, com índice de retenção de 79% comprovando que a secagem por pulverização mostrou-se adequada para preservar tais compostos.

Durante o processo de microencapsulação, é necessário considerar o tipo de material de parede, de acordo com a função e o tamanho da partícula (ÁLVAREZ-HENAO et al., 2018). É imprescindível que esse material não reaja com o material encapsulado, e apresente algumas características tecnológicas, tais como boas propriedades de secagem, baixo custo, disponibilidade no mercado, baixa viscosidade e higroscopicidade, devendo ser estável e apresentar proteção satisfatória ao material encapsulado (SANTOS et al., 2021). Os materiais de paredes comumente utilizados como agente carreador na secagem por pulverização são os carboidratos como maltodextrina e goma arábica (GARCÍA et al., 2018).

A microencapsulação de corantes naturais é tendência e representa oportunidade, pois a diversidade de técnicas e materiais confere grande versatilidade em termos de aplicações em produtos alimentícios (CALDERÓN-OLIVER & PONCE-ALQUICIRA, 2022). Portanto, o objetivo deste estudo foi microencapsular carotenoides, extraídos das cascas de bacupari (*Garcinia brasiliensis* (Mart.)), por *spray drying*, utilizando goma arábica e maltodextrina como material de parede e determinar suas características físico-químicas, compostos bioativos e atividade antioxidante, avaliando a estabilidade em diferentes temperaturas e pH, além de analisar o comportamento das microcápsulas em matriz alimentar como o iogurte.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Obtenção dos frutos e Armazenamento

Os frutos do bacupari (*Garcinia brasiliensis* (Mart.)) foram obtidos no comércio local de Palmas-TO, (Latitude: 10° 10' 8" Sul, Longitude: 48° 19' 54", Brasil, 2022), na época de frutificação. Os frutos foram recebidos no laboratório de pós-colheita de frutas e hortaliças (UFLA), onde foram separados de sujidades e frutos impróprios (podres, amassados). Posteriormente, foram lavados e sanitizados com solução de hipoclorito de sódio (150 ppm), drenados e congelados (-18°C) até o momento da despolpa. A despolpa foi feita manualmente, onde separou-se as frações casca, polpa e semente.

2.2 Obtenção do extrato pigmentado

A extração de pigmentos com solvente, foi realizada nas cascas dos frutos secos. A secagem das cascas, para extração, ocorreu conforme descrito na metodologia AOAC (2016) número 930.36 à 70 °C até as amostras atingirem peso constante. O processo de extração de pigmentos com solvente foi realizado de acordo com a metodologia proposta por Swer et al. (2016) com algumas modificações. Foi pesado 1,25 gramas de amostra seca e aplicado 50 ml de solvente etanol (50%) na casca do bacupari; posteriormente, foi adicionado 45 µL da enzima pectinase (*Aspergillus niger*) com o código P4716-5KU da fabricante Sigma-Aldrich. A seguir, a mistura foi levada ao agitador magnético por 2 minutos e deixada em repouso por 150 minutos, em banho maria, na temperatura de 35°C. Logo após, foi centrifugada a 15000 rpm por 10 minutos. Em seguida, os extratos com a enzima foram inativadas em banho maria a 90°C por 3 minutos, logo após filtrados em papel filtro. Após a extração, os extratos filtrados foram submetidos a rotaevaporação (rotaevaporador Marca Tecnal-TE-2010) com temperatura de 50 °C para a retirada total do solvente.

2.3 Caracterização do extrato

Toda a caracterização física e química do extrato foi feita, em três repetições em triplicata.

2.3.1 Determinação do pH

A determinação do pH foi realizada utilizando potenciômetro, calibrado com Soluções de pH 7,0 e 4,0, segundo AOAC (número 973.04, 2016).

2.3.2 Análise de cor

As medições de cor foram realizadas utilizando colorímetro Konica Minolta CR-400, no espaço de cores CIELAB da Comissão Internacional de l'Éclairage, utilizando o sistema de escala de cor L, a* e b*, croma (C*) e ângulo hue (h°).

2.3.3 Teor de carotenoides

A quantificação de carotenoides do extrato de bacupari foi realizado de acordo com a metodologia de Ferreira et al. (2021). 3 ml do extrato foi dissolvido em hexano até volume final de 10 ml. O conteúdo foi agitado por 20 minutos, em mesa agitadora, e as leituras foram realizadas em espectrofotômetro a 444nm, 450nm, 456nm, 452nm e 470nm, que correspondem as absorvâncias dos carotenoides, α -caroteno, β -caroteno, δ -Caroteno γ -caroteno e licopeno, respectivamente. O teor de cada carotenoide foi calculado, seguindo a metodologia. Os resultados foram expressos em $\mu\text{g} \cdot 100\text{g}^{-1}$.

$$\text{Teor de carotenoides } (\mu\text{g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}) = \frac{\text{Abs} \times V \times 10^6}{E_{cm}^{1\%} \times m} \quad \text{Equação 1}$$

Em que *Abs* é a absorvância da solução no comprimento de onda específico; *V* é o volume final da solução; $E_{cm}^{1\%}$ é o coeficiente de extinção ou coeficiente de absorvidade molar de um pigmento em um determinado solvente específico, no caso o éter de petróleo, e *m* é a massa da amostra tomada para a análise em g.

2.4 Microencapsulação por *Spray drying*

Para a microencapsulação por *spray-drying* foi adotado um delineamento inteiramente ao acaso, com 3 repetições para cada tratamento. Os materiais de parede utilizados no processo de secagem foi maltodextrina com dextrose equivalente 20 (Cassava S.A., Maripá, PR, Brasil) e goma arábica (Colloides Naturels Brasil, São Paulo, Brasil).

Tabela 1. Tratamentos para microencapsulação de carotenoides extraídos das cascas de bacupari utilizando Maltodextrina e Goma arábica.

Tratamentos	Teor de sólidos (%)	T (°C) Entrada/Saída (Spray- drying)	Material de Parede (%) (MD/GA)	Pigmento / Revestimento
1	30	170-80	GA	1:1
2	30	170-80	GA	1:3
3	30	170-80	MD-GA	1:1

T (°C): Temperatura; GA: Goma arábica; MD: Maltodextrina.

Após a caracterização do extrato (pH, cor e carotenoides) foi feito a adição dos materiais encapsulantes, a saber, maltodextrina e goma arábica, conforme a Tabela 1. As soluções foram, então, homogeneizadas por meio de agitação mecânica a 10000 rpm, durante 10 minutos, em misturador Ultra-turrax (Ultra-Turrax IKA T18 basic, Wilmington, EUA).

A atomização foi realizada por *Spray drying* (modelo MSD 1.0; Labmaq do Brasil, Ribeirão Preto, Brasil) equipado com bico de duplo fluido. As condições operacionais utilizadas foram: temperatura de entrada de 170 °C e taxa de alimentação de 0,3 L.h⁻¹. A mistura (extrato pigmentado concentrado, material encapsulante) foi mantida sob agitação em agitador magnético e bombeado até o topo do atomizador, entrando em contato com o ar quente na câmara de secagem, ocasionando a evaporação imediata da umidade contida no material. A corrente de ar quente-sólido foi direcionada em ciclone para separação do extrato microencapsulado em recipiente de vidro (coletor de pó). O encapsulado em pó foi coletado e armazenado em frascos de vidro âmbar, envoltos em papel alumínio e armazenados a -4±2 °C, para realização imediata das análises.

2.5 Caracterização das Microcápsulas

Toda a caracterização física e química das microcápsulas foram feitas, em três repetições em triplicata.

2.5.1 Umidade Relativa (UR)

Para determinar o teor de umidade das cápsulas, contendo o corante natural, foi utilizado o método gravimétrico, segundo a Associação de Químicos Analíticos Oficiais (AOAC, 2016, 9030,16) para alimentos. A percentagem de perda de peso foi obtida após secagem de 2,5 g à 105 °C, até obtenção de peso constante, com unidade expressa em $\text{g} \cdot 100\text{g}^{-1}$.

2.5.2 Atividade de água (A_w)

A determinação da atividade de água (1 g de cada amostra) foi realizada pelo medidor de água livre (AQUALAB, Aqua LAB 4TEV, EUA), à 25 °C.

2.5.3 Teor de carotenoides

A extração foi realizada como descrito por Rodriguez-Amaya (2001), com algumas adaptações. Adicionou-se 20 ml de acetona fria (P.A) em 0,5 g da amostra. O conteúdo foi agitado por 20 minutos em mesa agitadora e filtrado. O resíduo da amostra foi lavado com acetona até que o resíduo retido no papel filtro obtivesse coloração transparente (lavado três vezes com 20 ml, 15 ml e 15 ml de acetona P.A). Posteriormente, o filtrado foi transferido para um funil de separação, sendo acrescido de 15 ml de éter de petróleo e 35 ml de água destilada. O líquido mais denso foi descartado. Tal procedimento foi repetido três vezes para remover a acetona. O extrato, então, foi transferido para um balão volumétrico de 50 ml, e adicionado éter de petróleo até completar o volume de 50 ml. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro a 444nm, 450nm, 456nm, 452nm e 470nm, que correspondem as absorvâncias dos carotenoides, α -caroteno, β -caroteno, δ -Caroteno γ -caroteno e licopeno, respectivamente. O teor de cada carotenoide foi calculado seguindo a fórmula proposta na metodologia. Os resultados foram expressos em $\mu\text{g} \cdot 100\text{g}^{-1}$ de amostra fresca.

$$\text{Teor de carotenoides } (\mu\text{g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}) = \frac{\text{Abs} \times V \times 10^6}{E_{cm}^{1\%} \times m} \quad \text{Equação 1}$$

Em que Abs é a absorvância da solução no comprimento de onda específico; V é o volume final da solução; $E_{cm}^{1\%}$ é o coeficiente de extinção ou coeficiente de absorvidade

molar de um pigmento em um determinado solvente específico, no caso o éter de petróleo, e m é a massa da amostra tomada para a análise em g.

2.5.4 Rendimento

O rendimento da microencapsulação (RM) foi determinado, utilizando-se a massa total de sólidos antes da microencapsulação (MSA) e a massa total de sólidos obtidos após a microencapsulação (MSD) (Equação 2).

$$\text{RM}(\%) = \frac{\text{MSD}}{\text{MSA}} \times 100 \quad \text{Equação 2}$$

Onde: MSA é massa total (g) de sólidos antes do microencapsulação e MSD é massa total de microcápsulas (g) obtida após microencapsulação.

2.5.5 Solubilidade em água

A solubilidade das microcápsulas foi determinada, segundo a metodologia modificada escrita por CANO-CHAUCA et al. (2005). Para a determinação 1 g de amostra, foi adicionado 100 ml de água destilada, obtendo-se uma solução, a qual foi centrifugada a 3000 rpm, por 5 min. e, em seguida, colocado 25 ml do sobrenadante em placa de Petri seca e vazia, com massa conhecida e levada à estufa de circulação de ar a 105°C, por 8h. A solubilidade foi calculada pela diferença de massa e os resultados foram expressos em percentual de solubilidade.

2.5.6 Eficiência da microencapsulação

Para a quantificação dos carotenoides, presentes na superfície das micropartículas, 0,1 g de amostra e 5 ml de hexano foram misturados e levados ao agitador vórtex por 10s, seguidos de centrifugação a 3420 x g durante 10 min, coletando-se o sobrenadante. Para quantificação de carotenoides totais, seguiu a metodologia analítica proposta por Rodriguez-Amaya (2001). O resultado foi expresso em percentual de carotenoides

encapsulados (%EE), com o cálculo realizado por meio da Equação 3 (Sutter; Buera; Elisalde, 2007).

$$\%EE = \frac{(CT - CS)}{(CT)} \times 100 \quad \text{Equação 3}$$

Onde: CT é o teor de carotenoides totais e CS é o teor de carotenoides da superfície.

2.5.7 Análise de cor

As medições de cor foram realizadas utilizando colorímetro Konica Minolta CR-400, no espaço de cores CIELAB da Comissão Internacional de l'Éclairage, utilizando o sistema de escala de cor L, a* e b*, croma (C*) e ângulo hue (h°).

2.5.8 Compostos Fenólicos Totais

2.5.8.1 Obtenção dos extratos

Esse procedimento foi adaptado de Rufino et al. (2010). Pesaram-se 2,5 g da amostra em tubo de centrífuga e adicionaram-se 20 ml de etanol 95%; homogeneizou-se o composto e deixou-se em agitação (em mesa agitadora) por 30 minutos ao abrigo da luz, levando-se, posteriormente, os tubos ao banho ultrassom (UltraCleaner 1600A) por 30 minutos, seguido de filtragem em papel de filtro (papel filtro qualitativo, 15 cm de diâmetro, Unifil®), e armazenados em frascos de vidro âmbar a -18 °C até a realização das metodologias para fenólicos.

2.5.8.2 Método de Folin-ciocalteau

O teor de fenólicos totais foi determinado, utilizando o ensaio de Folin-Ciocalteau (PARADISO et al., 2018) com algumas alterações. Em resumo, em cada poço de uma microplaca de 96 poços, fundo chato, 30 µL do extrato foram misturados com 150 µL do reagente Folin-ciocalteau a 10% (v.v⁻¹). Após quatro minutos, foram adicionados mais

120 μL de uma solução de carbonato de sódio a 4% (p.v⁻¹). Essa mistura reacional foi incubada durante 2 h ao abrigo da luz e o teor de fenólicos totais foi determinado a 720 nm, utilizando leitor de microplacas (EZ Read 2000, Biochrom®). O cálculo do teor de fenólicos foi realizado a partir da equação da reta obtida da curva padrão de ácido gálico. Os resultados foram expressos em miligramas de equivalente de ácido gálico (GAE) por cem gramas de amostra fresca.

2.5.8.3 Método Fast Blue

Realizado conforme descrito por Medina (2011), com algumas adaptações, ou seja, duzentos microlitros do extrato foram misturados com 20 μL de reagente Fast Blue (0,1%, v/v) e 20 μL de hidróxido de sódio (5%, p/v), e a absorbância foi medida a 420 nm após 1,5 h de incubação no escuro. Todas as medições foram realizadas em triplicata, usando um leitor de microplacas de 96 poços (Biochrom EZ Read 2000). Os resultados foram relatados como equivalentes de ácido gálico em miligramas por 100 g de peso fresco da amostra (mg GAE/100 g FM).

2.5.9 Atividade antioxidante

2.5.9.1 Sistema β -Caroteno/ácido linoleico

A determinação da atividade antioxidante pelo método β -caroteno/ácido linoleico baseou-se na oxidação de β -caroteno (descoloração) induzida pelos produtos da degradação oxidativa do ácido linoleico (RUFINO et al., 2010). As soluções foram preparadas, misturando 270 μL de solução de sistema de β -caroteno/ácido linoleico e 20 μL de extrato em cada poço de uma microplaca de 96 poços, fundo chato. A mistura foi mantida em banho-maria a 40 °C; em seguida, foram realizadas as leituras a 470 nm em um leitor de microplacas (EZ Read 2000, Biochrom®), após o intervalo de 2 horas. Os resultados foram expressos em percentagem de inibição da oxidação.

2.5.9.2 Método de captura do radical ABTS⁺

A atividade antioxidante foi fundamentada na captura do radical ABTS⁺ por um antioxidante. Resumidamente, a solução do radical foi preparada, fazendo reagir o sal de

diamônio 2,2'-azinobis (ácido 3-etilbenzotiazolino-6-sulfônico) a uma concentração de 7 mmol.L⁻¹ com persulfato de potássio 2,45 mmol.L⁻¹ à temperatura ambiente ($\pm 25^{\circ}\text{C}$) durante 16 horas. A solução obtida foi, então, diluída com etanol (98,2%) até absorvância de $0,70 \pm 0,05$ a 734 nm. Para a determinação, as soluções foram preparadas misturando 3 ml da solução do radical ABTS+ e 30 μL de extrato em cada poço de uma microplaca de 96 poços, fundo chato. Após 6 minutos do tempo de reação ao abrigo da luz, a absorvância foi medida a 734 nm no mesmo leitor de microplacas citado anteriormente. Os resultados da atividade antioxidante foram expressos em % de proteção. A capacidade de reduzir o radical ABTS+ foi calculada utilizando a equação 4.

$$\% \text{Redução} = \frac{\text{Abs controle} - \text{Abs amostra}}{\text{Abs controle}} \times 100 \quad \text{Equação 4}$$

Onde: Abs controle = Absorvância da solução do radical ABTS+ inicial e Abs amostra = Absorvância da mistura reacional após 6 minutos de reação.

2.5.10 Espectroscopia no infravermelho médio (FTIR-ATR)

A análise de espectroscopia no infravermelho médio (FTIR-ATR) foram realizadas, empregando espectrômetro FT-IR Varian 600-IR com transformada de Fourier (FTIR), com acessório GladiATR da Pike Technologies, acoplado para medidas por reflectância total atenuada (ATR a 45° com cristal de seleneto de zinco). A faixa espectral analisada foi de 4000 a 500 cm^{-1} , resolução de 4cm^{-1} e 56 varreduras.

2.5.11 Análise termogravimétrica (TGA/DTA)

As curvas referentes à análise termogravimétrica (TGA/DTA) foram obtidas por meio de analisador térmico (Shimadzu-DTG 60 H) nas seguintes condições: atmosfera inerte de nitrogênio com fluxo de 50 mL.min⁻¹; taxa de aquecimento de $10^{\circ}\text{C}.\text{min}^{-1}$; faixa de temperatura de 25 a 500 $^{\circ}\text{C}$. Utilizaram-se, aproximadamente, 5 mg de amostra para a realização das análises.

2.5.12 Morfologia e tamanho de partículas

As formas das microcápsulas foram observadas por microscopia eletrônica de varredura, segundo metodologia descrita por Li et al. (2019). Cada amostra do material foi pulverizada sobre fita dupla face pré-fixada em “stubs”, retirando o excesso logo após sua deposição. Em seguida, as mesmas foram secas ao ponto crítico em aparelho (Balzers CPD 050), metalizadas com ouro e visualizadas em microscópio eletrônico de varredura FEG de ultra alta resolução (UHR) (Tescan-Clara, Czech Republic) no Laboratório de Microscopia Eletrônica e Análise Ultra estrutural da Universidade Federal De Lavras (LME/UFLA). O tamanho das micropartículas foi medido a partir de imagens obtidas em microscopia eletrônica de varredura, por meio do software livre ImageJ® (licença livre), conforme descrito por Calvo e Santagapita (2016). O software foi calibrado para transformar os pixels medidos em unidade de comprimento (μm).

2.6 Estabilidade das microcápsulas

2.6.1 Estabilidade das microcápsulas em diferentes pH

O efeito do pH na estabilidade das microcápsulas foi determinado pela preparação de uma escala de pH com 13 tubos. Foi feita a diluição das amostras (1:60) nos diferentes meios constituídos por água em que o pH foi modificado oportunamente com HCl e NaOH para representar uma faixa de pH de 1 a 13.

2.6.2 Estabilidade das microcápsulas em ausência e presença de luz em diferentes temperaturas

Para a avaliação da estabilidade das microcápsulas em ausência e presença de luz em diferentes temperaturas foi adotado um delineamento inteiramente ao acaso com 3 repetições. Os dados foram submetidos a análise de variância e de regressão (para os fatores quantitativos: tempo de armazenamento e temperatura), testando-se modelos de até 2º. Os modelos foram selecionados com base na significância do teste F ($p < 0,05$) e coeficiente de determinação (R^2) igual ou superior a 60. Para o estudo, as microcápsulas foram adicionadas em potes plásticos de polietileno com tampa e acondicionados em temperatura ambiente 25 ± 5 °C (presença de luz) e temperatura de refrigeração -4 ± 2 °C

(ausência de luz) e foi realizada a quantificação de carotenoides no tempo 0 e a cada dez dias até seus múltiplos completarem 30 dias (0, 10, 20 e 30).

2.7 Aplicação em matriz alimentar

2.7.1 Iogurte

Para a realização da aplicação em iogurte, 1 grama das microcápsulas foram adicionadas em 20 ml de iogurte natural, seguido de homogeneização e acondicionamento em potes plásticos estéreis. As amostras foram armazenadas sob refrigeração $-4\pm 2^{\circ}\text{C}$ e a mudança de cor durante o armazenamento foram medidas utilizando colorímetro Konica Minolta CR-400, no espaço de cores CIELAB da Comissão Internacional de l'Éclairage, utilizando o sistema de escala de cor L, a^* e b^* , croma (C^*) e ângulo hue (h°) no tempo 0 e a cada dez dias até seus múltiplos completarem 30 dias (0, 10, 20 e 30). As análises foram realizadas em três repetições em triplicatas. Os dados foram submetidos a análise de variância e de regressão (para os fatores quantitativos: tempo de armazenamento e parâmetros colorimétricos), testando-se modelos de até 2°. Os modelos foram selecionados com base na significância do teste F ($p < 0,05$) e coeficiente de determinação (R^2) igual ou superior a 60%.

2.8 Análise Estatísticas

Os dados foram submetidos a análise de variância e as médias dos tratamentos comparadas pelo teste de Tukey a 5% ($p < 0,05$). Para auxiliar na conclusão sobre os melhores tratamentos e para identificar padrões, foi aplicada análise de componentes principais (ACP) para os dados médios de cada experimento, individualmente. Para selecionar as componentes principais, foi utilizado o critério de Jolliffe (1972) e variância acumulada mínima de 70%. As variáveis participantes em cada componente principal foram determinadas com base em correlação ± 0.6 do autovetor com o componente em questão. Todas as análises foram realizadas com o auxílio do software R 4.0.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização do extrato

Os resultados das análises do pH, teor de carotenoides e cor dos extratos das cascas de bacupari estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Médias seguidas de desvio padrão da caracterização de pH, Teor de carotenoides e parâmetros de cor L*(Luminosidade) a*(cromaticidade (+) vermelho e (-) verde), b*(cromaticidade (+) amarelo e (-) azul), H° (Ângulo Hue) e C* (Chroma) dos extratos pigmentados das cascas de bacupari (Latitude: 10° 10' 8" Sul, Longitude: 48° 19' 54", Brasil, 2022).

Determinações	
pH	5,13±0,02
Teor de carotenoides (µg.100g ⁻¹)	2895,87±485,90
L*	60,0±0,23
a*	1,24±0,01
b*	29,41±0,14
C*	29,44±0,14
H°	87,60±0,02

Pode-se observar que o pH do extrato ficou na faixa de 5,13, sendo considerado um extrato com baixa acidez, segundo dados de Stringer e Peck (2008), pois apresentam pH acima de 4,5. Os carotenoides suportam faixa de pH de 3 e 7 conforme Rodriguez-Amaya (2019).

A concentração de carotenoides nos extratos das cascas de bacupari utilizando a enzima pectinase foi de 2895,87 µg.100g⁻¹. Segundo Saini e Keum (2018) a utilização de enzimas podem potencializar um rendimento maior na extração de pigmentos, devido essas enzimas hidrolíticas causarem a quebra da estrutura celular das cascas, facilitando a extração de materiais intra-celulares. Segundo resultados encontrados por Lenucci et al. (2015), a extração enzimática com glicosidases conseguiu aumentar até 153% a taxa de extração de pigmentos em tomates.

Em relação a cor, o grau de maturação do fruto pode influenciar na coloração do extrato (CHANG; HSIEH; JIANG, 2015) e, outros fatores como a espécie de bacupari,

proporção sólido/solvente, temperatura, duração da extração (ALVES et al., 2018) e teor de carotenoides que contém no fruto, também, podem ter contribuir para a coloração observada. O extrato, no presente trabalho, apresentou a coloração amarelada, proveniente da coloração das cascas do fruto, com elevado valor para o parâmetro b^* (29,41) e ângulo hue (87,60) que comprova tal afirmação.

3.2 Caracterização das microcápsulas

Os resultados encontrados na caracterização das microcápsulas, produzidas com extrato pigmentado das cascas de bacupari estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Médias seguidas de desvio padrão da caracterização química e física das microcápsulas dos extratos pigmentados das cascas do bacupari (Latitude: 10° 10' 8" Sul, Longitude: 48° 19' 54", Brasil, 2022) utilizando goma arábica (GA 1:1), (GA 1:3) e goma arábica e maltodextrina (MD-GA 1:1).

Determinações	GA 1:1	GA 1:3	MD-GA 1:1
Umidade (%)	4,32±0,33 ^a	3,25±0,01 ^b	2,11±0,78 ^c
Atividade de água (Aw)	0,09±0,001 ^a	0,08± 0,006 ^b	0,09±0,001 ^a
Carotenoides (µg/g)	1808,79±298,4 ^b	2332,43±442,49 ^a	1041,61±154,40 ^c
Rendimento (%)	54,76±2,17 ^b	51,52 ±1,33 ^c	56,19±0,27 ^a
Solubilidade (%)	96,36±0,34 ^b	95,41±2,19 ^c	97,98±0,70 ^a
Eficiência (%)	71,56±1,48 ^b	87,56±0,98 ^a	61,57±1,31 ^c
L*	92,92±0,005 ^c	93,02±0,005 ^b	94,17±0,005 ^a
a*	-2,02±0,005 ^b	-2,07±0,005 ^a	-2,02±0,005 ^b
b*	18,21±0,005 ^b	18,29±0,005 ^a	18,09±0,005 ^c
H°	96,34±0,005 ^c	96,47±0,005 ^a	96,39±0,005 ^b
C*	18,32±0,005 ^b	18,41±0,01 ^a	18,20±0,01 ^c

*Letras iguais, na linha, não apresentam diferença significativa entre si (Tukey $p < 0,05$).

3.2.1 Umidade

A umidade é um dos principais parâmetros que influencia na estabilidade de compostos bioativos (BURGOS-DÍAZ et al., 2020; SILVA et al., 2018). Diante disto, é importante compreender e ter controle desse parâmetro durante o processamento e armazenamento das microcápsulas (BALLESTEROS et al., 2017; MACHADO et al.,

2022; SANTOS et al., 2022). Os resultados de umidade apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos com valores variando de 2,11% a 4,32%. Os diferentes valores de umidade estão intimamente relacionados com as propriedades dos agentes encapsulantes, a estrutura e porosidade dos pós formados e, também, ao processo de secagem, como a taxa de alimentação da amostra e temperaturas de entrada e saída de ar do equipamento (AKBARBAGLU et al., 2021; KANG et al., 2019). O menor valor encontrado foi para as microcápsulas produzidas com MD-GA 1:1 (2,11%), o que pode ter sido influenciado pela utilização da maltodextrina como material de parede, que quando usadas em proporções corretas, consegue reduzir a fração de água ao ser evaporada no processo de atomização por spray-dryer. Isso acontece devido a sua capacidade de aumentar a transição vítrea das formulações, reduzindo a viscosidade e aderência dos pós na parede da câmara de secagem, resultando em pós com baixos teores de umidade e, conseqüentemente, mais estáveis (NORCINO et al., 2022). Resultados semelhantes foram encontrados por Otálora et al. (2015) e Etzbach et al. (2020) com microencapsulas de betaláínas, obtidas do fruto do cacto (*Opuntia ficus-indica*) e amora (*Physalis peruviana*L.), encontrando teores de umidade menores que 5% (GALLARDO et al., 2013).

3.2.2 Atividade de água (A_w)

Os valores de A_w das microcápsulas variaram de 0,08 a 0,09, com menor atividade de água obtida para as microcápsulas, utilizando GA 1:3 (0,08). Segundo Tonon et al. (2008), para assegurar a qualidade dos produtos em pó, espera-se que atividade de água esteja entre 0,1 e 0,4, o que garante maior estabilidade física, química e menor tendência de aglomeração entre as partículas e maior estabilidade durante o armazenamento. Nesse estudo, os valores de A_w encontrado estão dentro do limite, menor que 0,3, cujas reações de escurecimento enzimático e reações de deterioração são muito baixas. Silva et al. (2018) investigaram o efeito de diferentes biopolímeros na estabilidade do extrato encapsulado da polpa de tucumã (*Astrocaryum aculeatum*) com goma arábica, maltodextrina, dextrina e amido modificado na proporção 85:15 (extrato de tucumã: material de parede) e encontraram valores de A_w variando de 0,36 a 0,43, resultados superiores aos obtidos no presente estudo.

3.2.3 Teor de carotenoides

A tabela 3 mostra os valores do total de carotenoides, contido nas microcápsulas. O teor de carotenoides totais dos tratamentos apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) entre os tratamentos, variando de $1041,61 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ a $2332,43 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Essas diferenças podem estar associadas as perdas durante o processo de secagem. Lima et al. (2021) produziram corante rico em carotenoides, a partir de cascas de abóbora, utilizando secagem por pulverização e encontraram concentrações de carotenoides variando de $159,1$ a $304,6 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, valores inferiores encontrados no presente estudo. Não há dados na literatura que possam ser comparados com os resultados encontrados neste estudo. Nesse sentido, ressalta-se a importância dos dados obtidos. Considerando que neste trabalho foi utilizado resíduo de bacupari (cascas) e a extração do composto foi feita utilizando enzima, pode-se inferir que o teor de carotenoides encontrado neste trabalho é promissor.

3.2.4 Rendimento

O rendimento do processo de atomização por *spray dryer* é considerado um importante indicador para a indústria, pois um rendimento maior indica melhor economia e eficiência do processo. Para valores de rendimento, houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre os tratamentos GA 1:1 e GA 1:3 e MD-GA 1:1. Os valores encontrados, nesse estudo, variaram de $51,52\%$ a $56,19\%$. Pode-se inferir que o rendimento foi afetado pela aderência das gotas semiúmidas nas paredes da câmara de secagem e, também, dos pós no filtro do ciclone, ocorrência também relatada nos estudos de TUPUNA et al. (2018). Os valores de rendimento obtidos nesse estudo foram inferiores aos obtidos por Eitzbach et al. (2020), que microencapsularam extrato de amora (*Physalis peruviana L.*) por secagem por pulverização com maltodextrina e amido modificado e obtiveram rendimentos de $61,6$ e $64,67\%$ respectivamente. O valor de rendimento é influenciado pelas condições operacionais selecionadas no processo de secagem como, por exemplo, o volume da amostra a temperatura de secagem e a viscosidade da solução de alimentação na câmara de secagem (DING et al., 2020; HUANG et al., 2017). Desta forma, maiores temperaturas de secagem (acima de $170\text{ }^\circ\text{C}$) melhoram o rendimento, pois as altas temperaturas permitem secagens rápidas, ocasionando maior perda de água no interior das partículas e reduzindo a deposição da mesma às paredes da câmara de secagem,

umentando a fração do pó recuperado (JAFARI et al., 2021; PARRA et al., 2021; OZKAN et al., 2019; SAMBORSKA et al., 2021).

3.2.5 Solubilidade em água

A solubilidade é considerada um fator determinante para a qualidade dos produtos, especialmente aqueles a serem reconstituídos em matrizes alimentícias (TUPUNA et al., 2018). Os tratamentos apresentaram valores de solubilidade em água, variando de 96,36 a 97,98%, isto pode estar correlacionado com os tamanhos das partículas das amostras. Quanto menor for o tamanho das partículas, maior será a área superficial disponível para a hidratação (MAR et al., 2020). Esses resultados estão em concordância com Souza et al. (2015), que ao microencapsularem extrato, a partir de subprodutos da vinificação da uva Bordo (*Vitis labrusca*) utilizando maltodextrina, encontraram solubilidade de 91,94% a 97,49%. Esse aumento da solubilidade em amostras secas por pulverização já era esperado, pois é uma característica comum de polímeros formados a partir de carboidratos altamente solúvel em água, corroborando na solubilidade das moléculas (SILVA et al., 2018). Avaliar a solubilidade em água das microcápsulas é extremamente importante, pois esta característica está relacionada com a integridade da parede das microcápsulas e a liberação dos compostos de interesse, uma vez que a água é o solvente mais utilizado nas indústrias (MAIA et al., 2020; SOUZA et al., 2018).

3.2.6 Eficiência da microencapsulação

Uma boa eficiência de microencapsulação reduz a degradação oxidativa de compostos na superfície das micropartículas e conseqüentemente aumenta a estabilidade dos compostos (ÁLVAREZ-HENAO et al., 2018). De acordo com a tabela 3, houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre os valores de eficiência dos tratamentos. A maior eficiência encontrada foi para o tratamento GA 1:3 (87,56%). Isso provavelmente deve-se a estrutura da goma arábica, por ser um heteropolímero formado por uma cadeia ramificada de carboidratos e ter uma fração de proteína arabinogalactana (AGP), que conferem características emulsificantes a água, capaz de formar filmes e aprisionar o composto no interior do núcleo, permitindo que a goma arábica interaja com as partes hidrofóbicas e hidrofílicas das moléculas (BALTRUSCH et al., 2022; RAMAKRISHNAN et al., 2018). No entanto, quando a goma arábica foi misturada com outros agentes encapsulantes, a eficiência diminuiu como mostra o tratamento MD-GA

1:1 (61,57%), isso deve-se a presença da maltodextrina que possui baixa capacidade de emulsificação, o que pode ter interferido na eficiência do processo. Resultados semelhantes foram encontrados em estudo feito por Tao et al. (2017), que combinando vários materiais de parede para encapsulamento de extratos de antocianina de mirtilo encontraram valores de eficiência de 41,6% a 96,1%, e verificaram que muitos pós de antocianinas foram aderidos à parede do recipiente após a liofilização quando maltodextrina e goma arábica foram usados, resultando na perda de antocianinas após o encapsulamento.

3.2.7 Análise de cor

Os valores dos parâmetros de cor (L^* , a^* , b^* , C^* e H°) encontram-se na tabela 3. Visualmente, as microcápsulas produzidas em cada ensaio se apresentaram na forma de um pó fino e solto com coloração clara, devido a coloração do extrato e do agente carreador (Fig. 1).



Fig. 1: Aspecto visual das microcápsulas dos extratos das cascas do bacupari (Latitude: 10° 10' 8" Sul, Longitude: 48° 19' 54", Brasil, 2022) produzidas por secagem por spray-dryer utilizando goma arábica (GA 1:1), (GA 1:3) e goma arábica e maltodextrina (MD-GA 1:1).

De acordo com a tabela 3, em relação ao índice L^* , parâmetro que mede a brancura e a luminosidade que varia de 0 (preto) a 100 (branco) das microcápsulas, verificou-se que os valores variaram de 92,95 a 94,17. Todos os tratamentos apresentaram coloração com aspecto mais esbranquiçados, sendo já esperado pois ambos os agentes encapsulantes utilizados (GA e MD) possuíam coloração clara e os mesmos diluem a coloração amarela característica do extrato puro. Em relação ao índice a^* , os resultados obtidos variaram de -2,02 a -2,07, sendo que as microcápsulas produzidas com GA 1:1 e MD-GA 1:1 não

apresentaram diferenças significativas entre elas. Os resultados obtidos para o parâmetro de cor de b^* variaram de 18,09 a 18,21, ou seja, a coloração dos pós tendeu para a coloração amarela. Esta é uma indicação clara de extração bem sucedida de carotenoides das cascas de bacupari.

Em relação aos valores obtidos para o C^* (cromaticidade) que indica saturação, verificou que os valores variaram de 18,20 a 18,41. Os valores ficaram próximos aos obtidos para o parâmetro b^* , devido os valores baixos de a^* não ter influenciado no cálculo para obtenção da saturação. Os valores do ângulo Hue (h°) encontrado neste trabalho variaram de 96,34 a 96,49. Segundo o sistema CIELAB, se o ângulo estiver entre 0° , 90° e 180° , quanto mais próximo ao 0° mais vermelho, e quanto mais próximo ao 90° mais amarelo e quanto mais próximo a 180° mais verde. Os resultados indicaram que as microcápsulas do extrato do bacupari apresentaram tonalidade amareladas, indicando boa concentração de carotenoides, o que é de interesse para a produção de corantes naturais. García et al. (2018) desenvolveram e caracterizaram microcápsulas ricas em carotenoides, a partir de subprodutos de frutas tropicais e tamarilho amarelo (*Solanum betaceum* Cav.), pelo método de secagem por pulverização utilizando maltodextrina e encontraram valores variando de 82,82 a 88,26 para o índice L^* , 2,18 a 3,40 para o índice a^* e 16,46 a 20,86 para o índice b^* . Os autores encontraram maiores diferenças para o índice C^* com valores variando entre 17,46 a 28,87. Os valores obtidos por esses autores para o índice b^* e C^* encontram-se próximos aos obtidos nesse estudo; os valores de L^* foram levemente inferiores e os valores de a^* inferiores.

3.2.8 Atividade antioxidante e compostos fenólicos

Os resultados encontrados na quantificação de compostos fenólicos e atividade antioxidante das microcápsulas produzidas do extrato pigmentado das cascas de bacupari estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Médias seguidas de desvio padrão das análises da atividade antioxidante e teor de compostos fenólicos das microcápsulas produzidas dos extratos pigmentados das cascas do bacupari (Latitude: $10^\circ 10' 8''$ Sul, Longitude: $48^\circ 19' 54''$, Brasil, 2022) utilizando goma arábica (GA 1:1), (GA 1:3) e goma arábica e maltodextrina (MD-GA 1:1).

Determinações	GA 1:1	GA 1:3	MD-GA 1:1
---------------	--------	--------	-----------

ABTS⁺ (% de proteção)	49,48±0,24 ^b	58,08±0,82 ^a	41,13±1,53 ^c
β-Caroteno/Ácido Linoleico (% de proteção)	64,17±0,76 ^a	63,93±0,72 ^a	58,58±1,009 ^b
Folin-Ciocalteu (mg EAG 100 g⁻¹)	3095,59±67,008 ^b	3529,08±92,49 ^a	2614,98±15,56 ^c
Fast Blue mg EAG 100 g⁻¹)	1313,89±60,71 ^b	2187,82±69,03 ^a	782,22±43,41 ^c

*Letras iguais, na linha, não apresentam diferença significativa entre si (Tukey $p < 0,05$).

Na determinação da atividade antioxidante pelo método ABTS⁺ (Tabela 4) foi possível observar diferença estatística significativa ($p < 0,05$), quando comparado aos diferentes tratamentos. A porcentagem de proteção do tratamento GA 1:3 (58,08%) foi maior em relação aos tratamentos GA 1:1 e MD-GA 1:1 (49,48 e 41,13%), isso deve-se a maior eficiência de microencapsulação obtida para o mesmo. Para Santos e Silva (2020) o ABTS⁺ é um radical cátion cromóforo azul-esverdeado estável, que perde sua cor na presença de uma molécula antioxidante. O radical ABTS⁺ é formado pela reação de um agente antioxidante forte (permanganato de potássio ou persulfato de potássio) juntamente com o sal ABTS⁺. A interpretação do resultado obtido é simples, ou seja, quanto maior a porcentagem de proteção obtida, maior será a atividade antioxidante da amostra.

Os dados referentes à porcentagem de proteção pelo método do β-Caroteno/Ácido Linoleico evidenciaram que os tratamentos GA 1:1 (64,17%) e GA 1:3 (63,93%) não diferiram estatisticamente ($p < 0,05$), sugerindo que o processo de secagem e a proporção dos materiais de parede não interferiram nos compostos antioxidantes que protegem o β-Caroteno de sofrer descoloração pela presença de produtos da degradação oxidativa do ácido linoleico. Neste sentido, o ensaio do β-Caroteno/Ácido Linoleico consiste no princípio básico de que ácido linoleico (ácido graxo insaturado) será oxidado pelas espécies reativas de oxigênio geradas na água oxigenada (Gulcin, 2020). A atividade antioxidante deste método pode ser classificada como alta (> 70% de inibição da oxidação), intermediária (entre 40 e 70%) e baixa (< 40%) (Rufino *et al.* 2010). Valores semelhantes foram relatados por FERREIRA *et al.* (2021), logo, todos os tratamentos apresentaram atividade antioxidante intermediária.

3.2.9 Compostos fenólicos

Os compostos fenólicos são metabólitos secundários, produzidos pelas plantas, sendo fitoquímicos amplamente distribuído em frutas, vegetais, chás, azeite, tabaco, entre outros, no entanto, tais substâncias têm sido descritas como agente protetor, desempenhando propriedades antioxidantes, antimicrobianas, anti-inflamatórias, além de propriedades biológicas (BARROS et al., 2021; ROSSETTO et al., 2020).

Os valores obtidos na determinação do teor de fenólicos totais das microcápsulas, formadas a partir do extrato de bacupari (tabela 4), variaram de 2614,98 a 3529,08 mg EAG. 100 g⁻¹ (Folin-Ciocalteu) e de 782,22 a 2187,82 mg EAG. 100 g⁻¹ para o método do (Fast Blue).

Para ambos os tratamentos, observa-se que houve boa retenção desses compostos nas microcápsulas. A detecção de compostos fenólicos pelo método Folin Ciocalteu é uma técnica que consiste em detectar fenóis, a partir da interação de oxirredução e, possivelmente, quelante de metais (BARROS et al., 2020). Entretanto, pode ocorrer interferência no resultado final, devido à presença de constituintes não fenólicos e substâncias redutoras (glicose, frutose), alguns aminoácidos e proteínas. Já na quantificação de compostos fenólicos pelo método Fast Blue (MEDINA, 2011), utiliza-se o sal de diazônio Fast Blue, onde o grupo diazônio retêm nitrogênio e acopla-se a um grupamento hidroxila do grupo fenólicos, formando complexos azo estáveis. Deste modo, os resultados sofrem poucas interferências quando comparado ao método de Folin Ciocalteu (PICO et al., 2020). Partindo dessa hipótese, justifica-se os maiores valores de compostos fenólicos encontrados pelo método de Folin Ciocalteu.

3.2.10 Espectroscopia no infravermelho médio (FTIR-ATR)

O FTIR-ATR, é uma ferramenta valiosa, utilizada para analisar estruturas de moléculas ativas e seus polímeros, através de varreduras capazes de indicar estruturas moleculares e as ligações químicas características de cada substância (TANG et al., 2022). Na Figura 2, estão dispostos os espectros do FTIR-ATR das microcápsulas e materiais de parede entre 400 a 4000 cm⁻¹, região de melhor visualização de picos relativos aos carotenoides, compostos fenólicos e derivados.

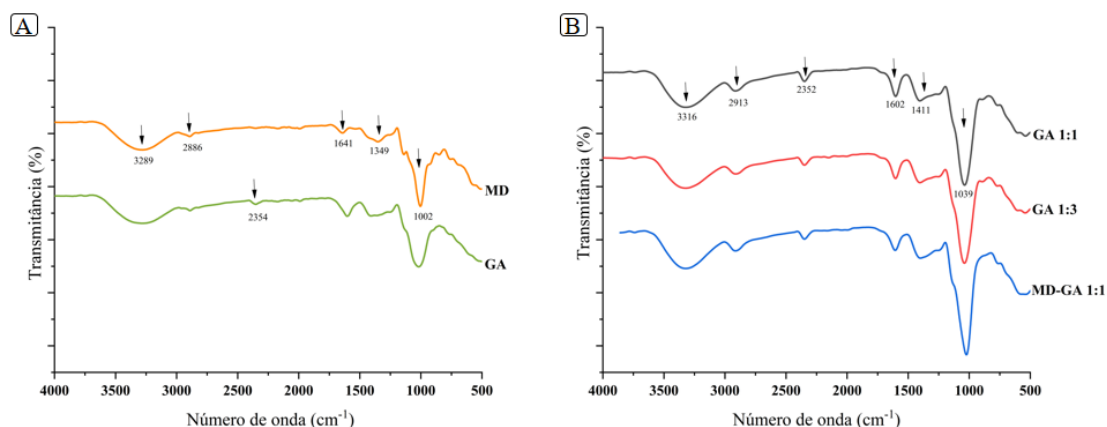


Fig. 2. Espectros de FTIR dos (A) materiais de parede maltodextrina (MD) e goma arábica (GA) e das (B) das microcápsulas produzidas dos extratos pigmentados das cascas do bacupari (Latitude: 10° 10' 8" Sul, Longitude: 48° 19' 54", Brasil, 2022) utilizando goma arábica (GA 1:1), (GA 1:3) e goma arábica e maltodextrina (MD-GA 1:1).

Os principais picos de MD e GA foram 3289 cm^{-1} , podendo estar relacionado com a vibração de alongamento (O-H) e 2886 cm^{-1} associados com alongamento (C-H). Foi observado pico de 2354 cm^{-1} em GA, bandas relativas respectivamente ao (CO_2) e (CO), provavelmente devido ao ambiente. Foram observados picos em 1641 cm^{-1} , indicando vibração de alongamento assimétrico e simétrico de (C=O), 1349 cm^{-1} bandas características de alongamento (CH_2). Os picos observados na faixa de 1200 cm^{-1} a 1002 cm^{-1} podem estar associados as vibrações de alongamento de ligações (C-O-H, C-O-C e C-C), resultados esses consistentes com os encontrados por CARRA et al. (2022); KANG et al. (2019) e TANG et al.(2022).

Para todas as microcápsulas foram observados que os picos de hidroxila (alongamento de OH) apresentaram bandas em torno de 3300 cm^{-1} . Em comparação com as intensidades de pico para GA e MD, as intensidades do pico hidroxilas aumentaram para todas as microcápsulas produzidas, típicos de carotenoides (URSACHE et al., 2018). Com base nisto, pode-se inferir que os grupos hidroxilas de GA e MD podem estar envolvidos em reações químicas durante a secagem como ligações de hidrogênio ou esterificação entre MD e GA. Foram observados picos em torno de 2913 cm^{-1} , associados com grupos funcionais com ligações (C-H). Além disso, os espectros de todas as microcápsulas mostraram pico mais acentuado de 2352 cm^{-1} , próximo ao encontrado no espectro de GA, o que pode indicar interação do material ativos com o material de parede. Os picos observados em 1602 cm^{-1} correspondem ao estiramento de (C=O) e flexão de

(OH), além disso, a banda 1600 cm^{-1} a 1411 cm^{-1} também está relacionada com estruturas (C-C) em anéis aromáticos de compostos fenólicos (BALTACIOĞLU et al., 2021). Os picos observados na faixa de 1200 cm^{-1} a 1000 cm^{-1} podem estar associados as vibrações de alongamento de ligações C-O-H, C-O-C e C-C, no qual indica a presença de anel pirano comuns em flavonoides, grupo de compostos fenólicos também bioativos (NOGALES-BUENO et al., 2017).

Os carotenoides produzem uma banda característica em torno de 968 cm^{-1} , no entanto, a absorbância dos materiais de parede é predominante, portanto, ocultando as bandas correspondentes aos carotenoides (QUIJANO-ORTEGA et al., 2020).

3.2.11 Análise termogravimétrica (TGA/DTG)

A análise termogravimétrica é uma técnica capaz de avaliar a massa de um material, a partir das medidas oriundas da variação do peso durante o aquecimento, enquanto a DTA permite visualizar os pontos onde ocorrem a perda de massa e transformações sobrepostas (CARMO et al., 2018). A Figura 5 fornece dados referentes ao comportamento térmico durante o aumento gradativo de temperatura dos materiais de parede maltodextrina (MD) e goma arábica (GA) e das microcápsulas produzidas dos extratos das cascas de bacupari, utilizando goma arábica (GA 1:1), (GA 1:3) e goma arábica e maltodextrina (MD-GA 1:1).

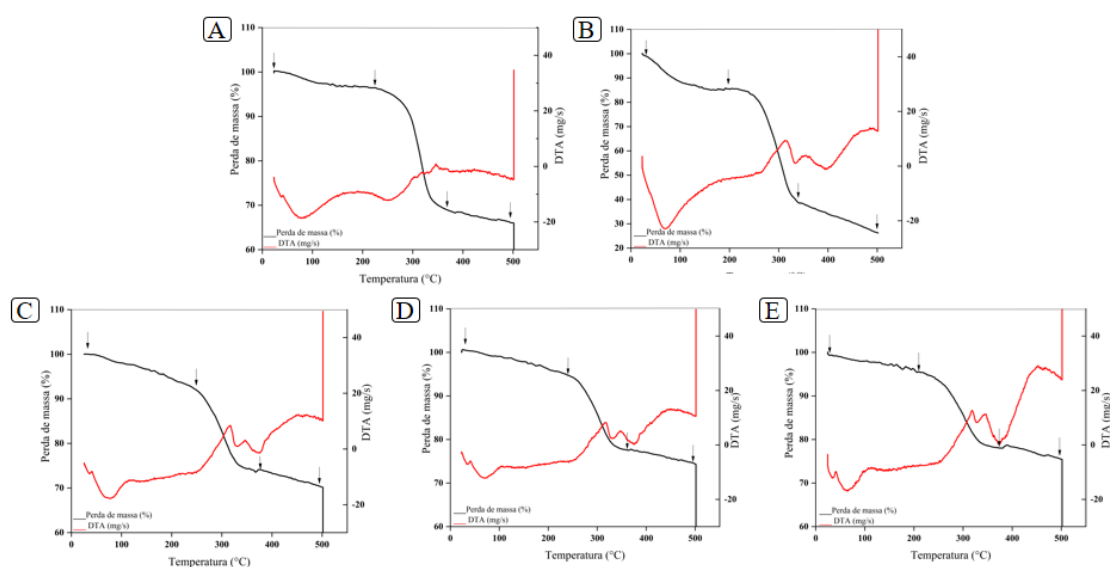


Fig. 3. Curvas termogravimétricas obtidas através da análise termogravimétrica (TGA/DTA) da), Maltodextrina (A), Goma arábica (B) e micropartículas produzidas dos extratos pigmentados das

cascas do bacupari (Latitude: 10° 10' 8" Sul, Longitude: 48° 19' 54", Brasil, 2022) utilizando goma arábica GA 1:1 (C), GA 1:3 (D) e goma arábica e maltodextrina MD-GA 1:1 (E).

A primeira perda de massa ocorrida para os materiais de parede (fig.3A) maltodextrina (30 °C a 200 °C) e (fig.3B) goma arábica (30 °C a 200 °C) e para as microcápsulas produzidas com (fig.3C) GA 1:1 (30 °C a 220 °C), (fig.3D) GA 1:3 (30 °C a 220 °C) e (fig.3.E) MD-GA 1:1 (30 °C a 220 °C) podem ser características à perda de umidade adsorvidas das moléculas (TANG et al., 2022). Após essa faixa de temperatura, pode-se observar a ocorrência do processo de decomposição dividida em duas etapas conforme cada amostra. Entre 220 °C a 380 °C, é possível observar perda de massa mais intensa para goma arábica, ocorrido devido a decomposição das moléculas de proteínas e carboidrato, tais resultados podem ser atribuídos à decomposição da goma arábica, uma vez que a perda de massa intensa não foi observada nas amostras de maltodextrina pura. Já para as microcápsulas produzidas com GA 1:1, G1:3 e MD-GA 1:1 a perda de massa é devido aos processos de decomposição de desidratação e decomposição das moléculas de carboidratos (CARMO et al., 2018).

A terceira perda de massa observada foi em torno de 380 °C a 500 °C onde ocorre a degradação de polissacarídeos, seguido de volatilização e decomposição do material carbonáceo. A técnica de análise térmica demonstra ser eficaz, de alta reprodutibilidade e versatilidade, podendo ser aplicada em pigmentos de baixa estabilidade oxidativa (PAINI et al., 2015; TANG et al., 2022).

3.2.12 Morfologia e tamanho de partículas

Conforme mostrado na Fig. 4, a morfologia externa das microcápsulas, utilizando GA 1:1 (A, B e C) e GA 1:3 (D, E e F) apresentaram partículas com formatos esféricos de tamanhos heterogêneos com poucas aglomerações. Pode-se observar que nas imagens analisadas não se evidencia a ocorrência de fragmentação de partículas, não apresentando poros ou rachaduras na superfície externa, fator considerado benéfico, pois de acordo com Simon-Brown et al. (2016), a quebra de partículas acarreta perdas significativas de componentes e menor proteção do material ativo. A forma esférica das partículas é consistente com vários estudos realizados sobre microencapsulação de compostos bioativos, utilizando a goma arábica como material encapsulante (CHUYEN et al., 2019). Observou-se, também, que algumas cápsulas apresentaram formato côncavo colapsado

(rugas), provavelmente devido o processo de secagem rápido em altas temperaturas, que causa contração das microcápsulas durante os estágios de secagem e resfriamento (ÁLVAREZ-HENAO et al., 2018; GARCÍA et al., 2018). Por outro lado, as microcápsulas formadas, utilizando MD-GA 1:1 (G, H e I), apresentaram formato esférico irregular com inúmeras rachaduras na parede das cápsulas, devido à baixa capacidade da maltodextrina de emulsificar e formar filme (ÁLVAREZ-HENAO et al., 2018).

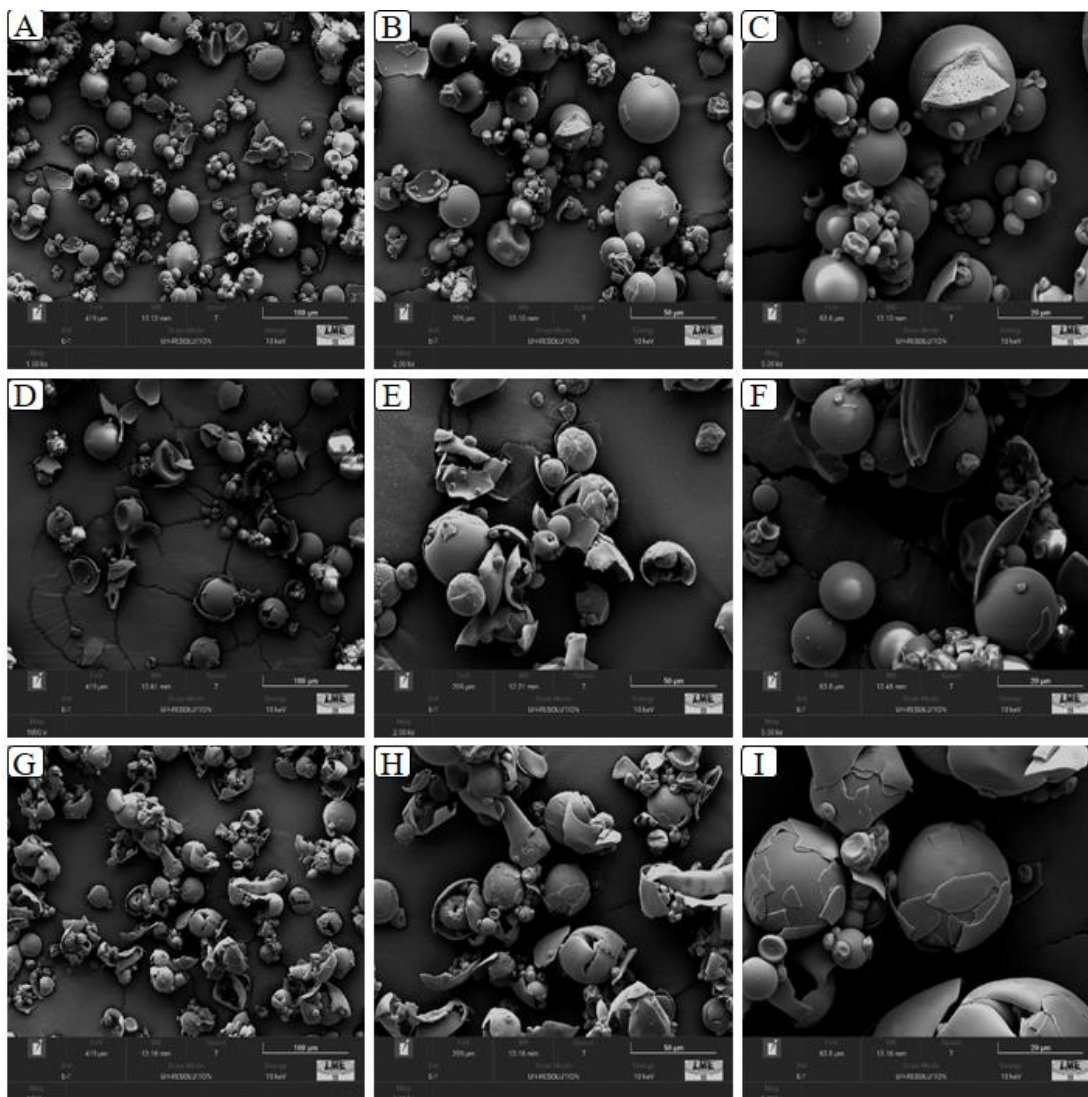


Fig. 4. Micrografias de microscopia eletrônica de varredura representativas de micropartículas obtidas da secagem por pulverização dos extratos pigmentados das cascas do bacupari (Latitude: 10° 10' 8" Sul, Longitude: 48° 19' 54", Brasil, 2022) com goma arábica e maltodextrina. Micropartículas produzidas com GA 1:1 (A. 1000x, B. 2000x e C. 5000x), GA 1:3 (D. 1000x, E. 2000x e F. 5000x) e 1MD:2GA 1:1 (G. 1000x, H. 2000x e I. 5000x).

O diâmetro médio das partículas das microcápsulas, utilizando goma arábica e maltodextrina/carotenoides para os tratamentos GA 1:1, GA 1:3 e MD-GA 1:1 foram de 12,01 μm , 17,25 μm e 15,5 μm respectivamente. Em geral, os tratamentos apresentaram médias distintas quando utilizado os diferentes materiais de parede (Fig.5). Observa-se que os tratamentos GA 1:1 (Fig.5 a) e GA 1:3 (Fig.5 b) apresentaram a maior frequência entre 0-5 μm e diâmetros de partículas, variando de 1,33 a 36,55 μm e 1,98 e 47,11 μm respectivamente. O tratamento GA 1:3 apresentou partículas com maiores diâmetros, possivelmente influenciado pelas concentrações elevadas do agente carreador que promovem aumento no tamanho das partículas (KUROZAWA et al., 2009). O tratamento MD-GA 1:1 (Fig.5 c) apresentou maior frequência entre 10-15 μm , resultando em diâmetros variando de 1,25 a 40,76 μm . Essas diferenças no diâmetro são influenciadas pelos parâmetros operacionais e propriedades de cada material. Achados semelhantes são relatados por Ferreira et al. (2021) e Simon-Brown et al. (2016).

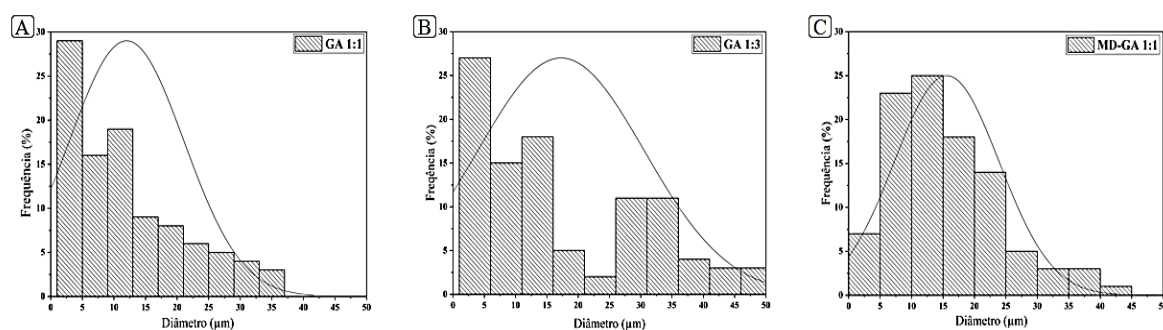


Fig.5. Distribuição dos diâmetros das partículas dos extratos pigmentados das cascas do bacupari (Latitude: 10° 10' 8" Sul, Longitude: 48° 19' 54", Brasil, 2022) produzidas com goma arábica A (GA 1:1), B (GA 1:3) e goma arábica e maltodextrina C (MD-GA 1:1).

Nesse estudo, os tamanhos das partículas apresentaram-se de forma variada, pois existem partículas grandes e pequenas, o que pode atribuir comportamento distintos dentro de uma solução. Em geral, houve maiores quantidades de microcápsulas com diâmetros de partículas menores que 15 μm , em torno de 60%. A vantagem de se obter microcápsulas com diâmetros menores é a sua melhor solubilidade em matrizes alimentares, devido a redução da tensão superficial entre as microcápsulas e os alimentos (KANG et al., 2019). As formas das micropartículas têm influência direta na aparência, textura e estabilidade e pode melhorar a biodisponibilidade e propriedades de entrega do material ativo (ÁLVAREZ-HENAO et al., 2018).

3.2.13 Análise de componentes principais (PCA)

A Análise de Componentes Principais (PCA) foi empregada aos dados descritos na Tabela 3 e 4 com intuito de agrupar as microcápsulas (GA 1:1, GA 1:3 e MD-GA 1:1) de acordo com suas similaridades de forma mais completa e intuitiva para facilitar a interpretação dos resultados gerados. Sendo assim, na Figura 6, encontra-se o mapa multidimensional obtido na PCA, onde cada microcápsula desenvolvida está apresentada por um ponto e os *loadings* encontrados das variáveis, assim como a porcentagem de variação de dados explicada e a variação acumulada para os componentes principais extraídos estão descritos na Tabela 4. Os dois primeiros componentes (PC1 e PC2) explicam 100% da variação de dados, onde PC1 e PC2 representam 78,97% e 21,03% da variação total, respectivamente (Figura 6 e Tabela 5) Esse elevado percentual de explicação constata a qualidade da aproximação em relação à transformação do conjunto de dados originais para as variáveis componentes principais.

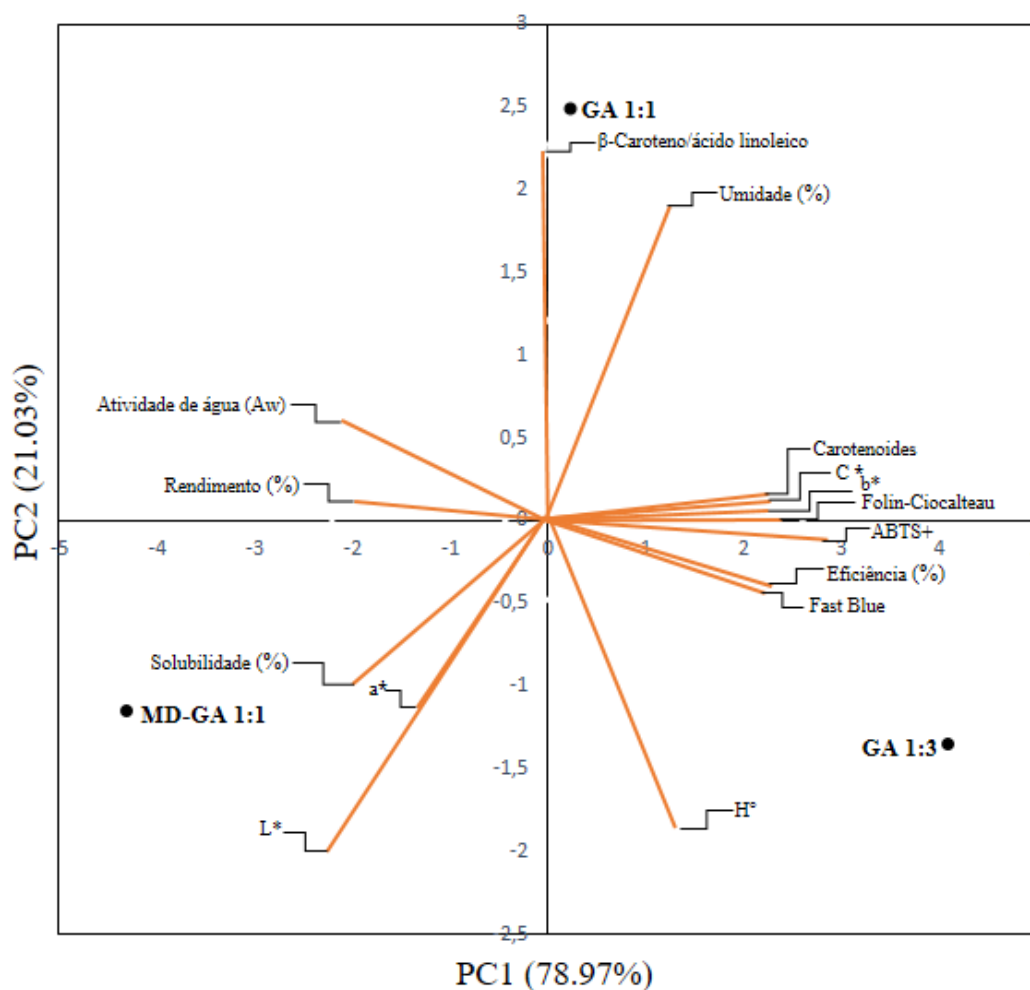


Fig. 6. Análises de componentes Principais (PCA) dos materiais de parede maltodextrina (MD) e goma arábica (GA) e das microcápsulas produzidas dos extratos pigmentados das cascas do bacupari (Latitude: 10° 10' 8" Sul, Longitude: 48° 19' 54", Brasil, 2022) utilizando goma arábica (GA 1:1), (GA 1:3) e goma arábica e maltodextrina (MD-GA 1:1).

Tabela 5. Loadings das variáveis juntamente com a variância e a variância acumulada para cada componente principal da PCA das microcápsulas produzidas dos extratos pigmentados das cascas do bacupari (Latitude: 10° 10' 8" Sul, Longitude: 48° 19' 54", Brasil, 2022) utilizando goma arábica (GA 1:1), (GA 1:3) e goma arábica e maltodextrina (MD-GA 1:1).

Variáveis	Loadings	
	PC1	PC2
Umidade	0.555	0.831
Atividade de água	-0.907	0.419
Carotenoides	0.998	0.061
Rendimento	-0.964	0.264
Solubilidade	-0.994	-0.102
Eficiência	0.983	-0.178
L*	-0.864	-0.503
a*	-0.893	-0.449
b*	0.997	0.067
C*	0.571	-0.820
H°	0,999	0,035
ABTS ⁺	0.998	-0,056
β-Caroteno	-0.026	0.999
Folin-Ciocalteu	0.999	-0.017
Fast Blue	0.982	-0.185
Variância (%)	78.97	21.03
Variância acumulada (%)	78.97	100.00

As variáveis responsáveis pelas separações na PC1 incluem atividade de água (Aw), carotenoides, rendimento, solubilidade, eficiência, L*, a*, b* com *loadings* de -0.907, 0.998, -0.964, -0.994, 0.983, -0.864, -0.893, 0.997 respectivamente. Esse componente teve correlação positiva e significativa ($p < 0,05$) com Carotenoides,

Eficiência, b^* , H° , ABTS+, Folin-Ciocalteu e Fast Blue apontando que quanto maior o escore de PC1, maior será os valores para essas variáveis.

Já para o PC2, somente as variáveis C^* , β -Caroteno e Umidade com *loadings* igual a 0,831, -0,820 e 0,999 respectivamente foram a responsáveis pelas separações ocorridas nesse componente. O PC2 teve correlação positiva ($p < 0,05$) com β -Caroteno, demonstrando que essa determinação não foi suficiente para promover a distinção das amostras.

Ademais, pode-se observar que há tendência das amostras se aproximarem e formar três grupos de acordo com suas similaridades, os quais são i) GA 1:1, ii) GA 1:3 e iii) MD-GA 1:1. Dessa forma, é possível concluir que a microencapsulação com diferentes materiais de parede promoveu a produção de microcápsulas distintas entre si GA 1:1 e GA 1:3 com grandes diferenças quando comparadas com as microcápsulas produzidas com MD-GA 1:1, principalmente em relação ao teor de carotenoides e fenólicos e capacidade antioxidante.

3.3 Estabilidade das microcápsulas

3.3.1 Estabilidade das microcápsulas em diferentes pH

O processo de microencapsulação pode ter influência nas propriedades de cor devido a sua possível interação com os sólidos adicionados (maltodextrina e goma arábica), além do tratamento térmico que as moléculas sofrem após a atomização. Diante dessa afirmação, as microcápsulas foram ressuspensas e tamponadas em diferentes valores de pH, de 1 a 13 (Fig. 7) a fim de destacar possíveis diferenças na coloração.

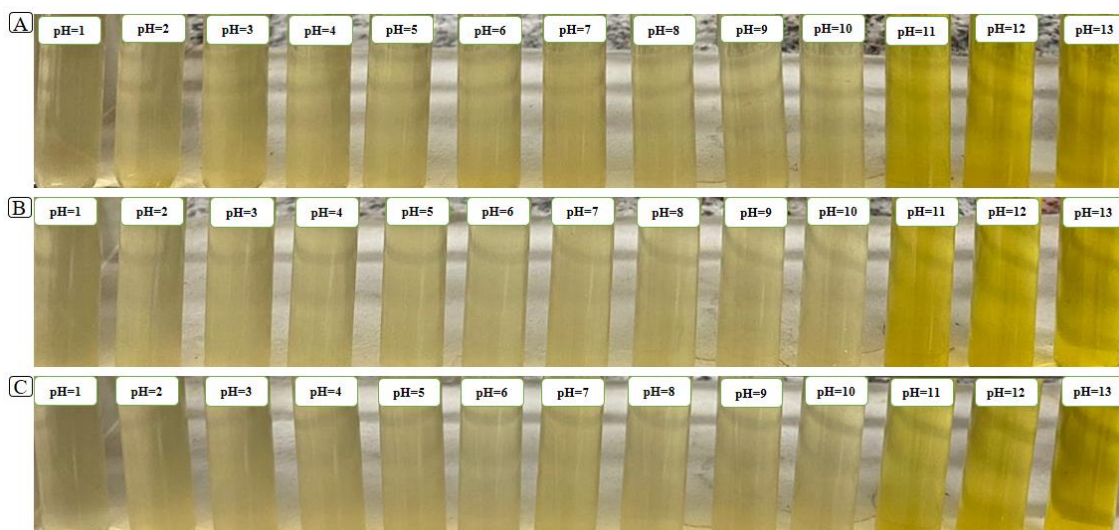


Fig.7. Estabilidade de micropartículas obtidas da secagem por pulverização dos extratos pigmentados das cascas do bacupari (Latitude: 10° 10' 8" Sul, Longitude: 48° 19' 54", Brasil, 2022) com goma arábica e maltodextrina em função da escala de pH (1 a 13). Micropartículas produzidas com GA 1:1 (A), GA 1:3 (B) e MD-GA 1:1 (C).

Na faixa de pH entre 1 e 10, as microcápsulas apresentaram coloração amarelo-claro, observando estabilidade dos carotenoides microencapsulados, por não apresentar alteração na coloração. Segundo Ribeiro & Seravalli (2006), os carotenoides apresentam-se estáveis na faixa de pH 3 e 7 na maioria dos alimentos. Já na faixa de pH entre 11 e 13 houve intensificação da coloração amarela, indicando mudança na estrutura dos carotenoides, devido a formação dos compostos de degradação com cores diferentes da original.

3.3.2 Estabilidade das microcápsulas em ausência e presença de luz em diferentes temperaturas

A avaliação da estabilidade dos pigmentos naturais microencapsulados, durante o processamento e armazenamento é fundamental para determinar o prazo de validade, a fim de verificar a qualidade visual e a viabilidade do uso desses pigmentos como corante natural (MIRANDA et al., 2021). A Fig. 8 fornece dados referentes a estabilidade das microcápsulas em temperatura ambiente 25 ± 5 (presença de luz) (fig.8 A) e refrigeração $4 \pm 2^\circ\text{C}$ (ausência de luz) (fig.8 B) produzidas a partir dos extratos pigmentados das cascas do bacupari com a variação do tempo.

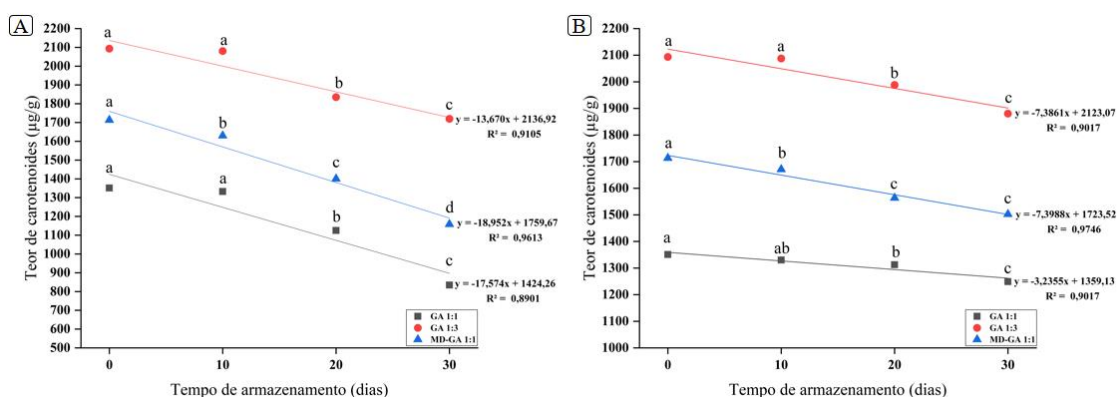


Fig.8. Gráfico da estabilidade das microcápsulas produzidas por secagem por pulverização dos extratos pigmentados das cascas do bacupari (Latitude: 10° 10' 8" Sul, Longitude: 48° 19' 54", Brasil, 2022) com goma arábica e maltodextrina (GA 1:1, GA 1:3 e MD-GA 1:1) em

temperatura ambiente 25 ± 5 (presença de luz) (fig.1 A) e refrigeração $-4 \pm 2^\circ\text{C}$ (ausência de luz) (fig.8 B)

De acordo com a (fig.8), é possível observar que as microcápsulas armazenadas em temperatura ambiente com incidência da luz tiveram maior desgaste durante o tempo em relação as microcápsulas armazenadas sob refrigeração na ausência de luz. As microcápsulas armazenadas em temperatura ambiente (presença de luz) tiveram maior degradação dos carotenoides, uma vez que a luz e temperatura são os principais fatores de degradação de pigmentos naturais (MIRANDA et al., 2021).

Observa-se na (fig.8 A) que as microcápsulas pigmentadas GA 1:1 e GA 1:3 armazenadas em temperatura ambiente com incidência da luz permaneceram estáveis até 10 dias de armazenamentos, não apresentando diferenças significativas entre si pelo teste de tukey ($p < 0,05$), indicando que a goma arábica conferiu maior proteção para os pigmentos. Por outro lado as microcápsulas produzidas com MD-GA 1:1 apresentaram uma taxa de degradação de carotenoides constante durante todo o período de armazenamento, isso pode ser devido as inúmeras rachaduras presente na parede das cápsulas, visto que a maltodextrina não possui capacidade filmogênica, corroborando para a menor proteção do material ativo (ÁLVAREZ-HENAO et al., 2018). Após 10 dias de armazenamento é possível perceber uma queda na concentração de carotenoides presentes em todas as microcápsulas, e essa diminuição foi contínua até os 30 dias de armazenamento. A degradação de carotenoides ocorre através da auto-oxidação, degradação térmica, isomerização e fotodegradação das quais as duas últimas são dependentes da luz (MIRANDA et al., 2021; GALLAFU et al., 2015). A ocorrência dessas reações é devido interação da molécula com a luz que, quando absorvida, sua energia pode ser transferida em forma de calor provocando reação fotoquímica (VERDUIN et al., 2020; DR et al., 2012).

Os pigmentos que se mantiveram com a temperatura de refrigeração $-4 \pm 2^\circ\text{C}$ (ausência de luz) (fig.8 B), mostraram-se bastante estáveis pois os índices de degradação variaram pouco no período de 30 dias comparado aos pigmentos que estavam expostos a temperatura ambiente (presença de luz) em razão de que temperaturas mais baixas promovem maior estabilidade de pigmentos de extratos de frutas e vegetais (MESTRY; MUJUMDAR; THORAT, 2011).

O efeito estabilizador da microencapsulação de pigmentos naturais, contra fatores externos tais como luz, temperatura e oxigênio durante o armazenamento é bastante

estudado. Cai e Corke (2000) relataram que o uso de MD (20 ou 25DE) forneceu melhor estabilidade para a betacianina de *Amaranthus* durante o armazenamento a 25 °C por 16 semanas. Em outro estudo, Ferrari et al. (2013), observaram que a utilização de MD e GA reforçou a estabilidade de antocianinas secas por atomização durante o armazenamento por 150 dias a 25 e 35°C.

3.4 Aplicação em matriz alimentar

3.4.1 Iogurte

A estabilidade de cor (L^* , a^* e b^*) do iogurte contendo as micropartículas produzidas a partir dos extratos pigmentados das cascas do bacupari armazenadas a $4\pm 2^\circ\text{C}$ por 30 dias estão apresentadas na Fig.9.

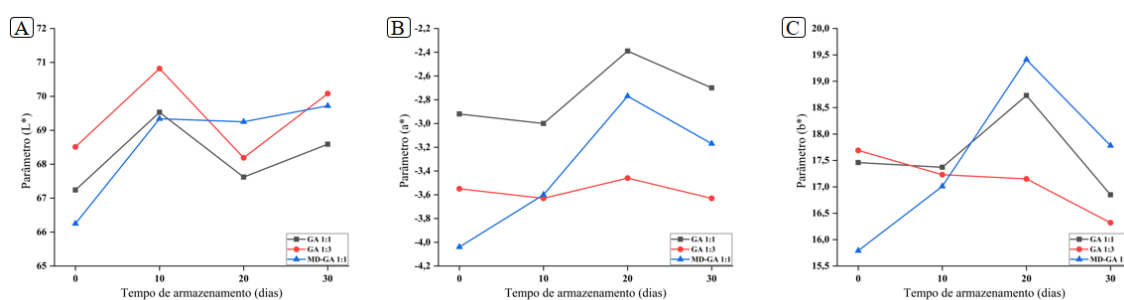


Fig.9. Parâmetros de cor da superfície L^* (A), a^* (B) e b^* (C) vs. tempo de armazenamento (dias) de iogurte contendo as microcápsulas produzidas dos extratos pigmentados das cascas do bacupari (Latitude: 10° 10' 8" Sul, Longitude: 48° 19' 54", Brasil, 2022) GA 1:1, GA 1:3 e MD-GA 1:1.

A coordenada L^* (fig.9 A) teve aumento em 10 dias de armazenamento indicando maior claridade nas amostras, conseqüentemente causada pela degradação dos carotenoides presentes na microcápsulas em função do tempo e pH da matriz. Os carotenoides possuem em sua estrutura um sistema de dupla ligação que constitui o grupo cromóforo responsável por promover a coloração dos alimentos que, quando exposto a luz e ácidos pode ocasionar alterações em sua estrutura, resultando na degradação de ligações *trans* e formação de ligações *cis* ocasionando a perda de cor e/ou gerando um novo composto (SHARMA et al., 2021; SANTOS et al., 2021). Para a coordenada a^* (fig.9 B) verificou-se que os valores para as amostras de iogurte com adição das microcápsulas produzidas com GA 1:1 e GA 1:3 apresentaram declínio indicando diminuição na intensidade da coloração amarela, o que pode ser confirmado com a

diminuição da coordenada b^* (fig.7. c). Após 20 dias de armazenamento, foi possível observar diminuição na luminosidade e aumento na coloração amarela devido a modificação na estrutura dos carotenoides. Ao final de 30 dias, houve redução nas coordenadas a^* e b^* e aumento nos valores da coordenada L^* , permitindo a passagem de mais feixes luminosos indicando que ao longo do tempo, os iogurtes contendo as microcápsulas tornou-se mais claros devido a degradação dos compostos (DR et al., 2012).

4. CONCLUSÃO

A microencapsulação do extrato rico em carotenoides das casca de bacupari utilizando goma arábica e combinação de maltodextrina produziram alta eficiência de encapsulamento e propriedades físicas e químicas satisfatórias, sendo que as micropartículas produzidas somente com goma arábica como material de parede (GA 1:1 e GA 1:3) conferiram maior proteção ao agente ativo e maior estabilidade contra fatores externos comparadas com as micropartículas produzidas com a combinação de maltodextrina (MD-GA 1:1).

No geral as microcápsulas produzidas apresentaram alta solubilidade em água, baixa umidade e atividade de água tornando-as adequadas para a aplicação em alimentos e obtiveram boa retenção de carotenoides com notáveis propriedades antioxidantes presentes no extrato de bacupari, que foram extraídos de seus resíduos, além de apresentarem boas características de cor o produto pode ter um desempenho promissor para a aplicação na indústria alimentícia como pigmento natural em alimentos, proporcionando não só uma cor atraente mas também diversos benefícios.

5. REFERÊNCIAS

ALVES, A. C. B; MONTEIRO, L. B. POMPEU, D. R. Otimização da extração sólido-líquido de compostos fenólicos totais e betalaínas da casca de frutos de pitaia (*Hylocereus polyrhizus*). **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**. v. 12, n. 1, p. 2556-2577, 2018.

AOAC. **Official methods of analysis**. Association of Official Analytical Chemistry. p. 3000, 2012.

AGUIRRE CALVO, Tatiana; SANTAGAPITA, Patricio. Physicochemical Characterization of Alginate Beads Containing Sugars and Biopolymers. **Journal of Quality and Reliability Engineering**, v. 2016.

AKBARBAGLU, Zahra; PEIGHAMBARDOUST, Seyed Hadi; SARABANDI, Khashayar; JAFARI, Seid Mahdi. Spray drying encapsulation of bioactive compounds within protein-based carriers; different options and applications. **Food Chemistry**, v. 359, p. 129965, 2021.

ÁLVAREZ-HENAO, María Victoria; SAAVEDRA, Nataly; MEDINA, Sonia; JIMÉNEZ CARTAGENA, Claudio; ALZATE, Luz Maria; LONDOÑO-LONDOÑO, Julián. Microencapsulation of lutein by spray-drying: Characterization and stability analyses to promote its use as a functional ingredient. **Food Chemistry**, v. 256, n. 118, p. 181–187, 2018.

BAKRY, Amr M.; ABBAS, Shabbar; ALI, Barkat; MAJEED, Hamid; ABOUELWafa, Mohamed Y.; MOUSA, Ahmed; LIANG, Li. Microencapsulation of Oils: A Comprehensive Review of Benefits, Techniques, and Applications. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 15, n. 1, p. 143–182, 2016.

BALLESTEROS, Lina F.; RAMIREZ, Monica J.; ORREGO, Carlos E.; TEIXEIRA, José A.; MUSSATTO, Solange I. Encapsulation of antioxidant phenolic compounds extracted from spent coffee grounds by freeze-drying and spray-drying using different coating materials. **Food Chemistry**, v. 237, p. 623–631, 2017.

BALTACIOĞLU, Hande; BALTACIOĞLU, Cem; OKUR, İlhami; TANRIVERMIŞ, Arif; YALIÇ, Muharrem. Optimization of microwave-assisted extraction of phenolic compounds from tomato: Characterization by FTIR and HPLC and comparison with conventional solvent extraction. **Vibrational Spectroscopy**, v. 113, p. 103204, 2021.

BALTRUSCH, K. L.; TORRES, M. D.; DOMÍNGUEZ, H.; FLÓREZ-FERNÁNDEZ, N. Spray-drying microencapsulation of tea extracts using green starch, alginate or carrageenan as carrier materials. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 203, p. 417–429, 2022.

BARROS, Hanna Elisia Araújo; ALEXANDRE, Ana Cláudia Silveira; CAMPOLINA, Gabriela Aguiar; ALVARENGA, Gabriela Fontes; SILVA, Lara Maria dos Santos Ferraz e.; NATARELLI, Caio Vinicius Lima; CARVALHO, Elisângela Elena Nunes; VILAS BOAS, Eduardo Valério de Barros. Edible seeds clustering based on phenolics and antioxidant activity using multivariate analysis. **LWT**, v. 152, p. 112372, 2021.

BARROS, Hanna Elisia Araújo; NATARELLI, Caio Vinicius Lima; DE CARVALHO TAVARES, Iasnaia Maria; DE OLIVEIRA, Ana Lázara Matos; ARAÚJO, Ana Beatriz Silva; PEREIRA, Joelma; CARVALHO, Elisângela Elena Nunes; DE BARROS VILAS BOAS, Eduardo Valério; FRANCO, Marcelo. Nutritional Clustering of Cookies Developed with Cocoa Shell, Soy, and Green Banana Flours Using Exploratory Methods. **Food and Bioprocess Technology**, v. 13, n. 9, p. 1566–1578, 2020.

BURGOS-DÍAZ, César; OPAZO-NAVARRETE, Mauricio; SOTO-AÑUAL, Monserrat; LEAL-CALDERÓN, Fernando; BUSTAMANTE, Mariela. Food-grade Pickering emulsion as a novel astaxanthin encapsulation system for making powder-based products: Evaluation of astaxanthin stability during processing, storage, and its bioaccessibility. **Food Research International**, v. 134, p. 109244, 2020.

- CAI, Y. Z. CORKE, H. Production and Properties of Spraydried Amaranthus Betacyanin Pigments. **Journal of Food Science**, v. 65, n. 7, p. 1248-1252, 2000.
- CALDERÓN-OLIVER, Mariel; PONCE-ALQUICIRA, Edith. The Role of Microencapsulation in Food Application. **Molecules** **2022**, Vol. **27**, p. 1499, v. 27, n. 5, p. 1499, 2022.
- CANO-CHAUCA, Milton; STRINGHETA, P. C.; RAMOS, A. M.; CAL-VIDAL, J. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 6, n. 4, p. 420–428, 2005. DOI: 10.1016/J.IFSET.2005.05.003.
- CARMO, Eloá Lourenço Do; TEODORO, Rhana Amanda Ribeiro; FÉLIX, Pedro Henrique Campelo; FERNANDES, Regiane Victória de Barros; OLIVEIRA, Érica Resende De; VEIGA, Taís Regina Lima Abreu; BORGES, Soraia Vilela; BOTREL, Diego Alvarenga. Stability of spray-dried beetroot extract using oligosaccharides and whey proteins. **Food Chemistry**, v. 249, n. December 2017, p. 51–59, 2018.
- CARMONA, Paula Andrea Osorio; GARCIA, Lorena Costa; RIBEIRO, José Antônio de Aquino; VALADARES, Leonardo Fonseca; MARÇAL, Adriano de Figueiredo; DE FRANÇA, Luiz Ferreira; MENDONÇA, Simone. Effect of Solids Content and Spray-Drying Operating Conditions on the Carotenoids Microencapsulation from Pressed Palm Fiber Oil Extracted with Supercritical CO₂. **Food and Bioprocess Technology**, v. 11, n. 9, p. 1703–1718, 2018.
- CARRA, Jéssica Bassetto et al. Spray-drying of casein/pectin bioconjugate microcapsules containing grape (*Vitis labrusca*) by-product extract. **Food Chemistry**, v. 368, n. February 2021, 2022.
- CASTRO-ENRÍQUEZ, D. D.; MONTAÑO-LEYVA, B.; DEL TORO-SÁNCHEZ, C. L.; JUARÉZ-ONOFRE, J. E.; CARVAJAL-MILLAN, E.; BURRUEL-IBARRA, S. E.; TAPIA-HERNÁNDEZ, J. A.; BARRERAS-URBINA, C. G.; RODRÍGUEZ-FÉLIX, F. Stabilization of betalains by encapsulation—a review. **Journal of Food Science and Technology**, v. 57, n. 5, p. 1587–1600, 2020.
- CHUYEN, Hoang V.; ROACH, Paul D.; GOLDING, John B.; PARKS, Sophie E.; NGUYEN, Minh H. Encapsulation of carotenoid-rich oil from Gac peel: Optimisation of the encapsulating process using a spray drier and the storage stability of encapsulated powder. **Powder Technology**, v. 344, p. 373–379, 2019.
- CHANG, P.T., HSIEH, C. C., JIANG, Y. L. Respostas de pitaya 'shih huo chuan' (*Hylocereus polyrhizus* (weber) britt. & rose) a diferentes graus de sombreamento. **Scientia Horticulturae**, 198, 154-162. 2015.
- CAMPO, Camila; QUEIROZ ASSIS, Renato; MARQUES DA SILVA, Médelin; HAAS COSTA, Tania Maria; PAESE, Karina; STANISÇUASKI GUTERRES, Silvia; DE OLIVEIRA RIOS, Alessandro; HICKMANN FLÔRES, Simone. Incorporation of zeaxanthin nanoparticles in yogurt: Influence on physicochemical properties, carotenoid stability and sensory analysis. **Food Chemistry**, v. 301, n. July, p. 125230, 2019.
- CUCCOLINI, S.; ALDINI, A.; VISAI, L.; DAGLIA, M.; FERRARI, D. Environmentally friendly lycopene purification from tomato peel waste: Enzymatic assisted aqueous extraction. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 61, n. 8, p. 1646–1651, 27

fev. 2013.

CS, B.; DJ, M.; J, W.; EA, D. Factors influencing the chemical stability of carotenoids in foods. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 50, n. 6, p. 515–532, jun. 2010.

DELIA B. RODRIGUEZ-AMAYA. **A guide to carotenoid analysis in foods**. Washington. 2001.

DING, Zhuang; TAO, Tao; YIN, Xiaohan; PRAKASH, Sangeeta; WANG, Xiao; ZHAO, Yanna; HAN, Jun; WANG, Zhengping. Improved encapsulation efficiency and storage stability of spray dried microencapsulated lutein with carbohydrates combinations as encapsulating material. **LWT**, v. 124, p. 109139, 2020.

DR, C.; SH, L.; LH, S. Riboflavin as a photosensitizer. Effects on human health and food quality. **Food & function**, v. 3, n. 5, p. 487–502, maio 2012.

ESPIRITO SANTO, Bruna Larissa Spontoni Do et al. Medicinal Potential of Garcinia Species and Their Compounds. **Molecules 2020, Vol. 25, Page 4513**, v. 25, n. 19, p. 4513, 2020.

ETZBACH, Lara; MEINERT, Messina; FABER, Thilo; KLEIN, Carolin; SCHIEBER, Andreas; WEBER, Fabian. Effects of carrier agents on powder properties, stability of carotenoids, and encapsulation efficiency of goldenberry (*Physalis peruviana* L.) powder produced by co-current spray drying. **Current Research in Food Science**, v. 3, p. 73–81, 2020.

EUN, Jong Bang; MARUF, Ahmed; DAS, Protiva Rani; NAM, Seung Hee. A review of encapsulation of carotenoids using spray drying and freeze drying. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1698511>, v. 60, n. 21, p. 3547–3572, 2019.

FERRARI, C., RIBEIRO, C., AGUIRRE, J. Spray drying of blackberry pulp using maltodextrin as carrier agent. **Brazilian Journal of Food Technology**. 15. 157-165. 2013.

FERREIRA, Lindalva Maria de Meneses Costa; PEREIRA, Rayanne Rocha; DE CARVALHO, Fernanda Brito; SANTOS, Alberdan Silva; RIBEIRO-COSTA, Roseane Maria; CARRÉRA SILVA JÚNIOR, José Otávio. Green Extraction by Ultrasound, Microencapsulation by Spray Drying and Antioxidant Activity of the Tucuma Coproduct (*Astrocaryum vulgare* Mart.) Almonds. **Biomolecules 2021, Vol. 11, Page 545**, v. 11, n. 4, p. 545, 2021.

GALLARDO, Gabriela; GUIDA, Leticia; MARTINEZ, Vanina; LÓPEZ, María C.; BERNHARDT, Dana; BLASCO, Ramiro; PEDROZA-ISLAS, Ruth; HERMIDA, Laura G. Microencapsulation of linseed oil by spray drying for functional food application. **Food Research International**, v. 52, n. 2, p. 473–482, 2013.

GALAFFU, N.; BORTLIK, K.; MICHEL, M. An industry perspective on natural food colour stability. **Colour Additives for Foods and Beverages**, p. 91–130, 1 jan. 2015.

GARCÍA, Juliana María; GIUFFRIDA, Daniele; DUGO, Paola; MONDELLO, Luigi; OSORIO, Coralia. Development and characterisation of carotenoid-rich microencapsulates from tropical fruit by-products and yellow tamarillo (*Solanum betaceum* Cav.). **Powder Technology**, v. 339, p. 702–709, 2018.

GUPTA, Neha; PODDAR, Kasturi; SARKAR, Debapriya; KUMARI, Nitya; PADHAN, Bhagyashree; SARKAR, Angana. Fruit waste management by pigment production and utilization of residual as bioadsorbent. **Journal of Environmental Management**, v. 244, p. 138–143, 2019

HUANG, Song; VIGNOLLES, Marie Laure; CHEN, Xiao Dong; LE LOIR, Yves; JAN, Gwénaél; SCHUCK, Pierre; JEANTET, Romain. Spray drying of probiotics and other food-grade bacteria: A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 63, p. 1–17, 2017.

JAFARI, Seid Mahdi; ARPAGAUS, Cordin; CERQUEIRA, Miguel A.; SAMBORSKA, Katarzyna. **Nano spray drying of food ingredients; materials, processing and applications**. **Trends in Food Science and Technology**, 2021.

JANISZEWSKA-TURAK, Emilia; DELLAROSA, Nicolò; TYLEWICZ, Urszula; LAGHI, Luca; ROMANI, Santina; DALLA ROSA, Marco; WITROWA-RAJCHERT, Dorota. The influence of carrier material on some physical and structural properties of carrot juice microcapsules. **Food Chemistry**, v. 236, p. 134–141, 2017.

KANG, Yu Ra; LEE, Yun Kyung; KIM, Young Jun; CHANG, Yoon Hyuk. Characterization and storage stability of chlorophylls microencapsulated in different combination of gum Arabic and maltodextrin. **Food Chemistry**, v. 272, p. 337–346, 2019.

KUROZAWA, Louise Emy; PARK, Kil Jin; HUBINGER, Miriam Dupas. Effect of maltodextrin and gum arabic on water sorption and glass transition temperature of spray dried chicken meat hydrolysate protein. **Journal of Food Engineering**, v. 91, n. 2, p. 287–296, 2009.

LADOLE, M. R.; NAIR, R. R.; BHUTADA, Y. D.; AMRITKAR, V. D.; PANDIT, A. B. Synergistic effect of ultrasonication and co-immobilized enzymes on tomato peels for lycopene extraction. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 48, p. 453–462, 1 nov. 2018.

LENUCCI, M. S.; CAROLI, M. DE; MARRESE, P. P.; IURLARO, A.; RESCIO, L.; BÖHM, V.; DALESSANDRO, G.; PIRO, G. Enzyme-aided extraction of lycopene from high-pigment tomato cultivars by supercritical carbon dioxide. **Food Chemistry**, v. 170, p. 193–202, 1 mar. 2015.

LI, Xiang yu; WU, Mian Bin; XIAO, Min; LU, Shu huan; WANG, Zhi ming; YAO, Jian ming; YANG, Li rong. Microencapsulated β -carotene preparation using different drying treatments. **Journal of Zhejiang University-SCIENCE B** 2019 20:11, v. 20, n. 11, p. 901–909, 2019.

LIMA, Priscilla M.; DACANAL, Gustavo C.; PINHO, Lorena Silva; PÉREZ-CÓRDOBA, Luis Jaime; THOMAZINI, Marcelo; MORAES, Izabel Cristina Freitas; FAVARO-TRINDADE, Carmen S. Production of a rich-carotenoid colorant from pumpkin peels using oil-in-water emulsion followed by spray drying. **Food Research International**, v. 148, p. 110627, 2021.

MELO, Anely Maciel; BARBI, Rafaela Cristina Turola; COSTA, Bruno Patrício; IKEDA, Mônica; CARPINÉ, Danielle; RIBANI, Rosemary Hoffmann. Valorization of the agro-industrial by-products of bacupari (*Garcinia brasiliensis* (Mart.)) through

production of flour with bioactive properties. **Food Bioscience**, v. 45, p. 101343, 2022.

MACHADO, Michelle Heck; ALMEIDA, Aline da Rosa; MACIEL, Matheus Vinicius de Oliveira Brisola; VITORINO, Vinicius Bittencourt; BAZZO, Giovana Carolina; DA ROSA, Cleonice Gonçalves; SGANZERLA, William Gustavo; MENDES, Cassiana; BARRETO, Pedro Luiz Manique. 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.

MAIA, Paola D. D. S.; BAIÃO, Diego dos Santos; DA SILVA, Victor Paulo F.; LEMOS MIGUEL, Marco A.; QUIRINO LACERDA, Ellen Cristina; CALADO, Verônica M. d. Araújo; CARNEIRO, Carla da Silva; FINOTELLI, Priscilla V.; PIERUCCI, Anna Paola T. R. Microencapsulation of a craft beer, nutritional composition, antioxidant stability, and drink acceptance. **Lwt**, v. 133, n. April, 2020.

MAR, Josiana M. et al. Encapsulation of Amazonian Blueberry juices: Evaluation of bioactive compounds and stability. **Lwt**, v. 124, n. December 2018, p. 109152, 2020.

MARCILLO-PARRA, Verónica; TUPUNA-YEROVI, Diego Santiago; GONZÁLEZ, Zulay; RUALES, Jenny. Encapsulation of bioactive compounds from fruit and vegetable by-products for food application – A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 116, p. 11–23, 2021.

MEDINA, Marjorie B. Determination of the total phenolics in juices and superfruits by a novel chemical method. **Journal of Functional Foods**, v. 3, n. 2, p. 79–87, 2011.

MELO, Anely Maciel De; COSTA, Bruno Patrício; IKEDA, Mônica; RIBANI, Rosemary Hoffmann. Identification of bioactive compounds, morphology, and nutritional composition of bacupari (*Garcinia brasiliensis* (Mart)) pulp powder in two stages of maturation – A short communication. **Food Chemistry**, v. 391, p. 133279, 2022.

MIRANDA, P. H. S.; SANTOS, A. C. DOS; FREITAS, B. C. B. DE; MARTINS, G. A. DE S.; VILAS BOAS, E. V. DE B.; DAMIANI, C. A scientific approach to extraction methods and stability of pigments from Amazonian fruits. **Trends in Food Science & Technology**, v. 113, p. 335–345, 1 jul. 2021.

MOUSAVI KALAJAHI, Seyedeh Elham; GHANDIHA, Shadi. Optimization of spray drying parameters for encapsulation of Nettle (*Urtica dioica* L.) extract. **LWT**, v. 158, p. 113149, 2022.

NOGALES-BUENO, Julio; BACA-BOCANEGRA, Berta; ROONEY, Abigail; HERNÁNDEZ-HIERRO, José Miguel; BYRNE, Hugh J.; HEREDIA, Francisco José. Study of phenolic extractability in grape seeds by means of ATR-FTIR and Raman spectroscopy. **Food Chemistry**, v. 232, p. 602–609, 2017.

NORCINO, Laís Bruno; MENDES, Juliana Farinassi; FIGUEIREDO, Jayne de Abreu; OLIVEIRA, Natália Leite; BOTREL, Diego Alvarenga; MATTOSO, Luiz Henrique Capparelli. Development of alginate/pectin microcapsules by a dual process combining emulsification and ultrasonic gelation for encapsulation and controlled release of anthocyanins from grapes (*Vitis labrusca* L.). **Food Chemistry**, v. 391, n. January, 2022.

OTÁLORA, María Carolina; CARRIAZO, José Gregorio; ITURRIAGA, Laura; NAZARENO, Mónica Azucena; OSORIO, Coralia. Microencapsulation of betalains

obtained from cactus fruit (*Opuntia ficus-indica*) by spray drying using cactus cladode mucilage and maltodextrin as encapsulating agents. **Food Chemistry**, v. 187, p. 174–181, 2015.

OZKAN, Gulay; FRANCO, Paola; DE MARCO, Iolanda; XIAO, Jianbo; CAPANOGLU, Esra. A review of microencapsulation methods for food antioxidants: Principles, advantages, drawbacks and applications. **Food Chemistry**, v. 272, p. 494–506, 2019. DOI: 10.1016/J.FOODCHEM.2018.07.205.

PAINI, Marco; ALIAKBARIAN, Bahar; CASAZZA, Alessandro A.; LAGAZZO, Alberto; BOTTER, Rodolfo; PEREGO, Patrizia. Microencapsulation of phenolic compounds from olive pomace using spray drying: A study of operative parameters. **Lwt**, v. 62, n. 1, p. 177–186, 2015.

PARADISO, Vito Michele et al. Nutritional characterization and shelf-life of packaged microgreens. **Food and Function**, v. 9, n. 11, p. 5629–5640, 2018.

PICO, Joana; PISMAG, Remigio Y.; LAUDOUEZE, Mallory; MARTINEZ, Mario M. Systematic evaluation of the Folin–Ciocalteu and Fast Blue BB reactions during the analysis of total phenolics in legumes, nuts and plant seeds. **Food & Function**, v. 11, n. 11, p. 9868–9880, 2020.

QUEK, Siew Young; CHOK, Ngan King; SWEDLUND, Peter. The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. **Chemical Engineering and Processing: Process Intensification**, v. 46, n. 5, p. 386–392, 2007.

QUIJANO-ORTEGA, Natalia; FUENMAYOR, Carlos Alberto; ZULUAGA-DOMINGUEZ, Carlos; DIAZ-MORENO, Consuelo; ORTIZ-GRISALES, Sanín; GARCÍA-MAHECHA, Maribel; GRASSI, Silvia. FTIR-ATR Spectroscopy Combined with Multivariate Regression Modeling as a Preliminary Approach for Carotenoids Determination in *Cucurbita* spp. **Applied Sciences**, v. 10, n. 11, p. NA-NA, 2020.

RAMAKRISHNAN, Yogeshini; ADZAHAN, Noranizan Mohd; YUSOF, Yus Aniza; MUHAMMAD, Kharidah. Effect of wall materials on the spray drying efficiency, powder properties and stability of bioactive compounds in tamarillo juice microencapsulation. **Powder Technology**, v. 328, p. 406–414, 2018.

RIBEIRO, E. P.; SERAVALLI, E. A. G. **Química de Alimentos**. Instituto Mauá de Tecnologia. Editora Edgard Blucher Ltda, 1ª edição, São Paulo, p. 155-157, 2004.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Update on natural food pigments - A mini-review on carotenoids, anthocyanins, and betalains. **Food Research International**, 2019.

RORIZ, Custódio Lobo; BARROS, Lillian; PRIETO, M. A.; MORALES, Patricia; FERREIRA, Isabel C. F. R. Floral parts of *Gomphrena globosa* L. as a novel alternative source of betacyanins: Optimization of the extraction using response surface methodology. **Food Chemistry**, v. 229, p. 223–234, 2017.

ROSSETTO, Raquel; MACIEL, Giselle Maria; BORTOLINI, Débora Gonçalves; RIBEIRO, Valéria Rampazzo; HAMINIUK, Charles Windson Isidoro. Acai pulp and seeds as emerging sources of phenolic compounds for enrichment of residual yeasts (*Saccharomyces cerevisiae*) through biosorption process. **LWT**, v. 128, p. 109447, 2020.

RUFINO, Maria do Socorro M.; ALVES, Ricardo E.; DE BRITO, Edy S.; PÉREZ-JIMÉNEZ, Jara; SAURA-CALIXTO, Fulgencio; MANCINI-FILHO, Jorge. Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. **Food Chemistry**, v. 121, n. 4, p. 996–1002, 2010.

SAINI, R. K.; KEUM, Y. S. **Carotenoid extraction methods: A review of recent developments** **Food Chemistry**, 2018.

SAMBORSKA, Katarzyna et al. Green biopolymers from by-products as wall materials for spray drying microencapsulation of phytochemicals. **Trends in Food Science & Technology**, v. 108, p. 297–325, 2021.

SANTOS, Suelen Siqueira Dos et al. Bioavailability of blackberry pomace microcapsules by using different techniques: An approach for yogurt application. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 81, p. 103111, 2022.

SANTOS, Priscila Dayane de Freitas; RUBIO, Fernanda Thaís Vieira; DA SILVA, Marlucci Palazzolli; PINHO, Lorena Silva; FAVARO-TRINDADE, Carmen Sílvia. Microencapsulation of carotenoid-rich materials: A review. **Food Research International**, v. 147, p. 110571, 2021.

SHELDON, R. A., & PELT, S. V. Enzyme immobilisation in biocatalysis: Why, what and how. **Chemical Society Reviews**, 42(15), 6223–6235, 2013.

SILVA, Renata S.; DE L. SANTOS, Carolina; MAR, Josiana M.; KLUCZKOVSKI, Ariane M.; DE A. FIGUEIREDO, Jayne; BORGES, Soraia V.; BAKRY, Amr M.; SANCHES, Edgar A.; CAMPELO, Pedro H. Physicochemical properties of tucumã (*Astrocaryum aculeatum*) powders with different carbohydrate biopolymers. **LWT**, v. 94, p. 79–86, 2018.

SIMON-BROWN, Kelly et al. Microencapsulation of ginger (*Zingiber officinale*) extract by spray drying technology. **LWT**, v. 70, p. 119–125, 2016.

SOUZA, André L. R.; HIDALGO-CHÁVEZ, Davy W.; PONTES, Sérgio M.; GOMES, Flávia S.; CABRAL, Lourdes M. C.; TONON, Renata V. Microencapsulation by spray drying of a lycopene-rich tomato concentrate: Characterization and stability. **Lwt**, v. 91, n. February, p. 286–292, 2018.

SOUZA, Volnei Brito; THOMAZINI, Marcelo; BALIEIRO, Julio César De Carvalho; FÁVARO-TRINDADE, Carmen Sílvia. Effect of spray drying on the physicochemical properties and color stability of the powdered pigment obtained from vinification byproducts of the Bordo grape (*Vitis labrusca*). **Food and Bioprocess Processing**, v. 93, n. October, p. 39–50, 2015.

STRINGER, S. C.; PECK, M. W. Foodborne clostridia and the safety of in-pack preserved foods. **In-Pack Processed Foods: Improving Quality**, p. 251–276, 1 jan. 2008.

SUTTER, Sonia C.; BUERA, Maria P.; ELIZALDE, Beatriz E. β -Carotene encapsulation in a mannitol matrix as affected by divalent cations and phosphate anion. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 332, n. 1–2, p. 45–54, 2007.

SWER, Tanya L.; CHAUHAN, Komal; PAUL, Prodyut K.; MUKHIM, C. Evaluation of enzyme treatment conditions on extraction of anthocyanins from *Prunus nepalensis* L. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 92, p. 867–871, 2016.

TANG, Liqin; LIU, Haocheng; HUANG, Guodong; YUAN, Zhong; FU, Manqin; BU, Zhibin; WEN, Jing; XU, Yujuan. The structural characterization, physicochemical properties, and stability of gardenia yellow pigment microcapsules. **Lwt**, v. 162, n. April, p. 113507, 2022.

TAO, Yang; WANG, Ping; WANG, Jiandong; WU, Yue; HAN, Yongbin; ZHOU, Jianzhong. Combining various wall materials for encapsulation of blueberry anthocyanin extracts: Optimization by artificial neural network and genetic algorithm and a comprehensive analysis of anthocyanin powder properties. **Powder Technology**, v. 311, p. 77–87, 2017.

TONON, Renata V.; BRABET, Catherine; HUBINGER, Míriam 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, n. 3, p. 411–418, 2008.

TUPUNA, Diego Santiago; PAESE, Karina; GUTERRES, Silvia Stanisçuaski; JABLONSKI, André; FLÔRES, Simone Hickmann; RIOS, Alessandro de Oliveira. Encapsulation efficiency and thermal stability of norbixin microencapsulated by spray-drying using different combinations of wall materials. **Industrial Crops and Products**, v. 111, n. December 2017, p. 846–855, 2018.

URSACHE, Florentina Mihaela et al. Valorizations of carotenoids from sea buckthorn extract by microencapsulation and formulation of value-added food products. **Journal of Food Engineering**, v. 219, p. 16–24, 2018.

VERDUIN, J. Photodegradation Products And Their Analysis In Food. **Food Science and Nutrition**, v. 6, n. 3, p. 1–16, 15 jun. 2020.

WANI, Faiqa A.; RASHID, Rukhsana; JABEEN, Abida; BROCHIER, Bethania; YADAV, Shashikant; AIJAZ, Thameed; MAKROO, H. A.; DAR, B. N. Valorisation of food wastes to produce natural pigments using non-thermal novel extraction methods: a review. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 56, n. 10, p. 4823–4833, 2021.

YINGNGAM, Banha; TANTIRAKSAROJ, Karnnuttha; Taweetao, Thitima; Rungseevijitprapa, Wandee; SUPAKA, Nuttapun; BRANTNER, Adelheid H. Modeling and stability study of the anthocyanin-rich maoberry fruit extract in the fast-dissolving spray-dried microparticles. **Powder Technology**, v. 325, p. 261–270, 2018.

ZUORRO, A.; FIDALEO, M.; LAVECCHIA, R. Enzyme-assisted extraction of lycopene from tomato processing waste. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 49, n. 6–7, p. 567–573, 2011.

Artigo II

EXTRAÇÃO E MICROENCAPSULAÇÃO DE PIGMENTOS DA CASCA DA PUPUNHA (*Bactris gasipaes* Kunth) PARA APLICAÇÃO EM ALIMENTOS COMO UM CORANTE NATURAL

Lorrane Ribeiro de Souza¹, Ingrid Alves Santos², Gilson Gustavo Lucinda Machado³, Hanna Elisia Araújo de Barros⁴ Eduardo Valério de Barros Villas Boas⁵, Diego Alvarenga Botrel⁶, Elisângela Elena Nunes de Carvalho⁷, Clarissa Damiani⁸

RESUMO: O uso de corantes naturais na indústria de alimentos e bebidas tem crescido em substituição aos corantes sintéticos. Os resíduos e subprodutos de frutas como cascas, bagaço e sementes são excelentes fontes de extração. Nesse contexto, a pupunha (*Bactris gasipaes* Kunth) é boa fonte de compostos bioativos como carotenoides o que explica a coloração típica da casca. Os carotenoides são uma classe de compostos que conferem a coloração amarelo-laranja-vermelho nos alimentos no entanto, são instáveis na presença de altas temperaturas, luz e oxigênio, sendo necessário realizar a microencapsulação, uma técnica capaz de que envolve materiais ativos dentro de uma cápsula feita de materiais imiscíveis. Diante disso, objetivou-se com o presente trabalho estudar a microencapsulação de carotenoides extraídos das cascas de pupunha utilizando a técnica de spray-drying (GA 1:1, GA 1:3 e MD-GA 1:1) e suas características físico-química e bioativas. A extração dos carotenoides foi feita utilizando etanol 50% e enzima pectinase seguida de rotaevoração e pulverização por *spray dryer*. Após a secagem as microcápsulas foram caracterizadas quanto aos teores de umidade, atividade de água, carotenoides, rendimento, solubilidade, eficiência, compostos fenólicos totais e atividade antioxidante. Além disso, foram realizadas as análises de FTIR-ATR, TGA e análise morfológica. As microcápsulas apresentaram baixos teores de umidade e atividade de água, com boa retenção de carotenoides, boa capacidade de solubilidade em água com a preservação de compostos fenólicos e capacidade antioxidante. As microcápsulas apresentaram cores estáveis nos pH entre 1 a 10 e mudança na coloração nos pH 11, 12 e 13, apresentaram também menores perdas de carotenoides quando armazenadas em temperaturas de refrigeração -4 ± 2 °C. Em conclusão, a microencapsulação preservou os carotenoides, compostos fenólicos e atividade antioxidante do extrato das cascas de pupunha. Em relação a aplicação das microcápsulas em iogurte observou-se que ao final de 30 dias houve uma diminuição nas coordenadas a^* e b^* e aumento nos valores da coordenada L^* indicando que ao longo do tempo os iogurtes contendo as microcápsulas tornou-se mais claros devido à perda dos compostos em condições ácidas.

Palavras-Chaves: Carotenoides, Microcápsulas, Atomização

ABSTRACT: The use of natural dyes in the food and beverage industry has grown to replace synthetic dyes. Fruit residues and by-products such as peels, bagasse and seeds are excellent sources of extraction. In this context, peach palm (*Bactris gasipaes* Kunth) is a good source of bioactive compounds such as carotenoids, which explains the typical color of the peel. Carotenoids are a class of compounds that give the yellow-orange-red color to food; however, they are unstable in the presence of high temperatures, light and oxygen, making it necessary to perform microencapsulation, a technique capable of involving active materials within a capsule made of immiscible materials. Therefore, the objective of this work was to study the microencapsulation of carotenoids extracted from peach palm peels using the spray-drying technique (GA 1:1, GA 1:3 and MD-GA 1:1) and their physical- chemical and bioactive. The extraction of carotenoids was performed using 50% ethanol and pectinase enzyme followed by rotational devolving and spray drying. After drying, the microcapsules were characterized for moisture content, water activity, carotenoids, yield, solubility, efficiency, total phenolic compounds and antioxidant activity. In addition, FTIR-ATR, TGA and morphological analysis were performed. The microcapsules showed low moisture content and water activity, with good retention of carotenoids, good solubility in water with preservation of phenolic compounds and antioxidant capacity. The microcapsules showed stable colors at pH between 1 to 10 and change in color at pH 11, 12 and 13, they also showed lower losses of carotenoids when stored at refrigeration temperatures -4 ± 2 °C. In conclusion, microencapsulation preserved the carotenoids, phenolic compounds and antioxidant activity of peach palm peel extract. Regarding the application of the microcapsules in yogurt, it was observed that at the end of 30 days there was a decrease in the a^* and b^* coordinates and an increase in the values of the L^* coordinate, indicating that over time the yogurts containing the microcapsules became lighter due to loss of compounds under acidic conditions.

Keywords: Carotenoids, Microcapsules, Atomization

1. INTRODUÇÃO

A tendência do consumo de produtos alimentares funcionais cresceu na última década devido o interesse dos consumidores por uma alimentação mais saudável (TERPOU et al., 2019). Alimentos funcionais são alimentos integrais fortificados, enriquecidos ou aprimorados que proporcionam benefícios à saúde, além dos nutrientes essenciais como proteínas, carboidratos, vitaminas e minerais (AKIN & OZCAN, 2017).

O uso de corantes naturais na indústria de alimentos e bebidas tem crescido em substituição aos corantes sintéticos (CORTEZ et al., 2017; LYU et al., 2022). Principalmente devido a conscientização dos riscos ambientais e efeitos tóxicos indesejáveis, mutagenicidade, além do potencial de carcinogênicos dos corantes artificiais (CORTEZ et al., 2017; AZMIN et al., 2022).

Os resíduos e subprodutos de frutas como cascas são excelentes fontes para extração de ingredientes tais como proteínas, polissacarídeos, fibra alimentar, bioativos, polifenóis e antioxidantes, incluindo um rico conteúdo de pigmento naturais (CANCAUICH et al., 2017; SHARMA et al., 2021; WANI et al., 2021).

Nesse contexto, a pupunha (*Bactris gasipaes* Kunth), pertencente à família Arecaceae proveniente da região amazônica, é uma palmeira de clima tropical muito consumida na região norte (NERI-NUMA et al., 2018; VARELLA; OLIVEIRA NETO; SOUSA et al., 2021). O fruto é composto por polpa comestível em torno de uma única semente e apresenta casca fina aderida a polpa com colorações diversificadas que variam de vermelho, laranja ou amarelo (OZKAN et al., 2019). Segundo estudos, o mesocarpo dos frutos da pupunheira são boas fontes para extração de compostos bioativos como carotenoides e vitaminas, algumas já identificadas como niacina, vitamina C, B2 e A, o que explica a coloração típica da casca (ORDÓÑEZ-SANTOS; PINZÓN-ZARATE; GONZÁLEZ-SALCEDO et al., 2015).

O processo de extração de pigmentos a partir dos resíduos de frutos têm sido estudados por diversos pesquisadores (LIMA et al., 2021; SOUZA et al., 2015; GARCÍA et al., 2018; FERREIRA et al., 2021). Dentre esses processos destaca-se a extração assistida por enzimas, uma das novas técnicas utilizadas para obtenção de pigmentos. Esse método consiste na hidrólise de estruturas da parede celular utilizando enzimas como a celulase e pectinase facilitando a extração dos materiais intracelular potencializando a extração do corante (SAINI; KEUM, 2018).

Dentre os pigmentos existentes estão os carotenoides, uma classe de compostos que conferem a coloração amarelo-laranja-vermelho nos alimentos. São solúveis em água, lipídeos e solventes orgânicos e desempenham o papel de agente antioxidante e anti-angiogênico além de fornecer proteção contra radicais livres (CAMPO et al., 2019; KALAJAHI e GHANDIHA, 2022). No entanto, sua estabilidade é um dos aspectos importantes a ser considerado para a aplicação como pigmentos naturais, visto que são instáveis na presença de altas temperaturas, luz e oxigênio, demonstrando dificuldades em manter suas propriedades, quando submetidos em determinadas condições intrínsecas de variados produtos. Logo são necessárias o uso de técnicas de encapsulação, pois permitem proteger os pigmentos naturais aumentando sua vida útil (SHARMA et al., 2021).

O encapsulamento é um processo que envolve materiais ativos dentro de uma cápsula feita de materiais imiscíveis. A microencapsulação faz parte do subgrupo classificado com base no tamanho da cápsula resultante na faixa de 1 a 100 μm (BALAKRISHNAN et al., 2021). Além de fornecer funcionalidades desejáveis como melhorar o manuseio dos ingredientes ativos, permite preservar a biodisponibilidade, garante maiores estabilidade, eficiência e retenção de compostos bioativos (RIBEIRO et al., 2020). Ding et al. (2020), relatou em seus estudos que a luteína microencapsulada por secagem por pulverização apresentou eficiência e retenção máxima de 80 e 87,9% respectivamente. A avaliação da estabilidade, e a cinética de degradação da luteína microencapsulada também foi analisada, os autores observaram um aumento na estabilidade desses carotenoides após a exposição em quatro temperaturas diferentes. Confirmando que a microencapsulação pode aumentar a estabilidade de compostos sensíveis de fatores que causam sua degradação.

O grande desafio da microencapsulação é a escolha do material de revestimento utilizado no processo. É imprescindível que esse material não reaja com o material ativo, e apresente algumas características tecnológicas, tais como boas propriedades de secagem, baixo custo, disponibilidade no mercado, baixa viscosidade e higroscopicidade, deve ser estável e apresentar proteção satisfatória ao material encapsulado (JANISZEWSKA-TURAK et al., 2017; TAO et al., 2017).

Dentre os agentes carreadores mais utilizados podemos destacar a maltodextrina e a goma arábica, ambos são considerados um excelente material encapsulante devido à alta solubilidade, baixa viscosidade, boas propriedades emulsificantes e maior estabilidade à oxidação, além de serem compatíveis com outros carboidratos, proteínas e amidos modificados, potencializando o processo de microencapsulação (GARCÍA et al.,

2018; TUPUNA et al., 2018). Assim, o objetivo do presente trabalho foi microencapsular carotenoides extraídos das cascas de pupunha utilizando a técnica de *spray drying* como encapsulamento, goma arábica, e maltodextrina como agentes encapsulantes, e determinar suas características físico-químicas, compostos bioativos e atividade antioxidante. Avaliar a estabilidade das microcápsulas produzidas em diferentes temperaturas e pH e analisar o comportamento das micropartículas em matriz alimentar.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Obtenção dos frutos e Armazenamento

Os frutos da pupunha (*Bactris gasipaes* Kunth), foram obtidos no comércio local de Palmas-TO (Latitude: 10° 10' 8" Sul, Longitude: 48° 19' 54", Brasil, 2022), na época de frutificação. Os frutos foram recebidos no laboratório de pós-colheita de frutas e hortaliças (UFLA), onde foram separados de sujidades e frutos impróprios (podres, amassados). Posteriormente, foram lavados e sanitizados com solução de hipoclorito de sódio em uma concentração de 150 ppm, drenados e congelados (-18°C) até o momento da despolpa. A despolpa foi feita manualmente, onde separou-se as frações casca, polpa e semente.

2.2 Obtenção do extrato pigmentado

A extração de pigmentos com solvente, foi realizada nas cascas dos frutos secos. A secagem das cascas para extração ocorreu conforme descrito na metodologia AOAC (2016) número 930.36 a 70°C até as amostras atingirem peso constante (cerca de 16 horas de secagem). O processo de extração de pigmentos com solvente foi realizado de acordo com a metodologia de Swer et al. (2016), com algumas modificações. Foi pesado 1,25 gramas de amostras seca e aplicado 50 ml de solvente, etanol (50%) na casca da pupunha, posteriormente, foi adicionado 45 µL da enzima pectinase (*Aspergillus niger*) com o código P4716-5KU da fabricante Sigma-Aldrich. Em seguida, a mistura foi levada ao agitador magnético por 2 minutos e deixada em repouso por 150 minutos, em banho maria, na temperatura de 35°C. Logo após, foi centrifugada a 15000 rpm por 10 minutos. Posteriormente as amostras (enzima) foram inativadas em banho maria a 90°C por 3 minutos e foram filtradas em papel filtro. Após a extração os extratos filtrados foram

submetidos a um rotaevaporador (Marca Tecnal-TE-2010) com temperatura de 50°C para a retirada total do solvente.

2.3 Caracterização do extrato

Toda a caracterização física e química do extrato foi feita, em três repetições em triplicata.

2.3.1 Determinação do pH

A determinação do pH foi realizada utilizando potenciômetro, calibrado com Soluções de pH 7,0 e 4,0, segundo AOAC (número 973.04, 2016).

2.3.2 Análise de cor

As medições de cor foram realizadas utilizando colorímetro Konica Minolta CR-400, no espaço de cores CIELAB da Comissão Internacional de l'Éclairage, utilizando o sistema de escala de cor L, a* e b*, croma (C*) e ângulo hue (h°).

2.3.3 Teor de carotenoides

A quantificação de carotenoides do extrato de bacupari foi realizado de acordo com a metodologia de Ferreira et al. (2021). 3 ml do extrato foi dissolvido em hexano até volume final de 10 ml. O conteúdo foi agitado por 20 minutos, em mesa agitadora, e as leituras foram realizadas em espectrofotômetro a 444nm, 450nm, 456nm, 452nm e 470nm, que correspondem as absorbâncias dos carotenoides, α -caroteno, β -caroteno, δ -Caroteno γ -caroteno e licopeno, respectivamente. O teor de cada carotenoide foi calculado, seguindo a metodologia. Os resultados foram expressos em $\mu\text{g} \cdot 100\text{g}^{-1}$.

$$\text{Teor de carotenoides } (\mu\text{g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}) = \frac{\text{Abs} \times V \times 10^6}{E_{cm}^{1\%} \times m} \quad \text{Equação 1}$$

Em que Abs é a absorvância da solução no comprimento de onda específico; V é o volume final da solução; $E_{cm}^{1\%}$ é o coeficiente de extinção ou coeficiente de absorvidade molar de um pigmento em um determinado solvente específico, no caso o éter de petróleo, e m é a massa da amostra tomada para a análise em g.

2.4 Microencapsulação por *Spray drying*

Para a microencapsulação por *spray-drying* foi adotado um delineamento inteiramente ao acaso, com 3 repetições para cada tratamento. Os materiais de parede utilizados no processo de secagem foi maltodextrina com dextrose equivalente 20 (Cassava S.A., Maripá, PR, Brasil) e goma arábica (Colloides Naturels Brasil, São Paulo, Brasil).

Tabela 1. Tratamentos para microencapsulação de carotenoides extraídos das cascas de pupunha utilizando Maltodextrina e Goma arábica.

Tratamentos	Teor de sólidos (%)	T (°C) Entrada/Saída (Spray- drying)	Material de Parede (%) (MD/GA)	Pigmento / Revestimento
1	30	170-80	GA	1:1
2	30	170-80	GA	1:3
3	30	170-80	MD-GA	1:1

T (°C): Temperatura; GA: Goma arábica; MD: Maltodextrina.

Após a caracterização do extrato (pH, cor e carotenoides) foi feito a adição dos materiais encapsulantes, a saber, maltodextrina e goma arábica, conforme a Tabela 1. As soluções foram, então, homogeneizadas por meio de agitação mecânica a 10000 rpm, durante 10 minutos, em misturador Ultra-turrax (Ultra-Turrax IKA T18 basic, Wilmington, EUA).

A atomização foi realizada por *Spray drying* (modelo MSD 1.0; Labmaq do Brasil, Ribeirão Preto, Brasil) equipado com bico de duplo fluido. As condições operacionais utilizadas foram: temperatura de entrada de 170 °C e taxa de alimentação de 0,3 L.h⁻¹. A mistura (extrato pigmentado concentrado, material encapsulante) foi mantida sob agitação em agitador magnético e bombeado até o topo do atomizador, entrando em

contato com o ar quente na câmara de secagem, ocasionando a evaporação imediata da umidade contida no material. A corrente de ar quente-sólido foi direcionada em ciclone para separação do extrato microencapsulado em recipiente de vidro (coletor de pó). O encapsulado em pó foi coletado e armazenado em frascos de vidro âmbar, envoltos em papel alumínio e armazenados a -4 ± 2 °C, para realização imediata das análises.

2.5 Caracterização das Microcápsulas

Toda a caracterização física e química das microcápsulas foram feitas, em três repetições em triplicata.

2.5.1 Umidade Relativa (UR)

Para determinar o teor de umidade das cápsulas, contendo o corante natural, foi utilizado o método gravimétrico, segundo a Associação de Químicos Analíticos Oficiais (AOAC, 2016, 9030,16) para alimentos. A percentagem de perda de peso foi obtida após secagem de 2,5 g à 105 °C, até obtenção de peso constante, com unidade expressa em $\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$.

2.5.2 Atividade de água (Aw)

A determinação da atividade de água (1 g de cada amostra) foi realizada pelo medidor de água livre (AQUALAB, Aqua LAB 4TEV, EUA), à 25 °C.

2.5.3 Teor de carotenoides

A extração foi realizada como descrito por Rodriguez-Amaya (2001), com algumas adaptações. Adicionou-se 20 ml de acetona fria (P.A) em 0,5 g da amostra. O conteúdo foi agitado por 20 minutos em mesa agitadora e filtrado. O resíduo da amostra foi lavado com acetona até que o resíduo retido no papel filtro obtivesse coloração transparente (lavado três vezes com 20 ml, 15 ml e 15 ml de acetona P.A). Posteriormente, o filtrado foi transferido para um funil de separação, sendo acrescido de 15 ml de éter de petróleo e 35 ml de água destilada. O líquido mais denso foi descartado. Tal procedimento foi repetido três vezes para remover a acetona. O extrato, então, foi transferido para um

balão volumétrico de 50 ml, e adicionado éter de petróleo até completar o volume de 50 ml. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro a 444nm, 450nm, 456nm, 452nm e 470nm, que correspondem as absorvâncias dos carotenoides, α -caroteno, β -caroteno, δ -Caroteno γ -caroteno e licopeno, respectivamente. O teor de cada carotenoide foi calculado seguindo a fórmula proposta na metodologia. Os resultados foram expressos em $\mu\text{g} \cdot 100\text{g}^{-1}$ de amostra fresca.

$$\text{Teor de carotenoides } (\mu\text{g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}) = \frac{\text{Abs} \times V \times 10^6}{E_{cm}^{1\%} \times m} \quad \text{Equação 1}$$

Em que *Abs* é a absorvância da solução no comprimento de onda específico; *V* é o volume final da solução; $E_{cm}^{1\%}$ é o coeficiente de extinção ou coeficiente de absorvidade molar de um pigmento em um determinado solvente específico, no caso o éter de petróleo, e *m* é a massa da amostra tomada para a análise em g.

2.5.4 Rendimento

O rendimento da microencapsulação (RM) foi determinado, utilizando-se a massa total de sólidos antes da microencapsulação (MSA) e a massa total de sólidos obtidos após a microencapsulação (MSD) (Equação 2).

$$\text{RM}(\%) = \frac{\text{MSD}}{\text{MSA}} \times 100 \quad \text{Equação 2}$$

Onde: MSA é massa total (g) de sólidos antes do microencapsulação e MSD é massa total de microcápsulas (g) obtida após microencapsulação.

2.5.5 Solubilidade em água

A solubilidade das microcápsulas foi determinada, segundo a metodologia modificada escrita por CANO-CHAUCA et al. (2005). Para a determinação 1 g de amostra, foi adicionado 100 ml de água destilada, obtendo-se uma solução, a qual foi centrifugada a 3000 rpm, por 5 min. e, em seguida, colocado 25 ml do sobrenadante em

placa de Petri seca e vazia, com massa conhecida e levada à estufa de circulação de ar a 105°C, por 8h. A solubilidade foi calculada pela diferença de massa e os resultados foram expressos em percentual de solubilidade.

2.5.6 Eficiência da microencapsulação

Para a quantificação dos carotenoides, presentes na superfície das micropartículas, 0,1 g de amostra e 5 ml de hexano foram misturados e levados ao agitador vórtex por 10s, seguidos de centrifugação a 3420 x g durante 10 min, coletando-se o sobrenadante. Para quantificação de carotenoides totais, seguiu a metodologia analítica proposta por Rodriguez-Amaya (2001). O resultado foi expresso em percentual de carotenoides encapsulados (%EE), com o cálculo realizado por meio da Equação 3 (Sutter; Buera; Elisalde, 2007).

$$\%EE = \frac{(CT - CS)}{(CT)} \times 100 \quad \text{Equação 3}$$

Onde: CT é o teor de carotenoides totais e CS é o teor de carotenoides da superfície.

2.5.7 Análise de cor

As medições de cor foram realizadas utilizando colorímetro Konica Minolta CR-400, no espaço de cores CIELAB da Comissão Internacional de l'Éclairage, utilizando o sistema de escala de cor L, a* e b*, croma (C*) e ângulo hue (h°).

2.5.8 Compostos Fenólicos Totais

2.5.8.1 Obtenção dos extratos

Esse procedimento foi adaptado de Rufino et al. (2010). Pesaram-se 2,5 g da amostra em tubo de centrífuga e adicionaram-se 20 ml de etanol 95%; homogeneizou-se o composto e deixou-se em agitação (em mesa agitadora) por 30 minutos ao abrigo da luz, levando-se, posteriormente, os tubos ao banho ultrassom (UltraCleaner 1600A) por 30 minutos, seguido de filtragem em papel de filtro (papel filtro qualitativo, 15 cm de

diâmetro, Unifil®), e armazenados em frascos de vidro âmbar a -18 °C até a realização das metodologias para fenólicos.

2.5.8.2 Método de Folin-ciocalteau

O teor de fenólicos totais foi determinado, utilizando o ensaio de Folin-Ciocalteau (PARADISO et al., 2018) com algumas alterações. Em resumo, em cada poço de uma microplaca de 96 poços, fundo chato, 30 µL do extrato foram misturados com 150 µL do reagente Folin-ciocalteau a 10% (v.v⁻¹). Após quatro minutos, foram adicionados mais 120 µL de uma solução de carbonato de sódio a 4% (p.v⁻¹). Essa mistura reacional foi incubada durante 2 h ao abrigo da luz e o teor de fenólicos totais foi determinado a 720 nm, utilizando leitor de microplacas (EZ Read 2000, Biochrom®). O cálculo do teor de fenólicos foi realizado a partir da equação da reta obtida da curva padrão de ácido gálico. Os resultados foram expressos em miligramas de equivalente de ácido gálico (GAE) por cem gramas de amostra fresca.

2.5.8.3 Método Fast Blue

Realizado conforme descrito por Medina (2011), com algumas adaptações, ou seja, duzentos microlitros do extrato foram misturados com 20 µL de reagente Fast Blue (0,1%, v/v) e 20 µL de hidróxido de sódio (5%, p/v), e a absorbância foi medida a 420 nm após 1,5 h de incubação no escuro. Todas as medições foram realizadas em triplicata, usando um leitor de microplacas de 96 poços (Biochrom EZ Read 2000). Os resultados foram relatados como equivalentes de ácido gálico em miligramas por 100 g de peso fresco da amostra (mg GAE/100 g FM).

2.5.9 Atividade antioxidante

2.5.9.1 Sistema β-Caroteno/ácido linoleico

A determinação da atividade antioxidante pelo método β-caroteno/ácido linoleico baseou-se na oxidação de β-caroteno (descoloração) induzida pelos produtos da degradação oxidativa do ácido linoleico (RUFINO et al., 2010). As soluções foram preparadas, misturando 270 µL de solução de sistema de β-caroteno/ácido linoleico e 20

μL de extrato em cada poço de uma microplaca de 96 poços, fundo chato. A mistura foi mantida em banho-maria a $40\text{ }^\circ\text{C}$; em seguida, foram realizadas as leituras a 470 nm em um leitor de microplacas (EZ Read 2000, Biochrom®), após o intervalo de 2 horas. Os resultados foram expressos em percentagem de inibição da oxidação.

2.5.9.2 Método de captura do radical ABTS+

A atividade antioxidante foi fundamentada na captura do radical ABTS+ por um antioxidante. Resumidamente, a solução do radical foi preparada, fazendo reagir o sal de diamônio 2,2'-azinobis (ácido 3-etilbenzotiazolino-6-sulfônico) a uma concentração de 7 mmol.L^{-1} com persulfato de potássio $2,45\text{ mmol.L}^{-1}$ à temperatura ambiente ($\pm 25^\circ\text{C}$) durante 16 horas. A solução obtida foi, então, diluída com etanol (98,2%) até absorvância de $0,70\pm 0,05$ a 734 nm . Para a determinação, as soluções foram preparadas misturando 3 ml da solução do radical ABTS+ e $30\text{ }\mu\text{L}$ de extrato em cada poço de uma microplaca de 96 poços, fundo chato. Após 6 minutos do tempo de reação ao abrigo da luz, a absorvância foi medida a 734 nm no mesmo leitor de microplacas citado anteriormente. Os resultados da atividade antioxidante foram expressos em % de proteção. A capacidade de reduzir o radical ABTS+ foi calculada utilizando a equação 4.

$$\% \text{Redução} = \frac{\text{Abs controle} - \text{Abs amostra}}{\text{Abs controle}} \times 100 \quad \text{Equação 4}$$

Onde: Abs controle = Absorvância da solução do radical ABTS+ inicial e Abs amostra = Absorvância da mistura reacional após 6 minutos de reação.

2.5.10 Espectroscopia no infravermelho médio (FTIR-ATR)

A análise de espectroscopia no infravermelho médio (FTIR-ATR) foram realizadas, empregando espectrômetro FT-IR Varian 600-IR com transformada de Fourier (FTIR), com acessório GladiATR da Pike Technologies, acoplado para medidas por reflectância total atenuada (ATR a 45° com cristal de seleneto de zinco). A faixa espectral analisada foi de 4000 a 500 cm^{-1} , resolução de 4 cm^{-1} e 56 varreduras.

2.5.11 Análise termogravimétrica (TGA/DTA)

As curvas referentes à análise termogravimétrica (TGA/DTA) foram obtidas por meio de analisador térmico (Shimadzu-DTG 60 H) nas seguintes condições: atmosfera inerte de nitrogênio com fluxo de 50 mL.min⁻¹; taxa de aquecimento de 10 °C.min⁻¹; faixa de temperatura de 25 a 500 °C. Utilizaram-se, aproximadamente, 5 mg de amostra para a realização das análises.

2.5.12 Morfologia e tamanho de partículas

As formas das microcápsulas foram observadas por microscopia eletrônica de varredura, segundo metodologia descrita por Li et al. (2019). Cada amostra do material foi pulverizada sobre fita dupla face pré-fixada em “stubs”, retirando o excesso logo após sua deposição. Em seguida, as mesmas foram secas ao ponto crítico em aparelho (Balzers CPD 050), metalizadas com ouro e visualizadas em microscópio eletrônico de varredura FEG de ultra alta resolução (UHR) (Tescan-Clara, Czech Republic) no Laboratório de Microscopia Eletrônica e Análise Ultra estrutural da Universidade Federal De Lavras (LME/UFLA). O tamanho das micropartículas foi medido a partir de imagens obtidas em microscopia eletrônica de varredura, por meio do software livre ImageJ® (licença livre), conforme descrito por Calvo e Santagapita (2016). O software foi calibrado para transformar os pixels medidos em unidade de comprimento (µm).

2.6 Estabilidade das microcápsulas

2.6.1 Estabilidade das microcápsulas em diferentes pH

O efeito do pH na estabilidade das microcápsulas foi determinado pela preparação de uma escala de pH com 13 tubos. Foi feita a diluição das amostras (1:60) nos diferentes meios constituídos por água em que o pH foi modificado oportunamente com HCl e NaOH para representar uma faixa de pH de 1 a 13.

2.6.2 Estabilidade das microcápsulas em ausência e presença de luz em diferentes temperaturas

Para a avaliação da estabilidade das microcápsulas em ausência e presença de luz em diferentes temperaturas foi adotado um delineamento inteiramente ao acaso com 3 repetições. Os dados foram submetidos a análise de variância e de regressão (para os fatores quantitativos: tempo de armazenamento e temperatura), testando-se modelos de até 2°. Os modelos foram selecionados com base na significância do teste F ($p < 0,05$) e coeficiente de determinação (R^2) igual ou superior a 60. Para o estudo, as microcápsulas foram adicionadas em potes plásticos de polietileno com tampa e acondicionados em temperatura ambiente 25 ± 5 °C (presença de luz) e temperatura de refrigeração -4 ± 2 °C (ausência de luz) e foi realizada a quantificação de carotenoides no tempo 0 e a cada dez dias até seus múltiplos completarem 30 dias (0, 10, 20 e 30).

2.7 Aplicação em matriz alimentar

2.7.1 Iogurte

Para a realização da aplicação em iogurte, 1 grama das microcápsulas foram adicionadas em 20 ml de iogurte natural, seguido de homogeneização e acondicionamento em potes plásticos estéreis. As amostras foram armazenadas sob refrigeração -4 ± 2 °C e a mudança de cor durante o armazenamento foram medidas utilizando colorímetro Konica Minolta CR-400, no espaço de cores CIELAB da Comissão Internacional de l'Éclairage, utilizando o sistema de escala de cor L, a^* e b^* , croma (C^*) e ângulo hue (h°) no tempo 0 e a cada dez dias até seus múltiplos completarem 30 dias (0, 10, 20 e 30). As análises foram realizadas em três repetições em triplicatas. Os dados foram submetidos a análise de variância e de regressão (para os fatores quantitativos: tempo de armazenamento e parâmetros colorimétricos), testando-se modelos de até 2°. Os modelos foram selecionados com base na significância do teste F ($p < 0,05$) e coeficiente de determinação (R^2) igual ou superior a 60%.

2.8 Análise Estatísticas

Os dados foram submetidos a análise de variância e as médias dos tratamentos comparadas pelo teste de Tukey a 5% ($p < 0,05$). Para auxiliar na conclusão sobre os melhores tratamentos e para identificar padrões, foi aplicada análise de componentes principais (ACP) para os dados médios de cada experimento, individualmente. Para

selecionar as componentes principais, foi utilizado o critério de Jolliffe (1972) e variância acumulada mínima de 70%. As variáveis participantes em cada componente principal foram determinadas com base em correlação ± 0.6 do autovetor com o componente em questão. Todas as análises foram realizadas com o auxílio do software R 4.0.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização do extrato

Os resultados das análises do pH, teor de carotenoides e cor do extrato das cascas de pupunha estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Médias seguidas de desvio padrão da caracterização de pH, Teor de carotenoides e parâmetros de cor L*(Luminosidade) a*(cromaticidade (+) vermelho e (-) verde), b*(cromaticidade (+) amarelo e (-) azul), H° (Ângulo Hue) e C* (Chroma) dos extratos pigmentados das cascas de pupunha (Latitude: 10° 10' 8" Sul, Longitude: 48° 19' 54", Brasil, 2022).

Determinações	
pH	5,27± 0,30
Teor de carotenoides (µg.100g⁻¹)	2313,65± 405,29
L*	60,25± 0,01
a*	8,24±0,01
b*	27,94±0,01
C*	29,13±0,005
H°	73,6±0,03

De acordo com a tabela 2 pode-se observar que o pH do extrato ficou na faixa de 5,27 sendo considerado de baixa acidez, pois segundo dados de stringer e peck (2008) extratos com pH acima de 4,5 são classificados de baixa acidez. Os carotenoides mantém uma estabilidade na faixa de pH entre 3 e 7 conforme Rodriguez-Amaya (2019).

A extração de carotenoides nos extratos das cascas de pupunha utilizando a enzima pectinase foi de 2313,65 µg.100g⁻¹. Devido essas enzimas hidrolíticas causarem a quebra da parede celular dos vegetais, facilitando a extração desses pigmentos. (SAINI, KEUM, 2018). Em seus estudos Strait, et al. (2015) atestou que a enzima pectinase

aumentou o rendimento total de carotenoides de tomate em 50%, comprovando que a extração de pigmentos assistida por enzimas é superior as extrações convencionais.

Quanto a cor, diversos fatores influenciam na coloração do extrato, tais como o grau de maturação, espécie, tempo e temperatura de extração, além da concentração de carotenoides presente no fruto (CHANG; HSIEH; JIANG, 2015). De acordo com o padrão do sistema CIE L*, a*, b* , C* e H° onde as coordenadas de cromaticidade são: L* para luminosidade, a* para intensidade da cor vermelha, b* para intensidade da cor amarela e C* saturação, observa-se que o extrato apresentou coloração amarela devido a característica de cor do fruto. O valor para o ângulo hue (H°) se aproximou de 90° (73,6). Segundo o sistema CIELAB, se o ângulo estiver mais próximo de 90° significa que mais amarelo será sua coloração.

3.2 Caracterização das microcápsulas

Os resultados encontrados na caracterização das microcápsulas produzidas do extrato rico em carotenoides das cascas de pupunha são mostrados na Tabela 3.

Tabela 3. Médias seguidas de desvio padrão da caracterização química e física das microcápsulas dos extratos pigmentados das cascas de pupunha (Latitude: 10° 10' 8" Sul, Longitude: 48° 19' 54", Brasil, 2022) utilizando goma arábica (GA 1:1), (GA 1:3) e goma arábica e maltodextrina (MD-GA 1:1).

Determinações	GA 1:1	GA 1:3	MD-GA 1:1
Umidade (%)	1,30±0,19 ^b	1,17±0,38 ^c	1,69±0,26 ^a
Atividade de água (Aw)	0,14± 0,01 ^a	0,11±0,01 ^b	0,12±0,01 ^b
Carotenoides (µg/g)	1509,04±194,62 ^b	1247,55±140,02 ^c	1701,74±103,95 ^a
Rendimento (%)	60,78±1,87 ^a	44,41±2,19 ^c	60,68± 1,31 ^b
Solubilidade (%)	92,92±2,15 ^c	98,74± 2,49 ^a	95,66±1,82 ^b
Eficiência (%)	85,57±2,93 ^b	81,03±2,01 ^c	92,50±2,65 ^a
L*	90,54±0,01 ^c	91,80±0,001 ^b	92,00±0,00 ^a
a*	-0,90 ±0,005 ^b	-1,00±0,01 ^a	-0,82±0,005 ^c
b*	18,79 ±0,01 ^a	18,44±0,01 ^b	17,99±0,01 ^c
C*	18,81±0,01 ^a	18,47±0,01 ^b	18,01± 0,01 ^c
H°	92,75±0,01 ^b	93,08±0,03 ^a	92,62 ±0,01 ^c

*Letras iguais, na linha, não apresentam diferença significativa

3.2.1 Umidade

O teor de umidade é um fator importante para o estudo do grau de perecibilidade de um produto (BURGOS-DÍAZ et al., 2020; MACHADO et al., 2022). Diante disto é importante compreender e ter controle desse parâmetro para garantir um prolongamento maior da vida útil das microcápsulas durante o armazenamento (SANTOS et al., 2021). Os resultados apresentaram diferenças significativas a ($p < 0,05$) entre os tratamentos, com valores de umidade de 1,17%, 1,30% e 1,69% para as microcápsulas produzidas com GA 1:1, GA 1:3 e MD-GA 1:1 respectivamente. Foi observado que o aumento da concentração do agente carreador na solução de alimentação, houve diminuição no teor de umidade das microcápsulas produzidas com GA 1:1 (1,17%), isso pode ser devido esse aumento elevar o acúmulo de sólidos disponíveis facilitando ligações com a água. Os teores de umidade são influenciados pelas propriedades e concentração dos agentes encapsulantes e por parâmetros operacionais empregados no processo de microencapsulação (AKBARBAGLU et al., 2021; KANG et al., 2019). Em geral os resultados encontrados nesse estudo são considerados satisfatórios, uma vez que em processos de secagem por atomização é preferível que as microcápsulas apresentem teores de umidade abaixo de 5% para garantir maior estabilidade e vida útil do produto (GALLARDO et al., 2013). Resultados semelhantes foram encontrados por Mar et al. (2020) que microencapsularam compostos bioativos de sucos de *Clidemia japorensis* e *Clidemia hirta* encontrando valores de umidade variando de 1,07% a 6,03%.

3.2.2 Atividade de água (Aw)

A atividade de água (Aw) é um parâmetro importante para estabilidade química e microbiológica dos alimentos, pois refere-se à medida em que a água está ligada ao alimento e indisponível para reações químicas e microbiológicas (JANISZEWSKA-TURAK et al., 2017). Os valores de Aw das microcápsulas variaram de 0,11 a 0,14 sendo que as microcápsulas produzidas com GA1:3 e MD-GA 1:1 não apresentaram diferenças significativas a ($p < 0,05$). Segundo Tonon et al. (2008), Atividade de água entre 0,1 e 0,4 garante maior estabilidade física e química de produtos em pó, e menor propensão de aglomeração entre as partículas. No entanto os valores de atividade de água para todas microcápsulas produzidas estão dentro do limite recomendado. Janiszewska-Turak et al. (2017), investigando o efeito do tipo de carreador nas propriedades físicas e estruturais

de microcápsulas de suco de cenoura puro utilizando maltodextrina (MD) goma arábica (GA), e proteína isolada do soro de leite (WPI) encontraram valores de A_w variando de 0,22 a 0,25, resultados próximos ao encontrado no presente estudo.

3.2.3 Teor de carotenoides

Os carotenoides são um grupo de pigmentos terpenoides de coloração vermelho-amarelo-laranja encontrado na sua grande maioria em plantas e hortaliças (CARMONA et al., 2018). Esse composto desempenha papel importante em funções e ações metabólicas, além de ser são importantes precursores de vitamina A (FERREIRA et al., 2021). A tabela 3 mostra os valores do total de carotenoides retido nas microcápsulas para os diferentes tratamentos. Os valores de carotenoides totais diferiram entre si ao nível de significância de ($p < 0,05$). Para as microcápsulas produzidas com GA 1:1, GA 1:3 e MD-GA 1:1 encontrou-se valores de 1509,04 $\mu\text{g/g}$, 1247,55 $\mu\text{g/g}$ e 1701,74 $\mu\text{g/g}$ respectivamente. Os diferentes valores podem estar associados a perdas durante o processo de secagem e as propriedades físico-químicas dos agentes encapsulantes (JANISZEWSKA-TURAK et al., 2017). Foi observado que a combinação de maltodextrina e goma arábica resultou em maior retenção dos carotenoides dentro das microcápsulas. A interação de goma arábica e maltodextrina gera uma boa capacidade de formação de filme, a união dos dois agentes encapsulante foram capazes de formar uma película em torno do composto encapsulado evitando sua perda durante o processo. Portanto mais eficiente do que o uso isolado de goma arábica em diferentes concentrações. Ferreira et al. (2021) produziram microcápsulas de rica em carotenoides utilizando maltodextrina e goma arábica do extrato oleoso dos coprodutos da amêndoa de tucumã e encontraram teor de carotenoides de totais de 2559,0 mg/g , certificando que a combinação dos agentes encapsulante resultam boa proteção desses compostos.

3.2.4 Rendimento

O rendimento do processo de microencapsulação pode ser definido como a fração entre massa total de sólidos antes da microencapsulação e a massa total de sólidos recuperado após a microencapsulação (TANG et al., 2022). Os valores encontrados nesse estudo, variaram de 44,41% a 60,78%, sendo que o menor rendimento foi obtido para microcápsulas produzidas com GA 1:3 (44,41%). Altas concentrações dos agentes

encapsulantes na solução de alimentação pode levar a aderência das microcápsulas nas paredes da câmara de secagem, gerando perdas durante o processo e conseqüentemente um menor rendimento o que pode ter corroborado para o baixo rendimento desse tratamento (RUTZ et al., 2016; SANTANA et al., 2016). O rendimento da microencapsulação pode ser influenciado por vários fatores como, condições de secagem, vazão de alimentação e ar comprimido e tipo e concentração dos agentes carreadores (DING et al., 2020; HUANG et al., 2017). Eitzbach et al. (2020) microencapsularam suco de amora dourada (*Physalis peruviana L.*) rico em carotenoides utilizando maltodextrina, amido modificado, inulina, alginato e goma arábica como material de parede e encontraram rendimento variando de 51,99% a 67,16%, valores semelhantes ao presente estudo.

3.2.5 Solubilidade em água

A solubilidade é um parâmetro importante para o estudo de compostos microencapsulados, e tem por definição a medida da capacidade de uma substância em dissolver-se em meio líquido. Os valores de solubilidade para as microcápsulas produzidas com GA 1:1, GA1:3 e MD-GA 1:1 apresentaram diferença significativas entre si ao nível de significância de ($p < 0,05$). As microcápsulas apresentaram valores de solubilidade variando de 92,92% a 98,74%, sendo a maior solubilidade encontrada para as microcápsulas produzidas com a goma arábica em maiores concentrações (98,74%). Elevados valores de solubilidade em amostras secas por pulverização já eram esperados pois é uma característica comum de polímeros formados a partir de carboidratos altamente solúvel em água o que favorece a solubilidade das moléculas (SILVA et al., 2018). Cano-Chauca et al. (2005), produziram pós dos sucos de manga por spray drying utilizando os carreadores maltodextrina, goma arábica, amido ceroso e atingiram valores de solubilidade em torno de 72%, 71% e 31% para os carreadores maltodextrina, goma arábica e amido ceroso, respectivamente. Souza et al. (2015) produziram pós do extrato a partir de subprodutos da vinificação da uva Bordo (*Vitis labrusca*) utilizando maltodextrina, encontraram solubilidade de 91,94% a 97,49%, resultados similares a esse estudo.

3.2.6 Eficiência da microencapsulação

A eficiência da microencapsulação refere-se a razão entre a quantidade do composto ativo presente na superfície e quantidade total do ativo e pode ser influenciada por inúmeros fatores, como o material encapsulante, relação núcleo: material de revestimento, teor de sólidos na solução de alimentação e temperatura do ar de secagem (KANG et al., 2019; SANTOS et al., 2021; TONON et al., 2008). Segundo a tabela 3, houve diferença significativa ($p < 0,05$) para os valores de eficiência dos tratamentos. Pode-se observar que as microcápsulas formadas com GA 1:1 e GA 1:3 apresentaram eficiência menores de 85,57% e 81,03% respectivamente comparada com a combinação de goma arábica e maltodextrina MD-GA 1:1 (92,50%). A alta eficiência de microencapsulação dá-se pela estrutura da goma arábica, devido ser um polímero altamente ramificado com presença de proteínas ligadas covalentemente a cadeia de carboidratos (GARCÍA et al., 2018; TUPUNA et al., 2018). Esta característica estrutural confere goma arábica uma excelente capacidade de filmogênica o que favorece a eficiência de microencapsulação dos compostos (TONON et al., 2008). No entanto a combinação de polímeros é interessante pois melhora a eficiência, uma vez que nem sempre um único agente encapsulante possui todas propriedades ideais desejadas (TOLUN; ALTINTAS; ARTIK, 2016). Álvarez-Henao et al. (2018), microencapsularam luteína por spray-drying utilizando formulações com goma arábica (100%) e goma arábica:maltodextrina:amido modificado alcançaram eficiência de encapsulamento de 91,94% e 65,72 %, respectivamente. Kang et al.(2019) microencapsulou clorofilas instáveis usando diferentes misturas de goma arábica (GA) e maltodextrina (MD) e obtiveram eficiência variando de 62,32% a 77,19%. Ribeiro et al. (2020) microencapsulou vitamina A (retinol) utilizando a técnica de spray-drying e goma arábica, amido e maltodextrina como agentes encapsulantes e apresentaram valores de eficiência de 88 a 98% sendo o valor máximo correspondente à combinação dos materiais de parede confirmando que a combinação de materiais de parede pode conduzir partículas com melhores eficiências.

3.2.7 Cor

Os valores dos parâmetros (L^* , a^* , b^* , C^* e H°) encontrados para as cores das microcápsulas encontram-se na tabela 3. Visualmente as microcápsulas produzidas em cada ensaio se apresentaram na forma de um pó fino e solto com coloração clara, devido a coloração do extrato e do agente carreador (Fig. 1).



Fig. 1: Aspecto visual das microcápsulas dos extratos das cascas de pupunha (Latitude: 10° 10' 8" Sul, Longitude: 48° 19' 54", Brasil, 2022) produzidas por secagem por spray-dryer utilizando goma arábica (GA 1:1), (GA 1:3) e goma arábica e maltodextrina (MD-GA 1:1).

De acordo com a tabela 3, em relação ao índice L^* , parâmetro que mede a brancura e a luminosidade de 0 (preto) a 100 (branco) dos tratamentos, verificou-se que os valores variaram de 90,54 a 92,00. Para todas as microcápsulas os valores encontrados tenderam para a coloração mais clara, devido a coloração do material de parede.

Em relação ao índice a^* que varia do verde (-) ao vermelho (+) os resultados obtidos variaram de -0,82 a -1,0. No geral todos os valores foram negativos para o parâmetro a^* , indicado que as microcápsulas produzidas direcionaram para a cor verde. Os resultados obtidos para o parâmetro b^* que varia do azul (-) para amarelo (+) também estão apresentados na tabela 2. Os valores para este parâmetro variaram de 17,99 a 18,44 ou seja, a coloração dos pós tendeu para a coloração amarela, uma indicação clara de extração bem sucedida de carotenoides das cascas de pupunha.

Em relação aos valores obtidos para o C^* (cromaticidade) transparência ou opacidade do material, verificou que os valores variaram de 18,01 a 18,81. Os valores ficaram próximos aos obtidos para o parâmetro b^* , devido os valores baixos de a^* não ter influenciado no cálculo para obtenção da saturação. Para o ângulo Hue (h°) pureza ou tonalidade, foram encontrados valores de 92,75 (GA 1:1), 93,08 (GA 1:3) e 92,62 (MD-GA 1:1). Segundo o sistema CIELAB, se o ângulo estiver entre 0° e 90° , quanto mais próximo ao 0° mais vermelho, e quanto mais próximo ao 90° mais amarelo e quanto mais próximo a 180° mais verde. Os resultados ficaram próximos a 90° e indicaram que as microcápsulas do extrato de pupunha tenderam para tonalidade amareladas, apontando uma boa concentração de carotenoides o que é de interesse para a produção de corantes naturais.

3.2.8 Atividade Antioxidante

Os resultados encontrados na quantificação de compostos fenólicos e atividade antioxidante das microcápsulas produzidas do extrato rico em carotenoides das cascas de pupunha são mostrados na Tabela 4.

Tabela 4. Médias seguidas de desvio padrão das análises da atividade antioxidante e teor de compostos fenólicos das microcápsulas produzidas dos extratos pigmentados das cascas de pupunha (Latitude: 10° 10' 8" Sul, Longitude: 48° 19' 54", Brasil, 2022) utilizando goma arábica (GA 1:1), (GA 1:3) e goma arábica e maltodextrina (MD-GA 1:1).

Determinações	GA 1:1	GA 1:3	MD-GA 1:1
ABTS ⁺ (% de proteção)	12,00±1,02 ^b	15,99±0,59 ^a	11,91±1,49 ^c
β-Caroteno/Ácido Linoleico (% de proteção)	51,31±3,32 ^a	43,84±3,97 ^c	50,75±2,05 ^b
Folin-Ciocalteau (mg EAG 100 g ⁻¹)	3122,13±13,6 ^b	2868,61±143,04 ^c	3160,07 ±233,34 ^a
Fast Blue (mg EAG 100 g ⁻¹)	1185,64±71,48 ^b	1158,75±114,48 ^c	1536,07±57,15 ^a

*Letras iguais, na linha, não apresentam diferença significativa

Na determinação da atividade antioxidante pelo método ABTS⁺ (Tabela 4) é possível observar que houve diferença estatística significativa ($p < 0,05$), para as microcápsulas produzidas. Sendo observado uma maior porcentagem de proteção para as microcápsulas formadas com GA 1:3 (15,99%). O ABTS⁺ é um radical cátion cromóforo azul-esverdeado quimicamente estável a partir da oxidação com persulfato de potássio que se reduz na presença de antioxidante (SILVA et al., 2018). A interpretação do resultado obtido é simples, ou seja, quanto maior o valor obtido (% de proteção), maior será a atividade antioxidante da amostra. No entanto pode-se observar que as microcápsulas produzidas apresentaram baixa atividade antioxidante após o processo de microencapsulação.

Os dados referentes a porcentagem de proteção pelo método do β -Caroteno/Ácido Linoleico evidenciaram que as microcápsulas diferiram entre si a ($p < 0,05$). As microcápsulas produzidas utilizando goma arábica GA 1:1 (51,31%) e MD-GA 1:1 (50,75%) obtiveram maiores porcentagem de inibição do que as microcápsulas produzidas por GA 1:1 (43,84%). Os resultados indicaram interferência dos agentes encapsulante nos compostos antioxidante que protegem o β -Caroteno da degradação oxidativa do ácido linoleico. O método está fundamentado em medidas da descoloração (oxidação) do β -caroteno induzida pelos produtos de degradação oxidativa do ácido linoleico. A atividade antioxidante deste método pode ser classificada como alta ($> 70\%$ de inibição da oxidação), intermediária (entre 40 e 70%) e baixa ($< 40\%$) (RUFINO et al., 2010). Ferreira et al. (2021) microencapsulou extratos de coproduto de tucumã e obteve avaliação da atividade antioxidante por β -caroteno/ácido linoleico de 43,3% resultado semelhante ao presente estudo.

3.2.9 Compostos fenólicos

Compostos fenólicos são substâncias distribuídas na natureza e fazem parte de uma variedade de vegetais e frutas que possuem números efeitos biológicos, tais como o combate de radicais livres, modificação da atividade de algumas enzimas além de atuar como agente antibiótico, antialérgico e anti-inflamatório (ROSSETTO et al., 2020). Os valores obtidos na determinação do teor de fenólicos totais das microcápsulas formadas a partir do extrato de pupunha (tabela 4), apresentaram diferenças significativas a ($p < 0,05$), com valores variando de 2868,61 a 3160,07 mg EAG. 100 g⁻¹ quantificação de Folin-Ciocalteu e de 1158,75 a 1536,07 mg EAG. 100 g⁻¹ para o método do Fast Blue. Observa-se que houve uma boa retenção desses compostos nas microcápsulas.

A detecção de compostos fenólicos é uma técnica que consiste em detectar fenóis a partir da interação de oxirredução e possivelmente quelante metálicos (BARROS et al., 2020). O método mais usado para a determinação de compostos fenólicos é o método de Folin-Ciocalteu que fundamenta-se em uma interação de oxidação/redução. Contudo, este método pode levar a resultados inexatos, pois existe a possibilidade de interferentes de outros compostos não fenólicos, tais como o ácido ascórbico, proteínas e açúcares redutores os quais também podem ser detectados, levando a erros positivos em sua determinação (MEDINA, 2011). Já a técnica de quantificação de compostos fenólicos conhecida como Fast Blue é um método que baseia-se na reação do sal de diazônio, onde

o grupo diazônio (- +N=N-), reage com os compostos fenólicos, resultando na formação de complexos tipo “azo”, sob condições alcalinas. Deste modo à eliminação de possíveis interferentes não fenólicos enfrentados pelo método Folin Ciocalteau, uma vez que o mecanismo de reação é diferente (PICO et al., 2020). Partindo dessa hipótese pode-se explicar a razão dos valores superiores para o método de Folin-Ciocalteau em relação aos resultados obtidos pelo método Fast Blue. Nascimento Filho et al. (2022) investigou o efeito de cinco diferentes misturas contendo goma xantana (XG), maltodextrina (MD) e goma arábica (GA) na microencapsulação por *spray drying* de suco misto de acerola e ciriguela a fim de preservar total compostos fenólicos (PC) e encontrou valores de compostos fenólicos variando de 1896 a 2078 mg EAG. 100 g⁻¹ utilizando a quantificação pelo método de de Folin-Ciocalteu.

3.2.10 FTIR-ATR

Os principais picos observados para maltodextrina (MD) e goma arábica (GA) foram em 3289 cm⁻¹, (estiramento O-H), 2886 cm⁻¹ (alongamento de C-H). Foi observado um pico 2354 cm⁻¹ em GA, (bandas relativas a CO₂ e CO), certamente absorvidos do ambiente. Foram observados picos em 1641 cm⁻¹, (alongamento assimétrico e simétrico de C=O), 1349 cm⁻¹ (estiramento de CH₂). E picos na faixa de 1200 cm⁻¹ a 1002 cm⁻¹ (associados as vibrações de estiramento de ligações C-O-H, C-O-C e C-C) (CARRA et al., 2022; KANG et al., 2019; TANG et al., 2022).

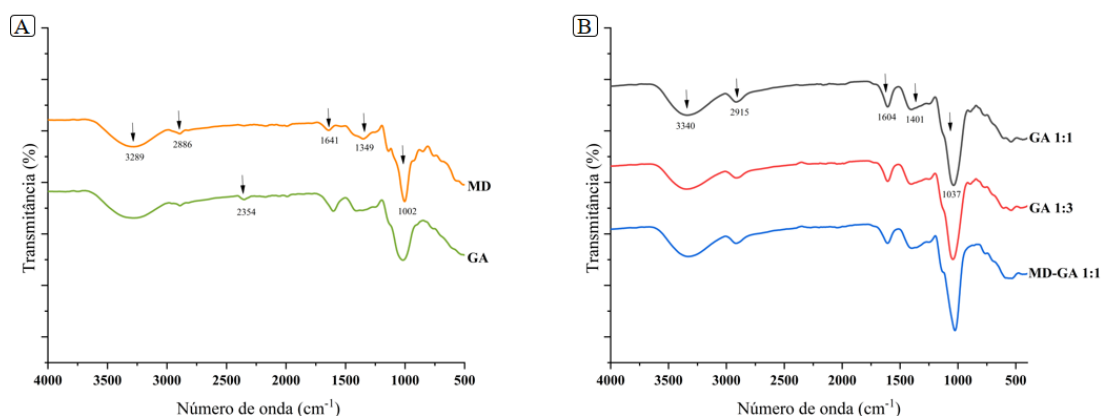


Fig. 2. Espectros de FTIR dos (A) materiais de parede maltodextrina (MD) e goma arábica (GA) e das (B) das microcápsulas produzidas dos extratos pigmentados das cascas de pupunha (Latitude: 10° 10' 8" Sul, Longitude: 48° 19' 54", Brasil, 2022) utilizando goma arábica (GA 1:1), (GA 1:3) e goma arábica e maltodextrina (MD-GA 1:1).

Para todas as microcápsulas foram observados que os picos de hidroxila apresentaram bandas em torno de 3340 cm^{-1} (alongamento de OH), correspondente a água residual, proteínas e compostos fenólicos. Foram observados picos em torno de 2915 cm^{-1} , associados com deformação axial de grupos funcionais com ligações (C-H) correspondente a proteínas, lipídeos, carboidratos e ácidos nucleicos. As microcápsulas produzidas com GA 1:1, GA 1:3 MD-GA 1:1 não apresentaram a formação do pico 2354 cm^{-1} encontradas no espectro de GA, bandas relativas respectivamente ao (CO_2) e (CO), provavelmente devido a sobreposição do (estiramento de C-H) e (flexão de O-H). Os picos observados em 1604 cm^{-1} corresponde ao estiramento de (C=O) presente nos aldeídos e também podem estar atribuídos com estruturas (C-C) em anéis aromáticos de compostos fenólicos, 1401 cm^{-1} estão associados a (deformação angular de (-CH₃)). E picos entre 1000 cm^{-1} e 900 cm^{-1} são atribuídos ao (estiramento das ligações de C-O, C-C) e estiramento e dobras das ligações de C-O-H, =o que pode indicar presença de um anel pirano comuns em flavonoides. Os carotenoides evidenciam uma banda característica em torno de 968 cm^{-1} , no entanto as bandas referentes aos agentes encapsulantes são predominantes, ocultando as bandas correspondentes a esses compostos (BALTACIOĞLU et al., 2021; CARRA et al., 2022; GUO et al., 2022; KANG et al., 2019; NOGALES-BUENO et al., 2017; QUIJANO-ORTEGA et al., 2020; SANTIWORAKUN et al., 2022; TANG et al., 2022; URSACHE et al., 2018).

3.2.11 Análise termogravimétrica (TGA/DTG)

As análises termogravimétricas TGA é um método capaz de avaliar a decomposição e a estabilidade térmica dos polímeros (PAINI et al., 2015). A fig.5 fornece dados referentes ao comportamento térmico durante o aumento gradativo de temperatura dos materiais de parede maltodextrina (MD) e goma arábica (GA) e das microcápsulas produzidas dos extratos das cascas de pupunha utilizando goma arábica (GA 1:1), (GA 1:3) e goma arábica e maltodextrina (MD-GA 1:1).

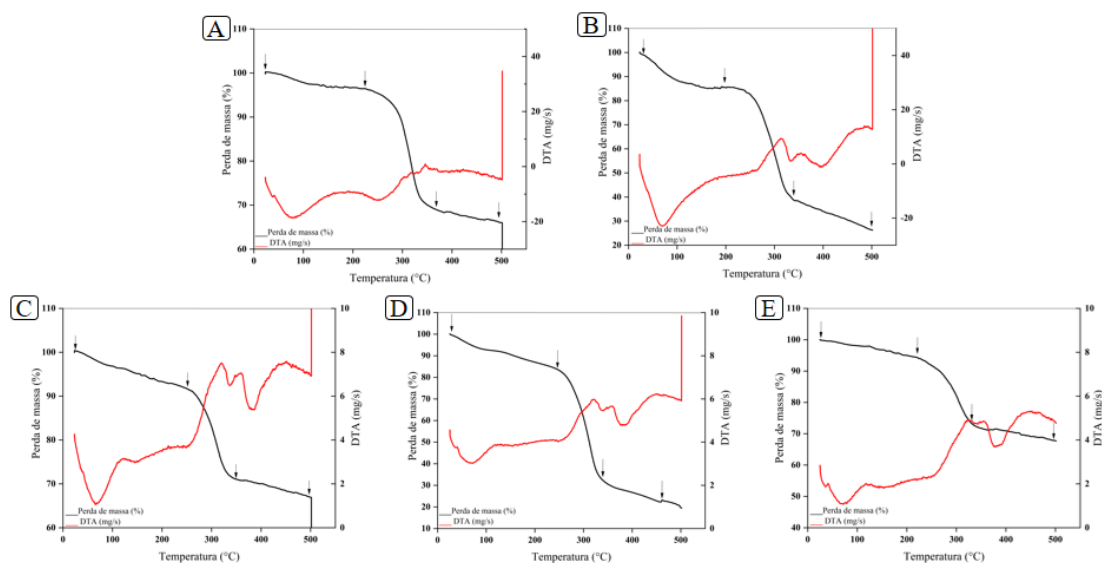


Fig. 3. Curvas termogravimétricas obtidas através da análise termogravimétrica (TGA/DTA) da), Maltodextrina (A), Goma arábica (B) e micropartículas produzidas dos extratos pigmentados das cascas de pupuha (Latitude: 10° 10' 8" Sul, Longitude: 48° 19' 54", Brasil, 2022) utilizando goma arábica GA 1:1 (C), GA 1:3 (D) e goma arábica e maltodextrina MD-GA 1:1 (E).

A primeira perda de massa ocorrida para os materiais de parede (fig.3 A) maltodextrina (30 °C a 220 °C) e (fig.3 B) goma arábica (30 °C a 200 °C) e para as microcápsulas produzidas com (fig.3 C) GA 1:1 (30°C a 230°C), (fig.3 D) GA 1:3 (30°C a 230°C) e (fig.3 E) MD-GA 1:1 (30°C a 210°C) este evento térmico inicial é atribuído ao processo de desidratação térmica da amostra durante o processo de aquecimento (TANG et al., 2022). Acima dessa faixa de temperatura, o processo de decomposição ocorreu em duas etapas, de acordo com cada amostra. Entre 200 °C a 380 °C observou-se uma grande perda de massa para goma arábica, devido a desidratação e a decomposição inicial de moléculas de carboidrato, tais resultados podem ser atribuídos à decomposição das cadeias de baixo peso molecular da goma arábica, visto que a perda de massa intensa não foi observada nas amostras de maltodextrina pura. Já para as microcápsulas produzidas com GA 1:1, G1:3 e MD-GA 1:1 a perda de massa é devido aos processos de decomposição inicial de moléculas de carboidratos e também à desidratação (PAINI et al., 2015).

A terceira perda de massa observada foi em torno de 380 °C a 500 °C onde ocorre a degradação inicial de polissacarídeos seguida volatilização e formação de compostos carbonáceos. As temperaturas que resultaram em maior taxa de perda de massa, podem

ser consideradas temperaturas degradantes de componentes do material (FRITZEN-FREIRE et al., 2012; MACÊDO, 1997).

3.2.12 Morfologia e tamanho de partículas

Conforme mostrado na Fig. 4, a morfologia externa das microcápsulas utilizando GA 1:1 (A, B e C), GA 1:3 (D, E e F) e MD-GA 1:1 (G, H e I) apresentaram partículas com formato esféricos sem fissuras rachaduras ou rompimento, o que é positivo, uma vez que essa característica representa menor permeabilidade das cápsulas a gases, e aumenta a proteção do material ativo após o processo de atomização (SIMON-BROWN et al., 2016). Outra característica importante das microcápsulas é a formação de pequenos aglomerados, (partículas menores posicionadas na superfície de partículas maiores) e tamanhos variados, o que é uma característica típica de partículas produzidas por *spray drying* (SANTIWORAKUN et al., 2022). Algumas partículas apresentaram superfície côncava colapsada (rugas), essa característica é indesejável uma vez que interfere nas condições de escoamento do material. Além disso, as microcápsulas com superfície rugosa apresentam maior superfície de contato que as partículas de superfície lisa e, portanto, pode torná-las mais susceptíveis a reações de degradação como oxidação (ROSENBERG; KOPELMAN; TALMON, 1990).

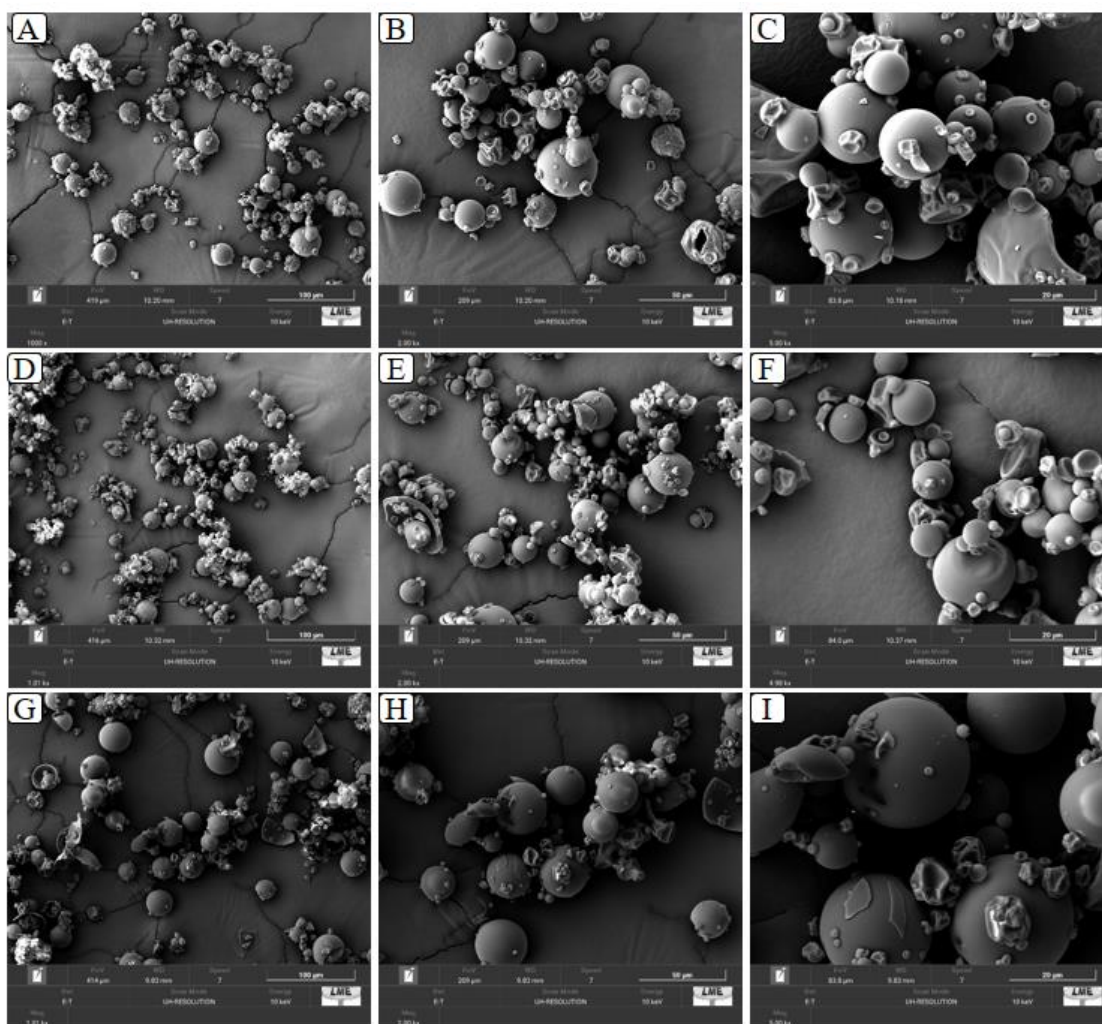


Fig. 4. Micrografias de microscopia eletrônica de varredura representativas de micropartículas obtidas da secagem por pulverização dos extratos pigmentados das cascas de pupunha (Latitude: 10° 10' 8" Sul, Longitude: 48° 19' 54", Brasil, 2022) com goma arábica e maltoxdetrina. Micropartículas produzidas com GA 1:1 (A. 1000x, B. 2000x e C. 5000x), GA 1:3 (D. 1000x, E. 2000x e F. 5000x) e 1MD:2GA 1:1 (G. 1000x, H. 2000x e I. 5000x).

O tamanho das partículas está relacionado com as propriedades de armazenamento, retenção de bioativos, manuseio e transporte e pode ser influenciado por alguns fatores como tipo e concentração do material de parede e processos operacionais empregados no processo de secagem por atomização (KUROZAWA; PARK; HUBINGER, 2009). Os tamanhos dos diâmetros das microcápsulas estão apresentados na Fig.5.

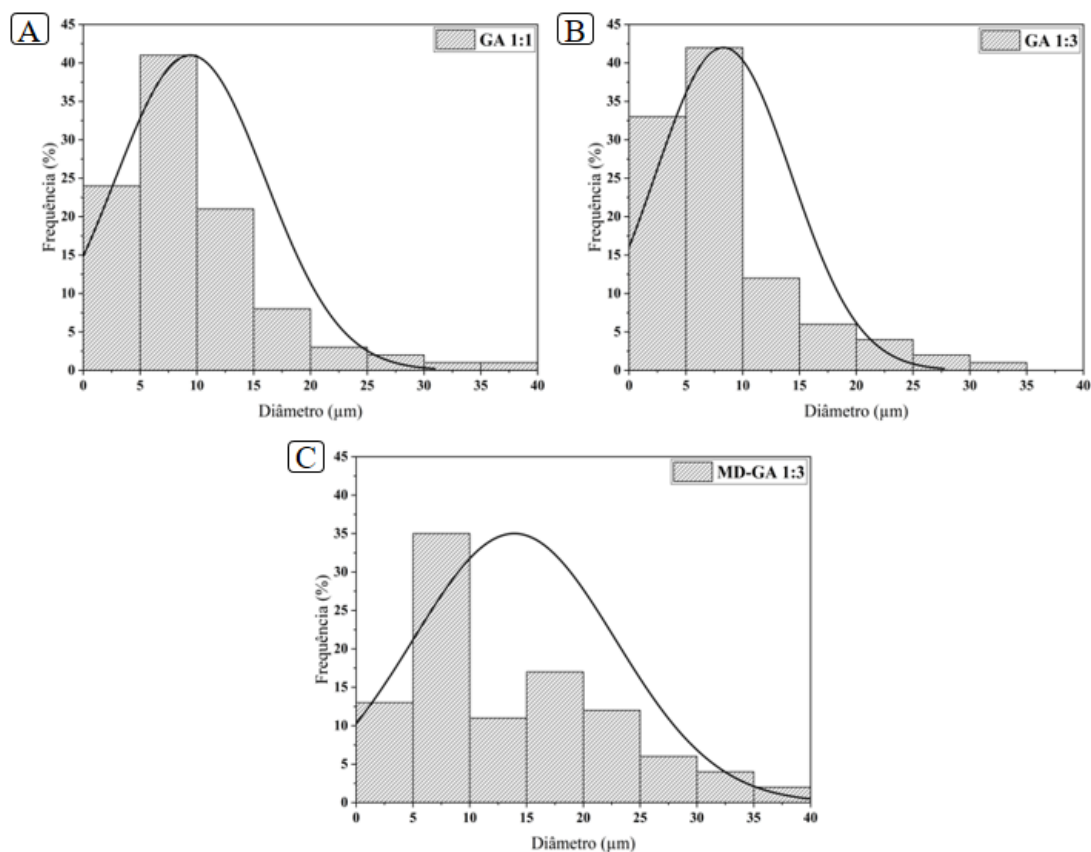


Fig.5. Distribuição dos diâmetros das partículas dos extratos pigmentados das cascas de pupunha (Latitude: 10° 10' 8" Sul, Longitude: 48° 19' 54", Brasil, 2022) produzidas com goma arábica A (GA 1:1), B (GA 1:3) e goma arábica e maltodextrina C (MD-GA 1:1).

O diâmetro médio das partículas das microcápsulas utilizando goma arábica e maltodextrina/carotenoides para as partículas formadas com GA 1:1, GA 1:3 e MD-GA 1:1 foram de 9,17 µm, 8,30 µm e 13,92 µm respectivamente. Pode-se observar que para todas microcápsulas produzidas GA 1:1 (Fig.5 A), GA 1:3 (Fig.5 B) e MD-GA 1:1 (Fig.5 C) apresentaram a maior frequência entre 5-10 µm e diâmetros de partículas variando de 2,08 a 34,97 µm e 2,31 e 30,60 µm e 2,39 a 38,46 µm respectivamente. O tratamento MD-GA 1:1 apresentou partículas com maiores diâmetros. Segundo Tonon et al. (2008), a presença de partículas maiores pode ser influenciado pelo início do processo de aglomeração, onde a formação de ligações ou pontes irreversíveis levam à formação de partículas de tamanho maior. Nesse estudo os tamanhos das partículas apresentam-se de forma variada, pois existem partículas grandes e pequenas, o que pode conferir comportamento diferente dentro de uma solução. Em geral houve maiores quantidades de microcápsulas com diâmetros de partículas menores que 15 µm, em torno de 75%. A vantagem de se obter microcápsulas com diâmetros menores é a sua melhor solubilidade

em diferentes matrizes alimentares, visto que reduz a tensão superficial entre as microcápsulas e os alimentos. Deve-se evitar um tamanho maiores, para não afetar as propriedades sensoriais dos o produto final (KANG et al., 2019; RIBEIRO et al., 2020). Janiszewska (2014), microencapsulou pigmentos de beterraba utilizando maltodextrina e goma arábica e encontrou diâmetro de partículas na faixa de 8,3 μm a 12,8 μm . Álvarez-Henao et al. (2018), microencapsularam luteína por spray-drying utilizando formulações com goma arábica (100%) e goma arábica: maltodextrina: amido modificado e encontram tamanho de partículas variando de 1,64 μm a 14,20 μm resultados semelhantes aos obtidos no presente estudo.

3.2.13 PCA

As técnicas analíticas multivariadas exploratórias (Análise de Componentes Principais - PCA) foi aplicada aos dados descritos na Tabela 3 e 4 visando agrupar as microcápsulas (GA 1:1, GA 1:3 e MD-GA 1:1) de acordo com suas semelhanças de forma mais completa e intuitiva, além de facilitar a interpretação dos resultados gerados. Sendo assim, na Figura 6 encontra-se o mapa multidimensional obtido na Análise de Componentes Principais – PCA, onde cada microcápsula desenvolvida está apresentada por um ponto e os *loadings* encontrados das variáveis, assim como a porcentagem de variação de dados explicada e a variação acumulada para os componentes principais extraídos estão descritos na Tabela 5. Os dois primeiros componentes (PC1 e PC2) explicam 100% da variação de dados, onde o PC1 e o PC2 representam 66,28% e 33,72% da variação total, respectivamente (Figura 6 e Tabela 4). O alto percentual de explicação demonstra a qualidade da aproximação em relação à transformação do conjunto de dados originais para as variáveis componentes principais.

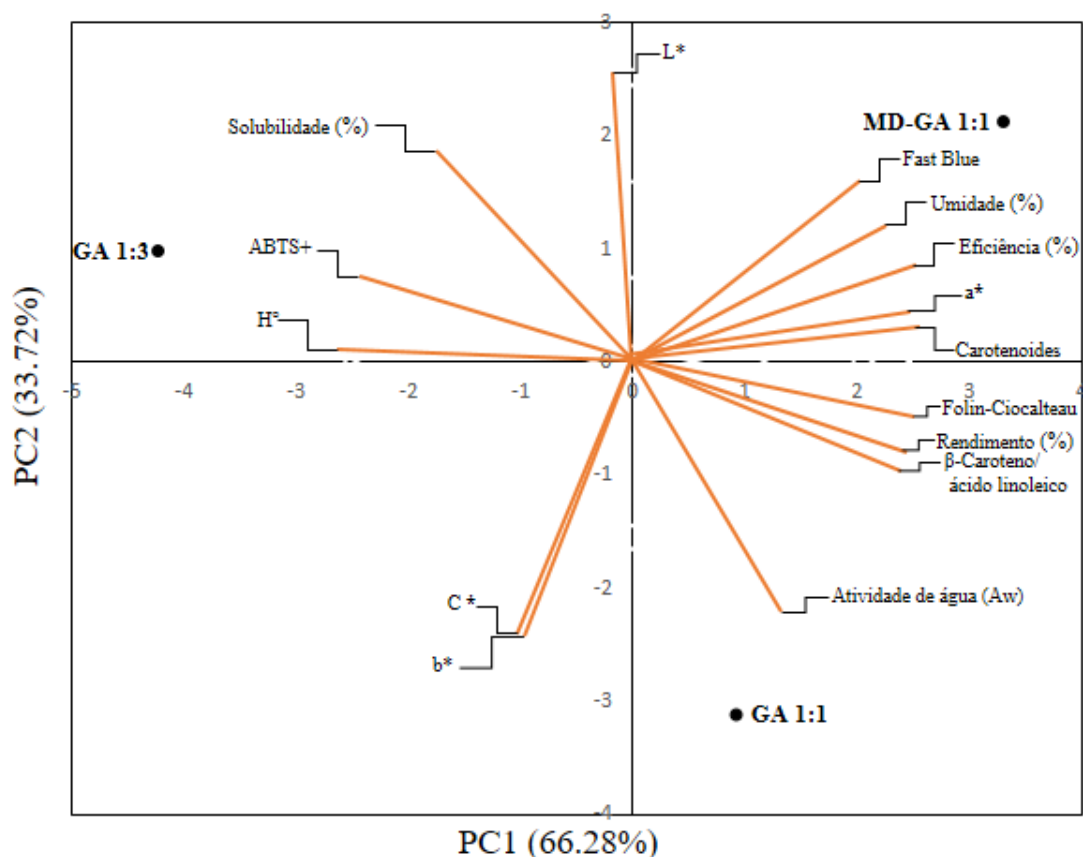


Fig. 6. Análises de componentes Principais (PCA) dos materiais de parede maltodextrina (MD) e goma arábica (GA) e das microcápsulas produzidas dos extratos pigmentados das cascas de pupunha (Latitude: 10° 10' 8" Sul, Longitude: 48° 19' 54", Brasil, 2022) utilizando goma arábica (GA 1:1), (GA 1:3) e goma arábica e maltodextrina (MD-GA 1:1).

Através da PCA foi possível reduzir com menor perda de informação possível de 15 variáveis originais para apenas 2, permitindo a união das microcápsulas por meio da dispersão gráfica no espaço multidimensional, o que não é possível a partir das variáveis originais sem a eliminação de informações significativas.

Tabela 5. Loadings das variáveis juntamente com a variância e a variância acumulada para cada componente principal da PCA das microcápsulas produzidas dos extratos pigmentados das cascas de pupunha (Latitude: 10° 10' 8" Sul, Longitude: 48° 19' 54", Brasil, 2022) utilizando goma arábica (GA 1:1), (GA 1:3) e goma arábica e maltodextrina (MD-GA 1:1).

Variáveis	Loadings	
	PC1	PC2

Umidade	0.889	0.469
Atividade de água	0.515	-0.857
Carotenoides	0.992	0.120
Rendimento	0.948	-0.315
Solubilidade	-0.692	0.721
Eficiência	0.946	0.321
L*	-0.080	0.996
a*	0.989	0.143
b*	-0.378	-0.925
C*	-0.391	-0.920
H°	0.999	0.038
ABTS ⁺	0.956	0.292
β-Caroteno	0.927	-0.373
Folin-Ciocalteu	0.980	-0.194
Fast Blue	0.785	0.618
Variância (%)	66.28	33.72
Variância acumulada (%)	66.27	100.00

As variáveis responsáveis pelas separações no PC1 incluem a Umidade, Carotenoides, Rendimento, Eficiência, a*, H°, ABTS⁺, β-Caroteno, Folin-Ciocalteu e Fast blue com *loadings* de 0.889, 0.992, 0.948, 0.946, 0.989, 0.999, 0.956, 0.927, 0.980, 0.785 respectivamente. Esse componente teve correlação positiva e significativa ($p < 0,05$) com Carotenoides, Rendimento, Eficiência, a*, H°, ABTS⁺, β-Caroteno, Folin-Ciocalteu indicando que quanto maior o escore de CP1, maior será os valores para essas variáveis.

Já para o PC2 somente as variáveis Atividade de água (A_w), Solubilidade, L*, b*, C* e Fast Blue com *loadings* igual a -0.857, 0,721, 0.996, -0.925, -0.920, respectivamente foram a responsáveis pelas separações ocorridas nesse componente. O PC2 teve correlação positiva ($p < 0,05$) com L* demonstrando que essas determinações não foram suficientes para promover a distinção das amostras. Além disso, pode-se inferir que há uma tendência das amostras se aproximarem e formar três grupos de acordo com suas similaridades, os quais são i) GA 1:1, ii) GA 1:3 e iii) MD-GA 1:1. Dessa forma, é possível concluir a microencapsulação com diferentes materiais de parede promoveu a produção de microcápsulas semelhantes entre si GA 1:1 e GA 1:3 com diferenças quando

comparadas com as microcápsulas produzidas com MD-GA 1:1, principalmente em relação as suas atividades bioativas.

3.3 Estabilidade das microcápsulas

3.3.1 Estabilidade das microcápsulas em diferentes pH

Micropartículas ricas em carotenoides são amplamente utilizadas como pigmentos naturais na aplicação de alimentos e cosméticos. Esses compostos estão facilmente degradados quando há alteração em sua carga promovendo mudança em sua coloração. O processo de microencapsulação por spray-drier pode influenciar nos atributos de cor desses pigmentos, podendo haver possível interação com os materiais de paredes adicionados (Goma arábica e Maltodextrina) além do tratamento térmico que as moléculas sofrem após o processo de atomização. Perante a exposto as microcápsulas foram suspensas e tamponada em diferentes pH, de 1 a 13 (fig.7), a fim de evidenciar possíveis alterações na coloração.

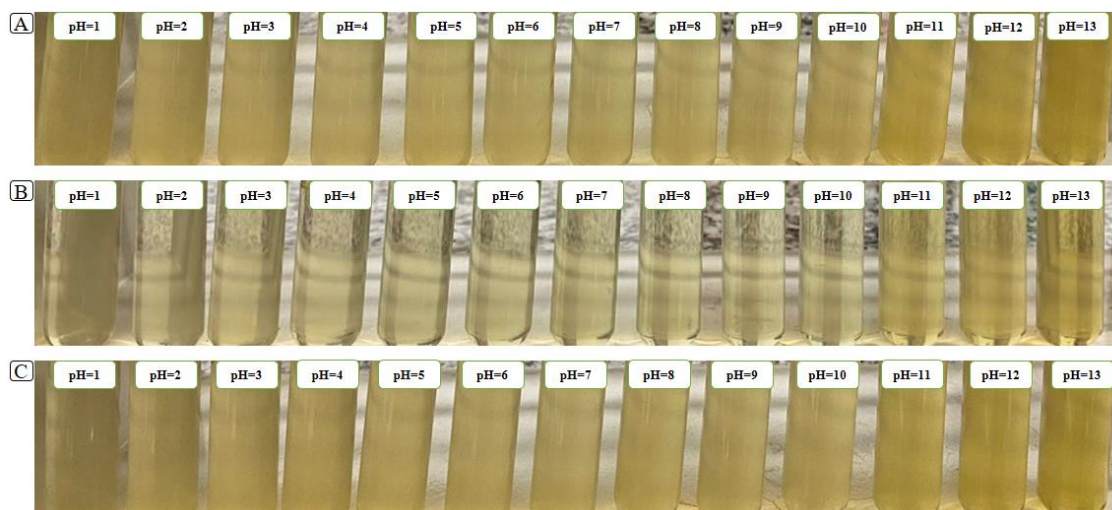


Fig.7. Estabilidade de micropartículas obtidas da secagem por pulverização dos extratos pigmentados das cascas de pupunha (Latitude: 10° 10' 8" Sul, Longitude: 48° 19' 54", Brasil, 2022) com goma arábica e maltodextrina em função da escala de pH (1 a 13). Micropartículas produzidas com GA 1:1 (A), GA 1:3 (B) e MD-GA 1:1 (C).

Entre a faixa de pH 1 e 10 as microcápsulas exibiram uma coloração amarelo-claro, nesse intervalo de pH foi possível observar uma estabilidade dos carotenoides microencapsulados pois não apresentaram mudança na coloração. Segundo Ribeiro &

Seravalli (2006), a maioria dos carotenoides são estáveis na faixa de pH 3 e 7 na maioria dos alimentos. Já na faixa de pH entre 11 e 13 houve um intensificação da coloração amarela apontando uma mudança na estrutura dos carotenoides em consequência da formação dos compostos da degradação com cores diferentes da original.

3.3.2 Estabilidade das microcápsulas em ausência e presença de luz sob diferentes temperaturas

Avaliar a estabilidade dos pigmentos naturais microencapsulados durante o processamento e armazenamento é necessário para determinar o prazo de validade, e analisar a qualidade visual e a viabilidade da utilização desses pigmentos como corante natural em alimentos (MIRANDA et al., 2021). A fig.8 fornece dados referentes a estabilidade das microcápsulas em temperatura ambiente 25 ± 5 (presença de luz) (fig.8 A) e refrigeração $-4 \pm 2^\circ\text{C}$ (ausência de luz) (fig.8 B) produzidas a partir dos extratos pigmentados das cascas de pupunha com a variação do tempo.

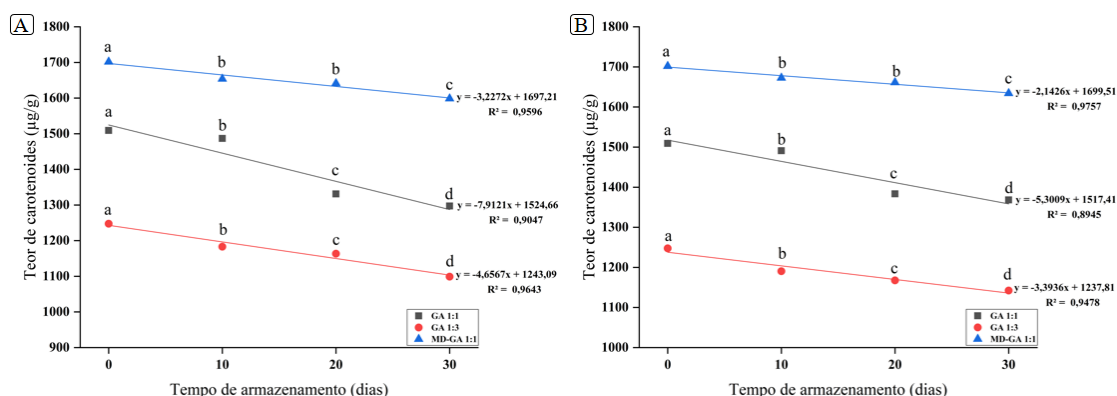


Fig.8. Gráfico da estabilidade das microcápsulas produzidas por secagem por pulverização dos extratos pigmentados das cascas de pupunha (Latitude: $10^\circ 10' 8''$ Sul, Longitude: $48^\circ 19' 54''$, Brasil, 2022) com goma arábica e maltodextrina (GA 1:1, GA 1:3 e MD-GA 1:1) em temperatura ambiente 25 ± 5 (presença de luz) (fig.8 A) e refrigeração $-4 \pm 2^\circ\text{C}$ (ausência de luz) (fig.8 B)

De acordo com a fig. 8 é possível observar que as microcápsulas armazenadas em temperatura ambiente tiveram maiores perdas de carotenoides durante o tempo em relação as microcápsulas armazenadas sob refrigeração na ausência de luz, devido a incidência da luminosidade e temperatura serem o principal fator de degradação desses pigmentos (MIRANDA, et al., 2021).

Observa-se na (fig.8 A) que as microcápsulas pigmentadas GA 1:1, GA 1:3 e MD-GA 1:1 estocadas em temperatura ambiente com incidência da luz apresentaram diminuição nos teores de carotenoides nos primeiros 10 dias de armazenamento. Após o período de 10 dias pode-se observar que houve degradação dos carotenoides durante todo o período de armazenamento para as microcápsulas produzidas somente com a goma arábica (GA 1:1 e GA 1:3) e uma menor taxa de degradação desses compostos quando utilizou a combinação dos agentes encapsulantes goma arábica e maltodextrina (MD-GA 1:1), indicando que a mistura dos dois materiais de parede apresentaram melhor proteção dos pigmentos contra fatores externos.

As microcápsulas rica em carotenoides que foram acondicionadas a temperatura de refrigeração $-4\pm 2^{\circ}\text{C}$ (ausência de luz) (fig.8 B), obtiveram maiores estabilidades pois os níveis de degradação apresentaram pouca alteração no período de 30 dias comparado aos pigmentos que estavam submetidos ao armazenamento em temperatura ambiente (presença de luz) devido as temperaturas mais baixas promoverem maiores estabilidade de pigmentos extraídos de frutas e vegetais (MESTRY; MUJUMDAR; THORAT, 2011).

Os carotenoides apresentam em sua estrutura a presença de uma cadeia de hidrocarbonetos poli-insaturados, que é um sistema estendido de ligações duplas conjugadas, tornam-se facilmente suscetíveis à isomerização, oxidação e degradação química (MIRANDA et al., 2021; SANTOS et al., 2021). Isso acontece, por causa da exposição a condições que envolvem a presença de calor, luz, radicais livres, e oxigênio. Essa exposição causa a degradação do composto por meio de reações de isomerização e oxidação formando compostos intermediários com menor atividade biológica (RODRIGUEZ-CONCEPCION et al., 2018; VERDUIN, 2020).

Observações semelhantes para o efeito protetor de MD e GA em pigmentos naturais em diferentes temperaturas durante o armazenamento foram relatadas por outros pesquisadores. Ferrari, Germer, Alvim e Maurício de Aguirre (2013), ao avaliarem a estabilidade das antocianinas e a atividade antioxidante do pó de amora, obtido por spray drying, utilizando maltodextrina, goma arábica e uma mistura de ambos os agentes carreadores durante um período de 5 meses a 25°C e 35°C , verificaram que a maltodextrina proporcionou maior estabilidade para a amora em pó pulverizada. Em estudo feito por Chranioti, Nikoloudaki, Tzia, (2015), os autores relataram que MD junto com GA provaram ser agentes eficazes para a microencapsulação de extratos corantes de beterraba e açafrão por liofilização, e a MD apresentou a maior proteção contra o calor durante o armazenamento em um período de 10 semanas a 40°C .

3.4 Aplicação em matriz alimentar

3.4.1 Iogurte

A estabilidade de cor (L^* , a^* e b^*), do iogurte contendo as micropartículas produzidas a partir dos extratos pigmentados das cascas de pupunha armazenadas a $4\pm 2^\circ\text{C}$ por 30 dias são mostrados na Fig. 9.

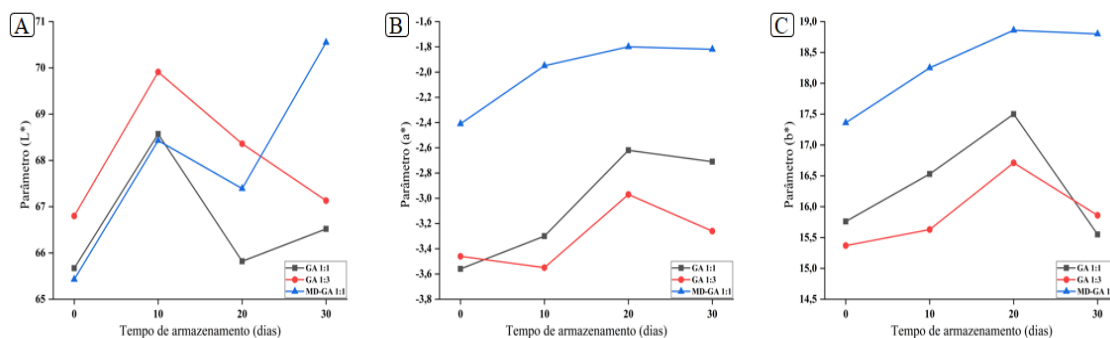


Fig.9. Parâmetros de cor da superfície (L^* , a^* e b^*) vs. tempo de armazenamento (dias) de iogurte contendo as microcápsulas produzidas por secagem por pulverização dos extratos pigmentados das cascas de pupunha com goma arábica e maltodextrina (GA 1:1, GA 1:3 e MD-GA 1:1).

A coordenada L^* , a^* e b^* (fig.9) tiveram um aumento em 10 dias de armazenamento, foi observado que o aumento da luminosidade e da coloração amarela dos iogurtes contendo as microcápsulas foi igual para todos os tratamentos, consequente da degradação dos carotenoides presentes na microcápsulas. Outro fator que pode ter interferido na coloração foi a espécie carbonilas reativas oriundas da degradação do ácido ascórbico, causando escurecimento no iogurte (PARAVISINI & PETERSON, 2019). Os carotenoides dispõem em sua estrutura um sistema de dupla ligação onde há a presença de um grupo cromóforo responsável por promover a coloração dos alimentos que quando exposto a luz, oxigênio e meios ácidos podem ocasionar alterações em sua estrutura degradando as ligações *trans*, formando ligações *cis* o que contribui para a mudança e/ou perda da coloração (SHARMA et al., 2021). Entre 10 a 20 dias é possível observar um declínio na luminosidade dos iogurtes, e um acréscimo para os valores do parâmetro b^* devido alterações na estrutura dos carotenoides. Ao final de 30 dias houve uma diminuição nas coordenadas a^* e b^* e novamente um aumento nos valores da coordenada

L* indicando que ao longo do tempo os iogurtes contendo as microcápsulas tornou-se mais claros devido à perda dos compostos em condições ácidas.

4. CONCLUSÃO

Os pigmentos extraídos da casca de pupunha na forma de micropartículas podem ser utilizados como corantes naturais. No geral as microcápsulas apresentaram teores de umidade e atividade de água baixas. O uso de agentes carreadores no extrato das cascas da pupunha proporcionaram a formação de microcápsulas com boa estabilidade à degradação térmica, sendo ideal para a conservação e durabilidade do produto, além disso, obtiveram boas características de cor.

A maior retenção de carotenoides foram obtidos nas microcápsulas produzidas com maltodextrina e goma arábica. As microcápsulas apresentaram características morfológicas típica de partículas produzidas por atomização tais como, formato esféricos, com menor incidência de rugosidades e fissuras. Além disso, a combinação dessas matrizes poliméricas representa uma possibilidade de inovação no setor alimentício.

5. REFERÊNCIAS

AOAC. **Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemistry.** p. 3000, 2016.

AGUIRRE CALVO, Tatiana; SANTAGAPITA, Patricio. Physicochemical Characterization of Alginate Beads Containing Sugars and Biopolymers. **Journal of Quality and Reliability Engineering**, v. 2016, 2016.

AKBARBAGLU, Zahra; PEIGHAMBARDoust, Seyed Hadi; SARABANDI, Khashayar; JAFARI, Seid Mahdi. Spray drying encapsulation of bioactive compounds within protein-based carriers; different options and applications. **Food Chemistry**, , v. 359, p. 129965, 2021.

AKIN, Zeynep; OZCAN, Tulay. Functional properties of fermented milk produced with plant proteins. **LWT**, v. 86, p. 25–30, 2017.

ÁLVAREZ-HENAO, María Victoria; SAAVEDRA, Nataly; MEDINA, Sonia; JIMÉNEZ CARTAGENA, Claudio; ALZATE, Luz Maria; LONDOÑO-LONDOÑO, Julián. Microencapsulation of lutein by spray-drying: Characterization and stability analyses to promote its use as a functional ingredient. **Food Chemistry**, v. 256, n. 118, p. 181–187, 2018.

BALTACIOĞLU, Hande; BALTACIOĞLU, Cem; OKUR, İlhami; TANRIVERMIŞ,

Arif; YALIÇ, Muharrem. Optimization of microwave-assisted extraction of phenolic compounds from tomato: Characterization by FTIR and HPLC and comparison with conventional solvent extraction. **Vibrational Spectroscopy**, v. 113, p. 103204, 2021.

BARROS, Hanna Elisia Araújo; NATARELLI, Caio Vinicius Lima; DE CARVALHO TAVARES, Iasnaia Maria; DE OLIVEIRA, Ana Lázara Matos; ARAÚJO, Ana Beatriz Silva; PEREIRA, Joelma; CARVALHO, Elisângela Elena Nunes; DE BARROS VILAS BOAS, Eduardo Valério; FRANCO, Marcelo. Nutritional Clustering of Cookies Developed with Cocoa Shell, Soy, and Green Banana Flours Using Exploratory Methods. **Food and Bioprocess Technology**, v. 13, n. 9, p. 1566–1578, 2020.

BURGOS-DÍAZ, César; OPAZO-NAVARRETE, Mauricio; SOTO-AÑUAL, Monserrat; LEAL-CALDERÓN, Fernando; BUSTAMANTE, Mariela. Food-grade Pickering emulsion as a novel astaxanthin encapsulation system for making powder-based products: Evaluation of astaxanthin stability during processing, storage, and its bioaccessibility. **Food Research International**, v. 134, p. 109244, 2020.

CAN-CAUICH, César A.; SAURI-DUCH, Enrique; BETANCUR-ANCONA, David; CHEL-GUERRERO, Luis; GONZÁLEZ-AGUILAR, Gustavo A.; CUEVAS-GLORY, Luis F.; PÉREZ-PACHECO, Emilio; MOO-HUCHIN, Víctor M. Tropical fruit peel powders as functional ingredients: Evaluation of their bioactive compounds and antioxidant activity. **Journal of Functional Foods**, v. 37, p. 501–506, 2017.

CANO-CHAUCA, Milton; STRINGHETA, P. C.; RAMOS, A. M.; CAL-VIDAL, J. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 6, n. 4, p. 420–428, 2005.

CARMONA, Paula Andrea Osorio; GARCIA, Lorena Costa; RIBEIRO, José Antônio de Aquino; VALADARES, Leonardo Fonseca; MARÇAL, Adriano de Figueiredo; DE FRANÇA, Luiz Ferreira; MENDONÇA, Simone. Effect of Solids Content and Spray-Drying Operating Conditions on the Carotenoids Microencapsulation from Pressed Palm Fiber Oil Extracted with Supercritical CO₂. **Food and Bioprocess Technology**, v. 11, n. 9, p. 1703–1718, 2018.

CARRA, Jéssica Bassetto et al. Spray-drying of casein/pectin bioconjugate microcapsules containing grape (*Vitis labrusca*) by-product extract. **Food Chemistry**, v. 368, n. February, 2022.

CHANG, P.T., HSIEH, C. C., JIANG, Y. L. Respostas de pitaya 'shih huo chuan' (*Hylocereus polyrhizus* (weber) britt. & rose) a diferentes graus de sombreamento. **Scientia Horticulturae**, 198, 154-162. 2015.

CORTEZ, Regina; LUNA-VITAL, Diego A.; MARGULIS, Daniel; GONZALEZ DE MEJIA, Elvira. Natural Pigments: Stabilization Methods of Anthocyanins for Food Applications. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 16, n. 1, p. 180–198, 2017.

CAMPO, Camila; QUEIROZ ASSIS, Renato; MARQUES DA SILVA, Médelin; HAAS COSTA, Tania Maria; PAESE, Karina; STANISÇUASKI GUTERRES, Silvia; DE

OLIVEIRA RIOS, Alessandro; HICKMANN FLÔRES, Simone. Incorporation of zeaxanthin nanoparticles in yogurt: Influence on physicochemical properties, carotenoid stability and sensory analysis. **Food Chemistry**, v. 301, n. July, p. 125230, 2019.

CHRANIOTI C, NIKOLOUDAKI A, TZIA C. Saffron and beetroot extracts encapsulated in maltodextrin, gum Arabic, modified starch and chitosan: Incorporation in a chewing gum system. **Carbohydr Polym.** 2015.

SOUZA, Volnei Brito; THOMAZINI, Marcelo; BALIEIRO, Julio César De Carvalho; FÁVARO-TRINDADE, Carmen Sílvia. Effect of spray drying on the physicochemical properties and color stability of the powdered pigment obtained from vinification byproducts of the Bordo grape (*Vitis labrusca*). **Food and Bioprocess Processing**, v. 93, n. October, p. 39–50, 2015.

DELIA B. RODRIGUEZ-AMAYA. **A guide to carotenoid analysis in foods.** Washington. 2001.

DING, Zhuang; TAO, Tao; YIN, Xiaohan; PRAKASH, Sangeeta; WANG, Xiao; ZHAO, Yanna; HAN, Jun; WANG, Zhengping. Improved encapsulation efficiency and storage stability of spray dried microencapsulated lutein with carbohydrates combinations as encapsulating material. **LWT**, v. 124, p. 109139, 2020.

DR, C.; SH, L.; LH, S. Riboflavin as a photosensitizer. Effects on human health and food quality. **Food & function**, v. 3, n. 5, p. 487–502, maio 2012.

ETZBACH, Lara; MEINERT, Messina; FABER, Thilo; KLEIN, Carolin; SCHIEBER, Andreas; WEBER, Fabian. Effects of carrier agents on powder properties, stability of carotenoids, and encapsulation efficiency of goldenberry (*Physalis peruviana* L.) powder produced by co-current spray drying. **Current Research in Food Science**, v. 3, p. 73–81, 2020.

FERRARI Felisberto, Mária Herminia; SOUZA COSTA, Mariana; VILLAS BOAS, Flávia; LOPES LEIVAS, Carolina; MARIA LANDI FRANCO, Célia; MICHIELON DE SOUZA, Sérgio; PEDROSA SILVA CLERICI, Maria Teresa; MACH CÔRTEZ CORDEIRO, Lucimara. Characterization and technological properties of peach palm (*Bactris gasipaes* var. *gasipaes*) fruit starch. **Food Research International**, v. 136, p. 109569, 2020.

FERRARI, C., RIBEIRO, C., AGUIRRE, J. Spray drying of blackberry pulp using maltodextrin as carrier agent. **Brazilian Journal of Food Technology**. 15. 157-165. 2013.

FERREIRA, Lindalva Maria de Meneses Costa; PEREIRA, Rayanne Rocha; DE CARVALHO, Fernanda Brito; SANTOS, Alberdan Silva; RIBEIRO-COSTA, Roseane Maria; CARRÉRA SILVA JÚNIOR, José Otávio. Green extraction by ultrasound, microencapsulation by spray drying and antioxidant activity of the tucuma coproduct (*Astrocaryum vulgare* mart.) almonds. **Biomolecules**, v. 11, n. 4. P. 545, 2021.

FERREIRA, M. J. A.; MOTA, M. F. S.; MARIANO, R. G. B.; FREITAS, S. P. Evaluation of liquid-liquid extraction to reducing the acidity index of the tucuma (*Astrocaryum vulgare* Mart.) pulp oil. **Separation and Purification Technology**, v. 257, p. 117894, 15 fev. 2021.

FRITZEN-FREIRE, Carlise B.; PRUDÊNCIO, Elane S.; AMBONI, Renata D. M. C.; PINTO, Stephanie S.; NEGRÃO-MURAKAMI, Aureanna N.; MURAKAMI, Fabio S. Microencapsulation of bifidobacteria by spray drying in the presence of prebiotics. **Food Research International**, v. 45, n. 1, p. 306–312, 2012.

GALLARDO, Gabriela; GUIDA, Leticia; MARTINEZ, Vanina; LÓPEZ, María C.; BERNHARDT, Dana; BLASCO, Ramiro; PEDROZA-ISLAS, Ruth; HERMIDA, Laura G. Microencapsulation of linseed oil by spray drying for functional food application. **Food Research International**, v. 52, n. 2, p. 473–482, 2013.

GARCÍA, Juliana María; GIUFFRIDA, Daniele; DUGO, Paola; MONDELLO, Luigi; OSORIO, Coralia. Development and characterisation of carotenoid-rich microencapsulates from tropical fruit by-products and yellow tamarillo (*Solanum betaceum* Cav.). **Powder Technology**, v. 339, p. 702–709, 2018.

GARCIA-MENDOZA, M. DEL P.; ESPINOSA-PARDO, F. A.; BASEGGIO, A. M.; BARBERO, G. F.; MARÓSTICA JUNIOR, M. R.; ROSTAGNO, M. A.; MARTÍNEZ, J. Extraction of phenolic compounds and anthocyanins from juçara (*Euterpe edulis* Mart.) residues using pressurized liquids and supercritical fluids. **Journal of Supercritical Fluids**, 2017.

GUO, Qi; LI, Shuai; DU, Gengan; CHEN, Hong; YAN, Xiaohai; CHANG, Shuaidan; YUE, Tianli; YUAN, Yahong. Formulation and characterization of microcapsules encapsulating carvacrol using complex coacervation crosslinked with tannic acid. **Lwt**, v. 165, n. September 2021, p. 113683, 2022.

HUANG, Song; VIGNOLLES, Marie Laure; CHEN, Xiao Dong; LE LOIR, Yves; JAN, Gwénaél; SCHUCK, Pierre; JEANTET, Romain. Spray drying of probiotics and other food-grade bacteria: A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 63, p. 1–17, 2017.

JANISZEWSKA-TURAK, Emilia; DELLAROSA, Nicolò; TYLEWICZ, Urszula; LAGHI, Luca; ROMANI, Santina; DALLA ROSA, Marco; WITROWA-RAJCHERT, Dorota. The influence of carrier material on some physical and structural properties of carrot juice microcapsules. **Food Chemistry**, v. 236, p. 134–141, 2017.

JANISZEWSKA, Emilia. Microencapsulated beetroot juice as a potential source of betalain. **Powder Technology**, v. 264, p. 190–196, 2014.

KANG, Yu Ra; LEE, Yun Kyung; KIM, Young Jun; CHANG, Yoon Hyuk. Characterization and storage stability of chlorophylls microencapsulated in different combination of gum Arabic and maltodextrin. **Food Chemistry**, v. 272, p. 337–346, 2019.

KUROZAWA, Louise Emy; PARK, Kil Jin; HUBINGER, Miriam Dupas. Effect of

maltodextrin and gum arabic on water sorption and glass transition temperature of spray dried chicken meat hydrolysate protein. **Journal of Food Engineering**, v. 91, n. 2, p. 287–296, 2009.

LI, Xiang yu; WU, Mian Bin; XIAO, Min; LU, Shu huan; WANG, Zhi ming; YAO, Jian ming; YANG, Li rong. Microencapsulated β -carotene preparation using different drying treatments. **Journal of Zhejiang University-SCIENCE**, v. 20, n. 11, p. 901–909, 2019.

LIMA, R. R.; TRASSATO, L. C.; COELHO, V. O tucumã (astrocaryum vulgare Mart.) Principais características e potencialidade agroindustrial. 1986.

LYU, Xiaomei; LYU, Yan; YU, Hongwei; CHEN, Wei Ning; YE, Lidan; YANG, Ruijin. Biotechnological advances for improving natural pigment production: a state-of-the-art review. **Bioresources and Bioprocessing**, v. 9, n. 1, p. 1–38, 2022.

MACÊDO, R. O., DE MOURA, O. M., DE SOUZA, A. G., & MACÊDO, A. M. C. COMPARATIVE STUDIES ON SOME ANALYTICAL Thermal decomposition of powder milk Protein separation. **Journal of Thermal Analysis**, v. 49, p. 857–862, 1997.

MACHADO, Michelle Heck; ALMEIDA, Aline da Rosa; MACIEL, Matheus Vinicius de Oliveira Brisola; VITORINO, Vinicius Bittencourt; BAZZO, Giovana Carolina; DA ROSA, Cleonice Gonçalves; SGANZERLA, William Gustavo; MENDES, Cassiana; BARRETO, Pedro Luiz Manique. 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.

MAR, Josiana M. et al. Encapsulation of Amazonian Blueberry juices: Evaluation of bioactive compounds and stability. **Lwt**, v. 124, n. December 2018, p. 109152, 2020.

MEDINA, Marjorie B. Determination of the total phenolics in juices and superfruits by a novel chemical method. **Journal of Functional Foods**, v. 3, n. 2, p. 79–87, 2011.

MIRANDA, P. H. S.; SANTOS, A. C. DOS; FREITAS, B. C. B. DE; MARTINS, G. A. DE S.; VILAS BOAS, E. V. DE B.; DAMIANI, C. A scientific approach to extraction methods and stability of pigments from Amazonian fruits. **Trends in Food Science & Technology**, v. 113, p. 335–345, 1 jul. 2021.

MOHAMMAD AZMIN, Siti Nuurul Huda; SULAIMAN, Nur Solehin; MAT NOR, Mohd Shukri; ABDULLAH, Palsan Sannasi; ABDUL KARI, Zulhisyam; PATI, Siddhartha. A Review on Recent Advances on Natural Plant Pigments in Foods: Functions, Extraction, Importance and Challenges. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 194, n. 10, p. 4655–4672, 2022.

MOUSAVI KALAJAHI, Seyedeh Elham; GHANDIHA, Shadi. Optimization of spray drying parameters for encapsulation of Nettle (*Urtica dioica* L.) extract. **LWT**, v. 158, p. 113149, 2022.

NASCIMENTO FILHO, Eduardo Do; BARROCA SILVA, Natasha Nascimento; CONVERTI, Attilio; FERREIRA GROSSO, Carlos Raimundo; PINHEIRO SANTOS, Andreлина Maria; SILVA RIBEIRO, Daniele; MACIEL, Maria Inês Sucupira. Microencapsulation of acerola (*Malpighia emarginata* DC) AND ciriguela (*Spondias*

purpurea L) mixed juice with different wall materials. **Food Chemistry Advances**, v. 1, p. 100046, 2022.

NERI-NUMA, Iramaia Angélica; SORIANO SANCHO, Renata A.; PEREIRA, Ana Paula Aparecida; PASTORE, Glaucia Maria. Small Brazilian wild fruits: Nutrients, bioactive compounds, health-promotion properties and commercial interest. **Food research international (Ottawa, Ont.)**, v. 103, p. 345–360, 2018.

NOGALES-BUENO, Julio; BACA-BOCANEGRA, Berta; ROONEY, Abigail; HERNÁNDEZ-HIERRO, José Miguel; BYRNE, Hugh J.; HEREDIA, Francisco José. Study of phenolic extractability in grape seeds by means of ATR-FTIR and Raman spectroscopy. **Food Chemistry**, v. 232, p. 602–609, 2017.

ORDÓÑEZ-SANTOS, Luis Eduardo; PINZÓN-ZARATE, Lina Ximena; GONZÁLEZ-SALCEDO, Luis Octavio. Optimization of ultrasonic-assisted extraction of total carotenoids from peach palm fruit (*Bactris gasipaes*) by-products with sunflower oil using response surface methodology. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 27, p. 560–566, 2015.

OZKAN, Gulay; FRANCO, Paola; DE MARCO, Iolanda; XIAO, Jianbo; CAPANOGLU, Esra. A review of microencapsulation methods for food antioxidants: Principles, advantages, drawbacks and applications. **Food Chemistry**, v. 272, p. 494–506, 2019.

PAINI, Marco; ALIAKBARIAN, Bahar; CASAZZA, Alessandro A.; LAGAZZO, Alberto; BOTTER, Rodolfo; PEREGO, Patrizia. Microencapsulation of phenolic compounds from olive pomace using spray drying: A study of operative parameters. **Lwt**, v. 62, n. 1, p. 177–186, 2015.

PARADISO, Vito Michele et al. Nutritional characterization and shelf-life of packaged microgreens. **Food and Function**, v. 9, n. 11, p. 5629–5640, 2018.

PARAVISINI, L.; PETERSON, D. G. Mechanisms non-enzymatic browning in orange juice during storage. **Food Chemistry**, v. 289, p. 320–327, 15 ago. 2019.

PICO, Joana; PISMAG, Remigio Y.; LAUDOUEZE, Mallory; MARTINEZ, Mario M. Systematic evaluation of the Folin–Ciocalteu and Fast Blue BB reactions during the analysis of total phenolics in legumes, nuts and plant seeds. **Food & Function**, v. 11, n. 11, p. 9868–9880, 2020.

QUIJANO-ORTEGA, Natalia; FUENMAYOR, Carlos Alberto; ZULUAGA-DOMINGUEZ, Carlos; DIAZ-MORENO, Consuelo; ORTIZ-GRISALES, Sanín; GARCÍA-MAHECHA, Maribel; GRASSI, Silvia. FTIR-ATR Spectroscopy Combined with Multivariate Regression Modeling as a Preliminary Approach for Carotenoids Determination in Cucurbita spp. **Applied Sciences**, v. 10, n. 11, p. NA-NA, 2020.

RIBEIRO, A. Marisa; SHAHGOL, Mohammad; ESTEVINHO, Berta N.; ROCHA, Fernando. Microencapsulation of Vitamin A by spray-drying, using binary and ternary blends of gum arabic, starch and maltodextrin. **Food Hydrocolloids**, v. 108, p. 106029, 2020.

FERRARI, C., RIBEIRO, C., AGUIRRE, J. Spray drying of blackberry pulp using maltodextrin as carrier agent. **Brazilian Journal of Food Technology**. 15. 157-165. 2012.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Update on natural food pigments - A mini-review on carotenoids, anthocyanins, and betalains. **Food Research International**, 2019.

RODRIGUEZ-CONCEPCION, M. et al. A global perspective on carotenoids: Metabolism, biotechnology, and benefits for nutrition and health. **Progress in Lipid Research**, v. 70, p. 62–93, 1 abr. 2018.

ROSSETTO, Raquel; MACIEL, Giselle Maria; BORTOLINI, Débora Gonçalves; RIBEIRO, Valéria Rampazzo; HAMINIUK, Charles Windson Isidoro. Acai pulp and seeds as emerging sources of phenolic compounds for enrichment of residual yeasts (*Saccharomyces cerevisiae*) through biosorption process. **LWT**, v. 128, p. 109447, 2020.

RUFINO, Maria do Socorro M.; ALVES, Ricardo E.; DE BRITO, Edy S.; PÉREZ-JIMÉNEZ, Jara; SAURA-CALIXTO, Fulgencio; MANCINI-FILHO, Jorge. Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. **Food Chemistry**, v. 121, n. 4, p. 996–1002, 2010

RUTZ, Josiane K.; BORGES, Caroline D.; ZAMBLAZI, Rui C.; DA ROSA, Cleonice G.; DA SILVA, Médelin M. Elaboration of microparticles of carotenoids from natural and synthetic sources for applications in food. **Food Chemistry**, v. 202, p. 324–333, 2016.

SAINI, R. K.; KEUM, Y. S. **Carotenoid extraction methods: A review of recent developments** **Food Chemistry**, 2018.

SANTANA, Audirene A.; CANO-HIGUITA, Diana M.; DE OLIVEIRA, Rafael A.; TELIS, Vânia R. N. Influence of different combinations of wall materials on the microencapsulation of jussara pulp (*Euterpe edulis*) by spray drying. **Food Chemistry**, v. 212, p. 1–9, 2016.

SANTIWORAKUN, Najwa Yanya; SUKSUWAN, Acharee; SIRIKWANPONG, Sukrit; DAHLAN, Winai; ARIYAPITIPUN, Tipayanate. Physicochemical characterization of microcapsules containing cold pressed black cumin seed oils (*Nigella sativa* L.) as an alternative nutrient source in a functional diet. **Lwt**, v. 157, p. 113045, 2022.

SANTOS, Priscila Dayane de Freitas; RUBIO, Fernanda Thaís Vieira; DA SILVA, Marluci Palazzolli; PINHO, Lorena Silva; FAVARO-TRINDADE, Carmen Sílvia. Microencapsulation of carotenoid-rich materials: A review. **Food Research International**, v. 147, p. 110571, 2021.

SHARMA, Minaxi; USMANI, Zeba; GUPTA, Vijai Kumar; BHAT, Rajeev. Valorization of fruits and vegetable wastes and by-products to produce natural pigments. v. 41, n. 4, p. 535–563, 2021.

SILVA, Renata S.; DE L. SANTOS, Carolina; MAR, Josiana M.; KLUCZKOVSKI, Ariane M.; DE A. FIGUEIREDO, Jayne; BORGES, Soraia V.; BAKRY, Amr M.; SANCHES, Edgar A.; CAMPELO, Pedro H. Physicochemical properties of tucumã

(*Astrocaryum aculeatum*) powders with different carbohydrate biopolymers. **LWT**, v. 94, p. 79–86, 2018.

SIMON-BROWN, Kelly et al. Microencapsulation of ginger (*Zingiber officinale*) extract by spray drying technology. **Lwt**, v. 70, p. 119–125, 2016.

SOUZA, M. P. DE et al. Phenolic and aroma compositions of pitomba fruit (*Talisia esculenta* Radlk.) assessed by LC-MS/MS and HS-SPME/GC-MS. **Food Research International**, v. 83, p. 87–94, 1 maio 2016.

SUTTER, Sonia C.; BUERA, Maria P.; ELIZALDE, Beatriz E. β -Carotene encapsulation in a mannitol matrix as affected by divalent cations and phosphate anion. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 332, n. 1–2, p. 45–54, 2007.

SWER, Tanya L.; CHAUHAN, Komal; PAUL, Prodyut K.; MUKHIM, C. Evaluation of enzyme treatment conditions on extraction of anthocyanins from *Prunus nepalensis* L. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 92, p. 867–871, 2016. TANG, Liqin; LIU, Haocheng; HUANG, Guodong; YUAN, Zhong; FU, Manqin; BU, Zhibin; WEN, Jing; XU, Yujuan. The structural characterization, physicochemical properties, and stability of gardenia yellow pigment microcapsules. **Lwt**, v. 162, n. April, p. 113507, 2022.

STRATI, I. F.; GOGOU, E.; OREOPOULOU, V. Enzyme and high pressure assisted extraction of carotenoids from tomato waste. **Food and Bioproducts Processing**, v. 94, p. 668–674, 1 abr. 2015.

STRINGER, S. C.; PECK, M. W. Foodborne clostridia and the safety of in-pack preserved foods. **In-Pack Processed Foods: Improving Quality**, p. 251–276, 1 jan. 2008.

TAO, Yang; WANG, Ping; WANG, Jiandong; WU, Yue; HAN, Yongbin; ZHOU, Jianzhong. Combining various wall materials for encapsulation of blueberry anthocyanin extracts: Optimization by artificial neural network and genetic algorithm and a comprehensive analysis of anthocyanin powder properties. **Powder Technology**, v. 311, p. 77–87, 2017.

TERPOU, Antonia; PAPADAKI, Aikaterini; BOSNEA, Loulouda; KANELLAKI, Maria; KOPSAHELIS, Nikolaos. Novel frozen yogurt production fortified with sea buckthorn berries and probiotics. **LWT**, v. 105, p. 242–249, 2019.

TOLUN, Aysu; ALTINTAS, Zeynep; ARTIK, Nevzat. Microencapsulation of grape polyphenols using maltodextrin and gum arabic as two alternative coating materials: Development and characterization. **Journal of biotechnology**, v. 239, p. 23–33, 2016.

TONON, Renata V.; BRABET, Catherine; HUBINGER, Míriam 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, n. 3, p. 411–418, 2008.

TUPUNA, Diego Santiago; PAESE, Karina; GUTERRES, Silvia Stanisçuaski; JABLONSKI, André; FLÓRES, Simone Hickmann; RIOS, Alessandro de Oliveira.

Encapsulation efficiency and thermal stability of norbixin microencapsulated by spray-drying using different combinations of wall materials. **Industrial Crops and Products**, v. 111, n. December 2017, p. 846–855, 2018.

URSACHE, Florentina Mihaela et al. Valorizations of carotenoids from sea buckthorn extract by microencapsulation and formulation of value-added food products. **Journal of Food Engineering**, v. 219, p. 16–24, 2018.

VARELLA, Walter Augusto; OLIVEIRA NETO, Geraldo Cardoso; SOUSA, Thales Botelho. Adoption of cleaner production in a pupunha palm heart factory: a systematic literature review and a case study. **Food Science and Technology**, v. 42, 2021.

WANI, Faiqa A.; RASHID, Rukhsana; JABEEN, Abida; BROCHIER, Bethania; YADAV, Shashikant; AIJAZ, Thameed; MAKROO, H. A.; DAR, B. N. Valorisation of food wastes to produce natural pigments using non-thermal novel extraction methods: a review. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 56, n. 10, p. 4823–4833, 2021.

VERDUIN, J. Photodegradation Products And Their Analysis In Food. **Food Science and Nutrition**, v. 6, n. 3, p. 1–16, 15 jun. 2020.

Artigo III

MICROENCAPSULAÇÃO DE CAROTENOIDES EXTRAÍDOS DAS CASCAS DE TUCUMÃ (*ASTROCARYUM ACULEATUM*) UTILIZANDO GOMA ARÁBICA E MALTODEXTRINA COMO MATERIAIS DE PAREDE

Lorrane Ribeiro de Souza¹, Ingrid Alves Santos², Gilson Gustavo Lucinda Machado³, Hanna Elisia Araújo de Barros⁴ Eduardo Valério de Barros Villas Boas⁵, Diego Alvarenga Botrel⁶, Elisângela Elena Nunes de Carvalho⁷, Clarissa Damiani⁸

RESUMO: O tucumã (*Astrocaryum aculeatum*) é um fruto amazônico que gera toneladas de resíduos na forma de cascas durante seu processamento seus coprodutos possuem grande potencial de reaproveitamento principalmente pelo conteúdo de compostos bioativos como fenólicos, flavonoides e carotenoides. Assim, este estudo teve como objetivo microencapsular carotenoides extraídos cascas de tucumã (*Astrocaryum aculeatum*) por pulverização utilizando goma arábica e maltodextrina como material de parede (GA 1:1, GA 1:3 e MD-GA 1:1) e determinar suas características físico-químicas, compostos bioativos e atividade antioxidante. A extração dos carotenoides foi feita utilizando acetona 50% e enzima pectinase seguida de rotaevoração e pulverização por spray-drying. Após a secagem as microcápsulas foram caracterizadas quanto aos teores de umidade, Aw, carotenoides, rendimento, solubilidade, eficiência, ABTS+, β -Caroteno, Folin-Ciocalteau e Fast Blue. Além disso, foram realizados testes de FTIR, TGA e análise morfológica. As microcápsulas apresentaram baixos teores de umidade e atividade de água, com boa retenção de carotenoides, boa solubilidade em água com a preservação de compostos fenólicos e capacidade antioxidante. As microcápsulas apresentaram partículas com formato esféricos e côncavas colapsadas de tamanhos heterogêneos livre de rachaduras. Em conclusão a microencapsulação foi capaz de preservar os compostos bioativos do extrato das cascas de tucumã. Entre a faixa de pH 1 e 10 as microcápsulas exibiram uma coloração laranja, nesse intervalo de pH foi possível observar uma estabilidade dos carotenoides microencapsulados pois não apresentaram mudança na coloração e também tiveram menores perdas dos compostos quando armazenadas em temperaturas de refrigeração -4 ± 2 °C. Já para a aplicação ao final de 30 dias houve uma diminuição nas coordenadas a* e b* e aumento nos valores da coordenada L* indicando que ao longo do tempo os iogurtes contendo as microcápsulas tornou-se mais claros perdendo a coloração inicial.

Palavras Chave: Pigmentos Microcápsulas, Atomização

ABSTRACT: The tucumã (*Astrocaryum aculeatum*) is an Amazonian fruit that generates tons of waste in the form of peels during processing. The tucumã (*Astrocaryum aculeatum*) is an Amazonian fruit that generates tons of waste in the form of peels during processing. reuse mainly due to the content of bioactive compounds such as phenolics, flavonoids and carotenoids. Thus, this study aimed to microencapsulate carotenoids extracted from tucumã (*Astrocaryum aculeatum*) bark by spraying using gum arabic and maltodextrin as wall material (GA 1:1, GA 1:3 and MD-GA 1:1) and to determine their characteristics physicochemical properties, bioactive compounds and antioxidant activity. The extraction of carotenoids was performed using 50% acetone and pectinase enzyme followed by rotational devouring and spray-drying. After drying, the microcapsules were characterized in terms of moisture content, A_w , carotenoids, yield, solubility, efficiency, ABTS+, β -Carotene, Folin-Ciocalteau and Fast Blue. In addition, FTIR, TGA and morphological analysis tests were performed. The microcapsules showed low moisture content and water activity, with good retention of carotenoids, good solubility in water with preservation of phenolic compounds and antioxidant capacity. The microcapsules presented particles with spherical and concave collapsed heterogeneous sizes free of cracks. In conclusion, microencapsulation was able to preserve the bioactive compounds of the tucumã bark extract. Between the pH range 1 and 10 the microcapsules exhibited an orange color, in this pH range it was possible to observe stability of the microencapsulated carotenoids as they did not change color and also had lower losses of compounds when stored at -4 ± 2 refrigeration temperatures °C. As for the application at the end of 30 days, there was a decrease in the a^* and b^* coordinates and an increase in the L^* coordinate values, indicating that over time the yogurts containing the microcapsules became lighter, losing their initial color.

Keywords: Pigments Microcapsules, Atomization

1. INTRODUÇÃO

O tucumã (*Astrocaryum aculeatum*) é um fruto amazônico proveniente da família das Arecaceae e popularmente conhecido na região Norte do Brasil (MANZATO et al., 2017). Os frutos são amplamente utilizados na alimentação humana e são fontes de calorias, fibras, carotenos, lipídeos e ácido oleico. Apesar do consumo e processamento do tucumã gerar toneladas de resíduos na forma de cascas e sementes por ano, seus coprodutos possuem grande potencial de reaproveitamento principalmente pelo conteúdo de compostos bioativos como fenólicos, flavonoides e carotenoides (FERREIRA et al., 2022; MENDONÇA et al., 2019).

Nesse contexto, a extração de pigmentos a partir de subprodutos de frutas pode aumentar a rentabilidade e valorizar a matéria-prima, pois esses resíduos muitas vezes contêm valores nutricionais superiores a porção comestível (CAN-CAUICH et al., 2017; SALEEM; SAEED, 2020). Segundo a literatura, as cascas de frutos de tucumã são resíduos agroindustriais e fontes ricas de pigmentos, principalmente β -caroteno e γ -caroteno (AMORIM et al., 2022; MANZATO et al., 2017; NORONHA MATOS et al., 2019).

Os carotenoides são pigmentos naturais com propriedades corantes e antioxidantes que podem ser aplicados como ingredientes em alimentos funcionais em virtude de suas propriedades benéficas. Os pigmentos podem ser utilizados para melhorar a estabilidade da cor, aparecimento de sabores estranhos, prevenir o ranço oxidativo ou melhorar as atividades antioxidantes de produtos em substituição de compostos sintéticos utilizados atualmente (AMORIM et al., 2022; RODRÍGUEZ GARCÍA; RAGHAVAN, 2022).

O interesse na utilização de pigmentos em produtos alimentícios vai além da cor que conferem aos alimentos que, embora seja considerada um atributo marcante influenciando a preferência do consumidor, é superado pelos benefícios para a saúde que podem conferir (DIAS et al., 2020; MARTINS et al., 2016). No entanto a aplicação como corantes naturais e fontes de antioxidantes na indústria alimentícia ainda é pouco explorada (SCHNEIDER-TEIXEIRA et al., 2022).

A extração de pigmentos naturais de produtos vegetais têm sido estudada por vários pesquisadores (LIMA et al., 1986; SOUZA et al., 2016; GARCÍA et al., 2017; FERREIRA et al., 2021). As técnicas, normalmente utilizadas para extração desses compostos, são a extração aquosa, alcalina e/ou extração com solvente (GIUSTI &

WROLSTAD, 2003). No entanto, existem novas técnicas de extração de pigmentos como a aplicação de enzimas. Nessa técnica as enzimas atuam hidrolisando a parede celular de frutas e plantas com o intuito de acelerar e melhorar o rendimento da extração de pigmentos. Lenucci et al. (2015), relatou que a extração assistida por enzimas pode aumentar até 153% a porcentagem de extração de pigmentos em tomates. Apesar da gama de atividade biológicas que ingredientes bioativos podem oferecer em um alimentos, a maioria desses compostos são muito sensíveis ao processamento e condições ambientais como luz, umidade, calor e oxigênio, sendo um dos grandes desafios para implementação em escala industrial (FIGUEIREDO et al., 2022). Logo, tecnologias como microencapsulação se tornam interessantes para contornar os problemas relacionados a estabilidade desses compostos durante o processamento e armazenamento, um dos pontos cruciais quando se trata da exploração de novos pigmentos de fontes vegetais (FIGUEIREDO et al., 2022; MIRANDA et al., 2021).

A microencapsulação é utilizada para proteger um bioativo de condições adversas. A tecnologia utiliza materiais de parede poliméricos ou sintéticos para encapsular substâncias e formar minúsculas cápsulas semipermeáveis ou seladas (CALDERÓN-OLIVER; PONCE-ALQUICIRA, 2022; LI et al., 2017), e pode simplificar a fabricação, manuseio e armazenamento, reduzindo custos de produção. Dentre as técnicas de encapsulamento, tem-se a secagem por *spray-drying*, sendo uma das mais utilizadas para a microencapsulação de componentes naturais, devido ao baixo custo, disponibilidade de equipamento, emprego de diversos agentes carreadores, além de possível adaptação em escala industrial (LI et al., 2017; ÁLVAREZ-HENAO et al., 2018). No entanto a escolha do material de parede para a microencapsulação e de suma importância devido ser um fator determinante nas propriedades físico-química e morfológica das microcápsulas (JANISZEWSKA-TURAK et al., 2017; TAO et al., 2017). A goma arábica e maltodextrina são amplamente utilizadas no processo de microencapsulação, possuem inúmeras vantagens tais como, baixo custo, boa solubilidade em água, aroma e sabor neutro, baixa viscosidade em altas concentrações além de oferecer proteção contra oxidação (GARCÍA et al., 2018; TUPUNA et al., 2018). Assim, este estudo teve como objetivo microencapsular carotenoides extraídos cascas de tucumã (*Astrocaryum aculeatum*) por pulverização utilizando goma arábica e maltodextrina como material de parede e determinar suas características físico-químicas, compostos bioativos e atividade antioxidante, avaliar sua estabilidade em diferentes temperaturas e pH e avaliar o comportamento das microcápsulas em matriz alimentar.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Obtenção dos frutos e Armazenamento

Os frutos do Tucumã (*Astrocaryum aculeatum*) foram obtidos no comércio local de Palmas-TO (Latitude: 10° 10' 8" Sul, Longitude: 48° 19' 54", Brasil, 2022), na época de frutificação. Os frutos foram recebidos no laboratório de pós colheita de frutas e hortaliças (UFLA), onde foram separados de sujidades e frutos impróprios (podres, amassados). Posteriormente, foram lavados e sanitizados com solução de hipoclorito de sódio, concentração de 150 ppm, drenados e congelados (-18°C) até o momento da despolpa. A despolpa foi feita manualmente, onde separou-se as frações casca, polpa e semente.

2.2 Obtenção do extrato pigmentado

A extração de pigmentos com solvente, foi realizado nas cascas dos frutos secos. A secagem das cascas para extração ocorreu conforme descrito na metodologia AOAC (2016) número 930.36 a 70 °C até as amostras atingirem peso constante (cerca de 16 horas). O processo de extração de pigmentos com solvente foi realizado de acordo com a metodologia de Swer et al (2016) com algumas modificações. Foi pesado 1,25 gramas de amostras seca e aplicado 50 ml de solvente, Acetona (50%) na casca do tucumã, posteriormente, foi adicionado 45 µL da enzima Pectinase (*Aspergillus niger*) com o código P4716-5KU da fabricante Sigma-Aldrich. Em seguida, a mistura foi levada ao agitador magnético por 2 minutos e deixada em repouso por 150 minutos, em banho maria, na temperatura de 35°C. Logo após, foi centrifugada a 15000 rpm por 10 minutos. Posteriormente as amostras (enzima) foram inativadas em banho maria a 90°C por 3 minutos e foram filtrada em papel filtro. Após a extração os extratos filtrados foram submetidos a um rotaevaporador (Marca Tecnal-TE-2010) com temperatura de 50 °C para a retirada total do solvente.

2.3 Caracterização do extrato

Toda a caracterização física e química do extrato foi feita, em três repetições em triplicata.

2.3.1 Determinação do pH

A determinação do pH foi realizada utilizando potenciômetro, calibrado com Soluções de pH 7,0 e 4,0, segundo AOAC (número 973.04, 2016).

2.3.2 Análise de cor

As medições de cor foram realizadas utilizando colorímetro Konica Minolta CR-400, no espaço de cores CIELAB da Comissão Internacional de l'Éclairage, utilizando o sistema de escala de cor L, a* e b*, croma (C*) e ângulo hue (h°).

2.3.3 Teor de carotenoides

A quantificação de carotenoides do extrato de bacupari foi realizado de acordo com a metodologia de Ferreira et al. (2021). 3 ml do extrato foi dissolvido em hexano até volume final de 10 ml. O conteúdo foi agitado por 20 minutos, em mesa agitadora, e as leituras foram realizadas em espectrofotômetro a 444nm, 450nm, 456nm, 452nm e 470nm, que correspondem as absorvâncias dos carotenoides, α -caroteno, β -caroteno, δ -Caroteno γ -caroteno e licopeno, respectivamente. O teor de cada carotenoide foi calculado, seguindo a metodologia. Os resultados foram expressos em $\mu\text{g}.100\text{g}^{-1}$.

$$\text{Teor de carotenoides } (\mu\text{g}. 100 \text{ g}^{-1}) = \frac{\text{Abs} \times V \times 10^6}{E_{cm}^{1\%} \times m} \quad \text{Equação 1}$$

Em que *Abs* é a absorvância da solução no comprimento de onda específico; *V* é o volume final da solução; $E_{cm}^{1\%}$ é o coeficiente de extinção ou coeficiente de absorvidade molar de um pigmento em um determinado solvente específico, no caso o éter de petróleo, e *m* é a massa da amostra tomada para a análise em g.

2.4 Microencapsulação por *Spray drying*

Para a microencapsulação por *spray-drying* foi adotado um delineamento inteiramente ao acaso, com 3 repetições para cada tratamento. Os materiais de parede utilizados no processo de secagem foi maltodextrina com dextrose equivalente 20 (Cassava S.A., Maripá, PR, Brasil) e goma arábica (Colloides Naturels Brasil, São Paulo, Brasil).

Tabela 1. Tratamentos para microencapsulação de carotenoides extraídos das cascas de tucumã utilizando Maltodextrina e Goma arábica.

Tratamentos	Teor de sólidos (%)	T (°C) Entrada/Saída (Spray- drying)	Material de Parede (%) (MD/GA)	Pigmento / Revestimento
1	30	170-80	GA	1:1
2	30	170-80	GA	1:3
3	30	170-80	MD-GA	1:1

T (°C): Temperatura; GA: Goma arábica; MD: Maltodextrina.

Após a caracterização do extrato (pH, cor e carotenoides) foi feito a adição dos materiais encapsulantes, a saber, maltodextrina e goma arábica, conforme a Tabela 1. As soluções foram, então, homogeneizadas por meio de agitação mecânica a 10000 rpm, durante 10 minutos, em misturador Ultra-turrax (Ultra-Turrax IKA T18 basic, Wilmington, EUA).

A atomização foi realizada por *Spray drying* (modelo MSD 1.0; Labmaq do Brasil, Ribeirão Preto, Brasil) equipado com bico de duplo fluido. As condições operacionais utilizadas foram: temperatura de entrada de 170 °C e taxa de alimentação de 0,3 L.h⁻¹. A mistura (extrato pigmentado concentrado, material encapsulante) foi mantida sob agitação em agitador magnético e bombeado até o topo do atomizador, entrando em contato com o ar quente na câmara de secagem, ocasionando a evaporação imediata da umidade contida no material. A corrente de ar quente-sólido foi direcionada em ciclone para separação do extrato microencapsulado em recipiente de vidro (coletor de pó). O encapsulado em pó foi coletado e armazenado em frascos de vidro âmbar, envoltos em papel alumínio e armazenados a -4±2 °C, para realização imediata das análises.

2.5 Caracterização das Microcápsulas

Toda a caracterização física e química das microcápsulas foram feitas, em três repetições em triplicata.

2.5.1 Umidade Relativa (UR)

Para determinar o teor de umidade das cápsulas, contendo o corante natural, foi utilizado o método gravimétrico, segundo a Associação de Químicos Analíticos Oficiais (AOAC, 2016, 9030,16) para alimentos. A percentagem de perda de peso foi obtida após secagem de 2,5 g à 105 °C, até obtenção de peso constante, com unidade expressa em $\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$.

2.5.2 Atividade de água (Aw)

A determinação da atividade de água (1 g de cada amostra) foi realizada pelo medidor de água livre (AQUALAB, Aqua LAB 4TEV, EUA), à 25 °C.

2.5.3 Teor de carotenoides

A extração foi realizada como descrito por Rodriguez-Amaya (2001), com algumas adaptações. Adicionou-se 20 ml de acetona fria (P.A) em 0,5 g da amostra. O conteúdo foi agitado por 20 minutos em mesa agitadora e filtrado. O resíduo da amostra foi lavado com acetona até que o resíduo retido no papel filtro obtivesse coloração transparente (lavado três vezes com 20 ml, 15 ml e 15 ml de acetona P.A). Posteriormente, o filtrado foi transferido para um funil de separação, sendo acrescido de 15 ml de éter de petróleo e 35 ml de água destilada. O líquido mais denso foi descartado. Tal procedimento foi repetido três vezes para remover a acetona. O extrato, então, foi transferido para um balão volumétrico de 50 ml, e adicionado éter de petróleo até completar o volume de 50 ml. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro a 444nm, 450nm, 456nm, 452nm e 470nm, que correspondem as absorbâncias dos carotenoides, α -caroteno, β -caroteno, δ -Caroteno γ -caroteno e licopeno, respectivamente. O teor de cada carotenoide foi calculado seguindo a fórmula proposta na metodologia. Os resultados foram expressos em $\mu\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$ de amostra fresca.

$$\text{Teor de carotenoides } (\mu\text{g. } 100 \text{ g}^{-1}) = \frac{\text{Abs} \times V \times 10^6}{E_{cm}^{1\%} \times m} \quad \text{Equação 1}$$

Em que *Abs* é a absorvância da solução no comprimento de onda específico; *V* é o volume final da solução; $E_{cm}^{1\%}$ é o coeficiente de extinção ou coeficiente de absorvidade molar de um pigmento em um determinado solvente específico, no caso o éter de petróleo, e *m* é a massa da amostra tomada para a análise em g.

2.5.4 Rendimento

O rendimento da microencapsulação (RM) foi determinado, utilizando-se a massa total de sólidos antes da microencapsulação (MSA) e a massa total de sólidos obtidos após a microencapsulação (MSD) (Equação 2).

$$\text{RM}(\%) = \frac{\text{MSD}}{\text{MSA}} \times 100 \quad \text{Equação 2}$$

Onde: MSA é massa total (g) de sólidos antes do microencapsulação e MSD é massa total de microcápsulas (g) obtida após microencapsulação.

2.5.5 Solubilidade em água

A solubilidade das microcápsulas foi determinada, segundo a metodologia modificada escrita por CANO-CHAUCA et al. (2005). Para a determinação 1 g de amostra, foi adicionado 100 ml de água destilada, obtendo-se uma solução, a qual foi centrifugada a 3000 rpm, por 5 min. e, em seguida, colocado 25 ml do sobrenadante em placa de Petri seca e vazia, com massa conhecida e levada à estufa de circulação de ar a 105°C, por 8h. A solubilidade foi calculada pela diferença de massa e os resultados foram expressos em percentual de solubilidade.

2.5.6 Eficiência da microencapsulação

Para a quantificação dos carotenoides, presentes na superfície das micropartículas, 0,1 g de amostra e 5 ml de hexano foram misturados e levados ao agitador vórtex por 10s, seguidos de centrifugação a 3420 x g durante 10 min, coletando-se o sobrenadante. Para quantificação de carotenoides totais, seguiu a metodologia analítica proposta por Rodriguez-Amaya (2001). O resultado foi expresso em percentual de carotenoides encapsulados (%EE), com o cálculo realizado por meio da Equação 3 (Sutter; Buera; Elisalde, 2007).

$$\%EE = \frac{(CT - CS)}{(CT)} \times 100 \quad \text{Equação 3}$$

Onde: CT é o teor de carotenoides totais e CS é o teor de carotenoides da superfície.

2.5.7 Análise de cor

As medições de cor foram realizadas utilizando colorímetro Konica Minolta CR-400, no espaço de cores CIELAB da Comissão Internacional de l'Éclairage, utilizando o sistema de escala de cor L, a* e b*, croma (C*) e ângulo hue (h°).

2.5.8 Compostos Fenólicos Totais

2.5.8.1 Obtenção dos extratos

Esse procedimento foi adaptado de Rufino et al. (2010). Pesaram-se 2,5 g da amostra em tubo de centrífuga e adicionaram-se 20 ml de etanol 95%; homogeneizou-se o composto e deixou-se em agitação (em mesa agitadora) por 30 minutos ao abrigo da luz, levando-se, posteriormente, os tubos ao banho ultrassom (UltraCleaner 1600A) por 30 minutos, seguido de filtragem em papel de filtro (papel filtro qualitativo, 15 cm de diâmetro, Unifil®), e armazenados em frascos de vidro âmbar a -18 °C até a realização das metodologias para fenólicos.

2.5.8.2 Método de Folin-ciocalteau

O teor de fenólicos totais foi determinado, utilizando o ensaio de Folin-Ciocalteu (PARADISO et al., 2018) com algumas alterações. Em resumo, em cada poço de uma microplaca de 96 poços, fundo chato, 30 μL do extrato foram misturados com 150 μL do reagente Folin-ciocalteau a 10% (v.v⁻¹). Após quatro minutos, foram adicionados mais 120 μL de uma solução de carbonato de sódio a 4% (p.v⁻¹). Essa mistura reacional foi incubada durante 2 h ao abrigo da luz e o teor de fenólicos totais foi determinado a 720 nm, utilizando leitor de microplacas (EZ Read 2000, Biochrom®). O cálculo do teor de fenólicos foi realizado a partir da equação da reta obtida da curva padrão de ácido gálico. Os resultados foram expressos em miligramas de equivalente de ácido gálico (GAE) por cem gramas de amostra fresca.

2.5.8.3 Método Fast Blue

Realizado conforme descrito por Medina (2011), com algumas adaptações, ou seja, duzentos microlitros do extrato foram misturados com 20 μL de reagente Fast Blue (0,1%, v/v) e 20 μL de hidróxido de sódio (5%, p/v), e a absorbância foi medida a 420 nm após 1,5 h de incubação no escuro. Todas as medições foram realizadas em triplicata, usando um leitor de microplacas de 96 poços (Biochrom EZ Read 2000). Os resultados foram relatados como equivalentes de ácido gálico em miligramas por 100 g de peso fresco da amostra (mg GAE/100 g FM).

2.5.9 Atividade antioxidante

2.5.9.1 Sistema β -Caroteno/ácido linoleico

A determinação da atividade antioxidante pelo método β -caroteno/ácido linoleico baseou-se na oxidação de β -caroteno (descoloração) induzida pelos produtos da degradação oxidativa do ácido linoleico (RUFINO et al., 2010). As soluções foram preparadas, misturando 270 μL de solução de sistema de β -caroteno/ácido linoleico e 20 μL de extrato em cada poço de uma microplaca de 96 poços, fundo chato. A mistura foi mantida em banho-maria a 40 °C; em seguida, foram realizadas as leituras a 470 nm em um leitor de microplacas (EZ Read 2000, Biochrom®), após o intervalo de 2 horas. Os resultados foram expressos em percentagem de inibição da oxidação.

2.5.9.2 Método de captura do radical ABTS⁺

A atividade antioxidante foi fundamentada na captura do radical ABTS⁺ por um antioxidante. Resumidamente, a solução do radical foi preparada, fazendo reagir o sal de diamônio 2,2'-azinobis (ácido 3-etilbenzotiazolino-6-sulfônico) a uma concentração de 7 mmol.L⁻¹ com persulfato de potássio 2,45 mmol.L⁻¹ à temperatura ambiente ($\pm 25^{\circ}\text{C}$) durante 16 horas. A solução obtida foi, então, diluída com etanol (98,2%) até absorvância de $0,70 \pm 0,05$ a 734 nm. Para a determinação, as soluções foram preparadas misturando 3 ml da solução do radical ABTS⁺ e 30 μL de extrato em cada poço de uma microplaca de 96 poços, fundo chato. Após 6 minutos do tempo de reação ao abrigo da luz, a absorvância foi medida a 734 nm no mesmo leitor de microplacas citado anteriormente. Os resultados da atividade antioxidante foram expressos em % de proteção. A capacidade de reduzir o radical ABTS⁺ foi calculada utilizando a equação 4.

$$\% \text{Redução} = \frac{\text{Abs controle} - \text{Abs amostra}}{\text{Abs controle}} \times 100 \quad \text{Equação 4}$$

Onde: Abs controle = Absorvância da solução do radical ABTS⁺ inicial e Abs amostra = Absorvância da mistura reacional após 6 minutos de reação.

2.5.10 Espectroscopia no infravermelho médio (FTIR-ATR)

A análise de espectroscopia no infravermelho médio (FTIR-ATR) foram realizadas, empregando espectrômetro FT-IR Varian 600-IR com transformada de Fourier (FTIR), com acessório GladiATR da Pike Technologies, acoplado para medidas por reflectância total atenuada (ATR a 45° com cristal de seleneto de zinco). A faixa espectral analisada foi de 4000 a 500 cm^{-1} , resolução de 4cm^{-1} e 56 varreduras.

2.5.11 Análise termogravimétrica (TGA/DTA)

As curvas referentes à análise termogravimétrica (TGA/DTA) foram obtidas por meio de analisador térmico (Shimadzu-DTG 60 H) nas seguintes condições: atmosfera inerte de nitrogênio com fluxo de 50 $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$; taxa de aquecimento de $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$; faixa

de temperatura de 25 a 500 °C. Utilizaram-se, aproximadamente, 5 mg de amostra para a realização das análises.

2.5.12 Morfologia e tamanho de partículas

As formas das microcápsulas foram observadas por microscopia eletrônica de varredura, segundo metodologia descrita por Li et al. (2019). Cada amostra do material foi pulverizada sobre fita dupla face pré-fixada em “stubs”, retirando o excesso logo após sua deposição. Em seguida, as mesmas foram secas ao ponto crítico em aparelho (Balzers CPD 050), metalizadas com ouro e visualizadas em microscópio eletrônico de varredura FEG de ultra alta resolução (UHR) (Tescan-Clara, Czech Republic) no Laboratório de Microscopia Eletrônica e Análise Ultra estrutural da Universidade Federal De Lavras (LME/UFLA). O tamanho das micropartículas foi medido a partir de imagens obtidas em microscopia eletrônica de varredura, por meio do software livre ImageJ® (licença livre), conforme descrito por Calvo e Santagapita (2016). O software foi calibrado para transformar os pixels medidos em unidade de comprimento (μm).

2.6 Estabilidade das microcápsulas

2.6.1 Estabilidade das microcápsulas em diferentes pH

O efeito do pH na estabilidade das microcápsulas foi determinado pela preparação de uma escala de pH com 13 tubos. Foi feita a diluição das amostras (1:60) nos diferentes meios constituídos por água em que o pH foi modificado oportunamente com HCl e NaOH para representar uma faixa de pH de 1 a 13.

2.6.2 Estabilidade das microcápsulas em ausência e presença de luz em diferentes temperaturas

Para a avaliação da estabilidade das microcápsulas em ausência e presença de luz em diferentes temperaturas foi adotado um delineamento inteiramente ao acaso com 3 repetições. Os dados foram submetidos a análise de variância e de regressão (para os fatores quantitativos: tempo de armazenamento e temperatura), testando-se modelos de até 2°. Os modelos foram selecionados com base na significância do teste F ($p < 0,05$) e

coeficiente de determinação (R^2) igual ou superior a 60. Para o estudo, as microcápsulas foram adicionadas em potes plásticos de polietileno com tampa e acondicionados em temperatura ambiente 25 ± 5 °C (presença de luz) e temperatura de refrigeração -4 ± 2 °C (ausência de luz) e foi realizada a quantificação de carotenoides no tempo 0 e a cada dez dias até seus múltiplos completarem 30 dias (0, 10, 20 e 30).

2.7 Aplicação em matriz alimentar

2.7.1 Iogurte

Para a realização da aplicação em iogurte, 1 grama das microcápsulas foram adicionadas em 20 ml de iogurte natural, seguido de homogeneização e acondicionamento em potes plásticos estéreis. As amostras foram armazenadas sob refrigeração -4 ± 2 °C e a mudança de cor durante o armazenamento foram medidas utilizando colorímetro Konica Minolta CR-400, no espaço de cores CIELAB da Comissão Internacional de l'Éclairage, utilizando o sistema de escala de cor L, a^* e b^* , croma (C^*) e ângulo hue (h°) no tempo 0 e a cada dez dias até seus múltiplos completarem 30 dias (0, 10, 20 e 30). As análises foram realizadas em três repetições em triplicatas. Os dados foram submetidos a análise de variância e de regressão (para os fatores quantitativos: tempo de armazenamento e parâmetros colorimétricos), testando-se modelos de até 2°. Os modelos foram selecionados com base na significância do teste F ($p < 0,05$) e coeficiente de determinação (R^2) igual ou superior a 60%.

2.8 Análise Estatísticas

Os dados foram submetidos a análise de variância e as médias dos tratamentos comparadas pelo teste de Tukey a 5% ($p < 0,05$). Para auxiliar na conclusão sobre os melhores tratamentos e para identificar padrões, foi aplicada análise de componentes principais (ACP) para os dados médios de cada experimento, individualmente. Para selecionar as componentes principais, foi utilizado o critério de Jolliffe (1972) e variância acumulada mínima de 70%. As variáveis participantes em cada componente principal foram determinadas com base em correlação ± 0.6 do autovetor com o componente em questão. Todas as análises foram realizadas com o auxílio do software R 4.0.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização do extrato

Os resultados das análises do pH, teor de carotenoides e cor do extrato das cascas de tucumã estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Médias seguidas de desvio padrão da caracterização de pH, Teor de carotenoides e parâmetros de cor L*(Luminosidade) a*(cromaticidade (+) vermelho e (-) verde), b*(cromaticidade (+) amarelo e (-) azul), H° (Ângulo Hue) e C* (Chroma) dos extratos pigmentados das cascas de tucumã (Latitude: 10° 10' 8" Sul, Longitude: 48° 19' 54", Brasil, 2022).

Determinações	
pH	4,09±0,30
Teor de carotenoides (µg.100g⁻¹)	2765,13±395,76
L*	32,63±0,04
a*	20,51±0,03
b*	30,0±0,03
C*	36,34±1,23
H°	55,6±1,03

Conforme mostra a tabela 2 o pH do extrato foi de 4,09 mantendo-se na faixa considerada de alta acidez. Segundo Stringer e Peck (2008), extratos com pH abaixo de 4,5 são considerados de alta acidez. Porém o valor de pH encontrado não afeta a estabilidade dos carotenoides, pois esses compostos mantêm estabilidade na faixa de pH entre 3 e 7 (RODRIGUEZ-AMAYA, 2019).

O processo de extração de pigmentos com a aplicação de enzimas podem oferecer altos rendimentos, devido a capacidade das enzimas de solubilizar e hidrolisar a parede celular dos frutos. O teor de carotenoides no extrato de tucumã utilizando a enzima pectinase para extração foi de 2765,13 µg.100g⁻¹. A extração baseada no processo enzimático é a ruptura da parede celular com a atuação da enzima como catalisador realizando a hidrólise e a liberação de compostos intracelulares, esse método de extração apresenta menor impacto ambiental e obtenção de produtos mais seguros (SOWBHAGYA & CHITRA, 2010; PURI et al., 2012). Nos estudos de Strait et al. (2015), a enzima pectinase aumentou o rendimento total de licopeno de tomate (50%),

confirmando que a extração assistida por enzimas podem alcançar rendimento superior em relação aos métodos tradicionais existentes.

A coloração do extrato são influenciadas por fatores, tais como espécie, grau de maturação do fruto, concentração de carotenoides, além da temperatura e duração do processo de extração (CHANG; HSIEH; JIANG, 2016). De acordo com o padrão do sistema CIE L* (Luminosidade), a* (vermelho), b* (amarelo) , C* (saturação) e H°, observa-se que o extrato apresentou coloração vermelho-alaranjado característica do cor do fruto. Os valores do ângulo Hue (h°) encontrado para o extrato (55,6) se encontra na faixa intermediária entre o vermelho e amarelo. Segundo o sistema Segundo o sistema CIELAB, se o ângulo estiver entre 0° e 90° quanto mais próximo ao 0° mais vermelho, e quanto mais próximo ao 90° mais amarelo.

3.2 Caracterização das microcápsulas

Os resultados encontrados na caracterização das microcápsulas produzidas do extrato rico em carotenoides das cascas de tucumã são mostrados na Tabela 3.

Tabela 3. Médias seguidas de desvio padrão da caracterização química e física das microcápsulas dos extratos pigmentados das cascas de tucumã (Latitude: 10° 10' 8" Sul, Longitude: 48° 19' 54", Brasil, 2022) utilizando goma arábica (GA 1:1), (GA 1:3) e goma arábica e maltodextrina (MD-GA 1:1).

Determinações	GA 1:1	GA 1:3	MD-GA 1:1
Umidade (%)	1,62±0,002 ^a	0,47±0,0006 ^c	1,15±0,0002 ^b
Atividade de água (Aw)	0,15±0,0008 ^b	0,13±0,001 ^c	0,16 ±0,0008 ^a
Carotenoides (µg/g)	1351,0±49,24 ^c	2093,28±100,93 ^a	1713,23±120,93 ^b
Rendimento (%)	51,07±2,12 ^a	42,73±2,60 ^b	55,37±1,91 ^a
Solubilidade (%)	79,71±0,3 ^a	70,0±1,32 ^c	74,04±2,82 ^b
Eficiência (%)	80,76±1,16 ^c	83,62±3,31 ^b	88,40±1,24 ^a
L*	85,13±0,001 ^c	88,41±0,005 ^b	92,34±1,74 ^a
a*	3,90±0,005 ^a	3,0 ±0,01 ^b	1,82 ±0,005 ^c
b*	19,23±0,005 ^a	18,04±0,005 ^b	14,77±0,005 ^c
C*	19,62±0,005 ^a	18,29±0,005 ^b	14,88±0,005 ^c
H°	78,54±0,02 ^c	80,57±0,02 ^b	82,96±0,02 ^a

*Letras iguais, na linha, não apresentam diferença significativa entre si (Tukey p<0,05).

3.2.1 Umidade

O teor de umidade é um importante indicador de eficiência de secagem, pois está diretamente relacionado com a fluidez e estabilidade das microcápsulas durante o armazenamento (MACHADO et al., 2022; SANTOS et al., 2022; SANTOS et al., 2021). Os resultados apresentaram diferenças significativas a ($p < 0,05$) entre os tratamentos, com valores de umidade variando de 0,47% a 1,62%. O menor valor de umidade encontrado foi para as microcápsulas produzidas por GA 1:3 (0,47%). Um fator que pode ter corroborado no baixo teor de umidade encontrado para essas microcápsulas foi o aumento da concentração do agente encapsulante na solução de alimentação, uma vez que as condições de secagem foram iguais para todos os tratamentos. Abadio et al. (2004), relataram que o aumento da concentração do agente encapsulante, resultou uma diminuição nos teores de umidade em pós produzidos de suco de abacaxi. Isso acontece devido esse aumento elevar a matéria sólida na solução de alimentação favorecendo ligações com a água. Os teores de umidade são influenciados pelas técnicas de secagem, interação dos materiais de paredes e parâmetros operacionais empregados na microencapsulação (KANG et al., 2019). Os autores Silva et al. (2018), investigaram as propriedades físico-químicas da polpa de tucumã (*Astrocaryum aculeatum*) encapsulada com diferentes biopolímeros (goma arábica, maltodextrina, dextrina e amido modificado) e encontraram altos teores de umidade variando de 7,54% a 8,03%. Essas diferenças observadas estão associadas com as propriedades dos agentes encapsulantes, visto que a interação dos biopolímeros dependem das propriedades moleculares e sua capacidade de se associar a água.

3.2.2 Atividade de água (A_w)

A atividade de água (A_w) é um parâmetro importante capaz de prever a ocorrência de reações bioquímicas e crescimento biológico dentro de um sistema alimentar (JANISZEWSKA-TURAK et al., 2017). Os valores de A_w dos tratamentos variaram de 0,13% a 0,16%, com menor atividade de água para as micropartículas formadas utilizando GA 1:3. Segundo Zhang et al. (2020), baixos teores de atividade de água inibem a atividade enzimática e crescimento microbiano, além de ser um índice essencial para manter a estabilidade física e química das micropartículas. Sakulnarmrat, Wongsrikaew,

Konczak et al. (2021), microencapsularam extrato rico em antocianinas de repolho roxo e encontraram baixa atividade de água, variando de 0,31 a 0,36. Em outro estudo os autores Santiworakun et al. (2022), microencapsularam óleo de semente de cominho preto (*Nigella Sativa*) por atomização por spray-dryer encontrando valores de atividade de água de 0,10 a 0,21. Recomenda-se que os valores de atividade de água estejam na faixa de 0,1 a 0,4 para garantir melhor estabilidade das microcápsulas (TONON et al., 2008). No entanto os valores de Aw para todas microcápsulas encontrado nesse estudo estão dentro do limite recomendado.

3.2.3 Teor de Carotenoides

Os carotenoides são um grupo de pigmentos terpenóides de caráter lipofílico que variam a coloração entre vermelho, amarelo e laranja (CARMONA et al., 2018; SANTOS et al., 2021). Alguns desses compostos são importantes percussores de vitamina A, o que lhe confere ação como composto fenólico (FERREIRA et al., 2021). A tabela 3 mostra os valores do total de carotenoides retido nas microcápsulas para os diferentes tratamentos. Os valores de carotenoides totais diferiram entre si ao nível de significância de ($p < 0,05$). Para as microcápsulas produzidas com GA 1:1, GA 1:3 e MD-GA 1:1 encontrou-se valores de 1351,08 $\mu\text{g/g}$, 2093,28 $\mu\text{g/g}$ e 1713,23 $\mu\text{g/g}$ respectivamente. Pode-se inferir que essas diferenças estão relacionadas com perdas durante o processo de secagem e propriedades físico-químicas dos agentes encapsulantes, uma vez que são fatores determinantes na retenção dos compostos (JANISZEWSKA-TURAK et al., 2017). Foi observado que o aumento da concentração do agente encapsulante nas microcápsulas produzidas com GA 1:3 houve maior proteção e retenção de carotenoides. Alguns fatores como viscosidade da emulsão, concentração dos agentes carreadores e temperatura do ar de secagem afetam diretamente a retenção de carotenoides no interior das microcápsulas (DING et al., 2020). Em seu estudo Ferreira et al. (2021), microencapsularam carotenoides de coprodutos de tucumã utilizando maltodextrina e goma arábica e encontraram teor de carotenoides totais de 2559 mg/g e certificaram que a microencapsulação forneceu boa proteção para esses compostos bioativos.

3.2.4 Rendimento

O rendimento do processo de microencapsulação corresponde a fração recuperada do produto final (YINGNGAM et al., 2018). Os valores encontrados nesse estudo, variaram de 42,73% a 55,37%, sendo que o menor rendimento foi obtido para microcápsulas produzidas com GA 1:3 (42,73%). Concentrações superiores do agente encapsulante pode elevar a aderência na parede da câmara de secagem, conseqüentemente reduzindo o rendimento, uma vez que o rendimento da microencapsulação depende do tipo e concentração do agente carreador utilizado na solução de alimentação (RUTZ et al., 2016; SANTANA et al., 2016). A retenção das microcápsulas na câmara de secagem não é desejável, devido afetar o rendimento final, e a qualidade do produto, visto que as microcápsulas acumuladas recebem tratamento térmico intenso e quando dissociados podem mistura-se com as demais partículas alterando suas propriedades de solubilidade, umidade e cor (JAFARI et al., 2021; RUTZ et al., 2016). Os valores de rendimento encontrados nesse estudo foram superiores aos obtidos para a secagem por pulverização luteína (9,94-32,7%) (ÁLVAREZ-HENAO et al., 2018) e semelhantes aos resultados encontrado para microencapsulação de extrato rico em betalainas de *Escontria chiotilla* e *Stenocereus queretaroensis* (24,4-71,4%) (DELIA et al., 2019).

3.2.5 Solubilidade em água

A solubilidade é um fator muito importante para o estudo de microencapsulados pois esse parâmetro corresponde a capacidade de dissolução de um material em meio específico (SANTOS et al., 2021). Os tratamentos apresentaram valores de solubilidade em água variando de 70,0% a 79,71% com menor solubilidade para as microcápsulas formadas a partir GA 1:3. Observa-se que com o aumento do agente carreador na solução de alimentação houve diminuição na solubilidade das partículas. Em geral as microcápsulas produzidas para GA 1:1, GA 1:3 e MD-GA 1:1 obtiveram solubilidade em torno de 70%. Este resultado é satisfatório, uma vez que a goma arábica e maltodextrina são bons encapsulante para retenção de compostos bioativos com alta capacidade de solubilidade em água. Os autores Mar et al. (2020), encapsularam suco de mirtilo da Amazônia com maltodextrina (MD) de diferentes equivalentes de dextrose (DE – MD10, MD20 E MD30) e encontraram teores de solubilidade, variando de 75% a 94%. Os diferentes resultados podem ser devido a interferência do composto microencapsulado, visto que os carotenoides possuem características hidrofóbicas tendenciado a uma baixa solubilidade comparado com o suco de mirtilo da Amazônia (PAINI et al., 2015)

3.2.6 Eficiência da microencapsulação

A eficiência de microencapsulação determina o grau de proteção do material ativo retido no interior das microcápsulas, podendo ser influenciada por inúmeros fatores, como matriz encapsulante, relação núcleo: material de revestimento, teor de sólidos na solução de alimentação e temperatura do ar de secagem (KANG et al., 2019; SANTOS et al., 2021; TONON et al., 2008). Segundo a tabela 3 houve diferença significativa ($p < 0,05$) para os valores de eficiência dos tratamentos. Pode-se observar que as microcápsulas formadas com GA 1:1 e GA 1:3 apresentaram eficiência menores de 80,76% e 83,62% respectivamente comparada com a combinação de goma arábica e maltodextrina MD-GA 1:1 (88,40%). Segundo Tolun; Altintas; Artik (2016), as propriedades emulsificantes e formação de filme da goma arábica associados com a maltodextrina melhoram a eficiência de microencapsulação, considerando que nem sempre um único agente encapsulante possui todas propriedades ideais desejadas. Em seu estudo Zanoni et al. (2020), microencapsularam antocianina de chicória vermelha (RCH) e repolho roxo (RCA) e obtiveram eficiência de encapsulação de 79% (RCA) e 88% (RCH). Já Eitzbach et al. (2020), microencapsularam extrato rico em carotenoides de amora (*Physalis peruviana L.*) pela técnica de *spray drying* utilizando a combinação de goma arábica e maltodextrina e alcançaram eficiência de encapsulação de aproximadamente 50%, resultado inferior aos encontrados no presente estudo.

3.2.7 Cor

Os valores dos parâmetros (L^* , a^* , b^* , C^* e H°) encontrados para as cores das microcápsulas encontram-se na tabela 3. Visualmente as microcápsulas produzidas em cada ensaio se apresentaram na forma de um pó fino e solto com coloração clara, devido a coloração do extrato e do agente carreador (Fig. 1).



Fig. 1: Aspecto visual das microcápsulas dos extratos das cascas de tucumã (Latitude: 10° 10' 8" Sul, Longitude: 48° 19' 54", Brasil, 2022) produzidas por secagem por spray-dryer utilizando goma arábica (GA 1:1), (GA 1:3) e goma arábica e maltodextrina (MD-GA 1:1).

De acordo com a tabela 3, em relação ao índice L^* brancura e a luminosidade de 0 (preto) a 100 (branco) dos tratamentos, verificou-se que os valores variaram de 85,13 a 92,34. Pode-se observar que as microcápsulas produzidas com MD-GA 1:1 apresentou um aumento na luminosidade devido a presença da maltodextrina. Essas diferenças de luminosidade estão relacionadas com as diferentes concentrações de material encapsulante e as proporções do material do núcleo empregados nos tratamentos. Todos os tratamentos apresentaram coloração com aspecto mais claros, isso já era esperado pois, ambos os agentes encapsulantes utilizados (GA e MD) possuíam coloração esbranquiçada e os mesmos diluem a coloração alaranjada característica do extrato puro. O parâmetro a^* que varia do verde (-) ao vermelho (+) indicou que MD-GA 1:1 sofreu alteração de cor em relação a GA 1:1 e GA 1:3. No geral todos os valores foram positivos para o parâmetro a^* , indicado que as microcápsulas produzidas direcionaram para a cor vermelha. Os resultados obtidos para o parâmetro b^* que varia do azul (-) para amarelo (+) também estão apresentados na tabela 3. Os valores para este parâmetro variaram de 14,77 a 19,23 ou seja, a coloração dos pós tendeu para a coloração amarela. Esta é uma indicação clara de extração bem sucedida de carotenoides das cascas do tucumã. As microcápsulas produzidas com MD-GA 1:1, obtiveram menores valores para o índice b^* , indicando interferência da maltodextrina na formulação.

Em relação aos valores obtidos para o C^* (cromaticidade) que indica saturação, verificou que os valores variaram de 14,88 a 19,62. Os valores ficaram próximos aos obtidos para o parâmetro b^* , devido os valores baixos de a^* não ter influenciado no cálculo para obtenção da saturação. Para o ângulo Hue (h°) os valores ficaram entre

78,54% (GA 1:1), 80,57% (GA 1:3) e 82,96 (MD-GA 1:1). Segundo o sistema CIELAB, se o ângulo estiver entre 0° e 90°, quanto mais próximo ao 0° mais vermelho, e quanto mais próximo ao 90° mais amarelo. Os resultados indicaram que as microcápsulas do extrato de tucumã apresentaram tonalidade amareladas, indicando uma boa concentração de carotenoides o que é de interesse para a produção de corantes naturais Lima et al. (2021), produziram um corante rico em carotenoides de a partir das cascas de abobora por spray-dryer e encontraram valores de L*, variando de 77,9 a 81,2, a* 0,5 a 6,9 e b* 36,6 a 52,1.

3.2.8 Atividade Antioxidante

Os resultados encontrados na quantificação de compostos fenólicos e atividade antioxidante das microcápsulas produzidas do extrato rico em carotenoides das cascas de tucumã são mostrados na Tabela 4.

Tabela 4. Médias seguidas de desvio padrão das análises da atividade antioxidante e teor de compostos fenólicos das microcápsulas produzidas dos extratos pigmentados das cascas de tucumã (Latitude: 10° 10' 8" Sul, Longitude: 48° 19' 54", Brasil, 2022) utilizando goma arábica (GA 1:1), (GA 1:3) e goma arábica e maltodextrina (MD-GA 1:1).

Determinações	GA 1:1	GA 1:3	MD-GA 1:1
ABTS⁺ (% de proteção)	32,89±3,65 ^b	30,50±0,8 ^b	46,35± 1,97 ^a
β-Caroteno/Ácido Linoleico (% de proteção)	62,71±0,84 ^a	58,45±2,73 ^b	52,18± 3,72 ^c
Folin-Ciocalteu (mg EAG 100 g⁻¹)	2833,77±82,52 ^b	2898,58±344,82 ^a	2719,39±221,32 ^c
Fast Blue (mg EAG 100 g⁻¹)	2246,62±134,14 ^b	2413,59±75,96 ^a	2464,83±152,25 ^c

*Letras iguais, na linha, não apresentam diferença significativa entre si (Tukey p<0,05).

Na determinação da atividade antioxidante pelo método ABTS⁺ (Tabela 4) é possível observar que não houve diferença estatística significativa (p<0,05), Para as microcápsulas produzidas com GA 1:1 (32,89%) e GA 1:3 (30,50%). Sendo observado uma maior porcentagem de proteção para as microcápsulas formadas com MD-GA 1:1 (46,35%). O radical ABTS⁺ é um composto cromóforo azul esverdeado quimicamente estável formado através da reação do persulfato de potássio com o sal ABTS⁺, o método

baseia na habilidade dos antioxidantes de capturar o radical $ABTS^+$, ocasionando uma perda de cor no meio reacional (SILVA; SANTOS, 2020). A interpretação do resultado obtido é simples, ou seja, quanto maior o valor obtido (% de proteção), maior será a atividade antioxidante da amostra.

Os dados referentes a porcentagem de proteção pelo método do β -Caroteno/Ácido Linoleico evidenciaram que as microcápsulas diferiram entre si a ($p < 0,05$). As microcápsulas produzidas utilizando goma arábica GA 1:1 (62,71%) e GA 1:3 (58,45%) obtiveram maiores porcentagem de inibição do que as microcápsulas produzidas por MD-GA 1:1 (52,18%). Pode-se inferir que os agentes encapsulantes e as concentrações de núcleo: material de parede interferiram nos compostos antioxidante que protegem o β -Caroteno de sofrer oxidação na presença de produtos da degradação oxidativa do ácido linoleico. Segundo Gulcin (2020), O ensaio do β -Caroteno/Ácido Linoleico consiste na descoloração da solução preparada com β -Caroteno/Ácido Linoleico em meio aquoso pelas espécies reativas de oxigênio. A atividade antioxidante deste método pode ser classificada como alta ($> 70\%$ de inibição da oxidação), intermediária (entre 40 e 70%) e baixa ($< 40\%$) (RUFINO *et al.* 2010). Os valores obtidos nesse estudo estão em concordância com os resultados encontrados por Ferreira *et al.* (2021).

3.2.9 Compostos fenólicos

Os compostos fenólicos compõem uma classe dos fitoquímicos alimentares amplamente distribuído em frutas e hortaliças que possuem números efeitos biológicos. Tais substâncias têm sido descritas como agente antibiótico, antialérgico e anti-inflamatório (ROSSETTO *et al.*, 2020).

Os valores obtidos na determinação do teor de fenólicos totais das microcápsulas formadas a partir do extrato de tucumã (tabela 4), apresentaram diferenças significativas a ($p < 0,05$), com valores variando de 2833,77 a 2898 mg EAG. 100 g^{-1} quantificação de Folin-Ciocalteu e de 2413,59 a 2246,62 mg EAG. 100 g^{-1} para o método do Fast Blue. Para todos os tratamentos observa-se que houve uma boa retenção desses compostos nas microcápsulas.

A detecção de compostos fenólicos é uma técnica que consiste em detectar fenóis a partir da interação de oxidação/redução e possivelmente metais quelantes (BARROS *et al.*, 2020). A quantificação de composto fenólicos pelo método de Folin-Ciocalteu é o mais usual, no entanto este método pode levar a resultados errôneos devido interferências

de compostos não fenólicos (substâncias redutoras, ácido ascórbico, aminoácidos e proteínas) (MEDINA, 2011). Já a técnica de quantificação de compostos fenólicos conhecida como Fast Blue é um método que baseia-se na reação do sal de diazônio com um grupamento hidroxila do grupo fenólicos em meio alcalino resultando na formação de complexos “azo”. Deste modo à eliminação de possíveis interferentes não fenólicos as mesmas enfrentados pelo método Folin Ciocalteu, uma vez que o mecanismo de reação é diferente (PICO et al., 2020). Partindo dessa teoria a razão das quantificações de compostos fenólicos encontrados pelo método de Folin-Ciocalteu apresentarem valores superiores aos resultados obtidos pelo método Fast Blu.

3.2.10 Espectroscopia no Infravermelho Médio (FTIR-ATR)

O FTIR-ATR foi utilizada para investigar a presença de diferentes grupos funcionais orgânicos e avaliar as possíveis interações do material do núcleo com o agente carreador após a secagem por pulverização (Ren et al., 2022; Tang et al., 2022). Na Fig. 2, estão dispostos os espectros obtidos com o FTIR-ATR das microcápsulas e materiais de parede entre 400 a 4000 cm^{-1} , região de melhor visualização de picos relativos aos carotenoides, compostos fenólicos e derivados.

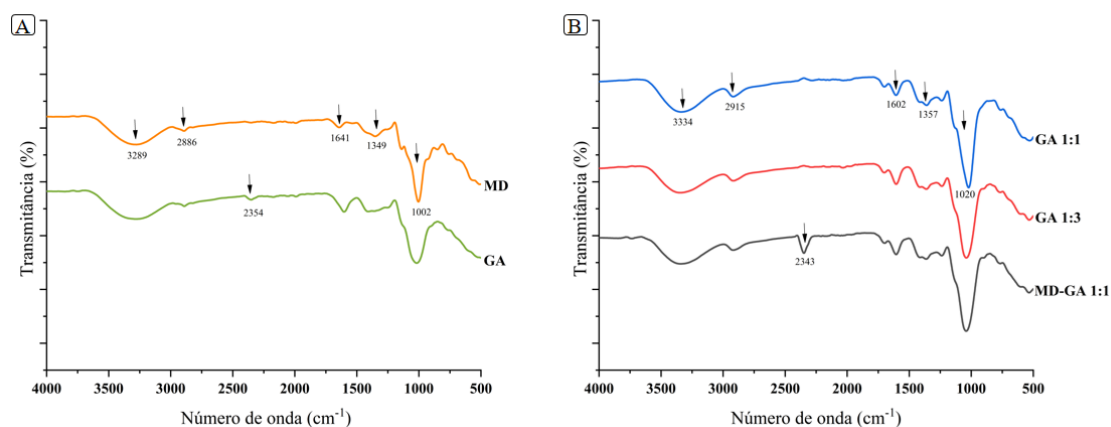


Fig. 2. Espectros de FTIR dos (A) materiais de parede maltodextrina (MD) e goma arábica (GA) e das (B) das microcápsulas produzidas dos extratos pigmentados das cascas de tucumã (Latitude: 10° 10' 8" Sul, Longitude: 48° 19' 54", Brasil, 2022) utilizando goma arábica (GA 1:1), (GA 1:3) e goma arábica e maltodextrina (MD-GA 1:1).

Os principais picos observados para maltodextrina (MD) e goma arábica (GA) foram em 3289 cm^{-1} , (vibração de estiramento O-H), 2886 cm^{-1} (estiramento de C-H). Foi

observado um pico 2354 cm^{-1} em GA, (bandas relativas a CO_2 e CO), provavelmente absorvidos do ambiente. Foram observados picos em 1641 cm^{-1} , (alongamento assimétrico e simétrico de C=O), 1349 cm^{-1} (alongamento de CH_2). E picos na faixa de 1200 cm^{-1} a 1002 cm^{-1} (associados as vibrações de alongamento de ligações C-O-H, C-O-C e C-C) (CARRA et al., 2022; KANG et al., 2019; TANG et al., 2022).

Para todas as microcápsulas foram observados picos em torno de 3334 cm^{-1} relacionados a ligações de hidrogênios e (estiramento de O-H e N-H), atribuídos a carboidratos ácidos carboxílicos, água residual, proteínas, álcoois e compostos fenólicos (CARRA et al., 2022), 2915 cm^{-1} , relacionados (a vibrações de estiramento simétrico e assimétrico de C-H) relativo a proteínas, lipídeos, carboidratos e ácidos nucleicos (GUO et al., 2022; SANTIWORAKUN et al., 2022; TANG et al., 2022). Foi observado que as microcápsulas de GA 1:1 mostraram um pico mais acentuado de 2343 cm^{-1} , próximo ao encontrado no espectro de GA, o que pode indicar interação do material ativos com o material de parede. As microcápsulas produzidas com GA 1:3 e MD-GA 1:1 não apresentaram a formação dessa banda, provavelmente devido a sobreposição do (estiramento de C-H) e (flexão de O-H) (KANG et al., 2019; URSACHE et al., 2018).

Os picos observados em 1602 cm^{-1} são referentes ao estiramento de (C=O) presente nos aldeídos e também estão relacionados com estruturas (C-C) em anéis aromáticos de compostos fenólicos, 1357 cm^{-1} estão associados a (deformação angular de (- CH_3)). E picos entre 1000 cm^{-1} e 900 cm^{-1} são atribuídos ao (estiramento das ligações de C-O, C-C) e estiramento e dobras das ligações de C-O-H) (NOGALES-BUENO et al., 2017). Segundo Quijano-Ortega et al. (2020), os carotenoides produzem uma banda característica em torno de 968 cm^{-1} , no entanto as bandas referentes aos materiais de paredes são predominantes, ocultando as bandas correspondentes a esses compostos.

3.2.11 Análise termogravimétrica (TGA/DTA)

As análises termogravimétricas TGA, permite conhecer a perda de massa do material (%) em função da temperatura, onde a curva DTA representa a primeira derivada da variação do peso em relação ao tempo facilitando a compreensão do gráfico (CARMO et al., 2018). A fig.3 fornece dados referentes ao comportamento térmico durante o aumento gradativo de temperatura dos materiais de parede maltodextrina (MD) e goma arábica (GA) e das microcápsulas produzidas dos extratos das cascas do tucumã

utilizando goma arábica (GA 1:1), (GA 1:3) e goma arábica e maltodextrina (MD-GA 1:1).

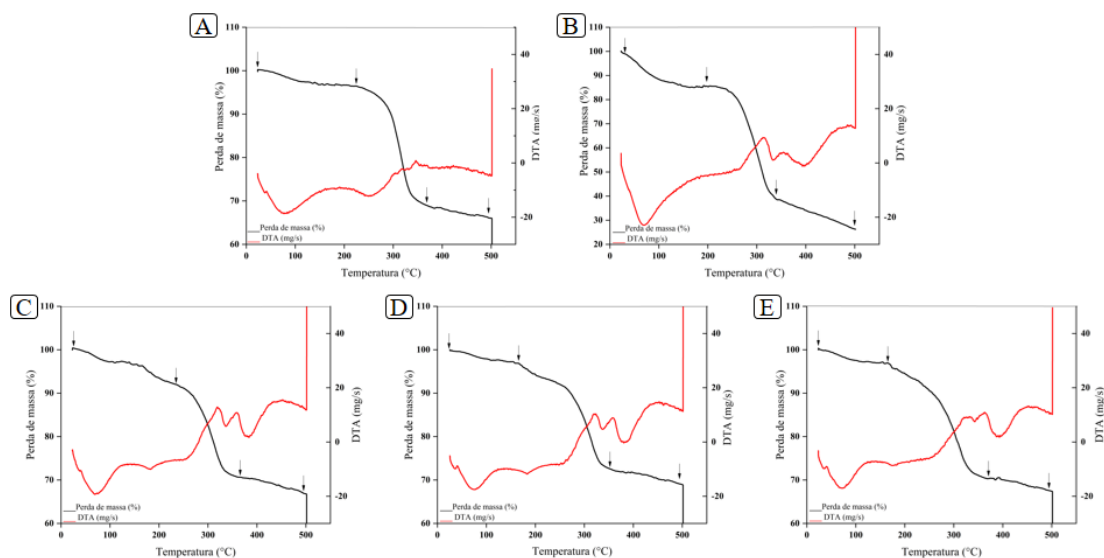


Fig. 3. Curvas termogravimétricas obtidas através da análise termogravimétrica (TGA/DTA) da, Maltodextrina (A), Goma arábica (B) e micropartículas produzidas dos extratos pigmentados das cascas de tucumã (Latitude: 10° 10' 8" Sul, Longitude: 48° 19' 54", Brasil, 2022) utilizando goma arábica GA 1:1 (C), GA 1:3 (D) e goma arábica e maltodextrina MD-GA 1:1 (E).

A primeira perda de massa ocorrida para os materiais de parede (fig.3 A) maltodextrina (30 °C a 220 °C) e (fig.3 B) goma arábica (30 °C a 200 °C) e para as microcápsulas produzidas com (fig.3 C) GA 1:1 (30°C a 180°C), (fig.3 D) GA 1:3 (30°C a 180°C) e (fig.3.E) MD-GA 1:1 (30°C a 180°C) pode ser relacionada à perda de água ligada e adsorvidas das moléculas (PAINI et al., 2015). Acima dessa faixa de temperatura, o processo de decomposição ocorreu em duas etapas, de acordo com cada amostra. Entre 200 °C a 400 °C é possível observar uma perda de massa mais intensa para goma arábica, isso ocorre devido a desidratação e a decomposição inicial de moléculas de carboidrato, tais resultados podem ser atribuídos à decomposição das cadeias de baixo peso molecular da goma arábica (CARMO et al., 2018), visto que a perda de massa intensa não foi observada nas amostras de maltodextrina pura. Já para as microcápsulas produzidas com GA 1:1, G1:3 e MD-GA 1:1 a perda de massa é devido aos processos de decomposição inicial de moléculas de carboidratos e também à desidratação (FRITZEN-FREIRE et al., 2012).

A terceira perda de massa observada foi em torno de 400 °C a 500 °C onde ocorre a degradação inicial de polissacarídeos e sequencialmente volatilização e formação de

compostos carbonáceos. As temperaturas que resultaram em maior taxa de perda de massa, podem ser consideradas temperaturas degradantes de componentes do material (MACÊDO, 1997).

3.2.12 Morfologia e tamanho de partículas

Conforme mostrado na Fig. 4, a morfologia externa das microcápsulas utilizando GA 1:1 (A, B e C), GA 1:3 (D, E e F) e MD-GA 1:1 (G, H e I) apresentaram partículas com formato esféricos côncavos colapsadas de tamanhos heterogêneos levemente aglomeradas, características provenientes do processo de secagem por *spray drying* (SANTIWORAKUN et al., 2022). Segundo Ding et al. (2020), a superfície côncava (rugosa) das paredes de microcápsulas é resultante do resfriamento após o intumescimento com a saída de vapor de água, no processo de atomização. Um outro fator que explica esta morfologia peculiar pode ser devido à baixa taxa de alimentação aplicada durante a etapa de secagem que, acoplada a baixa quantidade de sólidos, torna o processo de secagem muito rápido levando à produção de partículas pequenas e colapsadas (KALAJAHI; GHANDIHA, 2022). Segundo Bernstein e Noreña (2015), as concavidades na superfície das microcápsulas podem tornar a estrutura resistente a esforços mecânicos aplicados nas microcápsulas e pode promover uma melhor proteção do produto.

Pode-se observar que as microcápsulas não exibiram nenhuma ruptura (rachaduras e trincas), indicando uma boa proteção de cobertura do material do núcleo pelos materiais de parede. Morfologia semelhante foram encontradas nos estudos de Lima et al. (2021) e Tupuna et al. (2018).

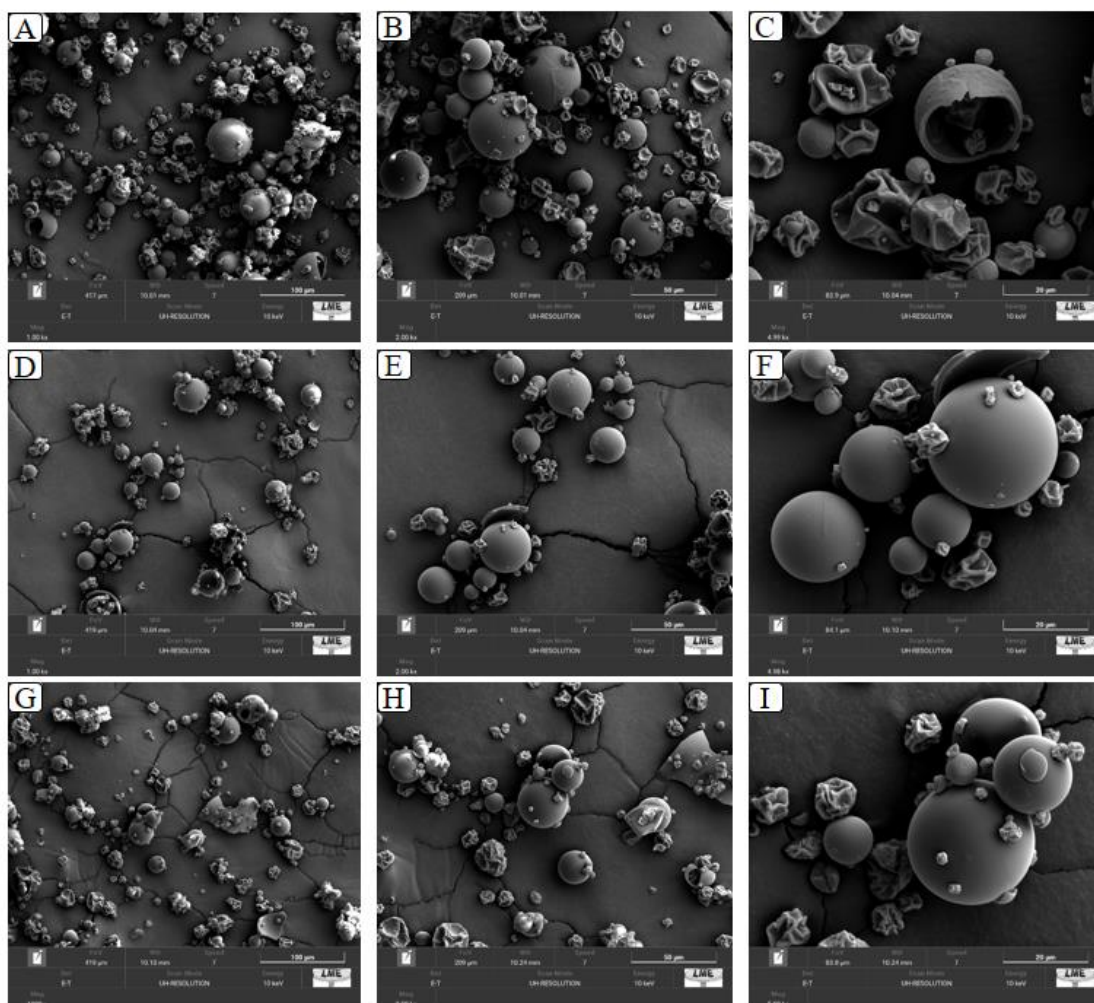


Fig. 4. Micrografias de microscopia eletrônica de varredura representativas de micropartículas obtidas da secagem por pulverização dos extratos pigmentados das cascas de tucumã (Latitude: 10° 10' 8" Sul, Longitude: 48° 19' 54", Brasil, 2022) com goma arábica e maltoxdetrina. Micropartículas produzidas com GA 1:1 (A. 1000x, B. 2000x e C. 5000x), GA 1:3 (D. 1000x, E. 2000x e F. 5000x) e 1MD:2GA 1:1 (G. 1000x, H. 2000x e I. 5000x).

O tamanho das partículas pode influenciado pelo tipo e concentração do agente carreador e os processos operacionais empregados no processo de secagem por atomização, como temperatura do ar de secagem e vazão da solução de alimentação (KUROZAWA et al., 2009). Segundo Kang et al. (2019), quanto menor o tamanho de diâmetro das partículas, mais rápida será sua dissolução em uma matriz alimentar. Os tamanhos dos diâmetros das microcápsulas estão apresentados na Fig.5.

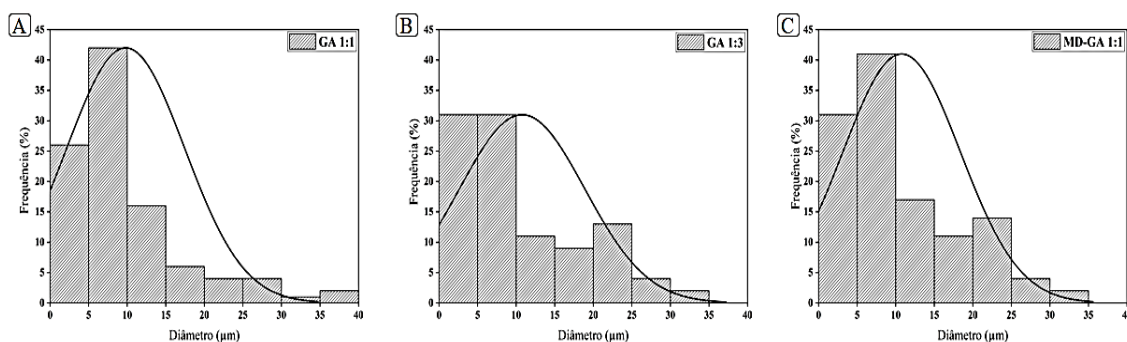


Fig.5. Distribuição dos diâmetros das partículas dos extratos pigmentados das cascas de tucumã (Latitude: 10° 10' 8" Sul, Longitude: 48° 19' 54", Brasil, 2022) produzidas com goma arábica A (GA 1:1), B (GA 1:3) e goma arábica e maltodextrina C (MD-GA 1:1).

O diâmetro médio das partículas das microcápsulas utilizando goma arábica e maltodextrina/carotenoides para as partículas formadas com GA 1:1, GA 1:3 e MD-GA 1:1 foram de 9,80 μm , 10,77 μm e 10,78 μm respectivamente. Pode-se observar que os tratamentos GA 1:1 (Fig.5 A) e MD-GA 1:1 (Fig.5 C) apresentaram a maior frequência entre 5-10 μm e diâmetros de partículas variando de 1,91 a 37,58 μm e 1,90 e 34,76 μm respectivamente. Já as microcápsulas produzidas com GA 1:3 (Fig.5 B) apresentou maior frequência entre 0-5 e 5-10 μm , e resultaram em diâmetros variando de 1,90 a 34,76 μm . A diferença entre os resultados podem estar atribuído a proporção do material ativo e agente carreador (JAFARI et al., 2021), visto que os parâmetros de secagem foram iguais para todas as microcápsulas. Um outro fator é que as partículas menores podem se associar as maiores tornando o tamanho das microcápsulas mais massivo. Silva et al. (2018), investigaram as propriedades físico-químicas da polpa de tucumã (*Astrocaryum aculeatum*) encapsulada com diferentes biopolímeros e encontraram diâmetros de partículas de 100,71 μm e 94,33 μm para goma arábica e maltodextrina respectivamente. Zhang et al. (2020) relataram tamanhos de partículas para microcápsulas contendo compostos bioativos da polpa e resíduo de acerola obtida por *spray drying* de 99,26 μm . Em contrapartida Janiszewska (2014), em seu estudo investigou o efeito do tipo de carreador (maltodextrina, goma arábica) na estabilidade de pigmentos de beterraba e encontrou diâmetro de partículas na faixa de 8,3 a 12,8 μm , resultados semelhantes aos obtidos no presente estudo.

3.2.13 Análise de Componentes Principais (PCA)

A Análise de Componentes Principais (PCA) foi aplicada aos dados descritos na Tabela 3 e 4 visando agrupar as microcápsulas (GA 1:1, GA 1:3 e MD-GA 1:1) de acordo com suas semelhanças de forma mais completa e intuitiva, além de facilitar a interpretação dos resultados gerados. Sendo assim, na Figura 6 encontra-se o mapa multidimensional obtido na Análise de Componentes Principais – PCA, onde cada microcápsula desenvolvida está apresentada por um ponto e os *loadings* encontrados das variáveis, assim como a porcentagem de variação de dados explicada e a variação acumulada para os componentes principais extraídos estão descritos na Tabela 5. Os dois primeiros componentes (PC1 e PC2) explicam 100% da variação de dados, onde o PC1 e o PC2 representam 66.14% e 33.86% da variação total, respectivamente (Figura 6 e Tabela 5). Esse elevado percentual de explicação constata a qualidade da aproximação em relação à transformação do conjunto de dados originais para as variáveis componentes principais.

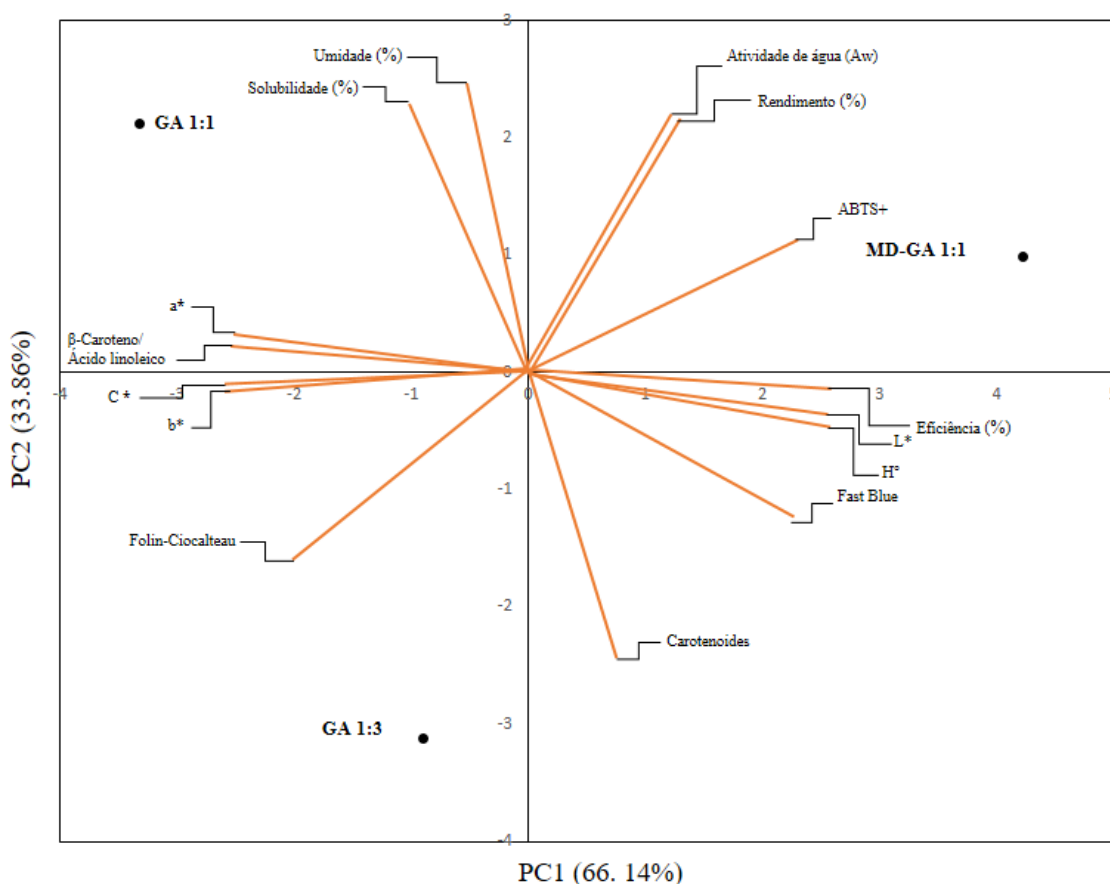


Fig. 6. Análises de componentes Principais (PCA) dos materiais de parede maltodextrina (MD) e goma arábica (GA) e das microcápsulas produzidas dos extratos pigmentados das cascas de

tucumã (Latitude: 10° 10' 8" Sul, Longitude: 48° 19' 54", Brasil, 2022) utilizando goma arábica (GA 1:1), (GA 1:3) e goma arábica e maltodextrina (MD-GA 1:1).

Através da PCA foi possível diminuir com menor perda de informação possível de 15 variáveis originais para apenas 2, permitindo o agrupamento das microcápsulas por meio da dispersão gráfica no espaço multidimensional, o que não é possível a partir das variáveis originais sem a perda significativa de informações.

Tabela 5. Loadings das variáveis juntamente com a variância e a variância acumulada para cada componente principal da PCA das microcápsulas produzidas dos extratos pigmentados das cascas de tucumã (Latitude: 10° 10' 8" Sul, Longitude: 48° 19' 54", Brasil, 2022) utilizando goma arábica (GA 1:1), (GA 1:3) e goma arábica e maltodextrina (MD-GA 1:1).

Variáveis	Loadings	
	PC1	PC2
Umidade	-0.211	0.977
Atividade de água	0.512	0.858
Carotenoides	0.300	-0.953
Rendimento	0.519	0.854
Solubilidade	-0.403	0.915
Eficiência	0.998	-0.060
L*	0.988	-0.1524
a*	-0.991	0.127
b*	-0.998	-0.057
C*	-0.999	-0.043
H°	0.987	-0.157
ABTS ⁺	0.896	0.442
β-Caroteno	-0.995	0.095
Folin-Ciocalteau	-0.775	-0.631
Fast Blue	0.876	-0.481
Variância (%)	66.14	33.86
Variância acumulada (%)	66.14	100.00

As variáveis responsáveis pelas separações no PC1 incluem a Eficiência, L, *a*, b*, C*, H°, ABTS⁺, β-Caroteno, Folin-Ciocalteau e Fast Blue com *loadings* de 0.998, 0.988, -0.991, -0.998, -0.999, 0.987, 0.896, -0.995, -0.775, 0.876 respectivamente. Esse

componente teve correlação positiva e significativa ($p < 0,05$) com eficiência, L^* e H° indicando que quanto maior o escore de CP1, maior será os valores para essas variáveis.

Já para o PC2 as variáveis Umidade, Atividade de água, Carotenoides, Rendimento, Solubilidade com *loadings* igual a 0.977, 0.858, -0.953, 0.854, 0.915 respectivamente foram a responsáveis pelas separações ocorridas nesse componente. O CP2 teve correlação positiva ($p < 0,05$) com Umidade e Solubilidade, demonstrando que essas determinações não foram suficientes para promover a distinção das amostras. Além disso, pode-se inferir que há uma tendência das amostras se aproximarem e formar três grupos de acordo com suas similaridades, os quais são i) GA 1:1, ii) GA 1:3 e iii) MD-GA 1:1. Dessa forma, é possível concluir a microencapsulação com diferentes materiais de parede promoveu a produção de microcápsulas distintas entre si principalmente em relação as suas atividades bioativas.

No presente estudo, com base na análise multivariada, provou ser uma ferramenta útil para avaliar as características de pigmentos de fontes de corantes naturais mostraram uma forte relação entre os parâmetros de cor (como a^*) e o conteúdo de pigmentos (carotenoides).

3.3 Estabilidade das microcápsulas

3.3.1 Estabilidade das microcápsulas em diferentes pH

Microcápsulas contendo carotenoides são bastante utilizados como pigmentos naturais para a aplicação de alimentos, entretanto agentes externos como calor, ácido, luz e oxigênio provocam alterações nesses compostos, resultando na formação de isômeros cis e diminuição na coloração (SANTOS et al., 2021). O processo de microencapsulação de carotenoides pode interferir nos atributos de cor desses pigmentos, através da interação com os sólidos (goma arábica e maltodextrina) e do tratamento térmico que esses compostos sofrem após o processo de atomização. Em razão disto as microcápsulas foram suspensas e tamponada em diferentes pH, de 1 a 13 (fig.7), a fim de evidenciar possíveis mudanças na coloração.

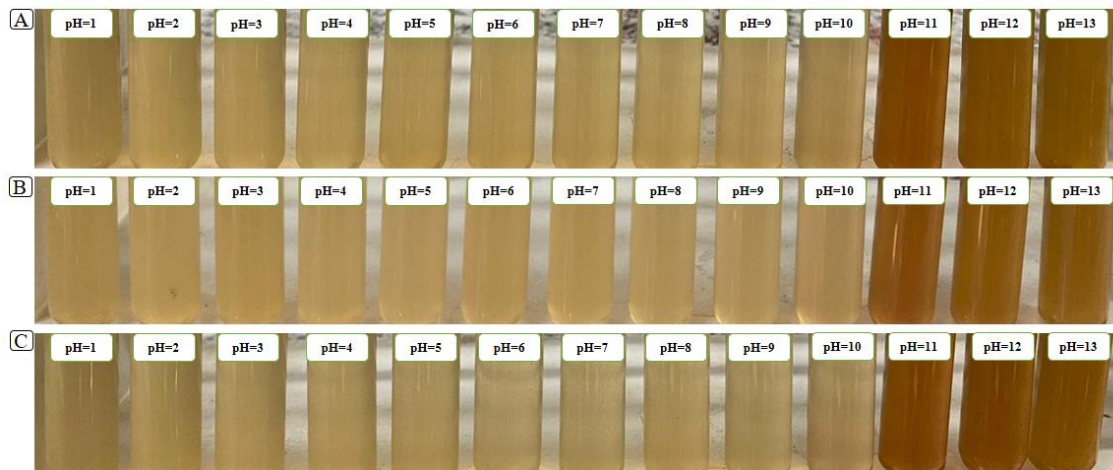


Fig.7. Estabilidade de micropartículas obtidas da secagem por pulverização dos extratos pigmentados das cascas de tucumã (Latitude: 10° 10' 8" Sul, Longitude: 48° 19' 54", Brasil, 2022) com goma arábica e maltodextrina em função da escala de pH (1 a 13). Micropartículas produzidas com GA 1:1 (A), GA 1:3 (B) e MD-GA 1:1 (C).

Entre a faixa de pH 1 e 10 as microcápsulas exibiram uma coloração laranja, nesse intervalo de pH foi possível observar uma estabilidade dos carotenoides microencapsulados pois não apresentaram mudança na coloração. Já na faixa de pH entre 11 e 13 é possível observar uma coloração mais intensa isso pode ter ocorrido devido a atuação das espécies carbonilas reativas (RCS) derivadas da reação de degradação dos ácido ascórbico formando uma coloração marrom causando um escurecimento no meio (BHARATE e BHARATE, 2014).

3.3.2 Estabilidade das microcápsulas em ausência e presença de luz sob diferentes temperaturas

Avaliar a estabilidade de carotenoides microencapsulados durante a estocagem é necessário para determinar o prazo de validade e verificar a qualidade visual e a viabilização da utilização desses pigmentos como corante natural nas indústrias alimentícias. A fig.8 fornece dados referentes a estabilidade das microcápsulas em temperatura ambiente 25 ± 5 (presença de luz) (fig.8 A) e refrigeração $-4 \pm 2^\circ\text{C}$ (ausência de luz) (fig.8 B) produzidas a partir dos extratos pigmentados das cascas de tucumã com a variação do tempo.

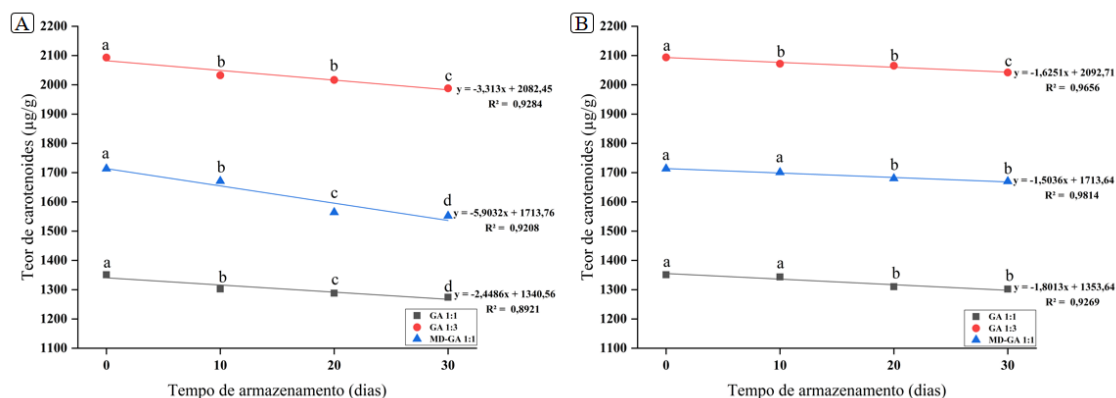


Fig.8. Gráfico da estabilidade das microcápsulas produzidas por secagem por pulverização dos extratos pigmentados das cascas de tucumã (Latitude: 10° 10' 8" Sul, Longitude: 48° 19' 54", Brasil, 2022) com goma arábica e maltodextrina (GA 1:1, GA 1:3 e MD-GA 1:1) em temperatura ambiente 25 ± 5 (presença de luz) (fig.8 A) e refrigeração $-4 \pm 2^\circ\text{C}$ (ausência de luz) (fig.8 B)

Conforme observado na figura 8 as microcápsulas armazenadas em temperatura ambiente tiveram maiores perdas de carotenoides durante o tempo, comparadas com a microcápsulas armazenadas sob refrigeração na ausência de luz. Embora a extração por enzimas forneça pigmentos mais estáveis, esses compostos são muito suscetíveis à isomerização e oxidação (SANTOS et al., 2021).

Observa-se na (fig.8 A) que todas as microcápsulas pigmentadas (GA 1:1, GA 1:3 e MD-GA 1:1) armazenadas em temperatura ambiente com incidência da luz sofreram redução nos teores de carotenoides nos primeiros 10 dias de armazenamento. Após esse período pode-se observar que houve diminuição contínua dos carotenoides nas microcápsulas GA 1:1 e MD-GA 1:1. Entretanto nota-se que houve menores perdas dos pigmentos nas microcápsulas GA 1:3 não apresentando diferença significativa ($p < 0,05$), no período de 10 a 20 dias de armazenamento. Entre os tempos 20 e 30 dias percebe-se um declínio no teor de carotenoides em todas as microcápsulas, porém as microcápsulas produzidas com GA 1:3 apresentaram maiores estabilidades contra fatores externos (luz e calor) em relação as microcápsulas produzidas com GA 1:1 e MD-GA 1:1. Os carotenoides possuem um sistema de ligações conjugadas que conferem sua coloração, entretanto são facilmente degradados quando há exposição a luz, calor, ácidos e oxigênio. Essa exposição causa degradação por isomerização e oxidação o que causa a perda ou mudança na coloração além da diminuição da sua atividade biológica (VERDUIN, 2020; MIRANDA et al., 2021; DR et al., 2012).

Em estudo de chuyen et al. (2019), que microencapsularam óleo rico em carotenóides da casca de Gac (*Momordica cochinchinensis Spreng.*), os autores observaram que o teor de carotenoides armazenados a 5 °C apresentaram menor perda do que aqueles mantidos a 20 °C durante um período de 6 meses de armazenamento, isso pode ser explicado devido a maior suscetibilidade à degradação dos carotenoides com o aumento de temperatura.

3.4 Aplicação em matriz alimentar

3.4.1 Iogurte

A estabilidade de cor (L^* , a^* e b^*), do iogurte contendo as micropartículas produzidas a partir dos extratos pigmentados das cascas de tucumã armazenadas a $-4\pm 2^\circ\text{C}$ por 30 dias são mostrados na Fig. 9.

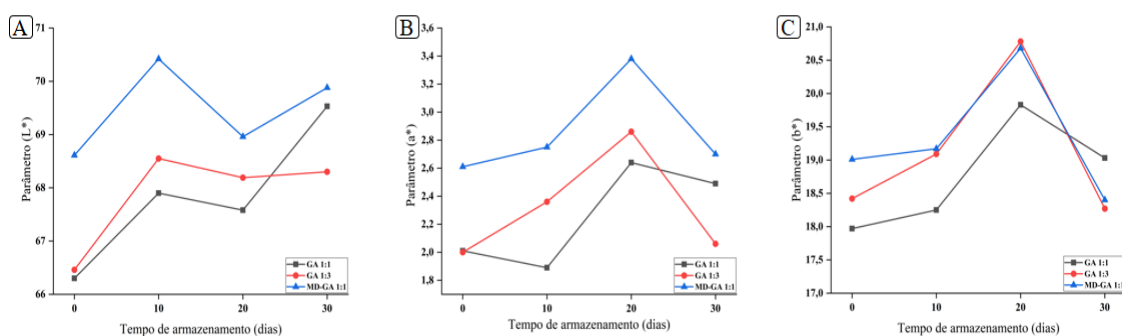


Fig.9. Parâmetros de cor da superfície L^* (A), a^* (B) e b^* (C) vs. tempo de armazenamento (dias) de iogurte contendo as microcápsulas produzidas dos extratos pigmentados das cascas de tucumã (Latitude: $10^\circ 10' 8''$ Sul, Longitude: $48^\circ 19' 54''$, Brasil, 2022) GA 1:1, GA 1:3 e MD-GA 1:1.

A coordenada L^* (fig.9 A) teve um aumento em 10 dias de armazenamento indicando maior luminosidade nas amostras de iogurte, devido a degradação dos carotenoides presentes na microcápsulas. Ao mesmo tempo que houve um aumento na coordenada a^* (fig.9 B), pode-se observar um aumento na coordenada b^* (fig.9 B) para os iogurtes contendo as microcápsulas GA 1:3 e MD-GA 1:1 e diminuição para os iogurtes contendo as microcápsulas GA 1:1. Os carotenoides possuem em sua estrutura um sistema de dupla ligação que constitui o grupo cromóforo responsável por promover a

coloração dos alimentos que quando exposto a fatores como luz, ácidos e oxigênios, podem causar alterações em sua estrutura resultando em degradação por oxidação e isomerização, ocasionando a perda de cor e/ou originando um novo composto (MIRANDA et al., 2018). Após 20 dias de armazenamento foi possível observar uma diminuição na luminosidade e um aumento na coloração amarela, o que pode ser devido a modificação na estrutura dos carotenoides e por produtos da degradação do ácido ascórbico, uma vez que o tucumã apresenta elevadas quantidades desse composto (PARAVISINI & PETERSON, 2019). Segundo dados de Santos et al. (2018), o tucumã apresentou 58 mg/100g de ácido ascórbico, um valor considerável. Ao final de 30 dias houve uma diminuição nas coordenadas a^* e b^* e aumento nos valores da coordenada L^* indicando que ao longo do tempo os iogurtes contendo as microcápsulas tornou-se mais claros perdendo a coloração inicial.

4. CONCLUSÃO

A maltodextrina juntamente com a goma arábica mostraram-se agentes efetivos para a microencapsulação do extrato rico em carotenoides das cascas de tucumã por *spray drying*. Todos os tratamentos avaliados neste estudo apresentaram bom desempenho em relação à umidade e atividade de água, mantendo-se dentro do padrão de segurança para produtos alimentícios.

As micropartículas obtidas protegem quantidades consideráveis de antioxidantes presentes no extrato de tucumã, que foram extraídos de resíduos, além de apresentarem boas características de cor. As microcápsulas apresentaram-se em formato esférico com a ausência de trincas e rachaduras superficiais, ocasionando maior proteção e estabilidade aos compostos bioativos. A microencapsulação por *spray drying* pode ser sugerida como um método viável de produção de corantes de qualidade alimentar. Diante disso, o presente trabalho apresenta o corante extraído da casca de tucumã como uma alternativa viável para produção corante natural para aplicação em alimentos.

5. REFERÊNCIAS

AOAC. **Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemistry.** p. 3000, 2016.

ABADIO, F. D. B.; DOMINGUES, A. M.; BORGES, S. V.; OLIVEIRA, V. M. Physical

properties of powdered pineapple (*Ananas comosus*) juice—effect of malt dextrin concentration and atomization speed. **Journal of food engineering**, v. 64, n. 3, p. 285–287, 2004.

AGUIRRE CALVO, Tatiana; SANTAGAPITA, Patricio. Physicochemical Characterization of Alginate Beads Containing Sugars and Biopolymers. **Journal of Quality and Reliability Engineering**, v. 2016.

ÁLVAREZ-HENAO, María Victoria; SAAVEDRA, Nataly; MEDINA, Sonia; JIMÉNEZ CARTAGENA, Claudio; ALZATE, Luz Maria; LONDOÑO-LONDOÑO, Julián. Microencapsulation of lutein by spray-drying: Characterization and stability analyses to promote its use as a functional ingredient. **Food Chemistry**, v. 256, n. 118, p. 181–187, 2018.

AMORIM, I. S. et al. Technological applications and color stability of carotenoids extracted from selected Amazonian fruits. **Food Science and Technology**, v. 42, 2022.

BARROS, Hanna Elisia Araújo; NATARELLI, Caio Vinicius Lima; DE CARVALHO TAVARES, Iasnaia Maria; DE OLIVEIRA, Ana Lázara Matos; ARAÚJO, Ana Beatriz Silva; PEREIRA, Joelma; CARVALHO, Elisângela Elena Nunes; DE BARROS VILAS BOAS, Eduardo Valério; FRANCO, Marcelo. Nutritional Clustering of Cookies Developed with Cocoa Shell, Soy, and Green Banana Flours Using Exploratory Methods. **Food and Bioprocess Technology**, v. 13, n. 9, p. 1566–1578, 2020.

BHARATE, Sonali S.; BHARATE, Sandip B. Non-enzymatic browning in citrus juice: chemical markers, their detection and ways to improve product quality. **Journal of Food Science and Technology**, v. 51, n. 10, p. 2271-2288, 2014.

BERNSTEIN, Anahi; NOREÑA, Caciano Pelayo Zapata. Encapsulation of red cabbage (*Brassica oleracea* l. Var. capitata l. f. rubra) anthocyanins by spray drying using different encapsulating agents. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 58, n. 6, p. 944–952, 2015.

CANO-CHAUCA, Milton; STRINGHETA, P. C.; RAMOS, A. M.; CAL-VIDAL, J. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 6, n. 4, p. 420–428, 2005

CALDERÓN-OLIVER, M.; PONCE-ALQUICIRA, E. The Role of Microencapsulation in Food Application. **Molecules**, v. 27, n. 5, p. 1499, 23 fev. 2022.

CAN-CAUICH, C. A. et al. Tropical fruit peel powders as functional ingredients: Evaluation of their bioactive compounds and antioxidant activity. **Journal of Functional Foods**, v. 37, p. 501–506, out. 2017.

CARMO, Eloá Lourenço Do; TEODORO, Rhana Amanda Ribeiro; FÉLIX, Pedro Henrique Campelo; FERNANDES, Regiane Victória de Barros; OLIVEIRA, Érica Resende De; VEIGA, Taís Regina Lima Abreu; BORGES, Soraia Vilela; BOTREL, Diego Alvarenga. Stability of spray-dried beetroot extract using oligosaccharides and whey proteins. **Food Chemistry**, v. 249, n. December 2017, p. 51–59, 2018.

CARMONA, Paula Andrea Osorio; GARCIA, Lorena Costa; RIBEIRO, José Antônio de Aquino; VALADARES, Leonardo Fonseca; MARÇAL, Adriano de Figueiredo; DE

FRANÇA, Luiz Ferreira; MENDONÇA, Simone. Effect of Solids Content and Spray-Drying Operating Conditions on the Carotenoids Microencapsulation from Pressed Palm Fiber Oil Extracted with Supercritical CO₂. **Food and Bioprocess Technology**, v. 11, n. 9, p. 1703–1718, 2018.

CARRA, Jéssica Bassetto et al. Spray-drying of casein/pectin bioconjugate microcapsules containing grape (*Vitis labrusca*) by-product extract. **Food Chemistry**, v. 368, 2022.

CHANG, P.T., HSIEH, C. C., JIANG, Y. L. Respostas de pitaya 'shih huo chuan' (*Hylocereus polyrhizus* (weber) britt. & rose) a diferentes graus de sombreamento. **Scientia Horticulturae**, 198, 154-162. 2015.

DELIA B. RODRIGUEZ-AMAYA. **A guide to carotenoid analysis in foods**. Washington. 2001.

DELIA, Soto Castro; CHÁVEZ, Gutiérrez Miguel; LEÓN-MARTÍNEZ FRANK, M.; ARACELI, Santiago García Patricia; IRAIS, Aragón Lucero; FRANCO, Antonio Antonio. Spray drying microencapsulation of betalain rich extracts from *Escontria chiotilla* and *Stenocereus queretaroensis* fruits using cactus mucilage. **Food Chemistry**, v. 272, p. 715–722, 2019.

DIAS, S. et al. Natural Pigments of Anthocyanin and Betalain for Coloring Soy-Based Yogurt Alternative. **Foods**, v. 9, n. 6, p. 771, 11 jun. 2020.

DING, Zhuang; TAO, Tao; YIN, Xiaohan; PRAKASH, Sangeeta; WANG, Xiao; ZHAO, Yanna; HAN, Jun; WANG, Zhengping. Improved encapsulation efficiency and storage stability of spray dried microencapsulated lutein with carbohydrates combinations as encapsulating material. **LWT**, v. 124, p. 109139, 2020.

DR, C.; SH, L.; LH, S. Riboflavin as a photosensitizer. Effects on human health and food quality. **Food & function**, v. 3, n. 5, p. 487–502, maio 2012.

ETZBACH, Lara; MEINERT, Messina; FABER, Thilo; KLEIN, Carolin; SCHIEBER, Andreas; WEBER, Fabian. Effects of carrier agents on powder properties, stability of carotenoids, and encapsulation efficiency of goldenberry (*Physalis peruviana* L.) powder produced by co-current spray drying. **Current Research in Food Science**, v. 3, p. 73–81, 2020.

FERREIRA, Lindalva Maria de Meneses Costa; PEREIRA, Rayanne Rocha; DE CARVALHO, Fernanda Brito; SANTOS, Alberdan Silva; RIBEIRO-COSTA, Roseane Maria; CARRÉRA SILVA JÚNIOR, José Otávio. Green extraction by ultrasound, microencapsulation by spray drying and antioxidant activity of the tucuma coproduct (*Astrocaryum vulgare* mart.) almonds. **Biomolecules**, v. 11, n. 4, 2021.

FERREIRA, M. J. A.; MOTA, M. F. S.; MARIANO, R. G. B.; FREITAS, S. P. Evaluation of liquid-liquid extraction to reducing the acidity index of the tucuma (*Astrocaryum vulgare* Mart.) pulp oil. **Separation and Purification Technology**, v. 257, p. 117894, 15 fev. 2021.

FIGUEIREDO, J. DE A. et al. Microencapsulation by spray chilling in the food industry: Opportunities, challenges, and innovations. **Trends in Food Science & Technology**, v. 120, p. 274–287, fev. 2022.

FREITAS-SÁ, D. D. G. C. et al. Effect of jaboticaba (*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, out. 2018.

FRITZEN-FREIRE, Carlise B.; PRUDÊNCIO, Elane S.; AMBONI, Renata D. M. C.; PINTO, Stephanie S.; NEGRÃO-MURAKAMI, Aureanna N.; MURAKAMI, Fabio S. Microencapsulation of bifidobacteria by spray drying in the presence of prebiotics. **Food Research International**, v. 45, n. 1, p. 306–312, 2012

GARCÍA, Juliana María; GIUFFRIDA, Daniele; DUGO, Paola; MONDELLO, Luigi; OSORIO, Coralia. Development and characterisation of carotenoid-rich microencapsulates from tropical fruit by-products and yellow tamarillo (*Solanum betaceum* Cav.). **Powder Technology**, v. 339, p. 702–709, 2018.

GARCIA-MENDOZA, M. DEL P.; ESPINOSA-PARDO, F. A.; BASEGGIO, A. M.; BARBERO, G. F.; MARÓSTICA JUNIOR, M. R.; ROSTAGNO, M. A.; MARTÍNEZ, J. Extraction of phenolic compounds and anthocyanins from juçara (*Euterpe edulis* Mart.) residues using pressurized liquids and supercritical fluids. **Journal of Supercritical Fluids**, 2017.

GIUSTI, M. M.; WROLSTAD, R. E. Acylated anthocyanins from edible sources and their applications in food systems. **Biochemical Engineering Journal**, v. 14, n. 3, p. 217–225, 2003.

GUO, Qi; LI, Shuai; DU, Gengan; CHEN, Hong; YAN, Xiaohai; CHANG, Shuaidan; YUE, Tianli; YUAN, Yahong. Formulation and characterization of microcapsules encapsulating carvacrol using complex coacervation crosslinked with tannic acid. **Lwt**, v. 165, n. September 2021, p. 113683, 2022.

JAFARI, Seid Mahdi; ARPAGAUS, Cordin; CERQUEIRA, Miguel A.; SAMBORSKA, Katarzyna. **Nano spray drying of food ingredients; materials, processing and applications**. **Trends in Food Science and Technology**, 2021.

JANISZEWSKA-TURAK, Emilia; DELLAROSA, Nicolò; TYLEWICZ, Urszula; LAGHI, Luca; ROMANI, Santina; DALLA ROSA, Marco; WITROWA-RAJCHERT, Dorota. The influence of carrier material on some physical and structural properties of carrot juice microcapsules. **Food Chemistry**, v. 236, p. 134–141, 2017.

JANISZEWSKA-TURAK, Emilia; DELLAROSA, Nicolò; TYLEWICZ, Urszula; LAGHI, Luca; ROMANI, Santina; DALLA ROSA, Marco; WITROWA-RAJCHERT, Dorota. The influence of carrier material on some physical and structural properties of carrot juice microcapsules. **Food Chemistry**, v. 236, p. 134–141, 2017.

JANISZEWSKA, Emilia. Microencapsulated beetroot juice as a potential source of betalain. **Powder Technology**, v. 264, p. 190–196, 2014.

H.V. Chuyen, P.D. Roach, J.B. Golding, S.E. Parks, M.H. Nguyen. **Encapsulation of carotenoid-rich oil from Gac peel: Optimisation of the encapsulating process using a spray drier and the storage stability of encapsulated powder**. **Powder Technology**, 344, pp. 373-379, 2019.

KANG, Yu Ra; LEE, Yun Kyung; KIM, Young Jun; CHANG, Yoon Hyuk. Characterization and storage stability of chlorophylls microencapsulated in different

combination of gum Arabic and maltodextrin. **Food Chemistry**, v. 272, n. p. 337–346, 2019.

KUROZAWA, Louise Emy; PARK, Kil Jin; HUBINGER, Miriam Dupas. Effect of maltodextrin and gum arabic on water sorption and glass transition temperature of spray dried chicken meat hydrolysate protein. **Journal of Food Engineering**, v. 91, n. 2, p. 287–296, 2009.

LENUCCI, M. S.; CAROLI, M. DE; MARRESE, P. P.; IURLARO, A.; RESCIO, L.; BÖHM, V.; DALESSANDRO, G.; PIRO, G. Enzyme-aided extraction of lycopene from high-pigment tomato cultivars by supercritical carbon dioxide. **Food Chemistry**, v. 170, p. 193–202, 1 mar. 2015.

LI, Y. et al. Microencapsulation of plum (*Prunus salicina* Lindl.) phenolics by spray drying technology and storage stability. **Food Science and Technology**, v. 38, n. 3, p. 530–536, 26 out. 2017.

LI, Xiang yu; WU, Mian Bin; XIAO, Min; LU, Shu huan; WANG, Zhi ming; YAO, Jian ming; YANG, Li rong. Microencapsulated β -carotene preparation using different drying treatments. **Journal of Zhejiang University-SCIENCE B** 2019 20:11, v. 20, n. 11, p. 901–909, 2019.

LIMA, Priscilla M.; DACANAL, Gustavo C.; PINHO, Lorena Silva; PÉREZ-CÓRDOBA, Luis Jaime; THOMAZINI, Marcelo; MORAES, Izabel Cristina Freitas; FAVARO-TRINDADE, Carmen S. Production of a rich-carotenoid colorant from pumpkin peels using oil-in-water emulsion followed by spray drying. **Food Research International**, v. 148, p. 110627, 2021.

LIMA, R. R.; TRASSATO, L. C.; COELHO, V. O tucumã (*astrocaryum vulgare* Mart.) Principais características e potencialidade agroindustrial. 1986.

MACÊDO, R. O., DE MOURA, O. M., DE SOUZA, A. G., & MACÊDO, A. M. C. COMPARATIVE STUDIES ON SOME ANALYTICAL Thermal decomposition of powder milk Protein separation. **Journal of Thermal Analysis**, v. 49, p. 857–862, 1997.

MACHADO, Michelle Heck; ALMEIDA, Aline da Rosa; MACIEL, Matheus Vinicius de Oliveira Brisola; VITORINO, Vinicius Bittencourt; BAZZO, Giovana Carolina; DA ROSA, Cleonice Gonçalves; SGANZERLA, William Gustavo; MENDES, Cassiana; BARRETO, Pedro Luiz Manique. 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.

MANZATO, L. et al. New approach for extraction of cellulose from tucumã's endocarp and its structural characterization. **Journal of Molecular Structure**, v. 1143, p. 229–234, set. 2017.

MARTINS, N. et al. Food colorants: Challenges, opportunities and current desires of agro-industries to ensure consumer expectations and regulatory practices. **Trends in Food Science & Technology**, v. 52, p. 1–15, jun. 2016.

MAR, Josiana M. et al. Encapsulation of Amazonian Blueberry juices: Evaluation of bioactive compounds and stability. **Lwt**, v. 124, n. December 2018, p. 109152, 2020.

MEDINA, Marjorie B. Determination of the total phenolics in juices and superfruits by a

novel chemical method. **Journal of Functional Foods**, v. 3, n. 2, p. 79–87, 2011.

MIRANDA, P. H. S.; SANTOS, A. C. DOS; FREITAS, B. C. B. DE; MARTINS, G. A. DE S.; VILAS BOAS, E. V. DE B.; DAMIANI, C. A scientific approach to extraction methods and stability of pigments from Amazonian fruits. **Trends in Food Science & Technology**, v. 113, p. 335–345, 1 jul. 2021.

MOUSAVI KALAJAHI, Seyedeh Elham; GHANDIHA, Shadi. Optimization of spray drying parameters for encapsulation of Nettle (*Urtica dioica* L.) extract. **LWT**, v. 158, p. 113149, 2022.

NOGALES-BUENO, Julio; BACA-BOCANEGRA, Berta; ROONEY, Abigail; HERNÁNDEZ-HIERRO, José Miguel; BYRNE, Hugh J.; HEREDIA, Francisco José. Study of phenolic extractability in grape seeds by means of ATR-FTIR and Raman spectroscopy. **Food Chemistry**, v. 232, p. 602–609, 2017.

NORONHA MATOS, K. A. et al. Peels of tucumã (*Astrocaryum vulgare*) and peach palm (*Bactris gasipaes*) are by-products classified as very high carotenoid sources. **Food Chemistry**, v. 272, p. 216–221, jan. 2019.

PAINI, Marco; ALIAKBARIAN, Bahar; CASAZZA, Alessandro A.; LAGAZZO, Alberto; BOTTER, Rodolfo; PEREGO, Patrizia. Microencapsulation of phenolic compounds from olive pomace using spray drying: A study of operative parameters. **Lwt**, v. 62, n. 1, p. 177–186, 2015.

PARADISO, Vito Michele et al. Nutritional characterization and shelf-life of packaged microgreens. **Food and Function**, v. 9, n. 11, p. 5629–5640, 2018.

PARAVISINI, L.; PETERSON, D. G. Mechanisms non-enzymatic browning in orange juice during storage. **Food Chemistry**, v. 289, p. 320–327, 15 ago. 2019.

PICO, Joana; PISMAG, Remigio Y.; LAUDOUEZE, Mallory; MARTINEZ, Mario M. Systematic evaluation of the Folin–Ciocalteu and Fast Blue BB reactions during the analysis of total phenolics in legumes, nuts and plant seeds. **Food & Function**, v. 11, n. 11, p. 9868–9880, 2020.

PIRES, T. C. S. P. et al. Incorporation of natural colorants obtained from edible flowers in yogurts. **LWT**, v. 97, p. 668–675, nov. 2018.

QUIJANO-ORTEGA, Natalia; FUENMAYOR, Carlos Alberto; ZULUAGA-DOMINGUEZ, Carlos; DIAZ-MORENO, Consuelo; ORTIZ-GRISALES, Sanín; GARCÍA-MAHECHA, Maribel; GRASSI, Silvia. FTIR-ATR Spectroscopy Combined with Multivariate Regression Modeling as a Preliminary Approach for Carotenoids Determination in Cucurbita spp. **Applied Sciences**, v. 10, n. 11, p. NA-NA, 2020.

REN, Gerui et al. Encapsulation of curcumin in ZEIN-HTCC complexes: Physicochemical characterization, in vitro sustained release behavior and encapsulation mechanism. **Lwt**, v. 155, p. 112909, 2022.

ROSSETTO, Raquel; MACIEL, Giselle Maria; BORTOLINI, Débora Gonçalves; RIBEIRO, Valéria Rampazzo; HAMINIUK, Charles Windson Isidoro. Acai pulp and seeds as emerging sources of phenolic compounds for enrichment of residual yeasts (*Saccharomyces cerevisiae*) through biosorption process. **LWT**, v. 128, p. 109447, 2020.

RODRÍGUEZ GARCÍA, S. L.; RAGHAVAN, V. Green extraction techniques from fruit and vegetable waste to obtain bioactive compounds—A review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 62, n. 23, p. 6446–6466, 11 ago. 2022.

RUBIO, F. T. V. et al. Development of natural pigments microencapsulated in waste yeast *Saccharomyces cerevisiae* using spray drying technology and their application in yogurt. **Food & Function**, v. 12, n. 19, p. 8946–8959, 2021.

RUFINO, Maria do Socorro M.; ALVES, Ricardo E.; DE BRITO, Edy S.; PÉREZ-JIMÉNEZ, Jara; SAURA-CALIXTO, Fulgencio; MANCINI-FILHO, Jorge. Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. **Food Chemistry**, v. 121, n. 4, p. 996–1002, 2010.

RUTZ, Josiane K.; BORGES, Caroline D.; ZAMBLAZI, Rui C.; DA ROSA, Cleonice G.; DA SILVA, Médelin M. Elaboration of microparticles of carotenoids from natural and synthetic sources for applications in food. **Food Chemistry**, v. 202, p. 324–333, 2016.

SAKULNARMRAT, Karunrat; WONGSRIKAEW, Denchai; KONCZAK, Izabela. Microencapsulation of red cabbage anthocyanin-rich extract by drum drying technique. **LWT**, v. 137, 2021.

SANTANA, Audirene A.; CANO-HIGUITA, Diana M.; DE OLIVEIRA, Rafael A.; TELIS, Vânia R. N. Influence of different combinations of wall materials on the microencapsulation of jussara pulp (*Euterpe edulis*) by spray drying. **Food Chemistry**, v. 212, p. 1–9, 2016.

SANTIWORAKUN, Najwa Yanya; SUKSUWAN, Acharee; SIRIKWANPONG, Sukrit; DAHLAN, Winai; ARIYAPITIPUN, Tipayanate. Physicochemical characterization of microcapsules containing cold pressed black cumin seed oils (*Nigella sativa* L.) as an alternative nutrient source in a functional diet. **LWT**, v. 157, p. 113045, 2022.

SANTOS, Suelen Siqueira Dos et al. Bioavailability of blackberry pomace microcapsules by using different techniques: An approach for yogurt application. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 81, p. 103111, 2022.

SANTOS, Priscila Dayane de Freitas; RUBIO, Fernanda Thaís Vieira; DA SILVA, Marlucci Palazzolli; PINHO, Lorena Silva; FAVARO-TRINDADE, Carmen Sílvia. Microencapsulation of carotenoid-rich materials: A review. **Food Research International**, v. 147, p. 110571, 2021.

SALEEM, M.; SAEED, M. T. Potential application of waste fruit peels (orange, yellow lemon and banana) as wide range natural antimicrobial agent. **Journal of King Saud University - Science**, v. 32, n. 1, p. 805–810, jan. 2020.

SCHNEIDER-TEIXEIRA, A. et al. Application of betacyanins pigments from *Alternanthera brasiliana* as yogurt colorant. **LWT**, v. 159, p. 113237, abr. 2022.

ŚCIBISZ, I.; ZIARNO, M.; MITEK, M. Color stability of fruit yogurt during storage. **Journal of Food Science and Technology**, v. 56, n. 4, p. 1997–2009, 19 abr. 2019.

SILVA, Renata S.; DE L. SANTOS, Carolina; MAR, Josiana M.; KLUCZKOVSKI, Ariane M.; DE A. FIGUEIREDO, Jayne; BORGES, Soraia V.; BAKRY, Amr M.; SANCHES, Edgar A.; CAMPELO, Pedro H. Physicochemical properties of tucumã (*Astrocaryum aculeatum*) powders with different carbohydrate biopolymers. **LWT**, v. 94,

p. 79–86, 2018.

SOUZA, M. P. DE et al. Phenolic and aroma compositions of pitomba fruit (*Talisia esculenta* Radlk.) assessed by LC-MS/MS and HS-SPME/GC-MS. **Food Research International**, v. 83, p. 87–94, 1 maio 2016.

SOWBHAGYA, H.B.; CHITRA, V. N. Enzyme assisted extraction of flavorings and colorants from plant materials. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, p. 146–161, 2010.

SUTTER, Sonia C.; BUERA, Maria P.; ELIZALDE, Beatriz E. β -Carotene encapsulation in a mannitol matrix as affected by divalent cations and phosphate anion. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 332, n. 1–2, p. 45–54, 2007.

STRATI, I. F.; GOGOU, E.; OREOPOULOU, V. Enzyme and high pressure assisted extraction of carotenoids from tomato waste. **Food and Bioproducts Processing**, v. 94, p. 668–674, 1 abr. 2015.

STRINGER, S. C.; PECK, M. W. Foodborne clostridia and the safety of in-pack preserved foods. **In-Pack Processed Foods: Improving Quality**, p. 251–276, 1 jan. 2008.

SWER, Tanya L.; CHAUHAN, Komal; PAUL, Prodyut K.; MUKHIM, C. Evaluation of enzyme treatment conditions on extraction of anthocyanins from *Prunus nepalensis* L. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 92, p. 867–871, 2016.

PURI, M.; SHARMA, D.; BARROW, C. J. Enzyme-assisted extraction of bioactives from plants. **Trends in Biotechnology**, v. 30, n. 1, p. 37–44, 2012.

TANG, Liqin; LIU, Haocheng; HUANG, Guodong; YUAN, Zhong; FU, Manqin; BU, Zhibin; WEN, Jing; XU, Yujuan. The structural characterization, physicochemical properties, and stability of gardenia yellow pigment microcapsules. **LWT**, v. 162, p. 113507, 2022.

TAO, Yang; WANG, Ping; WANG, Jiandong; WU, Yue; HAN, Yongbin; ZHOU, Jianzhong. Combining various wall materials for encapsulation of blueberry anthocyanin extracts: Optimization by artificial neural network and genetic algorithm and a comprehensive analysis of anthocyanin powder properties. **Powder Technology**, v. 311, p. 77–87, 2017.

TOLUN, Aysu; ALTINTAS, Zeynep; ARTIK, Nevzat. Microencapsulation of grape polyphenols using maltodextrin and gum arabic as two alternative coating materials: Development and characterization. **Journal of biotechnology**, v. 239, p. 23–33, 2016.

TONON, Renata V.; BRABET, Catherine; HUBINGER, Míriam D. Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. **Journal of Food Engineering**, [S. l.], v. 88, n. 3, p. 411–418, 2008.

TUPUNA, Diego Santiago; PAESE, Karina; GUTERRES, Silvia Stanisçuaski; JABLONSKI, André; FLÔRES, Simone Hickmann; RIOS, Alessandro de Oliveira. Encapsulation efficiency and thermal stability of norbixin microencapsulated by spray-drying using different combinations of wall materials. **Industrial Crops and Products**, v. 111, p. 846–855, 2018.

URSACHE, Florentina Mihaela et al. Valorizations of carotenoids from sea buckthorn extract by microencapsulation and formulation of value-added food products. **Journal of Food Engineering**, v. 219, p. 16–24, 2018.

VERDUIN, J. Photodegradation Products And Their Analysis In Food. **Food Science and Nutrition**, v. 6, n. 3, p. 1–16, 15 jun. 2020.

YINGNGAM, Bancha; TANTIRAKSAROJ, Karnnuttha; TAWEETAO, Thitima; RUNGSEEVIJITPRAPA, Wandee; SUPAKA, Nuttapun; BRANTNER, Adelheid H. Modeling and stability study of the anthocyanin-rich maoberry fruit extract in the fast-dissolving spray-dried microparticles. **Powder Technology**, v. 325, p. 261–270, 2018.

ZANONI, Francesca; PRIMITERRA, Martina; ANGELI, Nicola; ZOCCATELLI, Gianni. Microencapsulation by spray-drying of polyphenols extracted from red chicory and red cabbage: Effects on stability and color properties. **Food Chemistry**, [S. l.], v. 307, p. 125535, 2020.

ZHANG, Chuang; KHOO, Siew Lin Ada; SWEDLUND, Peter; OGAWA, Yukiharu; SHAN, Yang; QUEK, Siew Young. Fabrication of Spray-Dried Microcapsules Containing Noni Juice Using Blends of Maltodextrin and Gum Acacia: Physicochemical Properties of Powders and Bioaccessibility of Bioactives during In Vitro Digestion. **Foods**, v. 9, n. 9, p. 1316, 2020.

ZHANG, Rui; ZHOU, Lan; LI, Jia; OLIVEIRA, Hélder; YANG, Ning; JIN, Weiping; ZHU, Zhenzhou; LI, Shuyi; HE, Jingren. Microencapsulation of anthocyanins extracted from grape skin by emulsification/internal gelation followed by spray/freeze-drying techniques: Characterization, stability and bioaccessibility. **Lwt**, v. 123, p. 109097, 2020.