



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ**  
**INSTITUTO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE**  
**PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FARMACÊUTICAS**

**OBTENÇÃO, CARACTERIZAÇÃO E MICROENCAPSULAÇÃO DE EXTRATOS  
RICOS EM ANTIOXIDANTES NATURAIS A PARTIR DO CO-PRODUTO DAS  
AMÊNDOAS DO TUCUMÃ (*Astrocaryum vulgare* Mart.)**

**LINDALVA MARIA DE MENESES COSTA FERREIRA**

**Belém – Pará**

**2019**

**LINDALVA MARIA DE MENESES COSTA FERREIRA**

**OBTENÇÃO, CARACTERIZAÇÃO E MICROENCAPSULAÇÃO DE EXTRATOS RICOS EM ANTIOXIDANTES NATURAIS A PARTIR DO CO-PRODUTO DAS AMÊNDOAS DO TUCUMÃ (*Astrocaryum vulgare* Mart.)**

Autora: Lindalva Maria de Meneses Costa Ferreira

Orientador: Prof. Dr. José Otávio Cárretera Silva Júnior

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Farmacêuticas, área de concentração: Fármacos e Medicamentos, do Instituto de Ciências da Saúde da Universidade Federal do Pará como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ciências Farmacêuticas.

**Belém – Pará**

**2019**

## FOLHA DE APROVAÇÃO

**Lindalva Maria de Meneses Costa Ferreira**

**OBTENÇÃO, CARACTERIZAÇÃO E MICROENCAPSULAÇÃO DE EXTRATOS RICOS EM ANTIOXIDANTES NATURAIS A PARTIR DO CO-PRODUTO DAS AMÊNDOAS DO TUCUMÃ (*Astrocaryum vulgare* Mart.)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Farmacêuticas, área de concentração: Fármacos e Medicamentos, do Instituto de Ciências da Saúde da Universidade Federal do Pará como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ciências Farmacêuticas.

Aprovada em \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

Banca Examinadora

---

Prof. Dr. José Otávio Carréra Silva Júnior (Orientador)

Instituição: Programa de Pós-Graduação em Ciências Farmacêuticas/UFPA

---

Prof.Dr. Camilo Barroso Teixeira

Instituição: Universidade Federal do Pará-UFPA

---

Prof.Dr. Flávio de Vasconcelos

Instituição: Universidade Federal do Pará-UFPA

## DEDICATÓRIA

Ao meu tesouro, minha filha amada, ao meu esposo, minha mãe e ao meu pai (*in memoriam*) pelo amor, apoio e conforto em todos os momentos da minha vida.

## AGRADECIMENTOS

A Deus nosso senhor por todas as maravilhas e bênçãos derramadas em minha vida e por me permitir concluir mais uma etapa dos meus objetivos. Sem ele disso seria possível.

A minha filha amada por todo amor e abraços calorosos, carinhosos e cheio de amor, sempre na ida para a universidade e volta para casa. Foram esses abraços que me confortaram e me deram forças para seguir a diante.

Ao meu amado esposo, Márcio Ferreira que compartilhou dos meus ideais, incentivando-me a prosseguir nessa jornada, independente de qual fossem os obstáculos. Que sempre esteve ao meu lado com a mais profunda admiração, carinho, amor e paciência. Te amo!

A minha mãe e aos meus irmãos pelo apoio, dedicação, confiança e amor incondicional durante toda a minha vida.

Ao Prof. Dr. José Otávio Carrera Silva Júnior pela orientação, oportunidade e confiança.

À Profa Dra. Roseane Maria Ribeiro Costa pelas contribuições

Ao Prof. Dr. Wagner Barbosa por suas contribuições científicas e por disponibilizar o Laboratório de Cromatografia e Espectrometria de Massas – LACREM) para a realização de algumas etapas desde estudo.

As minhas amigas Fernada Brito e Myrth Soares pela amizade, carinho, companheirismo, apoio, força, dedicação, incentivo e ajuda. Vocês foram dois anjos que apareceram nesta etapa de minha vida e foram fundamentais para a conclusão deste trabalho.

As minhas amadas amigas, Erica Vanessa, Mariane Valente e Luana Souza, presente que Deus me deu na graduação e que levarei para o resto da vida. Obrigada por fazerem parte da minha vida, por todo apoio, carinho, força e pela torcida.

As minhas amigas, Erika Mourão, Hellen Caroline e Lorena Diniz pelo apoio, companheirismo, amizade e parcerias.

Aos colegas do Laboratório P&D Farmacêutico e Cosmético e Nanofarm, Diego, Elson, Isabela, Kamila, Antônio, Rodrigo, Ana, , Amanda, Russany, Saulo, Taylon, Raimundo, Rafael e de maneira mais que especial a Rayanne Rocha pelo carinho e contribuições.

Ao Prof. Dr. Milton Nascimento, a profa Dra. Consuelo e o discente Abraão (Labcrol) pelas contribuições.

Ao Prof. Dr. Sanclayton Moreira (Laboratório de Nanomanipulação – PPGF), pelas análises de MEV.

Ao prof. Dr. Alberdan do laboratório de fármacos por conceder o equipamento pelas contribuições.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo fomento da bolsa.

As secretárias Cliciane e D. Brasília e a coordenadora Marta Chagas Monteiro do Programa de Pós-Graduação em Ciências Farmacêuticas, pelo apoio.

A Universidade Federal do Pará e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Farmacêutica, pela oportunidade de realização de mais uma etapa frente ao crescimento intelectual e profissional.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente pela realização deste trabalho. Muito obrigada.

## RESUMO

FERREIRA, L.M.M.C. OBTENÇÃO, CARACTERIZAÇÃO E MICROENCAPSULAÇÃO DE EXTRATOS RICOS EM ANTIOXIDANTES NATURAIS A PARTIR DO CO-PRODUTO DAS AMÊNDOAS DO TUCUMÃ (*Astrocaryum vulgare* Mart.).164 f Dissertação de mestrado, Programa de Pós-graduação em Ciências Farmacêuticas, Universidade Federal do Pará, Belém, 2019

Este trabalho objetivou microencapsular o extrato do co-produto das amêndoas do tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart.) por spray drying usando maltodextrina como agente encapsulante. As técnicas de termogravimetria e espectroscopia na região do infravermelho, atividade de água, microscopia eletrônica de varredura, potencial zeta serviram para caracterização do extrato microencapsulado. O total de polifenóis, flavonoides e taninos condensados do extrato microencapsulado foram determinados por espectroscopia UV e identificados por cromatografia líquida de ultra-alta performance, a atividade antioxidante foi mensurada por ABTS e DPPH. As micropartículas mostraram heterogeneidade, estrutura esférica e sem fissuras confirmando a eficiência do processo de microencapsulação utilizando a maltodextrina como agente encapsulante. O extrato microencapsulado apresentou valores de polifenóis totais entre  $130 \text{ mg} \pm 0,024$  e  $104,7 \text{ mg EAG}/100\text{g} \pm 0,024$ , flavonoides totais  $27,17 \pm 0,002$  e  $25,36 \text{ mg QE}/100\text{g} \pm 0,004$  e taninos condensados  $62,07 \text{ mg}/100\text{g} \pm 0,137$  e  $47,95 \text{ mg CE}/100\text{g} \pm 0,087$  e boa atividade antioxidante para os dois métodos testados. A análise por cromatografia líquida de ultra-alta performance identificou a presença do ácido gálico e ácido cafeico. De modo geral, os resultados mostraram boa utilidade do co-produto do tucumã na forma de micropartículas rica em compostos antioxidantes, adicionadas em pães e exploradas como alimento funcional.

**Palavras chave:** compostos fenólicos; co-produto agroindustrial; tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart); microencapsulação; *spray drying*.

## ABSTRAT

FERREIRA, L.M.M.C. OBTAINING, CHARACTERISATION AND MICROENCAPSULATION OF EXTRACTS RICH IN NATURAL ANTIOXIDANTS FROM THE CO-PRODUCT OF THE ALMONDS OF THE TUCUMÃ (*Astrocaryum vulgare* Mart.). 164 f. Masters Dissertation, Post-Graduate Program in Pharmaceutical Sciences, Federal University of Pará, Belém, 2019

The purpose of this work was to microencapsulate the extract of the co-product of tucumã seeds (*Astrocaryum vulgare* Mart.) by spray drying using maltodextrin as a encapsulating agent. The techniques of thermogravimetry and Infrared analysis, water activity, scanning electron microscopy and electrophoretic mobility served to characterize the microencapsulated extract. The total of polyphenols, flavonoids and condensed tannins of the microencapsulated extract was determined by UV spectroscopy and identified by ultra high performance liquid chromatography, the antioxidant activity was measured by ABTS and DPPH. The microparticles showed heterogeneity, spherical structure and no cracks, confirming the efficiency of the microencapsulation process using maltodextrin as an encapsulating agent. The microencapsulated extract values of phenolic compounds content entre 130 mg  $\pm$  0,024 e 104,7 mg EAG/100g  $\pm$  0,024, Total flavonoids 27,17  $\pm$  0,002 e 25,36 mg QE/100g  $\pm$  0,004) and condensate tannin 62,07 100g  $\pm$  0,137 e 47,95 mg CE/100g  $\pm$  0,087 and good antioxidant activity for the two methods tested. The ultra high performance liquid chromatography analysis identified the presence of gallic acid and caffeic acid. In general, the results showed good utility of the tucumã co-product in the form of microparticles rich in antioxidant compounds, which can be exploited for future application in the food area as a functional food.

Keywords: Phenolic compounds; Agro-industrial co-product; tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart); Microencapsulation, *Spray drying*.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Palmeira do tucumã ( <i>Atrocaryum vulgare Mart</i> ), pertencente ao reino <i>Plantae</i> , família <i>Arecaceae</i> .....	27
Figura 2: Cachos do tucumã com cerca de 1 m e 150 apresentam frutos elipsóides cor amarelo alaranjada.....	28
Figura 3: Fruto do tucumã formado elipsoide, cor amarelo alaranjado, apresenta de 3 a 5 cm de comprimento .....	28
Figura 4: Epicarpo (casca do fruto) é responsável por 17,2 % do peso do fruto fresco maduro.....	28
Figura 5: Corte transversal da semente do tucumã com exposição da amêndoa (parte branca) .....	28
Figura 6: Fórmula estrutural básica do fenol (grupo hidroxila ligada ao anel aromático) .....	34
Figura 7: Fórmula estrutural básica dos flavonóides (dois anéis fenil ligados através do anel pirano) .....	35
Figura 8: Estrutura molecular das principais classes de flavonoides (flavonas (apigenina), flavonóis (quercetina), flavanonas (naringenina), proantocianidinas, antocianinas (cianidina), flavan-3-óis (catequina), isoflavonas (genisteína)) .....	36
Figura 9: Fórmula estrutural de tanino hidrolisável (ésteres de ácidos gálicos e ácidos elágicos glicosilados) .....	36
Figura 10: Fórmula estrutural de tanino condensado (Protocianidina) (polímeros de flavan-3-ol e/ou flavan- 3,4-diol).....	37
Figura 11: Fórmula estrutural geral dos ácidos hidroxibenzóicos e hidroxicinâmicos.....	38
Figura 12: Estrutura química do ácido cafeico.....	38
Figura 13: Estrutura química do ácido gálico.....	39
Figura 14: Estrutura química de um carotenoide.....	40
Figura 15: Reação do radical livre 2,2-difenil-1-picril-hidrazil (DPPH) com outros radicais (R=H, radical alquil) .....	44
Figura 16: Reação do radical 2,2'-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6)-ácido sulfônico (ABTS) na presença de um antioxidante .....	45

Figura 17: Sistemas microparticulados: A) microcápsula (matriz polimérica com um núcleo oco ou oleoso); B) microesfera (matriz polimérica densa .....	49
Figura 18: Diagrama esquemático da configuração de um <i>spray dryer</i> B-290 Buchi (etapas do processo de secagem) .....	51
Figura 19: Fórmula estrutural da maltodextrina: unidades D-glicose ligadas a cadeia $\alpha$ -(1-4) e $\alpha$ -(1-6) com diferentes equivalentes de dextrose (DE) .....	53
Figura 20: Estrutura química da goma arábica.....	54
Figura 21: Aspecto macroscópico do pó do co-produto das amêndoas do tucumã ..	60
Figura 22: <i>Spray dryer</i> : LM – MSDi 1.0 (utilizado no processo de secagem do extrato microencapsulado do co-produto das amêndoas do tucumã .....	62
Figura 23: Aspecto macroscópico do extrato microencapsulado obtido por <i>spray dryer</i> com diferentes concentrações de maltodextrina .....	63
Figura 24: Análise da distribuição granulométrica do pó do co-produto das amêndoas do tucumã .....	77
Figura 25: Espectro na região do infravermelho do pó das amêndoas do tucumã na faixa de 4000 a 600 $\text{cm}^{-1}$ .....	78
Figura 26: Curva termogravimétrica (TG) do pó do co-produto das amêndoas do tucumã .....	79
Figura 27: Espectro na região do infravermelho do extrato bruto, do extrato microencapsulado e do adjuvante maltodextrina na faixa de 4000 a 600 $\text{cm}^{-1}$ .....	81
Figura 28: Curva termogravimétrica (TG) do extrato bruto, extrato microencapsulado e adjuvante maltodextrina .....	83
Figura 29: Perfil cromatográfico dos padrões de referência ( $\lambda$ 280 nm e 325 nm) .....	85
Figura 30: Perfil cromatográfico do extrato hidroetanólico bruto, extrato microencapsulado antes e após as co-injeções ( $\lambda$ 280 nm e 325 nm) .....	86
Figura 31: Sobreposição dos espectros dos picos referentes aos padrões no extrato hidroetanólico bruto e extrato microencapsulado e padrões ácido gálico e ácido cafeico .....	87

Figura 32: Fotomicrografias das formulações no aumento de 5000x e 10.000x .....	90
Figura 33: Espectros na região do Infravermelho do extrato lipofílico, mistura binária e extrato lipofílico microencapsulado.....	91
Figura 34: Curva termogravimétrica (TG) dos extratos e mistura binária.....	93
Figura 35: Curva por Calorimetria Diferencial Exploratória dos extratos e mistura binária.....	93

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composição química e nutricional da polpa <i>in natura</i> e polpa seca do fruto do tucumã.....	29
Tabela 2: Composição química da amêndoa e da torta do fruto do tucumã, em base úmida .....	31
Tabela 3: Composto ativo, efeito fisiológicos e principais fontes de alimentos funcionais.....	56
Tabela 4: Análise da composição nutricional e físico-química do pó do co-produto das amêndoas do tucumã.....	78
Tabela 5: Regiões de absorção de ligação das moléculas do pó.....	79
Tabela 6: Determinação da densidade real, pH, teor de sólidos e índice de acidez do extrato hidroetanólico bruto.....	80
Tabela 7: Regiões de absorção de ligação das moléculas do extrato hidroetanólico bruto, extrato microencapsulado e maltodextrina.....	82
Tabela 8: Comportamento térmico (TG) do extrato hidroetanólico bruto, extrato microencapsulado e maltodextrina.....	84
Tabela 9: Determinação dos polifenóis totais, flavonóides totais e taninos condensados do extrato bruto e microencapsulado.....	84
Tabela 10: Principais compostos fenólicos identificados por UHPLC no extrato hidroetanólico bruto e extrato microencapsulado.....	87
Tabela 11: Determinação da atividade antioxidante total (AAT) do extrato hidroetanólico bruto e extrato microencapsulado.....	88
Tabela 12:Rendimento de secagem e de rendimento de microencapsulação do extrato microencapsulado.....	88
Tabela 13: Determinação de umidade, atividade de água, índice de solubilidade e capacidade de intumescimento do extrato microencapsulado .....	89
Tabela 14: Determinação do potencial zeta do extrato microencapsulado .....	89
Tabela 15: Determinação da densidade, pH e índice de acidez do extrato lipofílico.....	91

Tabela 16: Regiões de absorção das moléculas do extrato lipofílico, do extrato lipofílico microencapsulado e da mistura binária .....	92
Tabela 17: Comportamento térmico por termogravimetria do extrato lipofílico, mistura binária e do extrato lipofílico microencapsulado .....	93
Tabela 18: Comportamento térmico por calorimetria diferencial exploratória do extrato lipofílico, mistura binária e do extrato lipofílico microencapsulado.....	94
Tabela 19: Deteminação dos carotenoides totais do extrato lipofílico e do extrato lipofílico microencapsulado.....	95
Tabela 20: Determinação da atividade antioxidante total extrato lipofílico e do extrato lipofílico microencapsulado.....	95
Tabela 21: Rendimento de secagem e de rendimento de microencapsulação do extrato lipofílico microencapsulado.....	95
Tabela 22: Determinação de umidade, atividade de água, índice de solubilidade e capacidade de intumescimento do extrato lipofílico microencapsulado.....	96
Tabela 23: Determinação do potencial zeta do extrato lipofílico microencapsulado.....	96

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AOAC	Association of Official Analytical Chemists
AAT	Atividade Antioxidante Total
ABTS	2,2'-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6)-ácido sulfônico
Aw	Atividade de Água
CAE	Equivalente de Catequina
CI	Capacidade de Intumescimento
DPPH	2,2-difenil-1-picril-hidrazil
DTG	Derivada Termogravimétrica
DSC	Calorimetria Diferencial Exploratória
DE	Equivalente de Dextrose
EAG	Equivalente de Ácido Gálico
EBH	Extrato Bruto Hidrofílico
EL	Extrato Lipofílico
ELM	Extrato Lipofílico Microencapsulado
EM	Extrato Microencapsulado
FT	Flavonoides Totais
FTIR	Espectroscopia na região do infravermelho com transformada de Fourier
IAL	Instituto Adolfo Lutz
IS	Índice de Solubilidade
CI 50	Concentração inibitória 50%
MD	Maltodextrina
MB	Mistura Binária
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
PT	Polifenóis Totais
PDI	Índice de Polidispersão
QUE	Equivalente de Quercetina
RM	Rendimento de Microencapsulação
RS	Rendimento de Secagem
TC	Taninos Condensados
TG	Termogravimetria
Trolox	6-Hidroxi-2,5,7,8-tetrametilchromano-2-ácido carboxílico

UV

Ultravioleta

WCED

Comissão mundial sobre Meio Ambiente e desenvolvimento

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>21</b>
<b>1.2</b>	<b>Objetivos</b>	<b>24</b>
1.2.1	GERAL	24
1.2.2	ESPECÍFICOS	24
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b>	<b>25</b>
<b>2.1</b>	<b>Co-produtos</b>	<b>25</b>
<b>2.2</b>	<b><i>Astrocaryum vulgare</i> Mart e seu uso</b>	<b>26</b>
2.2.1	CARACTERÍSTICAS DO FRUTO	27
<b>2.3</b>	<b>Metabólitos secundários encontrados em frutas e seus co-produtos</b>	<b>33</b>
2.3.1	COMPOSTOS FENÓLICOS	34
2.3.1.1	FLAVONOIDES	35
2.3.1.2	TANINOS CONDENSADOS	36
2.3.1.3	ÁCIDOS FENÓLICOS	37
2.3.1.3.1	ÁCIDO CAFEICO	38
2.3.1.3.2	ÁCIDO GÁLICO	39
2.4	CAROTENOIDES	40
<b>2.5</b>	<b>Atividade antioxidante</b>	<b>41</b>
2.5.1	MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE	43
2.5.1.1	Sequestro do radical 2,2-difenil-1-picril-hidrazil (DPPH)	43
2.5.1.2	Sequestro do radical livre 2,2'-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6)-ácido sulfônico (ABTS)	44
2.5.1.3	Co-oxidação no sistema $\beta$ -caroteno/ácido linoléico	45
<b>2.6</b>	<b>Extração verde</b>	<b>46</b>
<b>2.7</b>	<b>Microencapsulação</b>	<b>48</b>
2.7.1	SPRAY DRYING	50
2.7.2	AGENTES MICROENCAPSULANTES	52
2.7.2.1	MALTODEXTRINA	52
2.7.2.2	GOMA ARÁBICA	54
<b>2.8</b>	<b>Alimento funcional</b>	<b>55</b>
<b>2.9</b>	<b>Métodos de caracterização de extratos secos e microencapsulados</b>	<b>56</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>59</b>

<b>3.1 Materiais</b> .....	<b>59</b>
3.1.1 MATÉRIA-PRIMA VEGETAL .....	59
3.1.2 REAGENTES E SOLUÇÕES .....	59
3.1.3 PADRÕES .....	59
<b>3.2 Métodos</b> .....	<b>59</b>
3.2.1 FASE 1: OBTENÇÃO, PROCESSAMENTO E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO PÓ DO CO-PRODUTO DAS AMÊNDOAS DO TUCUMÃ ( <i>Astrocaryum vulgare Mart.</i> ) .....	59
3.2.1.1 Obtenção e processamento do pó do co-produto .....	59
3.2.1.2 Caracterização físico-química do pó do co-produto .....	60
3.2.1.2.1 <i>Determinação da distribuição granulométrica</i> .....	60
3.2.1.2.2 <i>Composição nutricional</i> .....	61
3.2.1.2.3 <i>Obtenção do perfil espectroscópico na região do infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR)</i> .....	61
3.2.1.2.4 <i>Obtenção do comportamento térmico por termogravimetria (TG)</i> .....	61
3.2.2 FASE 2: OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO EXTRATO HIDROETANÓLICO BRUTO E DO EXTRATO HIDROETANÓLICO MICROENCAPSULADO POR <i>SPRAY DRYING</i> .....	61
3.2.2.1 Obtenção da solução extrativa e do extrato hidroetanólico bruto (EHB) .....	61
3.2.2.2 Obtenção do extrato hidroetanólico microencapsulado .....	62
3.2.2.3 Caracterização físico-química do extrato hidroetanólico bruto e do extrato microencapsulado .....	63
3.2.2.3.1 <i>Determinação do teor sólidos totais</i> .....	63
3.2.2.3.2 <i>Determinação do pH</i> .....	63
3.2.2.3.3 <i>Determinação da densidade aparente</i> .....	64
3.2.2.3.4 <i>Determinação do índice de acidez</i> .....	64
3.2.2.3.5 <i>Obtenção do perfil espectroscópico na região do infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR)</i> .....	65
3.2.2.3.6 <i>Obtenção do comportamento térmico por termogravimetria (TG)</i> .....	65
3.2.2.3.7 <i>Determinação dos compostos fenólicos por espectrofotometria</i> .....	65
3.2.2.3.7.1 <i>Determinação de polifenóis totais (PT)</i> .....	65
3.2.2.3.7.2 <i>Determinação de taninos condensados (TC)</i> .....	65
3.2.2.3.7.3 <i>Determinação de flavonóides total (FT)</i> .....	66

3.2.2.3.8 Perfil cromatográfico por cromatografia líquida de ultra-alta performance (UHPLC-DAD).....	66
3.2.2.3.9 Determinação da atividade antioxidante total (AAT).....	67
3.2.2.3.9.1 Determinação da atividade antioxidante total pela captura do radical livre 2,2'-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico) (ABTS) .....	67
3.2.2.3.9.2 Determinação da atividade antioxidante total pela captura do radical livre 2,2-Diphenyl-1-picryl-hidrazil (DPPH).....	68
3.2.2.3.10 Rendimento de secagem (RS) .....	69
3.2.2.3.11 Extração dos compostos fenólicos .....	69
3.2.2.3.12 Rendimento de microencapsulação (RM) .....	69
3.2.2.3.13 Potencial zeta.....	69
3.2.2.3.14 Determinação do teor de umidade .....	70
3.2.2.3.15 Determinação da atividade de água (Aw).....	70
3.2.2.3.16 Índice de solubilidade e capacidade de intumescimento.....	70
3.2.2.3.17 Determinação da morfologia das partículas .....	71
3.2.3 FASE 3: OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO EXTRATO LIPOFÍLICO E DO EXTRATO LIPOFÍLICO MICROENCAPSULADO POR SPRAY DRYER.....	71
3.2.3.1 Obtenção do extrato lipofílico (EL).....	71
3.2.3.2 Obtenção do extrato lipofílico microencapsulado (ELM).....	71
3.2.3.3 Caracterização físico-química do extrato lipofílico e do extrato lipofílico microencapsulado.....	72
3.2.3.3.1 Determinação do pH do extrato lipofílico .....	72
3.2.3.3.2 Determinação da densidade aparente lipofílico.....	72
3.2.3.3.3 Determinação do índice de acidez.....	72
3.2.3.3.4 Obtenção do perfil espectroscópico na região do infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR) .....	72
3.2.3.3.5 Análise termoanalítica.....	73
3.2.3.3.5.1 Obtenção do comportamento térmico por Termogravimetria (TG).....	72
3.2.3.3.5.2 Obtenção do comportamento térmico Calorimetria Diferencial Exploratória (DSC).....	73
3.2.3.3.6 Determinação dos carotenoides totais por espectrofotometria.....	73

3.2.3.3.7 Determinação da atividade antioxidante total (AAT) do extrato lipofílico e extrato lipofílico microencapsulado.....	73
3.2.3.3.7.1 <i>Determinação da atividade antioxidante total pela captura do radical livre ABTS (2,2'-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico))</i> .....	73
3.2.3.3.7.2 <i>Determinação da atividade antioxidante total no sistema <math>\beta</math>-caroteno/ácido linoleico</i> .....	74
3.2.3.3.8 <i>Rendimento de secagem (RS)</i> .....	74
3.2.3.3.9 <i>Extração dos carotenoides totais</i> .....	75
3.2.3.3.10 <i>Rendimento de microencapsulação dos carotenóides totais</i> .....	75
3.2.3.3.11 <i>Potencial Zeta</i> .....	75
3.2.3.3.12 <i>Determinação do teor de umidade</i> .....	75
3.2.3.3.13 <i>Determinação da atividade de água (Aw)</i> .....	75
3.2.3.3.14 <i>Índice de solubilidade em água e capacidade de intumescimento</i> .....	76
<b>4 RESULTADOS</b> .....	<b>77</b>
<b>4.1 Fase 1: Caracterização físico-química do pó co-produto das amêndoas do tucumã</b> .....	<b>77</b>
4.1.1 Determinação da distribuição granulométrica .....	77
4.1.2 Composição nutricional do pó do co-produto .....	77
4.1.3 Obtenção do perfil espectroscópico na região do infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR) .....	78
4.1.4 Obtenção do comportamento térmico por termogravimetria (TG).....	79
<b>4.2 FASE 2: Caracterização físico-química do extrato hidroetanólico bruto e do extrato hidroetanólico microencapsulado</b> .....	<b>80</b>
4.2.1 Determinação da densidade real, pH, teor de sólidos e índice de acidez .....	80
4.2.2 Obtenção do perfil espectroscópico na região do infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR) .....	80
4.2.3 Obtenção do comportamento térmico por termogravimetria (TG).....	82
4.2.4 Determinação dos compostos fenólicos por espectrofotometria .....	84
4.2.5 Perfil cromatográfico por cromatografia líquida de ultra-alta performance (UHPLC).....	85
4.2.6 Determinação da atividade antioxidante total (AAT) .....	88

4.2.7	Rendimento de secagem e rendimento de microencapsulação .....	88
4.2.8	Determinação do teor de umidade, atividade de água (Aw), índice de solubilidade em água e capacidade de intumescimento .....	89
4.2.9	Potencial Zeta .....	89
4.2.10	Determinação da morfologia das partículas .....	89
<b>4.3</b>	<b>FASE 3: Caracterização do extrato lipofílico (EL) e do extrato lipofílico microencapsulado (ELM) a partir do co-produto das amêndoas do tucumã ....</b>	<b>90</b>
4.3.1	Determinação da densidade, pH e índice de acidez do extrato lipofílico .....	90
4.3.2	Obtenção do perfil espectroscópico na região do infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR) .....	91
4.3.3	Análise termoanalítica.....	92
4.3.3.1	Obtenção do comportamento térmico por Termogravimetria (TG/DTG) .....	92
4.3.3.2	Obtenção do comportamento térmico por Calorimetria Diferencial Exploratória (DSC).....	93
4.3.4	Determinação dos carotenoides totais por espectrofotometria.....	95
4.3.5	Determinação da atividade antioxidante total (AAT).....	95
4.3.6	Rendimento de secagem e rendimento de microencapsulação.....	95
4.3.7	Determinação do teor de umidade, atividade de água (Aw), índice de solubilidade e capacidade de intumescimento .....	95
4.3.8	Potencial Zeta.....	95
<b>5</b>	<b>DISCUSSÃO.....</b>	<b>97</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>125</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>126</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A região Amazônica abriga uma grande biodiversidade de espécies vegetais que produzem frutos e oleaginosas e se destacam pelas condições ambientais (clima e solo). Devido sua enorme extensão e com fauna e flora diversificada, é fonte de vida e de renda para aproximadamente 200.000 famílias que coletam frutos nativos, cuja comercialização é atividade responsável por 10% do total da renda advinda do extrativismo (IBAMA, 2006).

As inúmeras espécies nativas de plantas frutíferas da Amazônia apresentam potencial econômico, tecnológico e nutricional. O que tem despertado o interesse de estudos científicos em diversas áreas, tais como a alimentícia (BRASIL, 2000; YUYAMA et al., 2008). Neste sentido, em que a fruticultura movimenta a economia amazônica e disponibiliza grandes variedades de espécies frutíferas nativas e exóticas dessa região como fonte nutricional e terapêutica, encontra-se a espécie *Astrocaryum vulgare* Mart. (tucumã).

Nesta perspectiva, o processamento de frutas gera uma grande quantidade de resíduos e sub-produtos constituindo um montante de aproximadamente 30 a 40% da produção (SOUSA et al., 2011). A maioria dos resíduos provenientes do setor agrícola podem ser responsáveis direta ou indiretamente por uma parcela de impactos ambientais como o aquecimento global, a acidificação e toxicidade do solo (UTOMO et al., 2016), o que representa um problema ambiental para a sociedade e econômico na gestão de resíduos para as empresas (MELO et al., 2011).

Existem vários estudos reportados pela literatura que comprovam a reutilização de resíduos vegetais, por apresentarem macronutrientes e uma expressiva concentração de metabólitos, como os compostos fenólicos e carotenoides e a presença desses compostos está correlacionada com as atividades biológicas, entre as quais destaca-se a antioxidante (ALIAKBARIAN et al., 2011; KALLEL et al., 2014; JAHURUL et al., 2015; AIZPURUA-OLAIZOLA et al., 2016; GABBAY ALVES et al., 2017; GABBAY ALVES et al., 2018; COSTA et al., 2018). Com isso, o manejo adequado desses co-produtos tem se tornado um grande desafio (IGALAVITHANA et al., 2017; JI et al., 2017). A criação de medidas para minimizar ou eliminar esses co-produtos oriundos do processamento de alimentos tornou-se uma preocupação em todo o mundo (CASTRO & SATO, 2013; BARBOSA & CONCEIÇÃO, 2016). Entre as alternativas para o aproveitamento de resíduos de certas frutas, estão a utilização

destes para a produção de alimentos passíveis de serem incluídos na alimentação humana, como biscoitos, pães, barras de cereais, bolos, pastas entre outros produtos e utilizar parte dos co-produtos na agricultura como fertilizantes e em formulações de rações para nutrição animal (CORREA et al., 2011).

Neste sentido, os compostos fenólicos e carotenoides presentes nas espécies vegetais melhoram a dieta humana e animal por possuir atividade antioxidante. Estes compostos podem neutralizar radicais livres, sendo benéficos para o metabolismo humano e animal. Os compostos fenólicos representados pelos flavonoides atuam como agentes antimicrobianos, antimutagênicos e anticarcinogênicos (YAN et al., 2006; MENDONÇA et al., 2007, LIMA et al., 2011). Os ácidos fenólicos conferem propriedades antioxidantes tanto para os alimentos como para o organismo, com isso, são indicados para o tratamento e prevenção do câncer, doenças cardiovasculares e outras doenças (FERGUSON & HARRIS, 2006).

Os carotenoides são potentes antioxidantes, no organismo humano são parcialmente convertidos em vitamina A (retinol), e com isso desempenham um papel nutricional. Além de exercerem também outras ações como, diminuição de doenças crônicas não transmissíveis, prevenção da formação de catarata e redução da degeneração macular relacionada ao envelhecimento (FERNÁNDEZ-GARCÍA et al., 2012). Porém, esses compostos, são mais instáveis em solução sofrem reações de degradação como a oxidação e assim, pode haver perda de sua bioatividade (Paini et al., 2015).

Nesta perspectiva, a microencapsulação por *spray drying*, se tornou uma alternativa para minimizar essas perdas, pois promovem a retirada do solvente e a transformação dos extratos líquidos em sólidos, conserva as propriedades bioativas e possibilita uma maior estabilidade destes componentes (ÇAM et al., 2013). Além disso, a microencapsulação de extratos que contenham componentes bioativos favorece a incorporação dos mesmos em diversos produtos alimentícios, enriquecendo e conferindo propriedades funcionais (FANG & BHANDARI, 2010).

Entretanto, a escolha do tipo e da quantidade de material encapsulante utilizado na produção de extratos microencapsulados está relacionada com as características funcionais e tecnológicas que se deseja obter. São diversos os agentes encapsulantes utilizados na obtenção destes extratos na indústria alimentícia como exemplo, a maltodextrina (WANDREY et al., 2009), que possui boas propriedades de formação

de filme, propriedades emulsificantes, baixa higroscopicidade, baixa viscosidade a altas concentrações de sólidos, sabor e odor suaves e baixo custo.

Assim, a exploração de co-produtos do processamento de frutas e vegetais como fonte de compostos funcionais e sua aplicação em alimentos é um campo promissor. Nessa vertente, os alimentos funcionais são todos os alimentos ou bebidas que, consumidos na alimentação cotidiana, podem trazer benefícios fisiológicos específicos, graças à presença de ingredientes fisiologicamente saudáveis (CÂNDIDO & CAMPOS, 2005). Estes devem apresentar propriedades benéficas além das nutricionais básicas, sendo apresentados na forma de alimentos comuns. São consumidos em dietas convencionais, mas demonstram capacidade de regular funções corporais de forma a auxiliar na proteção contra doenças como hipertensão, diabetes, câncer, osteoporose e coronariopatias (SOUZA, et al., 2003).

Diante disso, buscou-se conhecer o valor nutricional e potencial antioxidante do co-produto das amêndoas do tucumã proveniente da indústria como forma de agregar valor à cadeia produtiva e minimizar os impactos ambientais causados pelo não aproveitamento destes. Desta forma, o objetivo deste estudo foi obter o extrato microencapsulado rico em antioxidantes naturais a partir do co-produto das amêndoas do tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart.) para aplicação como alimento funcional.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Geral

Obter o extrato microencapsulado rico em antioxidantes naturais a partir do co-produto das amêndoas do tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart.) para aplicação na área alimentar como alimento funcional.

### 1.2.2 Específicos

- Processar e caracterizar o co-produto das amêndoas do tucumã provenientes da empresa Amazon oil;
- Obter e caracterizar o extrato hidroetanólico a partir do pó do co-produto das amêndoas do tucumã;
- Obter e caracterizar o extrato microencapsulado obtido por *spray drying* com diferentes concentrações do agente encapsulante maltodextrina;
- Obter e caracterizar o extrato lipofílico a partir do pó do co-produto das amêndoas do tucumã;
- Obter e caracterizar o extrato lipofílico microencapsulado obtido por *spray drying* com os agentes encapsulantes maltodextrina e goma arábica;

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Co-produtos

No beneficiamento de matérias-primas vegetais para a obtenção de um produto principal, geralmente, são obtidos outros materiais secundários os quais, até pouco tempo, eram denominados de subprodutos (produtos com menos importância em relação ao faturamento) e resíduos (produtos sem mercado definido). No entanto, vários estudos têm demonstrado que estes produtos secundários podem ser usados como matéria-prima para extração e inter-conversão em outros produtos de maior valor agregado (TEIXEIRA et al., 2014).

O conceito de co-produto tem ganhado força, uma vez que estes produtos podem ser tão importantes para a indústria e comércio, como o produto principal objetivado no processamento (RETORE, 2009). O co-produto pode ser obtido da indústria do biodiesel que utiliza culturas oleaginosas para a extração do óleo (ABDALLA et al., 2008), da indústria cosmética, para obtenção do óleo a partir das amêndoas de diversos frutos por prensagem a frio e através do processamento de frutas de indústrias de suco, onde suas cascas e sementes são frequentemente desperdiçadas e a sua valorização é uma hipótese a ser considerada (PEREIRA et al., 2009; ROGÉRIO et al., 2009).

Assim, as preocupações com o meio ambiente e com a sustentabilidade do planeta tem aumentado. A procura por um desenvolvimento sustentável que garanta a existência de recursos para o desenvolvimento de gerações futuras tem motivado a procura de materiais subaproveitados ou até desvalorizados, numa tentativa de os tornar mais sustentáveis (BOND & MORRISON-SAUNDERS, 2011).

A valorização de co-produtos representa uma tendência de interesse crescente por parte de muitas áreas industriais, incluindo a farmacêutica e cosmética, uma vez que estes co-produtos podem ser adquiridos a um preço reduzido e, em contrapartida, podem ser matrizes ricas em compostos bioativos importantes para a promoção da saúde (VALENTE, 2015).

Os co-produtos produzidos no setor agroalimentar são variados e a maioria destes apresentam teores consideráveis de compostos bioativos e macronutrientes. Por exemplo, as folhas da oliveira são ricas em compostos bioativos, muitas vezes descritos na azeitona e cujo efeito sinérgico entre eles promove uma elevada

capacidade antioxidante (HMAD-QASEM et al., 2014; STAMATOPOULOS et al., 2014).

Neste sentido, nos extratos de casca de manga foram encontradas grandes quantidades de compostos fenólicos e de carotenoides com possíveis aplicações na indústria farmacêutica (AJILA et al., 2010). Além disso, na semente de manga foram quantificados elevados teores de ácido tânico, ácido gálico e epicatequina (AROGBA, 2000). Na caracterização de diferentes compostos fenólicos nas sementes de manga, foram encontrados taninos, ácido gálico, cumarina, ácido cafeico, vanilina, mangiferina, ácido ferúlico e ácido cinâmico, provando que este coproduto constitui uma boa fonte de antioxidantes naturais (ABDALLA et al., 2007).

Porém, apesar do seu valor significativo, estes co-produtos são comumente subaproveitados e o seu potencial valor é frequentemente perdido. As vias tradicionais para a valorização destes são a alimentação animal, a incineração e a compostagem, embora elas nem sempre demonstram eficiência e acarretem custos muitas vezes mais elevados dos que os que são estimados pelas próprias empresas (VALENTE, 2015).

Perante um valor tão elevado de co-produtos formados, muitos estudos têm sido efetuados com um objetivo comum, que é o seu reaproveitamento (ALMEIDA et al., 2014; TEIXEIRA et al., 2014; BARBOSA & CONCEIÇÃO, 2016; GABBAY ALVES et al., 2017; VIEIRA et al., 2017; GABBAY ALVES et al., 2018; COSTA et al., 2018).

Nesta perspectiva, a valorização de co-produtos agroalimentares se apresenta, não só como uma necessidade, mas como uma oportunidade para obtenção de novos produtos de valor acrescentado e com grande impacto na economia das indústrias.

## **2.2 *Astrocaryum vulgare* Mart e seu uso**

A espécie *Astrocaryum vulgare* Mart., popularmente conhecida como tucumã do Pará ou tucumazeiro, segundo a classificação botânica é pertencente ao reino *Plantae*, família *Arecaceae* (Palmeiras) e gênero *Astrocaryum* (TROPICOS, 2012). É amplamente distribuída por toda América do Sul e pode ser encontrada na Venezuela, Trinidad, Guianas e Bolívia. No Brasil, é encontrado nos estados do Piauí, Ceará, Mato Grosso, Goiás, Maranhão, Pará, Tocantins e Alagoas (FERREIRA et al., 2008). A espécie pode alcançar de 10 a 15m de altura e 15 a 20 cm de diâmetro (Figura 1).



Figura 1: Palmeira tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart) (NEVES, 2012)

São encontrados, geralmente, em áreas abertas de solos variáveis, pode ocorrer tanto em beiras de rios e igarapés, como em terrenos arenosos, tem característica de florescer e frutificar durante quase todo o ano, porém, a melhor época é entre os meses de fevereiro e maio (DAMASCENO et al., 2008). A palha (folha seca) do tucumazeiro é utilizada para confeccionar redes de pesca, chapéus, sacolas, tecidos e cordas. O espinho da palmeira também é usado na confecção de brincos, nos dardos e em agulhas para tecer redes de dormir (SHANLEY & MEDINA, 2005).

O gênero *Astrocaryum* apresenta diversas variações de espécies, tais como: *A. vulgare* Mart., *A. aculentum* Meyer., *A. segregatum* Dr., *A. princeps* Bard., *A. giganteum* Bar., *A. tucumã* Mart., *A. acaule* Mart., *A. cantensis*, *A. chonta* Mart., *A. leisphota* Bard., *A. undata* Mart., *A. huaimi* (VILLACHICA, 1996).

### 2.2.1 CARACTERÍSTICAS DO FRUTO

O tucumanzeiro produz de 2 a 3 cachos anualmente, pode chegar a mais de 5, com peso médio de 10 a 30 quilos cada, e produção de frutos que podem chegar de 200 a 400 frutos, com produção de cerca de 50 quilos de frutos por ano, mesmo em solos pobres (CYMERYS 2005). Os cachos com cerca de 1 m e 150 mm apresentam frutos elipsoides verdes que adquirem cor amarelo alaranjada quando maduros (Figura 2).

Os frutos normalmente elipsoides, alaranjados quando maduros, apresentam de 3 a 5 cm de comprimento e possuem um odor característico (Figura 3). São

produzidos o ano todo e constituídos de polpa que apresenta de 32 a 58% de lipídios e amêndoa (DAMASCENO et al., 2008).



Figura 2: Cacho do tucumã (SILVA, 2008)



Figura 3: Fruto tucumã (TODA FRUTA, 2009)

O epicarpo (casca do fruto) (Figura 4) é responsável por 17,2 % do peso do fruto fresco maduro. O mesocarpo (polpa) é 21,2 % do peso do fruto fresco maduro e é amarelo alaranjado, compacto, firme, de 4-8 mm de espessura com grande concentração de óleo e  $\beta$ -caroteno, apresenta consistência pastoso-oleosa e característica fibrosa (GUEDES et al., 2005).

O endocarpo (caroço) tem 60,5 % do peso do fruto fresco maduro é pétreo, negro e ainda é caracterizado por conter no interior uma amêndoa (endosperma) (Figura 5) que representa 61% do peso do caroço semi-desidratado (SILVA, 2012). A amêndoa tem cor branca e dependendo do estágio de maturação do fruto se apresenta espessa (PANTOJA, 2008). A casca do caroço constitui 37,8% do peso do caroço semi-desidratado.



Figura 4: Casca do tucumã (Araújo, 2015)



Figura 5: Corte transversal da semente do tucumã com exposição da amêndoa (parte branca) (AMAZON OIL INDUSTRY)

O fruto do tucumã é bastante nutritivo, o mesocarpo é considerado uma fonte alimentícia rica em compostos pró-vitamina A e macronutrientes (Tabela 1) FERREIRA et al., 2008) e ácidos graxos saturados e poli-insaturados, principalmente ácido oleicos, esteáricos e linoleicos (MORAES & DIAS, 2001), bem como apresenta quantidades relevantes de fibras e vitamina E (CLEMENT et al., 2005).

**Tabela 1: Composição química e nutricional da polpa *in natura* e polpa seca do fruto do tucumã**

Componentes	Polpa <i>in natura</i>	Polpa seca
Umidade (%)	44,90 ± 0,30	5,71±0,35
Proteínas (%)	3,54 ± 0,07	6,56±0,44
Lipídios (%)	40,49 ± 0,54	24,88±3,66
Fibra bruta (%)	10,93 ± 0,10	14,21±0,29%
Cinzas (%)	2,53 ± 0,05	2,57±0,19
Carboidratos totais (%)	8,54 ± 0,61	44,66±1,93
Energia (kcal.100 g)	412,73 ± 2,12	_____
β-Caroteno (µg/100g)	11.616,58 ± 580,82	_____
Vitamina A (RAE/100g)	968,05 ± 48,40	_____

RAE = Retinol Activity Equivalent, onde 1 RAE = 1µg de retinol = 12µg β-caroteno. Fernandes et al (2007); Ferreira et al (2008)

Pelo seu elevado teor de carotenoides é utilizado para o tratamento de problemas de olhos e pele (KAHN, 2008). O tucumã também possui boas quantidades de vitamina B1, vitamina C, compostos fenólicos, fitoesteróis e tocoferóis, o que torna o fruto uma excelente alternativa ao combate da hipovitaminose A (LIMA et al., 2011).

O fruto possui um teor vitamínico três vezes maior do que a cenoura e noventa vezes maior do que o abacate (SHANLEY & MEDINA, 2005), superando três vezes a necessidade diária de vitamina A recomendada para um homem adulto, este teor elevado em provitamina A, principalmente dos carotenoides, confere-lhe uma capacidade antioxidante elevada, além de apresentar atividades biológicas como anti-inflamatória com inibição da fosfolipase A2 e anticarcinogênica inibindo a enzima tirosinase (BONY et al., 2012).

Porém, segundo a tradição popular de Irituia (PA), o uso medicinal do tucumã não está relacionado diretamente ao fruto, mas às larvas de besouro (*Coleoptera*) conhecidas popularmente como “tabaruá” ou “broca do tucumã” e encontradas dentro dos cocos envelhecidos (LIMA et al., 2013). Estas larvas são coletadas e levadas ao

fogo em uma panela de maneira que ao fritarem, liberam um óleo que pode ser usado contra asma, inchaço, luxações, contusões, derrame, reumatismo e picadas de formigas-tucandeiras (*Paraponera clavata* F.) (LIMA et al., 2013). As larvas possuem alto valor nutritivo e calórico e podem ser consumidas cruas, fritas ou assadas (CYMERYS, 2005).

O fruto do tucumã é consumido *in natura* ou na forma de sucos, licores, doces, em massas, picolés, geleias, mingaus, sorvetes, tortas, sanduiches, farinhas e é ainda utilizado na alimentação animal (Principalmente suínos e aves) (LIMA et al., 2013). Da polpa é extraído um óleo de cor alaranjada, fazendo com que seu uso na culinária, seja o mesmo do azeite de dendê, com alto teor de ácidos graxos e consistência de vaselina em temperatura inferior a 27°C (PESCE, 2009). A casca do caroço pode ser utilizada *in natura* ou transformada em carvão, um excelente combustível sólido. Da amêndoa também é extraído um óleo que contém ácidos graxos 90% saturados e de cadeias carbônicas médias e curtas (C8-C14) (PESCE, 2009).

A extração do óleo de frutos e sementes pode ser realizada, dentre outras formas por prensagem mecânica e com solventes derivados de petróleo. Como resíduo do processo de extração por prensagem mecânica se obtém uma “torta” ainda com concentrações de óleo que variam entre 5% e 15% (ORDÓÑEZ et al., 2005). Este resíduo sólido, mesmo após prensagem, ainda apresenta certa quantidade de óleo, odor e cor característicos (VASCONCELOS, 2009).

O óleo extraído da polpa e das amêndoas são utilizados na culinária e nas indústrias alimentícia e cosmética (LORENZI & MELLO FILHO, 2001). As características do óleo, o alto rendimento, o alto consumo da polpa (*in natura*) e o descarte do caroço como co-produto, favorecem a utilização da amêndoa do tucumã para a obtenção do óleo (OLIVEIRA et al., 2008).

O óleo de tucumã é valorizado por sua utilização na indústria cosmética como matéria prima no preparo de sabões e produtos cosméticos para o tratamento de furúnculos e dor de dente. A espécie também tem se mostrado promissora na produção do biodiesel da Amazônia (MIRANDA & RABELO, 2008).

Assim como a polpa, a amêndoa e o co-produto obtido da amêndoa após a extração do óleo por prensagem mecânica são ricos em lipídeos, proteínas, carboidratos, fibras e apresentam elevado valor energético (Tabela 2) (FERREIRA, 2008; PESSOA, 2016). Por apresentar grande potencial para utilização na produção dos mais variados tipos de alimentos, o tucumã se torna um importante aliado contra

a desnutrição, devido à sua riqueza em fibras, carboidratos, lipídeos, com a necessidade apenas de intensificar a sua utilização como alimento e buscar alternativas de adição de seus componentes na dieta humana (SIMÕES, 2010).

**Tabela 2 – Composição físico-química da amêndoa e da torta do fruto de tucumã, em base úmida**

Componentes	Amêndoa (%)	Torta (%)
Umidade	18,61 ± 0,15	8,20 ± 0,05
Proteínas	4,1±0,01	7,13 ± 0,13
Lipídeos	38,73	14,49 ± 0,44
Fibras brutas	—	18,63 ± 0,35
Cinzas	1,16 ± 0,32	4,40 ± 0,20
Carboidratos totais	37,4±0,01	65,78 ± 0,30
Energia (Kcal/100g)	514,57	422,05 ± 3,81

Pessoa (2016); Ferreira et al (2008)

Neste sentido, vários trabalhos têm demonstrado as potencialidades do fruto do tucumã, avaliado sua composição química e revelado o elevado potencial de pró-vitamina A (caroteno) e além do seu potencial econômico, terapêutico e nutricional.

Bora et al (2001) realizaram a caracterização da polpa de tucumã e verificaram a importância da caracterização físico-química dos extratos e subprodutos do tucumã para sua utilização em diversos segmentos da indústria.

Batista et al (2008) determinaram o teor de lipídios das amêndoas do tucumã-do-Pará (*Astrocaryum vulgare*) e do tucumã-do-Amazonas (*Astrocaryum aculeatum*) e demonstraram que as amêndoas de frutos possuem grande potencial de utilização, principalmente se for considerado que seus caroços serão subprodutos de processamentos agroindustriais para obtenção de alimentos e óleos, provenientes da polpa.

Ferreira et al (2008) realizaram a determinação física, físico-química do fruto e do óleo extraído de tucumã, visto que investigações desta natureza são necessários para a caracterização desta matéria-prima e o fruto apresentou importantes propriedades nutricionais, como fonte de caloria, fibras, pró-vitamina A e lipídios, especialmente do ácido graxo oleico.

Oliveira et al (2008) caracterizaram físico-quimicamente as sementes dos frutos da palmeira tucumã e observaram que a amêndoa de tucumã apresentou bom rendimento em lipídios e que as progênies presentes no banco de Germoplasma da

Embrapa Amazônia Oriental são fontes promissoras para obtenção de matéria prima para uso agroindustrial, dentre eles, cosméticos, alimentos e biodiesel.

Vasconcelos (2010) analisou as diferenças físicas e químicas dos óleos extraídos do tucumã oriundo do estado do Amazonas e do estado do Pará obtidos através da extração com CO<sub>2</sub> pressurizado e observou que as tortas desengorduradas apresentaram considerável valor nutricional pautado principalmente nos valores expressivos de seus macronutrientes e em fibras, agregado valor nutricional e possivelmente funcional a estes subprodutos.

Simões (2010) realizou o estudo da composição nutricional do fruto de tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart.), desenvolveu três subprodutos a partir da matéria-prima principal (farinha de tucumã, bolacha de tucumã e barra de cereal de tucumã) e evidenciou que o fruto possui importantes propriedades nutricionais, como fonte de caloria, pró-vitamina A, fibras e lipídeos, especialmente, do ácido oleico, dados satisfatórios do ponto de vista da nutrição humana.

Neves (2012) estudou as características da torta residual do tucumã e do inajá como matéria-prima para obtenção de açúcares através de hidrólise ácida, aponta que ambas as tortas são matérias-primas promissoras para utilização em aplicações mais sofisticadas e de maior valor agregado em biorrefinarias lignocelulósicas como a produção de etanol de segunda geração.

Aragão (2013) avaliou a caracterização bioquímica e centesimal de extratos concentrados, compostos primários e secundários das espécies *Astrocaryum vulgare* Mart (tucumã) e *Endopleura uchi* (Huber) Cuatrec. e demonstrou que estes são boa fonte de compostos bioativos e possuem potencial para a indústria alimentícia e cosmético.

Lima et al (2013) realizaram um estudo que demonstrou as ocorrências e usos do tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart.) na zona rural do município de Irituia, no Estado do Pará, e observaram que as diversas características do tucumã tornam promissora à sua participação nos arranjos de Sistemas Agroflorestais da região.

Miller et al (2013) avaliaram o desempenho zootécnico e econômico da inclusão de níveis crescentes de farinha do resíduo de tucumã em rações de aves e comprovaram que ela pode ser utilizada como alimento alternativo e fonte natural de pigmento da gema do ovo em rações de poedeiras comerciais.

Pinheiro (2013) analisou o potencial das amêndoas de fruto amazônico para fins alimentícios e demonstrou que a amêndoa do tucumã possui valores

considerados de macro e micronutrientes e pode ser utilizada para enriquecimento nutricional.

Rufino et al (2015) analisaram economicamente a inclusão de farinha do resíduo de tucumã em rações para poedeiras e concluiu que esta pode ser usada como ingrediente alternativo nas rações de poedeiras comerciais leves.

Pessoa (2016) avaliou a composição físico-química, nutricional, os compostos bioativos, a atividade antioxidante *in vitro* e a atividade citotóxica da amêndoa do tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart) encontrada no cerrado maranhense e demonstrou que esta apresentou alta densidade energética e de nutrientes, especialmente lipídeos e carboidratos, vários minerais essenciais, destacando-se a elevada concentração de manganês, compostos bioativos como flavonoides, antocianinas, carotenoides e ácido ascórbico e elevado teor de fenólicos totais que refletiu em elevada atividade antioxidante evidenciando que a amêndoa pode ser usada como fontes promissoras para obtenção de matéria prima para o uso agroindustrial.

Costa et al (2017) verificaram a viabilidade econômica da farinha do resíduo de tucumã em rações para frangos de corte e evidenciaram que ela pode ser utilizada como alimento alternativo em rações para frangos de corte até 15% sem ocasionar alterações negativas no desempenho e nos custos de produção.

Nesta perspectiva, diversos autores têm demonstrado que a vasta diversidade de frutas encontradas no território brasileiro apresenta riqueza nutricional e pode ser melhor aproveitada diretamente pela população e de forma indireta, pelas indústrias de alimentos ou farmacêutica (ARRUDA et al., 2016; BARBOSA & CONCEIÇÃO, 2016; GABBAY ALVES et al., 2017; GABBAY ALVES et al., 2018; COSTA et al., 2018). Assim, se justifica a necessidade de mais estudos para melhor conhecimento dos frutos desse bioma e suas propriedades.

### **2.3 Metabólitos secundários encontrados em frutas e em seus co-produtos**

Os alimentos fornecem não somente nutrientes essenciais necessários para a vida, mas também moléculas orgânicas denominadas como compostos bioativos que promovem efeitos benéficos ou não a saúde (MELO et al., 2008). A grande maioria desses compostos contribuem para a redução de incidência de doenças degenerativas e crônicas. Esse efeito protetor tem sido atribuído, em grande parte, a propriedades biológicas ditas promotoras da saúde, tais como atividades

antioxidantes, anti-inflamatória e hipocolesterolêmica de vitaminas como a C, A e E, e de compostos fenólicos como os flavonoides e taninos (CHEN & CHEN, 2013; SANTOS et al., 2014).

### 2.3.1 COMPOSTOS FENÓLICOS

Os compostos fenólicos são definidos quimicamente como compostos que possuem anel aromático com um ou mais grupo hidroxilas ligados ao anel, incluindo seus grupos funcionais (Figura 6) (GIADA & MANCINI FILHO, 2006). São divididos em dois grandes grupos: os flavonoides e seus derivados e os ácidos fenólicos (derivados dos ácidos hidroxibenzoico, hidroxicinâmico e *p*-cumárico) (SANTOS, 2011).

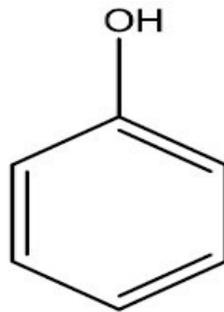


Figura 6: Fórmula estrutural básica do fenol (Dias, 2018)

Os compostos fenólicos podem influenciar no valor nutricional e na qualidade sensorial dos alimentos, conferindo atributos como cor, textura, amargor e adstringência. Na maioria dos vegetais, os compostos fenólicos constituem os antioxidantes mais abundantes (EVERETTE et al., 2010). Suas ações fisiológicas despertam grande interesse devido aos seus efeitos antiaterogênicos, neuroprotetores, anti-inflamatórios, anticarcinogênicos e antioxidantes (AJILA et al., 2008).

Tais efeitos estão relacionados, principalmente, com o combate na produção de espécies reativas de oxigênio (EROS) contribuindo para a redução do estresse oxidativo, comum em doenças cardiovasculares, neurodegenerativas, câncer, entre outras (CONTRERAS-CALDERÓN et al., 2011; SANTOS et al., 2011).

Na literatura há diversos estudos relatando os benefícios da ingestão de polifenóis, que dependem da quantidade ingerida e da sua biodisponibilidade (OZCAN et al, 2014), entretanto, mais pesquisas são necessárias para o conhecimento de

antioxidantes em espécies vegetais, que atenderiam tanto a indústria farmacêutica quanto a indústria alimentícia (DEGÁSPARI & WASZCZYNSKY, 2004).

### 2.3.1.1 FLAVONOIDES

Os flavonoides são compostos de baixo peso molecular doadores de elétrons, que pertencem a uma classe de metabólitos de origem mista (acetato-malonato e chuiquimato) (BARBOSA, 2002; ANDERSEN & JORDHEIM, 2010) vastamente distribuídos na natureza. Possuem uma estrutura marcada pela presença de um esqueleto com 15 átomos de carbono na forma C6-C3-C6, e são divididos em subclasses dependendo do estado de oxidação do anel central de pirano (Figura 7) (ANDERSEN & JORDHEIM, 2010).

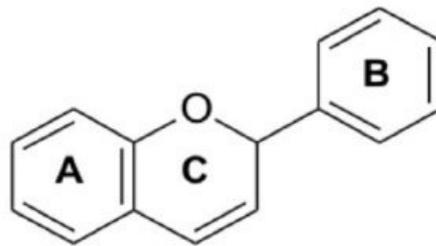


Figura 7: Fórmula estrutural básica dos flavonoides (ANGELO & GEORGE, 2007)

São os principais compostos bioativos encontrados nas plantas com mais de 5.000 substâncias já descritas, entre as quais estão as flavonas (apigenina, luteolina), flavonóis (quercetina, miricetina), flavanonas (naringenina, hesperitina), proantocianidinas, antocianinas (cianidina e pelargonidina), flavan-3-óis (catequinas epicatequina, galocatequina), isoflavonas (genisteína, daidzeína) (Figura 8), como principais (ZIBERNA et al., 2014).

Assim, grupos específicos de alimentos provenientes do reino vegetal são frequentemente fontes exógenas de uma ou mais subclasse desses polifenóis e seus efeitos na promoção da saúde dependem da quantidade consumida e da sua biodisponibilidade (PRIOR, 2006).

Vários estudos descreveram os benefícios para a saúde através da ingestão de alimentos ricos em flavonoides, evidenciando as melhorias na função cognitiva e atividade antidepressiva (SAMMAN et al., 2003). No entanto, a indústria cosmética e farmacêutica tem manifestado interesse por estes compostos devido ao fato de poderem ser utilizados como substitutos de antioxidantes sintéticos.

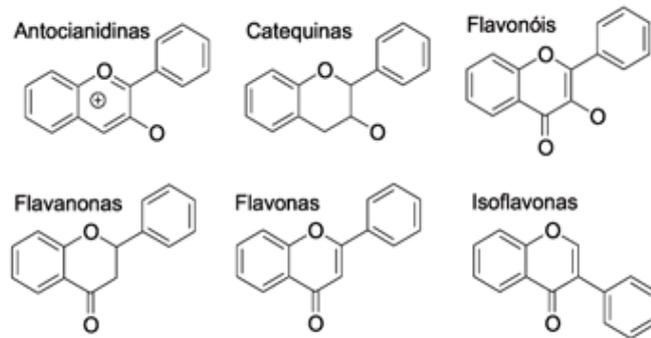


Figura 8: Estrutura molecular das principais subclasses de flavonoides (MARTÍNEZ- FLÓREZ et al., 2002)

### 2.3.1.2 TANINOS CONDENSADOS

Os taninos são os compostos fenólicos de alto peso molecular (entre 500 e 3000 Dalton), que precipitam proteínas, incluindo proteínas salivares da cavidade oral provocando uma sensação de adstringência (SHAHAT & MARZOUK, 2013).

Segundo a estrutura química, os taninos são classificados em dois grupos: hidrolisáveis e condensados (OKUDA, 2005) sendo estes últimos mais comuns (SANTOS-BUELGA & SCALBERT, 2000). Os taninos hidrolisáveis (Figura 9) consistem em ésteres de ácidos gálicos e ácidos elágicos glicosilados, formados a partir do chiquimato (HELDT, 1997), onde os grupos hidroxila do açúcar são esterificados com os ácidos fenólicos (VICKERY & VICKERY, 1981).

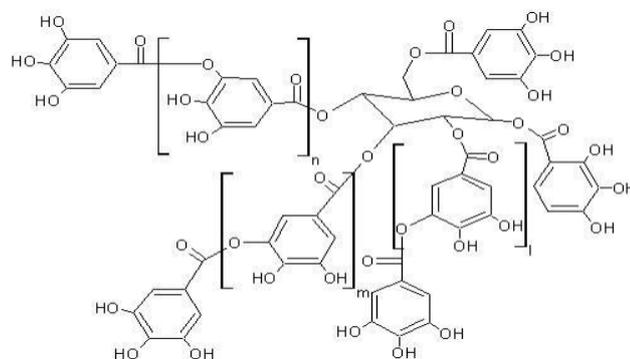


Figura 9: Fórmula estrutural de tanino hidrolisável (POYER & SCHAEFER, 2014)

Os taninos condensados ou proantocianidinas são polímeros de flavan-3-ol e/ou flavan-3,4-diol, produtos do metabolismo do fenilpropanol (Figura 10) (OROIAN & ESCRICHE, 2015). Possuem uma rica diversidade estrutural, resultante de padrões

de substituições entre unidades flavânicas, diversidade de posições entre suas ligações e a estereoquímica de seus compostos.

Apesar de muitas espécies produtoras de taninos serem usadas na medicina popular para diferentes finalidades, ainda são poucos estudos para avaliar o potencial medicinal de tais substâncias. Porém, os taninos encontrados em plantas têm sido correntemente utilizados como fonte de matéria-prima para diferentes indústrias, como farmacêutica, alimentar (como antioxidantes de sucos e bebidas e como clarificante de vinhos), curtumes, borracha, tratamento de águas potáveis (VIEIRA et al., 2011).

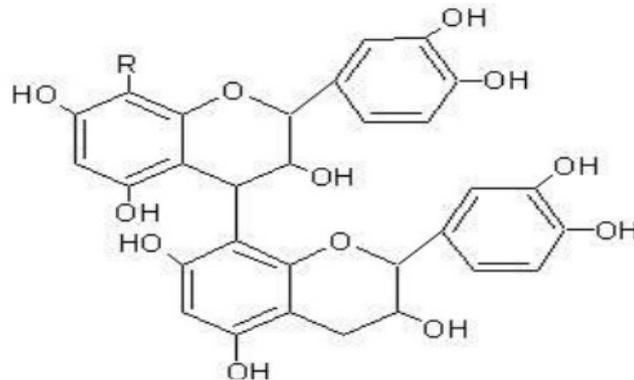


Figura 10: Fórmula estrutural de tanino condensado (Protocianidina) (POYER & SCHAEFER, 2014)

### 2.3.1.3 ÁCIDOS FENÓLICOS

Os ácidos fenólicos caracterizam-se por possuir um anel benzênico, um grupamento carboxílico e um ou mais grupamentos hidroxila (-OH) e/ou metoxila (-OCH<sub>3</sub>) na molécula. Os ácidos fenólicos são divididos em dois grupos: os ácidos hidroxibenzoicos e os hidroxicinâmicos (Figura 11) (RAMALHO & JORGE, 2006).

A atividade antioxidante dos ácidos fenólicos está relacionada principalmente às propriedades redutoras de sua estrutura, que atua tanto na captura de espécies reativas quanto quelando metais de transição, e assim participa nas etapas de iniciação e propagação do processo oxidativo (SOUSA et al., 2007).

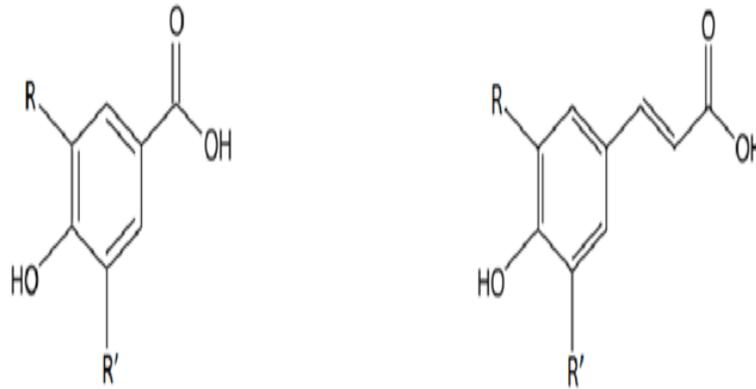


Figura 11: Fórmula estrutural geral dos ácidos hidroxibenzoicos e os hidroxicinâmicos respectivamente (IGNAT et al, 2011)

### 2.3.1.3.1 ÁCIDO CAFEICO

Os ácidos hidroxicinâmicos possuem nove átomos de carbono (C<sub>6</sub>-C<sub>3</sub>) (CLIFFORD, 2000). Exemplos desta classe de compostos são o ácido cafeico, *p*-cumárico, ferúlico e sinápico (Figura 12) (ABRAMOV, 2015).

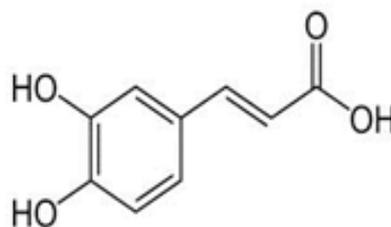


Figura 12: Estrutura química do ácido cafeico (Adaptado de BREWER, M.S, 2011)

O ácido cafeico está presente nas plantas principalmente como o 3-, 4- ou ésteres 5-cafeoilícos do ácido quínico, que é chamado de ácido clorogênico. O ácido cafeico proveniente da clivagem dos ácidos cafeoilquínicos pode ser encontrado livre na corrente sanguínea (NARDINI et al, 2002) mas a maior parte da parcela absorvida está na forma de conjugados glicuronados, sulfatados ou como ácido ferúlico e isoferúlico resultantes da metilação do ácido cafeico (RECHNER et al., 2001).

Nas plantas, dímeros derivados de HCs também podem ser formados através de acoplamento dos seus precursores monoméricos. No curso de processamento de alimentos, altamente voláteis 4-vinil derivados de HCs são formados através de

descarboxilação térmica durante tratamentos a alta temperatura (por exemplo, torrefação de grãos de café) ou por descarboxilação enzimática durante a fermentação (ABRAMOV, 2015).

Os ácidos derivados do hidroxicinâmico possuem maior atividade antioxidante em relação aos ácidos derivados do hidroxibenzoico devido ao grupamento CH=CH-COOH presente na cadeia lateral dos derivados do ácido hidroxicinâmico ter maior capacidade de estabilizar espécies reativas e doar hidrogênio em comparação ao grupamento -COOH do ácido hidroxibenzoico (SOVA, 2012).

### 2.3.1.3.2 ÁCIDO GÁLICO

O metabólito ácido gálico (ácido 3,4,5-trihidroxibenzoico) (Figura 13) é um polifenol que deriva da via do ácido chiquímico. É obtido a partir da hidrólise ácida de taninos e pode ser encontrado em chás, uvas, vinho tinto, castanha entre outros produtos naturais (LOCATELLI et al., 2013).

Vários derivados do ácido gálico (AG) já foram sintetizados com o objetivo de melhorar suas características físico-químicas, alterando especialmente sua lipofilicidade. Os galatos, mostraram que podem inibir a cadeia respiratória do parasita *Trypanosoma cruzi* (LETELIER et al., 1990), atividade antimicrobiana contra *Escherichia coli* (BOYD et al., 1981).

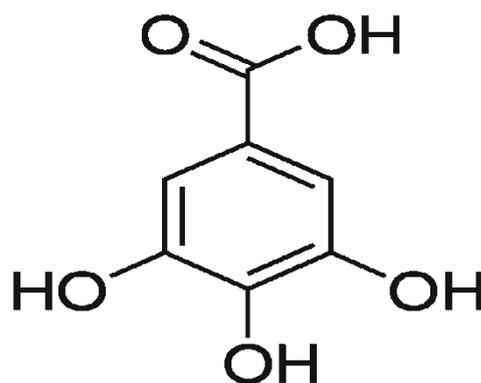


Figura 13: Estrutura química do ácido gálico (SILVA, 2018)

Vários estudos demonstram que o AG apresenta forte ação antioxidante, antiinflamatória, antimutagênica e antitumoral (KIM et al., 2002). O ácido gálico tem demonstrado também atividade citotóxica seletiva, afetando principalmente células tumorais e não as linhagens celulares normais (YOSHIOKA et al., 2000).

Recente revisão mostrou que a atividade antitumoral do ácido gálico está envolvida com múltiplos alvos moleculares, os quais algumas vezes diferem quando avaliadas linhagens tumorais distintas. Esse polifenol tem mostrado inibir vários genes relacionados ao ciclo celular, a produção de metástases, à angiogênese e apoptose (LIMA, 2014).

## 2.4 CAROTENOIDES

Os carotenoides são pigmentos naturais que podem ser encontrados em vegetais (frutas, verduras e raízes) e em alguns animais (crustáceos, peixes e microorganismos) (AMBRÓSIO et al., 2006). Entre as importantes fontes regionais de carotenóides no Brasil, estão o tucumã (*Astrocaryum aculeatum*, *Astrocaryum vulgare* Mart.), a macaúba (*Acrocomia aculeata*), a pupunha (*Bactris gasipaes*) e o pequi (*Caryocar brasiliense*) (AMBRÓSIO et al., 2006).

Os carotenoides são geralmente tetraterpenóides de 40 átomos de carbono (Figura 14), apresentam coloração amarela, laranja ou vermelha. Quimicamente, são classificados em dois grupos os carotenos que são hidrocarbonetos poliênicos ( $\beta$ -caroteno e o licopeno) com variados graus de insaturação, ou seja, que possuem apenas carbonos e hidrogênios em sua molécula e xantofilas (luteína e a zeaxantina) que são carotenoides oxigenados sintetizadas a partir dos carotenos, por meio de reações de hidroxilação e epoxidação por exemplo, cetonas, hidroxí, metoxi, epóxi ou ácido carboxílico (AMBRÓSIO et al., 2006).

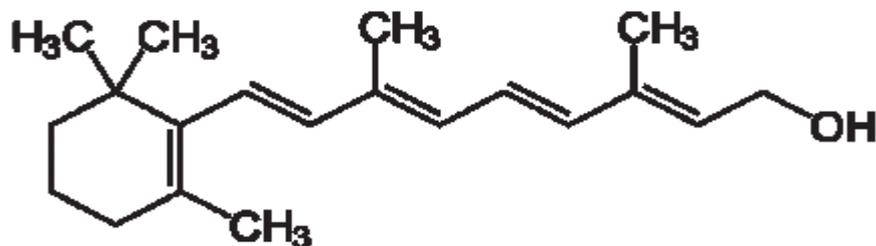


Figura 14: Estrutura química de um carotenoide (AMBRÓSIO et al., 2006)

Devido a presença das insaturações, os carotenóides são sensíveis à luz, pH ácido, temperatura, acidez, bem como reações de oxidação o que pode levar a alterações ou até a parcial destruição dos pigmentos e conseqüentemente perda da atividade biológica (BOBBIO, 2003). A maioria dos carotenoides possui natureza

hidrofílica e lipofílica, são insolúveis em água e solúveis em solventes, como acetona, álcool, clorofórmio, éter etílico, éter de petróleo e hexano (PENTEADO, 2003).

Entre os carotenoides, o  $\beta$ -caroteno é o mais abundante em alimentos e o que apresenta a maior atividade pró-vitamina A. O problema da hipovitaminose A no Brasil poderia ser revertido com uma alternativa eficiente como o enriquecimento de alimentos com fontes naturais de pro-vitamina A (AMBRÓSIO et al., 2006).

## 2.5 Atividade antioxidante

Radicais livres são átomos ou moléculas produzidas continuamente durante os processos metabólicos e atuam como mediadores para a transferência de elétrons em várias reações bioquímicas, desempenhando funções relevantes ao metabolismo (BAE et al., 1999). Possuem diferentes papéis no organismo e encontram-se envolvidos na produção de energia, fagocitose, regulação do crescimento celular, sinalização intercelular e síntese de substâncias biológicas importantes.

Entretanto, seu excesso apresenta efeitos deletérios, tais como danos ao DNA, proteínas e organelas celulares, como mitocôndrias e membranas, provocando alterações na estrutura e funções celulares. Dessa forma, se encontram envolvidos em diversas patologias a exemplo de câncer, envelhecimento precoce, doenças cardiovasculares, degenerativas e neurológicas, choque hemorrágico, catarata, e disfunções cognitivas (COUTO & CANNIATTI-BRAZAC, 2010).

Para combater os radicais livres os organismos vivos produzem substâncias que são capazes de regenerar ou prevenir os danos oxidativos, exercendo seu papel como antioxidante. Assim, interferem na participação do oxigênio singlete e atuam como inibidores doando hidrogênios ou recebendo radicais livres dos ácidos graxos (RIBEIRO & SERAVALLI, 2004).

O interesse por compostos antioxidantes naturais tem aumentado consideravelmente para uso em alimentos ou materiais medicinais tendo como objetivo substituir os antioxidantes sintéticos, que estão sendo restringido devido à sua carcinogenicidade. Produtos de origem vegetal, como frutas, hortaliças, ervas medicinais, cereais, brotos, sementes, cogumelos comestíveis que tem sido investigado podem conter uma grande variedade de moléculas capazes de sequestrar radicais livres, tais como compostos fenólicos, compostos nitrogenados, vitaminas, carotenoides e outros metabolitos endógenos, que exibem atividade antioxidante para

aplicação na indústria alimentícia e farmacêutica por sua atribuição de qualidade ao produto final (SOARES et al., 2009).

Roesler et al (2007) avaliaram diversas frutas do cerrado e seus subprodutos, e constataram atividade antioxidante nos extratos etanólico e aquoso da casca de pequi (*Caryocar brasiliense*), extrato etanólico da semente da cagaita (*Eugenia dysenterica*), extrato etanólico da semente e casca de araticum (*Annona coriácea*) e extrato etanólico da casca de banha de galinha (*Swartzia langsdorfii*).

Abe et al (2010) ao avaliarem nozes e pecans, identificaram como principal ácido fenólico, o elágico, com elevada capacidade de sequestro do radical livre DPPH.

Andrade et al (2011) ao avaliarem o líquido da castanha de caju constataram efeito antioxidante em ensaios *in vivo* (*Saccharomyces cerevisiae*) e *in vitro* (DPPH e xantina oxidase).

Contreras-Calderón et al (2011) verificaram a presença de antioxidantes em frutas e nos sub-produtos de diversas frutas colombianas, dentre elas, a banana, o caju e resíduos de *Callocarpum mamosum*, sugerindo que poderiam oferecer produtos para a indústria de alimentos, farmacêutica e cosmética.

Morais et al (2013) avaliaram a atividade antioxidante na semente da lobeira (*Solanum lycocarpum*), no epicarpo e mesocarpo do pequi (*Caryocar brasiliense*) e no pedúnculo do quiabo-da-lapa (*Cipocereus minensis*).

Gabbay Alves et al (2017a) avaliaram o potencial antioxidante do extrato microencapsulado do co-produto das amêndoas do cacau (*Theobroma cacao*). Gabbay Alves et al (2017b) avaliaram os compostos bioativos e o potencial antioxidante do extrato do cacau (*Theobroma cacao*) obtido do resíduo agroindustrial. Gabbay Alves et (2018) avaliaram o potencial antioxidante do subproduto do cacau (*Theobroma cacao*).

Costa et al (2018) avaliaram o potencial antioxidante do extrato microencapsulado do co-produto das amêndoas do cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum).

Oliveira (2018) avaliou o potencial antioxidante dos extratos hidrofílico e lipofílico do co-produto das amêndoas de ucuúba (*Virola surinamensis*).

Estes estudos demonstraram que amêndoas ricas em lipídios apresentam compostos com propriedades antioxidantes, destacando-se os compostos fenólicos, assim como o co-produto de suas amêndoas e que podem ser mais bem aproveitados, e assim contribuir com o desenvolvimento sustentável.

### 2.5.1 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE *IN VITRO*

Os estudos sobre radicais livres e o desenvolvimento de novos métodos para avaliação de atividade antioxidante (AA) têm aumentado consideravelmente nos últimos anos. As descobertas do efeito deletério dos radicais livres sobre as células e sua relação com certas doenças, agindo como causador ou agravante, impulsionou a busca por novas substâncias capazes de prevenir ou minimizar os danos oxidativos às células vivas (ALVES et al., 2010).

Com o intuito de proporcionar ao consumidor alimentos com mais alto grau de qualidade, existem diversas metodologias descritas na literatura para certificação da qualidade dos corpos graxos, além de procedimentos adotados de modo a minimizar os efeitos da oxidação durante o processo de armazenamento (GUINAZI et al., 2009).

Além destas medidas, a adição de antioxidantes aos alimentos industrializados tem sido prática corrente, razão que justifica o atual interesse pela pesquisa de novos compostos antioxidantes (RAMALHO & JORGE, 2006).

Existem diversos métodos para avaliar a atividade antioxidante *in vitro* de substâncias biologicamente ativas, envolvendo desde ensaios químicos com substratos lipídicos a ensaios mais complexos utilizando as mais diversas técnicas instrumentais (SÁNCHEZ-MORENO et al., 1998).

Devido aos diferentes tipos de radicais livres e as suas diferentes formas de atuação nos organismos vivos, dificilmente existirá um método simples e universal pelo qual a atividade antioxidante possa ser medida precisa e quantitativamente. Assim, a busca por testes mais rápidos e eficientes tem gerado um grande número de métodos para avaliar a atividade de antioxidantes naturais pelo uso de uma grande variedade de sistemas geradores de radicais livres.

#### 2.5.1.1 Sequestro do radical 2,2-difenil-1-picril-hidrazil (DPPH)

O DPPH é um radical livre que pode ser obtido diretamente por dissolução do reagente em meio orgânico. O ensaio é baseado na medida da capacidade antioxidante de uma determinada substância em sequestrar o radical DPPH reduzindo-o a hidrazina. Quando uma determinada substância que age como doador de átomos de hidrogênio é adicionada a uma solução de DPPH, a hidrazina é obtida com mudança simultânea na coloração de violeta a amarelo pálido (Figura 15) (ALVES et al., 2010).

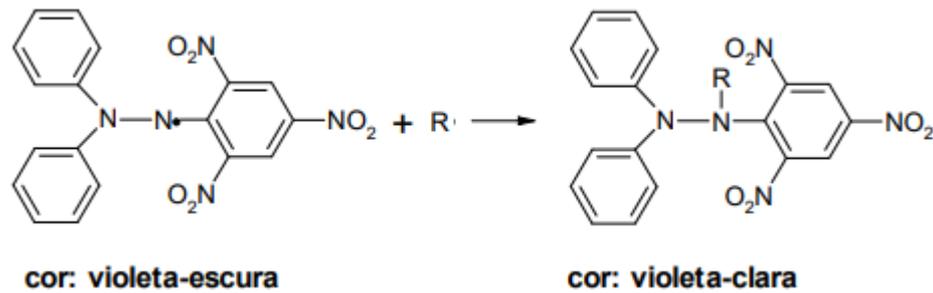


Figura 15: Reação do radical livre DPPH com outros radicais (R=H, radical alquil, etc) (RUFINO et al, 2007)

Esta habilidade foi primeiramente avaliada espectroscopicamente por ressonância de elétron spin (RES), uma vez que a intensidade do sinal do radical DPPH é inversamente relacionada com a concentração do antioxidante testado e o tempo de reação (CHEN et al., 2000). Entretanto, o método de controle mais utilizado é o decaimento da absorvância no comprimento de onda observado entre 515 a 528 nm, produzido pela adição do antioxidante a uma solução metanólica do radical DPPH.

Neste sentido, é um dos métodos mais fáceis, precisos e reprodutivos na avaliação da atividade antioxidante de sucos de frutas, extratos vegetais e substâncias puras, tais como flavonoides e terpenoides (DAVID et al., 2007). Ao ser utilizado para avaliar a atividade antioxidante de alguns compostos fenólicos, incluindo os ácidos ascórbico e isoascórbico foi concluído que a interação de um potencial antioxidante com o DPPH depende, sobretudo, de sua conformação estrutural e do número de grupos hidroxílicos disponíveis (BRAND-WILLIAMS et al., 1995).

Embora este seja um teste largamente utilizado, tanto pela simplicidade e rapidez quanto pela reprodutibilidade, necessita-se de cuidados na interpretação dos resultados. As substâncias analisadas podem interferir nos resultados caso seus espectros se sobreponham ao do DPPH ao redor de 515 nm como, por exemplo, os carotenoides (PRIOR et al., 2005).

#### 2.5.1.2 Sequestro do radical livre 2,2'-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6) -ácido sulfônico (ABTS).

O radical ABTS é um composto cromóforo quimicamente estável, apresenta alta solubilidade em água e um máximo de absorvância a 414 nm, e de medidas

secundárias de absorvância a 645, 734 e 815 nm (MILLER et al., 1993). O radical é gerado por reações enzimáticas ou eletroquímicas químicas e pode ser solubilizado em meios orgânicos e aquosos (TIVERON, 2010).

O método está baseado na habilidade dos antioxidantes em capturar o cátion ABTS, esta captura provoca um decréscimo na absorvância, que é lida a partir da mistura do radical com o antioxidante em diferentes tempos, sendo representadas graficamente (PÉREZ-JIMÉNEZ et al., 2006). O método ABTS apresenta excelente estabilidade, sendo um dos testes mais rápidos de atividade antioxidante e que oferece resultados reprodutíveis, além de oferecer vários máximos de absorção e uma boa solubilidade.

Assim, novos métodos de geração do radical ABTS foram desenvolvidos, a partir da oxidação do sal por persulfato de potássio, cuja reação ocorre na ausência de luz, por um período 12 a 16 horas. A energia de ativação requerida é baixa e a reação começa imediatamente, mas não alcança um máximo de absorvância até o transcurso de 6 horas. O ABTS reage estequiometricamente a uma relação 1:0,5 com o persulfato de potássio (HENRIQUEZ et al., 2002). Esse método baseia-se na geração do ABTS, que apresenta cor azul esverdeado, por meio da reação do ABTS com persulfato de potássio que possui absorção máxima em 645, 734 e 815 nm.

Com a adição de um antioxidante, ocorre a redução do ABTS promovendo a perda da coloração do meio reacional (Figura 16). Com a perda de cor, a porcentagem de inibição do ABTS é determinada em função do Trolox, um padrão submetido às mesmas condições de análise do antioxidante (ARTS et al., 2004).

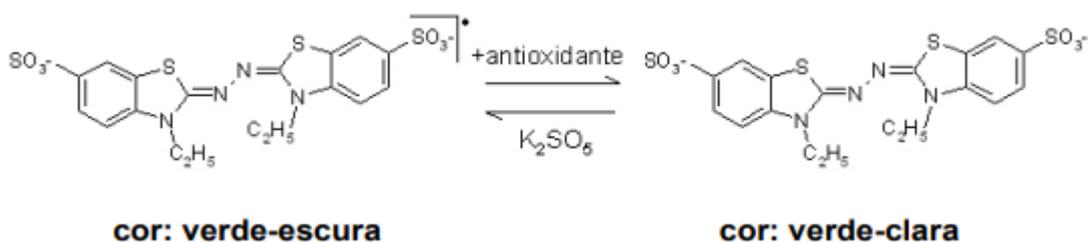


Figura 16: Reação do radical ABTS na presença de um composto antioxidante durante o ensaio ABTS (RUFINO et al., 2007).

### 2.5.1.3 Co-oxidação no sistema $\beta$ -caroteno/ácido linoleico

O sistema de co-oxidação do  $\beta$ -caroteno/ácido linoleico, originalmente descrito por Marco (1968) e modificado por Miller (1971), que utiliza o ácido linoleico, o monopalmitato de polioxietileno sorbitan (Tween-40) e o  $\beta$ -caroteno permite avaliar a

capacidade de uma determinada substância prevenir a oxidação do  $\beta$ -caroteno, protegendo-o dos radicais livres gerados durante a peroxidação do ácido linoleico. A reação pode ser monitorada por espectrofotometria com perda da coloração do  $\beta$ -caroteno em 470 nm, e leitura imediata e em intervalos de 15 min, por um tempo total de 2 h (BROINIZI et al., 2007).

Nesta perspectiva, o método é amplamente utilizado para avaliar a atividade antioxidante tanto de substâncias isoladas de extratos vegetais, quanto de frutas e bebidas. Dentre várias classes de substâncias naturais ativas, as pro-antocianinas isoladas de extratos de espécies de Leguminosae tem demonstrado ser tão eficiente quanto os antioxidantes comerciais, como galato de *n*-propila e  $\alpha$ -tocoferol (BAARREIOS et al., 2000).

O método da co-oxidação utilizando o sistema  $\beta$ -caroteno/ácido linoleico é um teste simples e sensível e por não utilizar altas temperaturas permite a determinação da atividade antioxidante de substâncias termossensíveis. Porém, como desvantagem na realização do método tem-se que a utilização do meio emulsionado interfere nos valores de absorvância e causa baixa reprodutibilidade e a interação do  $\beta$ -caroteno com o oxigênio proveniente do meio dificulta a interpretação dos resultados (AMIN et al., 2006).

## **2.6 Extração verde**

Há diversas temáticas relacionadas aos princípios da Química Verde, como catálise, solventes alternativos e desenvolvimento de processos mais seguros e eficientes. Assim, existe uma preocupação crescente da comunidade científica quando a abordagem envolve o desenvolvimento científico e a geração de resíduos. Com isso, aos processos químicos vem se introduzindo medidas que amenizem, reduzam ou até mesmo zerem a geração de resíduos nocivos ao meio ambiente (TSUKUI & REZENDE, 2014).

Neste sentido, a extração verde, com base nos princípios da química verde, da engenharia verde surgiu e desenvolveu-se em um novo tópico de pesquisa. Este tipo de extração já demonstrou seus benefícios não só na redução de riscos para a saúde humana, mas também na proteção do meio ambiente de forma economicamente benéfica em um mundo sustentável (LI et al., 2013).

Assim, a extração verde baseia-se na descoberta e concepção de processos de extração que reduzam o consumo de energia, permitem o uso de solventes alternativos e fontes de vegetais renováveis/inovadoras, como os óleos vegetais (palma, canola, soja, girassol entre outros) de modo a eliminar solventes tóxicos e garantir segurança e alta qualidade do produto extraído (LI et al, 2013).

Diante disso, os solventes orgânicos utilizados para extração de compostos lipofílicos como acetona, hexano, éter de petróleo entre outros são tóxicos tanto para os seres humanos como para os animais. O uso desses solventes não é bem aceito nas indústrias alimentícia, cosmética e farmacêutica. Com isso, as empresas são obrigadas a recorrer a solventes alternativos mais ambientalmente benignos e a novos processos de extração dessas substâncias naturais (LI et al., 2013; GOULA et al., 2017).

O uso de óleo vegetal como solvente tem demonstrado seus benefícios, pois reduzem os riscos à saúde por não serem tóxicos, conservam as características organolépticas do produto extraído, não prejudicam o meio ambiente e assim podem ser vistos como uma alternativa benéfica em um mundo sustentável (BURIOL et al., 2009; LI et al., 2013).

Nesta perspectiva, a extração assistida por ultrassom é também considerada uma tecnologia limpa na indústria de alimentos e tem sido o tópico de muita pesquisa e desenvolvimento devido ao efeito que as ondas de ultrassom de alta potência têm sobre características físicas, bioquímicas e nas propriedades dos alimentos (VEGGI, 2013).

É um método eficaz na extração de constituintes químicos a partir de matrizes vegetais (DOBIÁŠ et al., 2010). Ela pode ser realizada em tempos mais curtos comparada a outras técnicas de extração, o que indica que este método pode ser potencialmente utilizado na extração de compostos termossensíveis utilizados em alimentos, produtos de saúde, cosméticos, e produtos farmacêuticos (DONG et al., 2010).

Esta nova tecnologia “verde” também tem sido considerada em aplicações de sustentabilidade ambiental (CHEMAT et al., 2011), tendo em vista, oferecer uma alternativa econômica aos processos de extração tradicionais que utilizam matérias-primas de custo elevado (GARCIA-SALAS et al., 2010).

Neste sentido, vários estudos foram desenvolvidos utilizando os princípios da química verde na extração de compostos lipofílicos.

Sachindra e Mahendrakar (2005) estudaram o potencial de extração de carotenóides de camarão em diferentes óleos vegetais (óleo de girassol, óleo de amendoim, óleo de mostarda, óleo de soja, óleo de coco e óleo de farelo de arroz) e otimizaram as condições para a extração de óleo como proporção do óleo, tempo e temperatura.

Buriol et al (2009) avaliaram o extrato oleoso de própolis quanto a sua composição química qualitativa e quantitativa obtido com o óleo de canola e demonstraram que houve conservação das características organolépticas do própolis e possibilidade de apresentação do produto em cápsulas gelatinosas.

Handayani et al (2008) realizaram a extração de astaxantina, um tipo de carotenoide presente nos resíduos de camarão, utilizando como solvente o óleo de palma e concluíram que o mesmo foi eficiente na retirada de astaxantina do resíduo.

Li et al (2013) desenvolveram um método de extração assistida por ultrassom para extração de carotenóides de cenouras frescas utilizando o girassol óleo como um substituto para solventes orgânicos.

Ordóñez-Santos et al (2014) avaliaram os efeitos da extração assistida por ultrassom de carotenóides totais obtidos de subprodutos de pupunha secos usando óleo de girassol como solvente e otimizaram as condições de extração (ultra-som intensidade, temperatura e tempo de extração) usando a metodologia de superfície resposta para obter o conteúdo ideal de carotenóides.

Parjikolaei et al (2015) realizaram a extração da astaxantina dos resíduos de processamento do camarão utilizando o óleo de girassol e o éster metílico do girassol óleo como dois solventes verdes.

Goula et al (2017) realizaram a extração de  $\beta$ -caroteno dos resíduos da casca de romã, utilizando óleo de semente de girassol e óleo de soja como solvente extrator, e observaram que esses solventes verdes foram eficientes no processo extrativo de metabólitos de baixa polaridade como os carotenoides.

## **2.7 Microencapsulação**

A utilização de técnicas para o processo de microencapsulação de compostos bioativos, como secagem por atomização têm recebido grande destaque (FANG &

BHANDARI, 2010; MUNIN & EDWARDS-LÉVY, 2011). A técnica conhecida há muitas décadas, vem ganhando espaço em aplicações nas áreas farmacêutica, alimentar e cosmética (SUAVE et al., 2006), como por exemplo na microencapsulação de extratos a partir de co-produtos (MOREIRA, 2007; MOREIRA, 2015; GABBAY ALVES et al., 2017; COSTA et al., 2018) e extratos de folhas de vegetais (SAMPAIO et al, 2016; CARVALHO, 2018).

A microencapsulação consiste na incorporação as substâncias de interesse (núcleo ou material ativo) em um sistema de revestimento (material de parede, carreador ou agente encapsulante), gerando sistemas microparticulados ou micropartículas de formato esférico e com tamanhos que podem variar de 1 e 1000  $\mu\text{m}$  (TIWARI et al., 2010; SILVA-IBRAHIM, 2011).

Esses sistemas microparticulados são classificadas como reservatórios ou monolíticos. Os reservatórios são caracterizados por ter uma matriz polimérica com um núcleo oco ou oleoso, em que o princípio ativo está contido no núcleo, sendo denominados de microcápsulas. Os monolíticos ou matriciais são chamados de microesferas, no qual é constituído por uma matriz polimérica densa em que os compostos ativos são ligados por ligações iônicas, van-der-walls, covalente entre outras (Figura 17) (FANG & BHANDARI, 2010; SINGH et al., 2010).

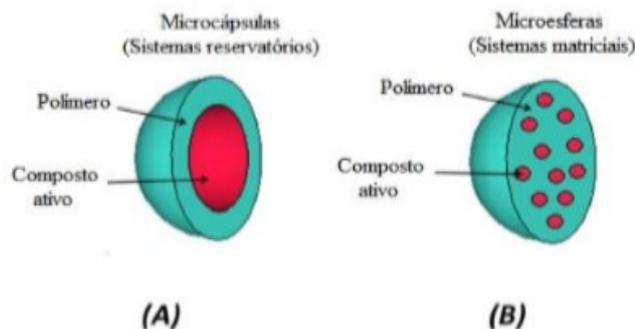


Figura 17: Sistemas microparticulados: A) microcápsula; B) microesfera (PAULO & SANTOS, 2017)

As substâncias que são encapsuladas se apresentam, geralmente, no estado líquido ou sólido, podendo também ser um gás (DRUSCH et al., 2012) e permite a formação de uma barreira física entre o meio externo e os materiais sensíveis do núcleo, protegendo esses compostos da temperatura, umidade, luz ultravioleta, pH,

oxidação e interação com outras matérias, devido a interação do ativo com o material de revestimento (NESTERENKO et al., 2013; RAY et al., 2016).

O processo de microencapsulação tem como vantagens, diminuir as interações da substância encapsulada em relação aos fatores ambientais, impedindo perdas sensoriais e nutricionais; mascarar substâncias com sabores indesejáveis; melhorar a solubilidade da substância encapsulada e a sua incorporação em sistemas secos; liberar de forma modificada a substância de forma lenta ou a partir de estímulo; reduzir a velocidade de evaporação de substâncias voláteis e aumentar o tempo de armazenamento das substâncias (KUANG et al., 2010).

O método de escolha para microencapsulação deve ser econômico, reprodutível, flexível (fácil ajuste das variáveis), de simples operação, de rápida execução, que apresente possibilidade de escalonamento a nível industrial, possibilite a escolha dos agentes encapsulantes conforme a necessidade da formulação e de maneira geral, melhora a estabilidade do produto final (SANTOS et al., 2005).

Neste sentido, o *spray drying* é um dos mais antigos, tendo sido originalmente utilizado na década de 30 para preparar os primeiros compostos contendo sabores encapsulados (WILSON & SHAH, 2007).

### 2.7.1 SPRAY DRYING

A secagem por *spray drying* é conhecida há muitos anos, e é utilizada em diversos produtos tais como: pigmentos naturais, probióticos, vitaminas, fármacos em geral, praguicidas e inseticidas, aditivos naturais, aromas e produtos alimentícios, como leite, café, sopas e chás (FÁVARO-TRINDADE et al., 2010; OLIVEIRA & PETROVICK, 2010; JOYE & MCCLEMENTS, 2014; SINGH & DIXIT, 2014; CHEN et al., 2015). O *spray drying* tem sido muito utilizado em processos que envolvem microencapsulação devido à sua facilidade de operação e boa relação custo benefício (MURUGESAN & ORSAT, 2012).

A secagem por nebulização ou *spray drying* consiste em uma operação unitária através da qual um produto (solução, emulsão ou suspensão) é transformado do estado fluido para o estado sólido em forma de pó dentro de uma câmara, onde é feita a dispersão de gotículas do material que entram em contato com um gás aquecido, em geral, o ar (GHARSALLAOUI et al., 2007).

O procedimento compreende várias etapas: 1) Alimentar o sistema com o fluído (solução, suspensão ou emulsão) que é disperso em gotículas através do bico atomizador (A), estabelecendo então uma área superficial de abrangência. 2) As gotas entram em contato com um fluxo de ar quente. 3) Ocorre a transferência de calor, evaporando o solvente e a obtenção das partículas sólidas dentro da câmara de secagem (B). 4) As partículas são direcionadas através de uma corrente de ar para o ciclone (C,) e são coletadas no coletor (D). 5) O ar que estava no ciclone será filtrado pelo filtro de saída. 6) Em seguida é descartado pelo aspirador (Figura 18) (OLIVEIRA e PETROVICK, 2010).

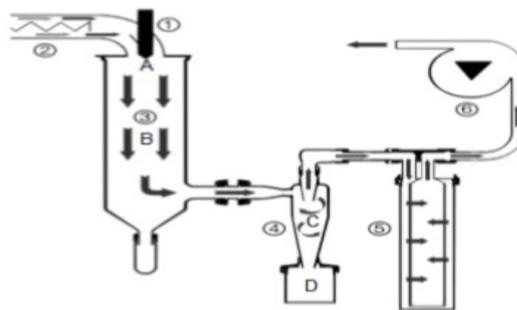


Figura 18: Diagrama esquemático da configuração de um *spray dryer* (manual de operação *mini spray dryer B-290*, Buchi, Suíça)

As variáveis deste processo envolvem a temperatura de entrada e saída de ar do sistema, o fluxo de ar ou fluído de arraste, a distribuição da temperatura e umidade, o tempo de permanência e temperatura da câmara. Estes parâmetros determinam a eficiência do processo, juntamente, com as características do agente microencapsulante (tamanho de moléculas, solubilidade, entre outros) e características do material ativo (polaridade, pressão de vapor e etc) (KISSEL et al., 2006).

O *spray drying* é bastante utilizado para microencapsulação de ingredientes e é a técnica mais utilizada nas indústrias alimentícias (FAZAELI et al., 2012; ARARUNA et al., 2013; BOTREL et al., 2014; CHANG et al., 2014; HIJO et al., 2015) em relação à outras técnicas como *spray cooling*, *spray chilling*, leite fluidizado, coacervação, dentre outras, por ser mais econômica e eficiente, possui fácil disponibilidade de equipamentos, baixos custos de processo, podendo ser utilizada para vários tipos de produtos (FÁVARO-TRINDADE et al., 2010; BOTREL et al., 2012).

O processo de microencapsulação por *spray drying* tem sido utilizado com sucesso na área de alimentos, tendo em vista a proteção de substâncias sensíveis à luz, oxigênio, temperatura e tempo de armazenamento, tais como os compostos fenólicos. Além disso, este processo pode impedir interações com outros compostos, promovendo uma maior estabilidade do produto e, conseqüentemente, aumentando a sua vida útil (DESAI & PARK, 2005). Estudos têm mostrado que compostos bioativos, como os compostos fenólicos, podem ser protegidos por diferentes agentes microencapsulantes por *spray drying* (BAKOWSK-BARCZAC & KOLODZIEJCZYK, 2011; SAMPAIO, 2012; ÇAM et al, 2013; MISHRA & MAHANTA, 2014; PANG et al, 2014; GABBAY ALVES et al., 2017; COSTA et al., 2018; CARVALHO, 2018).

## 2.7.2. AGENTES ENCAPSULANTES

Entre os fatores responsáveis para o sucesso do processo de microencapsulação, está a escolha do agente encapsulante. Esta escolha, depende de propriedades físico-químicas, tais como, peso molecular, temperatura de transição vítrea, formação de filmes, propriedades emulsificantes, difusibilidade e solubilidade que é estreitamente relacionada com a viscosidade e com o processo de secagem (GHARSALLAOUI et al., 2007). Os agentes encapsulantes podem ser de origem natural, semissintética ou sintética, incluindo materiais poliméricos, hidrófilos, hidrófobos ou uma associação de ambos, têm por função proporcionar proteção durante o armazenamento prolongado, evitando que ocorram alterações químicas e sensoriais no material encapsulado (ANSON, 2005). Dentre esses agentes, se destacam os biopolímeros, provenientes de várias fontes como as gomas naturais (goma arábica, alginatos, carragenas), amidos, gelatina, derivados do leite, como o leite desnatado reconstituído e maltodextrina (GHARSALLAOUI et al., 2007).

### 2.7.2.1 MALTODEXTRINA

A maltodextrina é um biopolímero que consiste em unidades D-glicose ligado a cadeia  $\alpha$ -(1-4) e  $\alpha$ -(1-6) com diferentes equivalentes de dextrose (DE), resultante da hidrólise enzimática ou ácida do amido (Figura 19).

O número de açúcares redutores é definido como grau de DE é inversamente proporcional ao peso molecular calculado em base seca e suas propriedades

dependem do DE, que podem variar de 3 a 20 (SAAVEDRA-LEOS et al., 2015; CASTRO et al., 2016).

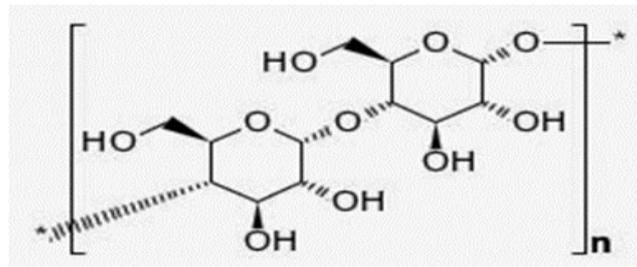


Figura 19: Fórmula estrutural da maltodextrina (FAMETRO, 2016)

Entre suas características estão apresentar baixa viscosidade e alta solubilidade em água (GHARSALLAOUI et al., 2007), porém, o aumento da viscosidade é diretamente proporcional ao grau de DE, em razão do peso molecular dos polissacarídeos presentes (CASTRO et al., 2016).

As maltodextrinas encapsulam tanto componentes hidrofóbicos como lipofílicos (ELNAGGAR et al., 2010). São utilizados isoladamente ou em combinação com outros materiais em alimentos e processamento de fármacos de extratos de plantas, aditivos aromáticos, carotenóides e vitaminas (SANSONE, 2011). Na indústria de alimentos a maltodextrina é utilizada por melhorar a textura, alterar sabor, controlar o escurecimento, reduzir o ponto de congelamento e ainda, como carreador (SAAVEDRA-LEOS et al., 2015). E ainda, influenciar na formação de filmes, aumento da cristalização e diminuição da viscosidade (CASTRO et al., 2016).

Na sua atuação como agente microencapsulante de extratos vegetais aumenta a temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ) de compostos instáveis, ou de substâncias com alto teor de açúcares (NURHADI et al., 2016), o que pode induzir a ruptura da integridade estrutural da matriz e produzir ou formar aglomerados de micropartículas de pó. Como resultado, a liberação de ativos encapsulados e processo de degradação/oxidação pode ocorrer durante o período de armazenamento (SANSONE, 2011). Quanto maior o grau de DE menor será a  $T_g$ , essa tendência está relacionada com a distribuição bimodal do peso molecular de cada DE (CASTRO et al., 2016)

A escolha da maltodextrina como agente encapsulante se deve ao seu baixo custo e sua influência na caracterização físico-química como, teor de umidade, tamanho de partícula, higroscopicidade, atividade de água e dissolução (NEGRÃO-MURAKAMI et al., 2016).

### 2.7.2.2 GOMA ARÁBICA

A goma arábica é um biopolímero obtido do exsudado da árvore acácia, da família *Leguminosae*, espécies de *Acacia senegal* e a *Acacia seyal* originária do Egito e de uso milenar (PHILLIPS et al., 2008). Esta goma é amplamente utilizada como aditivo alimentar. Quimicamente, é constituída por uma mistura complexa de polissacáridos e glicoproteínas que consiste primariamente de ácido D-glucurônico, L-raminose, D-galactose, e L-arabinose, com aproximadamente 5% de proteína (Figura 20) (RIBEIRO, 2007).

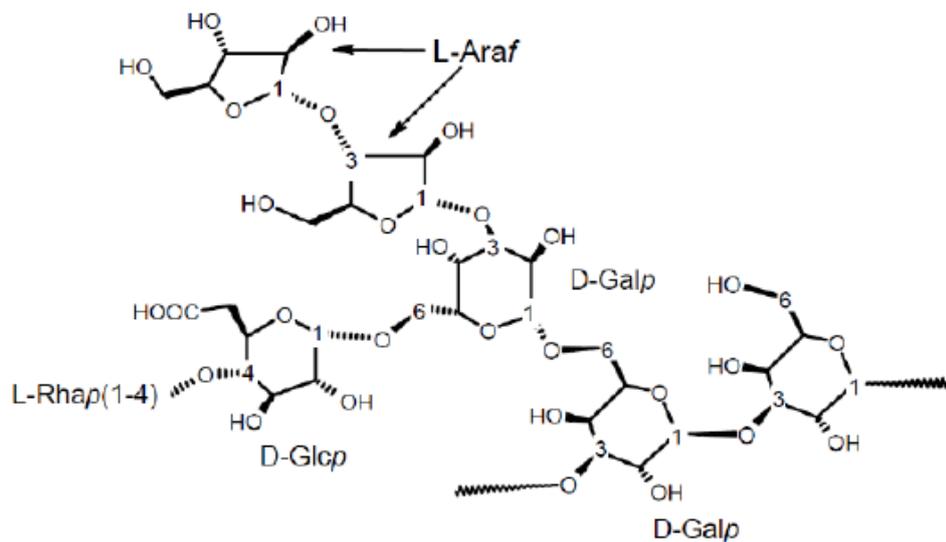


Figura 20: Estrutura química da goma arábica (GUILHERME, 2006)

A goma arábica possui características estruturais que lhe permitem ser adsorvida em superfícies lipofílicas, atuar como colóide protetor e, ainda, como um bom agente formador de películas, apresentar baixa viscosidade e comportamento newtoniano em concentrações inferiores a 35 %. De fato, a goma arábica é um dos materiais formadores de película mais efetivos para microencapsulação (LOPERA et al., 2009).

Os produtos obtidos com a goma arábica como material de parede não são higroscópicos, têm rápida dispersão e liberação do produto sem afetar a viscosidade deste (BEMILLER & WHISTLER, 2000). Devido à eficiência de encapsulação, a goma arábica tem sido usada normalmente para encapsular lipídios (GHARSALLAOUI et al., 2007), no entanto, o custo e o fornecimento limitado restringem o uso de goma arábica como agente encapsulante (KRISHNAN et al., 2005).

## 2.8 Alimento funcional

Os alimentos funcionais são definidos como qualquer substância ou componente de um alimento que proporciona benefícios para a saúde, inclusive a prevenção e o tratamento de doenças. Esses produtos podem variar de nutrientes isolados, produtos de biotecnologia, suplementos dietéticos, alimentos geneticamente construídos até alimentos processados e derivados de plantas (POLLONIO, 2000).

Com isso, são inúmeros os fatores que têm contribuído para o desenvolvimento dos alimentos funcionais, um deles é o aumento da consciência dos consumidores que desejando melhorar a qualidade de suas vidas, optam por hábitos saudáveis (MORAES & COLLA, 2006).

Uma grande variedade de produtos tem sido caracterizada como alimentos funcionais, incluindo componentes que podem afetar inúmeras funções corpóreas, relevantes tanto para o estado de bem-estar e saúde como para a redução do risco de doenças.

Os alimentos funcionais apresentam algumas características como, ser alimentos convencionais e consumidos na dieta normal/usual; compostos por componentes naturais, algumas vezes, em elevada concentração ou presentes em alimentos que normalmente não os supririam; ter efeitos positivos além do valor básico nutritivo, que pode aumentar o bem-estar e a saúde e/ou reduzir o risco de ocorrência de doenças, promover benefícios à saúde além de aumentar a qualidade de vida, e incluir os desempenhos físico, psicológico e comportamental; pode ser um alimento natural ou um alimento no qual um componente tenha sido removido, ser um alimento onde a natureza de um ou mais componentes tenha sido modificada e pode ser um alimento no qual a bioatividade de um ou mais componentes tenha sido modificada; a alegação da propriedade funcional deve ter embasamento científico (ROBERFROID, 2002).

Neste sentido, os fitoquímicos são substâncias encontradas em frutas e verduras que podem ser ingeridas diariamente em determinadas quantidades e mostram potencial para modificar o metabolismo humano de maneira favorável à prevenção do câncer e de outras doenças degenerativas (ADA, 1999).

Neste grupo encontram-se os carotenoides, os metabólitos fenólicos entre eles os ácidos fenólicos (ácidos hidroxibenzóicos e hidroxicinâmicos), os polifenóis e os flavanóides (as flavonas, flavanonas, flavanóis, catequinas e antocininas). O resumo

dos compostos ativos dos alimentos funcionais, suas fontes e efeitos no organismo encontram-se na Tabela 3.

**Tabela 3: Composto ativo, efeito fisiológicos e principais fontes de alimentos funcionais**

<b>Composto ativo</b>	<b>Efeito</b>	<b>Fonte</b>
Carotenóides	Atividade antioxidante e anticancerígena (útero, próstata, seio, cólon, reto e pulmão)	Frutas (melancia, mamão, melão, damasco, pêsego), verduras (cenoura, espinafre, abóbora, brócolis, tomate, inhame, nabo)
Ácidos fenólicos	Atividade antioxidante	Frutas (uva, morango, frutas cítricas), vegetais (brócolis, repolho, cenoura, berinjela, salsa, pimenta, tomate, agrião), chá
Flavonóides	Atividades antioxidante, redução do risco de câncer e de doença cardiovascular	Frutas cítricas, brócolis, couve, tomate, berinjela, soja, abóbora, salsa, nozes, cereja
Isoflavonas	Inibição do acúmulo de estrogênio, redução das enzimas carcinogênicas	Leguminosas (principalmente soja), legumes
Catequinas	Atividade antioxidante, redução do risco de doença cardiovascular	Uva, vinho tinto, morango, chá verde, chá preto, cacau
Antocianinas	Atividade antioxidante, proteção contra mutagênese	Frutas (amora, framboesa)

Adaptado de Fagundes & Costa (2003)

## 2.9 Métodos de caracterização de extratos secos e microencapsulados

A caracterização de um extrato implica na definição dos teores de seus principais constituintes químicos, bem como, umidade, cor, distribuição granulométrica, viscosidade, propriedades tecnológicas, garantindo a segurança, eficácia e qualidade de um produto. Ao formular produtos, contendo ativos naturais é fundamental a identificação padronizada de marcadores ou o desenvolvimento de métodos que permitam a quantificação de grupos químicos purificados antes, durante e após o processo de obtenção (SILVA-JÚNIOR, 2006).

Neste sentido, algumas técnicas são aplicadas a fim de realizar essa etapa. A espectroscopia na região do infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR) é uma técnica rápida para este tipo de avaliação e requer o mínimo necessário de preparo de amostras permitindo a análise qualitativa de compostos orgânicos. Assim, um espectro de infravermelho contém mais informação do que apenas os valores de posição ou de absorção de alguns picos, atuando como uma impressão digital de uma dada amostra quando utilizado integralmente (RUSCHEL et al., 2014).

A análise térmica é definida como grupo de técnicas por meio das quais uma propriedade física de uma substância e/ou de seus produtos de reação é medida em função da temperatura e/ou tempo, enquanto essa substância é submetida a um programa controlado de temperatura. Os resultados são fornecidos na forma de curvas, as quais contêm as informações a respeito da variação do parâmetro medido (SILVA et al., 2007). Dentre as técnicas termoanalíticas empregadas estão: a Termogravimetria (TG) e Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) (ARAÚJO et al., 2006).

A determinação do comportamento térmico por análise termogravimétrica (TG) apresenta as seguintes vantagens: permite reduzir o tempo de análise, utiliza menor quantidade de amostra, o registro da perda de massa ocorre de maneira automatizada, evitando os erros provocados por manipulações excessivas do operador com a amostra, os erros de análise inerentes à manipulação das amostras são minimizados, ademais é possível realizar a determinação simultânea dos teores de umidade e cinzas (ARAÚJO et al., 2006). A calorimetria diferencial exploratória (DSC) é a técnica, na qual se mede a diferença de energia fornecida à substância e a um material de referência (termicamente estável), em função da temperatura, enquanto a substância e o material de referência são submetidos a uma programação controlada de temperatura (SILVA et al., 2007).

O conhecimento do tamanho e da distribuição do tamanho de partícula é um pré-requisito fundamental para muitas operações de produção e processamento envolvendo sistemas de materiais particulados. A distribuição do tamanho de partícula influi de maneira significativa em várias etapas de produção e na microestrutura do material, afetando a resistência mecânica, a densidade e as propriedades térmicas e elétricas dos produtos acabados. O tamanho de partícula é uma característica física que está intimamente relacionado com a absorção do princípio ativo, quanto menor o tamanho da partícula maior será a eficiência de absorção (OYEWUMI et al., 2010).

O potencial zeta é uma medida da magnitude da repulsão ou da atração eletrostática ou das cargas entre partículas, sendo um dos parâmetros fundamentais que, sabidamente, afetam a estabilidade. Pode ser medido por um instrumento no qual é inserida uma pequena amostra da suspensão, oferecendo leitura em mV, que pode ser um número positivo ou negativo. Em geral, a análise do potencial zeta trata-se da carga superficial das micropartículas que podem ser influenciadas de acordo com o meio dispersante (ALVES, 2011), sendo aplicada na avaliação da estabilidade de ativos (KERAMATI et al., 2016).

A espectrofotometria de absorção no ultravioleta visível (UV-vis) é uma técnica reconhecida pelas vantagens relacionadas ao seu uso, sendo utilizada principalmente no controle de qualidade na indústria farmacêutica, que exige rapidez e confiabilidade nos resultados (SOARES et al., 2008). Além disso, possui baixo custo operacional, sendo de fácil utilização e produz resultados de interpretação bastante simples (GALO & COLOMBO, 2009). Paralelamente, a necessidade de proporcionar qualidade às medições químicas está sendo cada vez mais reconhecida e exigida (SOARES et al., 2008). A quantificação do teor de princípios ativos de extratos microencapsulados por espectroscopia UV-visível (UV-vis) é fundamental para determinar a eficiência de encapsulação (GABBAY ALVES et al., 2017).

A Cromatografia Líquida de Ultra Eficiência acoplado a espectrometria de massas (LC-MS) combina as capacidades de separação física de cromatografia líquida, com as capacidades de análise de massa de espectrometria de massa. A espectrometria de massa fornece uma informação qualitativa e quantitativa acerca da composição molecular dos compostos e da sua estrutura química, auxiliando no esclarecimento das estruturas dos compostos através da indicação da presença de certos grupos funcionais e da informação acerca do peso molecular (COLLINS et al., 2006).

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) é aplicada para observar a superfície das amostras, ou seja, sua principal aplicação, baseia-se na análise topográfica das superfícies (HINKS, 2009). A avaliação da morfologia através da microscopia eletrônica de varredura (MEV) pode ser determinante na escolha da matriz polimérica, pois a interação entre o polímero e o princípio ativo pode intervir em propriedades da partícula que são fundamentais como por exemplo a presença de aglomerados, perfurações, rugosidades e não homogeneidade da distribuição do tamanho (SAMPAIO et al., 2016; GABBAY ALVES et al., 2017).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Materiais

##### 3.1.1 MATÉRIA-PRIMA VEGETAL

O material vegetal utilizado foi o co-produto (torta) obtido a partir da extração do óleo bruto das amêndoas do tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart) por meio da prensagem a frio das amêndoas. O material foi cedido pela Indústria Amazon Oil (Ananindeua/PA).

##### 3.1.2 REAGENTES

Persulfato de potássio, Folin-Ciocalteu, carbonato de sódio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), vanilina, cloreto de alumínio, hidróxido de potássio 0,1 N, hidróxido de sódio 0,1 N, maltodextrina, brometo de potássio (KBr).

##### 3.1.3 PADRÕES

Ácido gálico (Sigma-Aldrich), quercetina (Sigma-Aldrich), epicatequina (Sigma-Aldrich), rutina hidratada (Sigma-Aldrich), ácido 2- hidroxicinâmico (Sigma-Aldrich), ácido cafeico (Sigma-Aldrich), 2,2-difenil-1-picril-hidrazil (DPPH) (Sigma-Aldrich), 2,2'-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6)-ácido sulfônico (ABTS) (Sigma-Aldrich), 6-Hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-ácido carboxílico (Trolox) (Sigma-Aldrich).

#### 3.2 Métodos

##### 3.2.1 FASE 1: OBTENÇÃO, PROCESSAMENTO E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO PÓ DO CO-PRODUTO DAS AMÊNDOAS DO TUCUMÃ (*Astrocaryum vulgare* Mart.)

###### 3.2.1.1 Obtenção e processamento do pó do co-produto

O co-produto das amêndoas do tucumã, chamado de “torta”, foi obtido após o processo de extração do óleo bruto através da prensagem das amêndoas. Essas amêndoas foram limpas, secas e cozidas a 65°C durante 45 minutos. Após o cozimento as amêndoas foram transferidas para uma máquina hidráulica de

prensagem com as temperaturas de entrada e saída e a umidade do material controladas. O co-produto foi acondicionado sob refrigeração até o momento do uso. O material foi seco em estufa com circulação forçada de ar  $40^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ . A secagem foi controlada através da massa do material até peso constante. Após desidratado o material seco foi pesado e triturado em moinho de faca para redução do tamanho das partículas e obtenção do pó do co-produto seco (Figura 21) das amêndoas do tucumã acondicionado ao abrigo de luz e umidade.



Figura 21: Pó do co-produto das amêndoas do tucumã

### 3.2.1.2 Caracterização físico-química do pó do co-produto

#### 3.2.1.2.1 Determinação da distribuição granulométrica

Para determinação da distribuição granulométrica pesou-se 10g do pó, em triplicata. As amostras foram submetidas a um conjunto de tamises sobrepostos em ordem decrescente de tamanhos de malhas (1700, 710, 355, 250, 180 e 125  $\mu\text{m}$ ), durante 20 minutos, utilizando o agitador de peneiras eletromagnético operando com 6000 rpm. Realizou-se a quantificação do percentual da fração retida em cada tamis, para posteriormente caracterizá-lo quanto à sua granulometria (SILVA-JÚNIOR, 2006; FARMACOPEIA BRASILEIRA V, 2010). Os resultados foram expressos a partir da média de triplicatas. O percentual retido em cada tamis foi calculado conforme Equação 1:

$$\% \text{ retido pelo tamis} = \frac{P1}{P2} * 100 \quad (1)$$

Onde:

P1 = Peso da amostra retida em cada tamis (em gramas);

P2 = Soma dos pesos retidos em cada tamis e no coletor (em gramas);

100 = Fator de Porcentagem

#### 3.2.1.2.2 *Composição nutricional*

A composição nutricional foi realizada pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Amazônia Oriental, Belém-PA). Foram avaliados os teores de proteínas, fibras, lipídeos, carboidratos, umidade e cinzas (AOAC, 1997).

#### 3.2.1.2.3 *Obtenção do perfil espectroscópico na região do infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR)*

O espectro do pó foi obtido através de espectrofotômetro (IR Prestige-21 Shimadzu®). Misturou-se a amostra do pó com brometo de potássio (KBr) e prensou-se em alta pressão, formando pastilha. O espectro de absorção foi analisado na faixa de 4000 a 400  $\text{cm}^{-1}$ , com 32 scans e resolução de 4  $\text{cm}^{-1}$  (SAMPAIO et al., 2016).

#### 3.2.1.2.4 *Obtenção do comportamento térmico por Termogravimetria (TG)*

A curva TG do pó co-produto das amêndoas do tucumã foi obtida em analisador térmico TGA-50, Shimadzu®, usando cadinho de alumínio com aproximadamente 9,0 mg de amostra, sob atmosfera de nitrogênio ( $\text{N}_2$ ) e fluxo de 50 mL/min. O experimento foi conduzido na faixa e temperatura de 25 a 600 °C e razão de aquecimento de 10 °C/min. Os dados obtidos foram analisados no software TA-50W Shimadzu® (COSTA et al., 2013).

### 3.2.2 FASE 2: OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO EXTRATO HIDROETANÓLICO BRUTO (EHB) E DO EXTRATO HIDROETANÓLICO MICROENCAPSULADO (EM) OBTIDO POR *SPRAY DRYER*

#### 3.2.2.1 *Obtenção da solução extrativa e do extrato hidroetanólico bruto (EHB)*

A solução extrativa foi obtida pelo método de percolação. Colocou-se 1 kg do pó do co-produto das amêndoas do tucumã em contato com o líquido extrator solução de etanol: água (70:30 v/v) na razão 1:10 (p/v) e deixou-se em maceração por 72 horas. Após esse período, iniciou-se o processo de percolação com gotejamento de 20 gotas por minuto até o esgotamento do material vegetal totalizando 10 L de solução extrativa (FARMACOPEIA BRASILEIRA II, 1959). Após o processo de percolação, transferiu-se a solução extrativa obtida para um balão de fundo redondo e submeteu-se o solvente ao processo de evaporação em evaporador rotativo a baixa pressão obtendo-se com isso o extrato hidroetanólico bruto denominado de EHB. Este foi acondicionado em frasco âmbar mantido sobre refrigeração. O extrato bruto foi submetido ao processo de liofilização para futuras análises.

### 3.2.2.2 Obtenção do extrato hidroetanólico microencapsulado (EM)

A obtenção do extrato hidroetanólico microencapsulado foi realizada utilizando como agente microencapsulante a maltodextrina. Solubilizou-se primeiramente maltodextrina em água e posteriormente adicionou-se ao extrato bruto sob agitação magnética por 30 minutos (SAMPAIO, 2012). Em seguida, levou-se a solução ao ultra turrax (IKA, T 125, digital) a 2500 rpm por 5 minutos para a completa homogeneização e obtenção das soluções nas concentrações de 5%, 7,5% e 10% (p/v) de maltodextrina. Realizou-se a secagem em *spray dryer* (LM – MSDi 1.0 Labmaq do Brasil – LTDA) (Figura 22).



Figura 22: *Spray dryer*: LM – MSDi 1.0 Labmaq do Brasil – LTDA (Arquivo pessoal)

As condições operacionais para a realização da secagem foram: temperatura de entrada (100°C), bico atomizador (0,7mm de diâmetro) e fluxo de alimentação (7,5 mL/min). Durante todo o processo de secagem o extrato foi mantido sob agitação para garantir a homogeneidade dos produtos secos. O extrato hidrofílico microencapsulado obtido foram denominados de EM 5% MD, EM 7,5% MD e EM 10% MD (Figura 23). Estes foram pesados e armazenados em frascos escuros e herméticos e em dessecador para posterior análises.

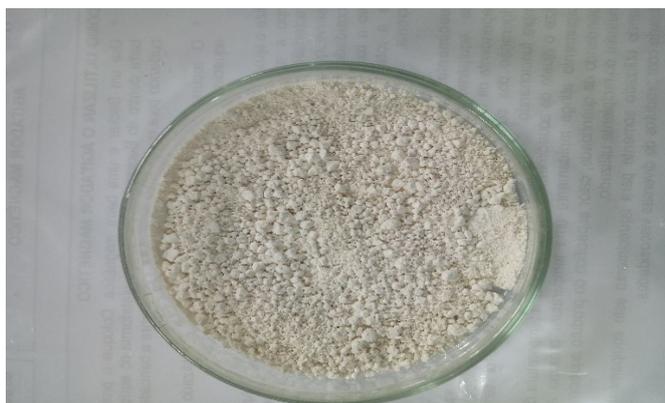


Figura 23: Extrato microencapsulado (Arquivo pessoal)

### 3.2.2.3 Caracterização físico-química do extrato hidroetanólico bruto e do extrato hidroetanólico microencapsulado

#### 3.2.2.3.1 *Determinação do teor sólidos totais do extrato hidroetanólico bruto*

A determinação do teor de sólidos foi realizada em balança por infravermelho em triplicata. Pesou-se 2 gramas de amostra em balança analítica e distribuída uniformemente no coletor de alumínio contido dentro da balança. As amostras foram submetidas à temperatura de 105 °C por 15 minutos (FARMACOPEIA BRASILEIRA, 2010).

#### 3.2.2.3.2 *Determinação do pH do extrato hidroetanólico bruto*

A determinação do pH foi realizada em potenciômetro previamente calibrado com soluções tampão pH 4,0 e 7,0 e os resultados correspondem à média de três determinações independentes (FARMACOPEIA BRASILEIRA V, 2010).

### 3.2.2.3.3 Determinação da densidade aparente do extrato hidroetanólico bruto

Na determinação da densidade aparente de EHB, um picnômetro com capacidade de 25 mL foi previamente tarado, preenchido com água recém-destillada e fervida (líquido padrão) e pesado. Em seguida, preencheu-se o picnômetro com amostra de EB e pesou-se (FARMACOPEIA BRASILEIRA, 2010). O resultado foi calculado pelo quociente entre a massa da amostra do líquido padrão em um volume fixo (ambos a 20°C), pela média de três determinações de acordo com Equação 2:

$$Densidade (g/cm^3) = \frac{ma - mv}{v} \quad (2)$$

Onde:

ma = massa do picnômetro + amostra (g)

mv = massa do picnômetro vazio (g)

v = volume do picnômetro (cm<sup>3</sup>)

### 3.2.2.3.4 Determinação do índice de acidez do extrato hidroetanólico bruto

Na determinação do índice de acidez pesou-se 5 g da amostra de EHB e diluiu-se em água destilada em balão volumétrico de 100 mL. Após isto, completou-se o volume com água q.s.p. pipetou-se 10 mL da solução da amostra para um erlenmeyer de 125 mL. Em seguida adicionou-se 2 gotas de indicador fenolftaleína 0,1% e titulou-se com solução de hidróxido de sódio 0,1N, até a coloração rósea (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008). O percentual de acidez total titulável foi calculado conforme a Equação 3:

$$\% \text{ acidez} = \frac{V * f * 100}{P * c} \quad (3)$$

Onde:

V = volume (mL) da solução de hidróxido de sódio 0,1 ou 0,01 M gasto na titulação.

f = fator da solução de hidróxido de sódio 0,1 ou 0,01 M.

P = massa (g) da amostra usado na titulação.

c = correção para solução de NaOH 1 M (NaOH 0,1 M=10; NaOH 0,01 M=100).

### *3.2.2.3.5 Obtenção do perfil espectroscópico na região do infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR)*

O espectro na região do infravermelho de EHB, EM e do adjuvante maldodextrina (MD) foram obtidos conforme metodologia descrita na secção 3.2.1.2.3 (SAMPAIO et al., 2016).

### *3.2.2.3.6 Obtenção do comportamento térmico por Termogravimetria (TG)*

As curvas TG de EHB, EM e MD foi obtida conforme metodologia descrita na secção 3.2.1.2.4 (COSTA et al., 2013).

### *3.2.2.3.7 Determinação dos compostos fenólicos por espectrofotometria*

#### *3.2.2.3.7.1 Determinação de polifenóis totais (PT)*

Na determinação dos fenóis totais de EHB e EM construiu-se uma curva padrão nas concentrações de 60 a 200 mg/mL usando como padrão o ácido gálico. Em balão volumétrico de 10 mL contendo as diferentes concentrações (60 mg/mL, 80 mg/mL, 100 mg/mL, 120 mg/mL, 140 mg/mL, 160 mg/mL e 200 mg/mL), adicionou-se 500 µL do reagente de *Folin-Ciocalteu*, 6 mL de água destilada, esperou-se 1 min, em seguida, adicionou-se 2 mL de solução de carbonato de sódio à 10% (m/V) a solução foi agitada por 30 segundos, e completou-se o volume com água destilada. As soluções permaneceram em repouso por 2 horas em seguida. Em seguida, realizou-se as leituras em espectrofotômetro no comprimento de onda de 760 nm. Na determinação dos polifenóis nas amostras de EHB repetiu-se o mesmo procedimento acima com acréscimo de 100 µL da amostra (DJERIDANE, A. et al., 2006). Os resultados foram expressos em miligrama de equivalente de ácido gálico por grama de extrato bruto (mg EAG/gEHB).

#### *3.2.2.3.7.2 Determinação de taninos condensados*

A concentração de taninos condensados em EHB e EM foi realizada pela reação vanilina 1% e ácido clorídrico (HCl) a 8%. Construiu-se uma curva padrão nas concentrações de 20 a 100 mg/mL usando como padrão a catequina. Em tubos de ensaio de 25mL Adicionou-se 5 ml da mistura vanilina-HCl 1:1 (em triplicata). Os tubos

foram pré-aquecidos em banho-maria a 30 °C por 30 min. Em seguida, adicionou-se as diferentes concentrações de catequina e agitou-se em vórtex por 30 segundos. A reação foi mantida a 30° C por 30 minutos. Realizou-se as leituras a 500 nm, dentro de um prazo máximo de 1 hora. Na determinação de taninos nas amostras de EB repetiu-se o mesmo procedimento acima foi com o acréscimo de 1 mL da amostra. O mesmo procedimento foi repetido para o branco. Os resultados foram expressos em miligrama de catequina por grama do extrato (mgCAE/gEHB) (BROADHURST & JONES,1978 adaptado por AGOSTINI-COSTA et al 1999).

#### *3.2.2.3.7.3 Determinação de flavonoides totais*

A determinação de flavonoides totais foi realizada pela construção de uma curva padrão nas nas concentrações de 5 a 35 mg/mL usando como padrão a quercetina. Em balão volumétrico de 10 mL contendo as diferentes concentrações (5 mg/mL, 10 mg/mL, 15 mg/mL, 20 mg/mL, 25 mg/mL, 30 mg/mL e 35 mg/mL) adicionou-se 1mL da solução de cloreto de alumínio a 2,5% e completou-se o volume com água destilada. As soluções permaneceram em repouso por 30 min na ausência da luz. Em seguida, realizou-se as leituras a 425 nm. Na determinação de flavonoides total nas amostras de EHB repetiu-se o mesmo procedimento acima com o acréscimo de 800 µL da amostra e 400 µL da solução de cloreto de alumínio. O mesmo procedimento foi repetido para o branco. Os resultados foram expressos em miligrama de quercetina equivalente por grama do extrato bruto (mg QUE/gEHB) (FUNARI & FERRO, 2006).

#### *3.2.2.3.8 Perfil cromatográfico por Cromatografia Líquida de Ultra-alta performance (UHPLC-DAD)*

Os principais compostos fenólicos em EHB e EM 5% MD foram identificados por cromatografia líquida de ultra-alta performance (UHPLC- DAD). As soluções padrões de compostos fenólicos (ácido cafeico, ácido 2- hidroxicinâmico, o ácido gálico, epicatequina, quercetina e rutina) foram preparadas na concentração de 1mg/mL. Os extratos foram preparados na concentração de 15 mg/mL (EHB) e na concentração de 30 mg/mL (EM 5% MD) e filtrados através de membranas com diâmetro de poro de 0,22 µm (Milipore, Bedford, MA, EUA). As análises foram

realizadas utilizando cromatógrafo líquido de alta eficiência (Agilent 1260 infinity) acoplado a um detector de arranjo fotodiodos (DAD) (Agilent 1260 infinity). A coluna utilizada foi XTerra C18 (4,6 x 150 mm) com 5 µm diâmetro de partículas. A separação das amostras foi realizada a uma taxa de fluxo constante de 0,3 mL/min, com volume de injeção de 10µL das amostras e temperatura de coluna de 30°C. O sistema eluente utilizado foi constituído de um gradiente com fase móvel A (água acidificada pH 3) e B (metanol) com variação de fase móvel B. O gradiente iniciou com 5% de B e aumentou para 15%, 40%, 60%, 90% e 5% nos tempos 0, 5, 17, 23, 26 e 36 minutos respectivamente. Os picos cromatográficos foram detectados na faixa de 230 nm a 400 nm e os registros dos cromatogramas foram em (λ) 254nm, 280 nm, 325nm e 365 nm (LAGHARI et al., 2012 com adaptações). Os picos foram confirmados comparando o tempo de retenção e os espectros UV com os padrões de referência. Para localizar o pico correspondente a esses compostos nas amostras analisadas foi realizada a co-injeção. Preparou-se uma de cada padrão na concentração de 1mg/mL. Em seguida, foram pipetadas 5µL da solução de ácido cafeico e ácido 2-hidroxicinâmico, 10 µL da solução de ácido gálico e quercetina e 20 µL da solução de epicatequina e rutina e deixadas em repouso à temperatura ambiente até a evaporação do solvente. Após esse período foram acrescentados 1mL do extrato bruto injetou-se no cromatógrafo nas condições do extrato e dos padrões (Protocolo de análise cromatográfica-LACREM-UFPA).

### *3.2.2.3.9 Determinação da atividade antioxidante total (AAT)*

#### *3.2.2.3.9.1 Determinação da atividade antioxidante total pela captura do radical livre ABTS (2,2'-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico)).*

A determinação da atividade antioxidante pela captura do radical livre ABTS de foi realizada em espectrofotômetro. Preparou-se o radical ABTS a partir da reação de 5 mL da solução estoque de ABTS (7 mM) com 88 µL da solução de persulfato de potássio (140 mM) e manteu-se em temperatura ambiente no escuro por 16 horas. Após o tempo necessário diluiu-se 1 mL da mistura em álcool etílico até obter a absorvância de 0,7 nm ± 0,05 nm a 734 nm em espectrômetro Shimadzu UV 1800. Em seguida, construiu-se uma curva padrão de trolox (2.000 µM) com concentrações variando de 100 µM a 2.000 µM. Em ambiente escuro transferiu-se uma alíquota de 30 µL de cada solução de trolox (100 µM, 500 µM, 1000 µM, 1500 µM e 2.000 µM)

para tubos de ensaio e misturou-se 3.0 mL da solução do radical ABTS. Em seguida, homogeneizou-se em vórtex e após 6 min da mistura realizou-se as leituras a 734nm. Utilizou-se o álcool etílico como branco para calibrar o espectrofotômetro. Para a determinação atividade antioxidante total em EHB e EM repetiu-se o mesmo procedimento acima com três diluições diferentes (RE et al., 1999 adaptado por RUFINO et al., 2007). A análise foi realizada em triplicata e os resultados foram expressos em  $\mu\text{M}$  trolox / g de amostra.

#### 3.2.2.3.9.2 Determinação da atividade antioxidante total pela captura do radical livre DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil).

A determinação da atividade antioxidante pela captura do radical livre DPPH foi realizada com a construção de uma curva padrão a partir de uma solução inicial de DPPH diluído em álcool metílico a 60  $\mu\text{M}$  com concentrações variando de 10 $\mu\text{M}$  a 60  $\mu\text{M}$ . Na determinação da curva, em ambiente escuro transferiu-se aproximadamente 4mL de cada solução de DPPH (10  $\mu\text{M}$ , 20  $\mu\text{M}$ , 30  $\mu\text{M}$ , 40  $\mu\text{M}$ , 50  $\mu\text{M}$  e 60  $\mu\text{M}$ ) para cubetas de vidro, realizou-se a leitura em espectrofotômetro a 515 nm. Utilizou-se o álcool metílico como branco para calibrar o espectrofotômetro Shimadzu<sup>®</sup> UV 1800. Na determinação de AAT em EHB e EM preparou-se diluições diferentes. Em seguida, em ambiente escuro transferiu-se uma alíquota de 0,1mL de cada diluição do extrato para tubos de ensaio com 3,9 mL do radical DPPH e homogeneizou-se em vórtex. As leituras foram monitoradas a cada 5 min durante 30 min e observou-se a redução da absorbância até a sua estabilização. Realizou-se a leitura para o cálculo do IC 50 após a estabilização da absorbância (BRAND- WILLIAMS,1995 adaptado por RUFINO et al., 2007). O percentual de inibição foi calculado conforme Equação 4. O valor de IC<sub>50</sub> foi definido como a concentração final expressa em  $\mu\text{g}/\text{mL}$  do extrato capaz de reduzir a concentração inicial do DPPH a 50%.

$$\% \text{ inibição} = \frac{(\text{Abs controle} - \text{Abs amostra})}{\text{Abs controle}} \times 100 \quad (4)$$

### 3.2.2.3.10 *Rendimento de secagem (RS) do extrato microencapsulado*

O rendimento de secagem (RS) foi definido como a razão do peso do pó obtido após a secagem por pulverização e o peso inicial de todos os componentes antes da secagem e expressa em percentagem de acordo com a Equação 5 (GABBAY ALVES et al., 2017).

$$RS = \frac{WP}{WI} \times 100$$

Onde:

WP= peso seco (g)

WI= peso inicial (g)

(5)

### 3.2.2.3.11 *Extração dos compostos fenólicos do extrato microencapsulado*

Os compostos fenólicos foram extraídos com adição de 2 mL de uma solução de metanol/ácido acético/água (50:8:42 v/v/v) em 0,4 g do pó. Homogeneizou-se a dispersão em vortex por 1 min e colocou-se em banho ultrassom (Cleaner Kondentech) por 20 minutos. Centrifugou-se por 15 minutos a 7500 rpm. Filtrou-se o sobrenadante em membranas com diâmetro de poro de 0,45 µm (ROBERT et al., 2010 com adaptações).

### 3.2.2.3.12 *Rendimento de microencapsulação (RM)*

O rendimento de microencapsulação foi calculado como a porcentagem do teor de compostos fenólicos (CF) contido no extrato microencapsulado em relação ao teor de compostos fenólicos (CF) contido no extrato hidrofílico bruto (mg EAG/g EHB) de acordo com a Equação 6 (ZAIDEL et al., 2015):

(6)

$$RM = \frac{\text{CF microencapsulado}}{\text{CF extrato bruto}} \times 100$$

### 3.2.2.3.13 *Potencial Zeta*

O tamanho de partícula, a carga elétrica e o índice de polidispersão das três formulações de EM foram determinados pelo potencial zeta, em equipamento Zetasizer, modelo NanoZS (Malvern Instruments, Malvern, UK), utilizando cubetas

DTS 1070. Para realizar a análise 100 mg de cada amostra foi solubilizada em 5 mL de água ultrapura e diluídos até 1:100 (v/v).

#### 3.2.2.3.14 Determinação do teor de umidade

Na obtenção do teor de umidade 2 g das três formulações foram colocados em uma balança para análise de umidade com lâmpada de halogênio a uma temperatura de 105°C por um tempo de 15 minutos (em triplicata). A balança determinou o valor exato do percentual da perda de umidade (FARMACOPEIA BRASILEIRA, 2010).

#### 3.2.2.3.15 Determinação da atividade de água ( $A_w$ )

Na determinação da atividade de água das três formulações quantidades do pó foram depositadas em porta amostra e analisado em Aqua Lab Dew Point 4TEV a temperatura de 25,03°C, a operação foi realizada em triplicata (ROA et al, 1991).

#### 3.2.2.3.16 Índice de solubilidade em água e capacidade de intumescimento

Na realização do índice de solubilidade (IS) em água e a capacidade de intumescimento (CI) das três formulações pesou-se 0,1 g de cada amostra em tubo falcon e diluiu-se com 1.200  $\mu$ L de água ultrapura. Em seguida, homogeneizou-se a solução em vórtex por 1min e incubou-se em banho-maria a 30° por 30 minutos. Após esse período centrifugou-se a solução a 3000 rpm por 15 minutos. Adicionou-se o sobrenadante em placas de petri pré-pesadas e colocou-se em estufa a 105° por 24 horas e após esse período, pesou-se. O índice de solubilidade e capacidade de intumescimento foram calculados utilizando as Equações 7 e 8 respectivamente (AHMED et al., 2010, LAI & CHENG, 2004).

(7)

$$IS = \frac{\text{Peso seco sobrenadante}}{\text{Peso inicial de EM}} \times 100$$

(8)

$$CI = \frac{\text{Peso do sedimento após centrifugação}}{\text{Peso inicial de EM (100 - IS)}}$$

### 3.2.2.3.17 Determinação da morfologia das partículas

A análise morfológica das três formulações foi realizada utilizando o Microscópio Eletrônico de Varredura (Tescan, VEGA 3). Pequenas quantidades do pó foram depositadas sobre um porta amostra com auxílio de fita adesiva de carbono. As amostras foram revestidas com uma camada de ouro (Au)/paládio (Pd) de 30 nm de espessura para permitir condutividade elétrica necessária no processo de formação das imagens e observadas em elétrons secundários (5,0 kV) com ampliação de 1000x e 5000x. Utilizou-se a metalizadora QUORUM TECHNOLOGIES, SC7620 (AOUADA et al., 2009).

## 3.2.3 FASE 3: OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO EXTRATO LIPOFÍLICO E DO EXTRATO LIPOFÍLICO MICROENCAPSULADO OBTIDO *POR SPRAY DRYER*

### 3.2.3.1 Obtenção do extrato lipofílico (EL)

A extração assistida por ultrassom foi realizada em aparelho ultrassônico Unique (modelo USC-2800 A, frequência 40 KHz e potência US:154 W) com temperatura controlado de 35°C. O processo realizou-se dispersando 10 g do pó em 100 mL de óleo refinado de palma cedido pelo Laboratório de produtos de origem animal (LAPOA) na proporção de 1:10 (p/v). Em seguida a amostra foi submetida à extração em ciclos de 30 min por 4 horas. O elermeyer foi coberto com papel alumínio para evitar a exposição do extrato a luz ambiente (ORDÓÑEZ-SANTOS et al., 2014 com adaptações)

### 3.2.3.2 Obtenção do extrato lipofílico microencapsulado (ELM)

A obtenção do extrato lipofílico microencapsulado foi realizada utilizando como agentes microencapsulantes a maltodextrina e a goma arábica. Solubilizou-se primeiramente maltodextrina e a goma arábica em água e posteriormente adicionou-se ao extrato lipofílico sob agitação magnética por 30 minutos (SAMPAIO, 2012). Em seguida, levou-se a solução ao ultra turrax (IKA, T 125, digital) a 5000 rpm por 20 minutos para a completa homogeneização e obtenção da solução na concentração de 15% (5% maltodextrina e 10% de goma arábica (p/v). Realizou-se a secagem em

*spray dryer* (LM – MSDi 1.0 Labmaq do Brasil – LTDA) a temperatura de 100°C, fluxo de 7,5 min e bico atomizador de 1 mm.

### 3.2.3.3 Caracterização físico-química do extrato lipofílico e do extrato lipofílico microencapsulado

#### 3.2.3.3.1 *Determinação do pH do extrato lipofílico*

A determinação do pH de EL foi realizada conforme subsecção 3.2.2.3.2 (FARMACOPEIA BRASILEIRA V, 2010).

#### 3.2.3.3.2 *Determinação da densidade aparente do extrato lipofílico*

A determinação da densidade aparente em EL foi realizada como descrito na subsecção 3.2.2.3.3 (FARMACOPEIA BRASILEIRA, 2010)

#### 3.2.3.3.3 *Determinação do índice de acidez do extrato lipofílico*

Na realização da determinação do índice de acidez foram adicionados 2g de EL em um Erlenmeyer e adicionado 25 mL da mistura éter etílico: álcool etílico (2:1). Adicionou-se 3 gotas do indicador fenolftaleína e homogeneizado. A titulação do extrato foi realizada com a solução de hidróxido de sódio a 0,1 M até as amostras apresentarem a coloração rósea e permanecer por 30 segundos. Os resultados foram obtidos seguindo a Equação 2 descrita na subsecção 3.2.2.2.4 (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

#### 3.2.3.3.4 *Obtenção do perfil espectroscópico na região do infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR)*

O espectro na região do infravermelho obtido para EL foi realizado através de espectrofotômetro (IR Prestige-21 Shimadzu®) utilizando ATR. Os espectros na região do infravermelho obtido para ELM e da mistura binária (GA e MD) foram realizados conforme metodologia descrita na secção 3.2.1.2.3 (SAMPAIO et al., 2016).

#### 3.2.3.3.5 *Análise termoanalítica*

### 3.2.3.3.5.1 *Obtenção do comportamento térmico por Termogravimetria (TG)*

As curvas TG de EL e ELM foram obtidas conforme metodologia descrita na secção 3.2.1.2.4 (COSTA et al., 2013).

### 3.2.3.3.5.2 *Obtenção do comportamento térmico Calorimetria Diferencial Exploratória (DSC)*

A calorimetria diferencial exploratória foi realizada em equipamento DSC-60 plus, Shimadzu®. Aproximadamente 5 a 10 mg da amostra foi depositada em um cadinho de alumínio hermeticamente fechado. As análises foram realizadas em atmosfera de nitrogênio (50mL/ min) e razão de aquecimento de 10°C/ min conduzido na faixa e temperatura de 25 a 550°C. Os cálculos de perda de massa e variação de entalpia foram realizados com auxílio do programa TA 60w Shimadzu® (NUNES et al., 2009; COSTA et al., 2013).

### 3.2.3.3.6 *Determinação dos carotenoides totais por espectrofotometria*

A determinação de carotenoides totais de EL e ELM foi realizada pelo método espectrofotométrico UV/Vis (Shimadzu UV 1800). Foram pesados 3 g do extrato lipofílico e do extrato lipofílico microencapsulado e dissolvidos em hexano até um volume final de 10 mL. A leitura foi realizada a um comprimento de onda de 470 nm utilizando o coeficiente específico para o β-caroteno (E<sub>0</sub> = 2592). Os resultados foram realizados em triplicata e expressos em µg carotenoides/g, conforme Equação 9 (OGAWA et al., 2007):

$$C = \frac{\text{Absorbância} \times \text{volume da solução} \times 10^6}{100 \times 2592 \times \text{peso da amostra}} \quad (9)$$

### 3.2.3.3.7 *Determinação da atividade antioxidante total (AAT) do extato lipofílico e extrato lipofílico microencapsulado*

#### 3.2.3.3.7.1 *Determinação da atividade antioxidante total pela captura do radical livre ABTS (2,2'-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico)).*

A determinação de AAT no extrato lipofílico e do extrato lipofílico microencapsulado foi realizada conforme metodologia descrita na secção 3.2.2.2.9, subsecção 3.2.2.2.9.1. (RE et al., 1999 adaptado por RUFINO et al., 2007). A análise foi feita em triplicata e os resultados foram expressos em  $\mu\text{M}$  trolox / g de amostra.

#### *3.2.3.3.7.2 Determinação da atividade antioxidante total no sistema $\beta$ -caroteno/ácido linoléico.*

Preparou-se a solução Sistema  $\beta$ -caroteno/Ácido Linoléico a partir da mistura de 40  $\mu\text{L}$  de ácido linoléico, 530  $\mu\text{L}$  de Tween 40 e 50  $\mu\text{L}$  da solução  $\beta$ -caroteno na concentração de 20 mg/mL em erlenmeyer. Adicionou-se 1 mL de clorofórmio para solubilizar a solução, homogeneizou-se e posteriormente, evaporou-se o clorofórmio com o auxílio do oxigenador. Em seguida, adicionou-se a água tratada com oxigênio até obter uma absorbância entre 0,6 nm e 0,7 nm a 470 nm. A solução sistema apresenta uma coloração amarelo alaranjada e deve ser sempre protegida da luz e prontamente utilizada. Preparou-se em tubos de ensaio três diluições diferentes do extrato, em triplicata. Misturou-se 0,4 mL de cada diluição do extrato com 5 mL da solução sistema. Utilizou-se como controle 0,4 mL da solução de trolox na concentração de 200 mg/L com 5 mL da solução sistema  $\beta$ -caroteno/ácido linoléico, homogeneizou-se os tubos de ensaio agitou-se e manteve-se em banho-maria a 40 °C. Realizou-se a primeira leitura a 470 nm após 2 minutos de efetuada a mistura e depois em intervalos de quinze minutos até 120 minutos. O espectrofotômetro foi calibrado com água. Os resultados foram expressos em percentagem de inibição da oxidação. A redução da absorbância do sistema sem antioxidante foi considerada como 100% de oxidação. O decréscimo da leitura da absorbância das amostras é correlacionado com o sistema e estabelece a percentagem de oxidação, subtraindo-se a percentagem de oxidação de cada amostra de 100 (DUARTE-ALMEIDA et al., 2006).

#### *3.2.3.3.8 Rendimento de secagem (RS) do extrato lipofílico microencapsulado*

O rendimento de secagem de ELM (RS) foi definido como a razão entre o peso do pó obtido por secagem por pulverização e o peso inicial de todos os componentes antes da secagem e expressa em porcentagem (COSTA, 2017).

### 3.2.3.3.9 *Extração dos carotenoides totais do extrato lipofílico microencapsulado*

Os compostos carotenoides totais foram extraídos com adição de 2 mL de uma solução de metanol/água (50:50 v/v) em 0,4 g do pó. Homogeneizou-se a dispersão em vortex por 1 min e colocou-se em banho ultrassom (Cleaner Kondentech) por 20 minutos. Centrifugou-se por 15 minutos a 7500 rpm. Filtrou-se o sobrenadante em membranas com diâmetro de poro de 0,45 µm (ROBERT et al., 2010 com adaptações).

### 3.2.3.3.10 *Rendimento de microencapsulação (RM) do extrato lipofílico microencapsulado*

O rendimento de microencapsulação dos carotenoides foi calculado como conteúdo do teor de carotenoides (C) contido no extrato lipofílico microencapsulado em relação ao teor de carotenoides (C) contido no extrato lipofílico de acordo com a Equação 10 (ZAIDEL et al., 2015):

$$RM = \frac{C \text{ microencapsulado}}{C \text{ extrato lipofílico}} \times 100 \quad (10)$$

### 3.2.3.3.11 *Potencial Zeta*

O tamanho de partícula, a carga elétrica e o índice de polidispersão de ELM foi determinado conforme descrito na subsecção 3.2.3.5.1

### 3.2.3.3.12 *Determinação do teor de umidade do extrato lipofílico microencapsulado*

A determinação do teor de umidade foi realizada conforme metodologia descrita na subsecção 3.2.3.5.2 (FRAMACOPEIA BRASILEIRA, 2010)

### 3.2.3.3.13 *Determinação da atividade de água (Aw) do extrato lipofílico microencapsulado*

A determinação da atividade de água foi realizada em equipamento Aqua Lab Dew Point de acordo com a metodologia apresentada na subsecção 3.2.3.5.3 (ROA et al, 1991).

#### *3.2.3.3.14 Índice de solubilidade em água e capacidade de intumescimento do extrato lipofílico microencapsulado*

A análise do índice de solubilidade em água e capacidade de intumescimento foi realizada como metodologia descrita na subsecção 3.2.3.5.4 (AHMED et al., 2010, LAI & CHENG, 2004).

## RESULTADOS

### 4.1 Fase 1: Caracterização físico-química do pó do co-produto das amêndoas do tucumã

#### 4.1.1 DETERMINAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA

Na determinação da distribuição granulométrica foi observado que as partículas do co-produto das amêndoas do tucumã passam em sua totalidade pelo tamis com abertura nominal de malha de 1700  $\mu\text{m}$  e menos de 40% (20,33%) pelo tamis com abertura nominal de malha de 355  $\mu\text{m}$  conforme Figura 24. O material foi classificado como pó grosso de acordo com a Farmacopéia Brasileira V (2010).

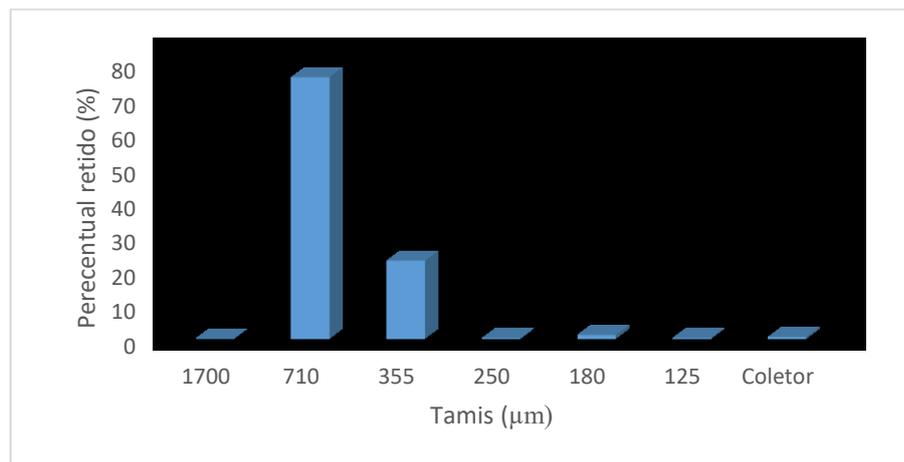


Figura 24: Distribuição granulométrica do pó do co-produto das amêndoas do tucumã

#### 4.1.2 COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO PÓ DO CO-PRODUTO

Os resultados da análise da composição nutricional do co-produto das amêndoas do tucumã estão apresentados na Tabela 4. O percentual do teor de umidade foi de 5,66%. O teor de cinzas foi de 4,66%. Os valores que merecem destaque são os de fibras (41,42%) e carboidratos (63,06). O valor encontrado para as proteínas foi de 11,07%. E o percentual de lipídeos foi 15,54%, resultado já esperado visto que a amostra analisada provém do processo de extração de óleo a partir das amêndoas do tucumã.

**Tabela 4: Análises de composição nutricional do pó do co-produto**

Testes	Determinações (%) $\pm$ DP
Cinzas	4,66 $\pm$ 0,02
Umidade	5,66 $\pm$ 0,04
Lipídeos	15,54 $\pm$ 0,36
Proteínas	11,07 $\pm$ 0,19
Fibras	41,42 $\pm$ 0,73
Carboidratos*	63,06
Valor energético	436,38 (Kg/j)

Análises realizadas em triplicata, \*calculado por diferença, DP desvio padrão

#### 4.1.3 OBTENÇÃO DO PERFIL ESPECTROSCÓPICO NA REGIÃO DO INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURIER (FT-IR)

O espectro na região do infravermelho do pó apresentou banda forte e intensa em  $2922\text{ cm}^{-1}$  referente a vibração do estiramento C-H de alcanos e em  $1739\text{ cm}^{-1}$  relacionada a vibrações do estiramento C=O de ésteres. Banda de média intensidade em aproximadamente  $1456\text{ cm}^{-1}$  referente a vibração do tipo dobramento do grupo  $\text{CH}_2$  próximo do grupo carbonila e em  $1265\text{ cm}^{-1}$  relacionada a vibrações do estiramento C-O de fenóis. Banda em  $1166\text{ cm}^{-1}$  referente a vibrações de estiramento C-O de éter e banda de absorção em aproximadamente  $731\text{ cm}^{-1}$  pode ser relacionada a vibrações de dobramento C-H fora do plano em anéis aromáticos (Figura 25, Tabela 5).

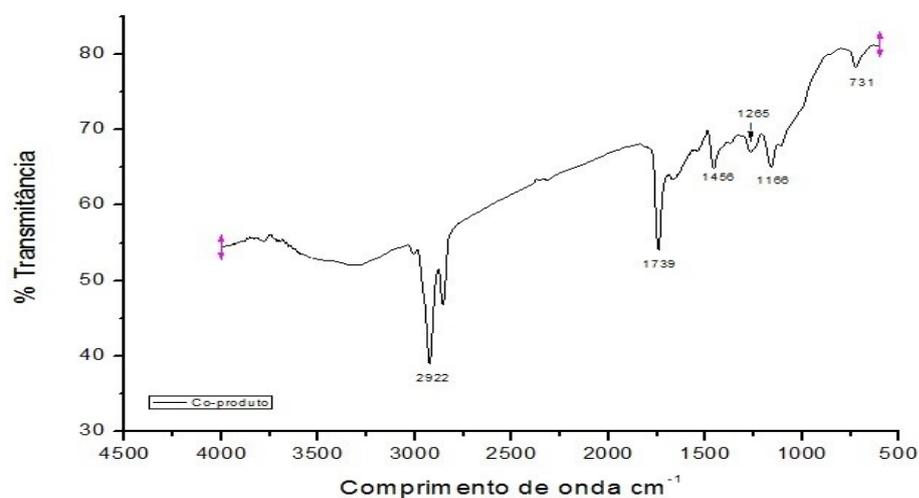


Figura 25: Espectro na região do infravermelho do pó do coproduto

Na Tabela 5 estão apresentadas as bandas de absorção que merecem destaque e seus respectivos tipos de ligação.

**Tabela 5: Regiões de absorção de ligação das moléculas do pó**

Bandas (cm <sup>-1</sup> )	Tipo de ligação
2922	C-H
1739	C=O
1456	C=O
1265	C-O
1166	C-O
731	C-H

#### 4.1.4 OBTENÇÃO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO POR TERMOGRAVIMETRIA (TG)

A Figura 26 mostra os eventos térmicos por termogravimetria do pó do co-produto das amêndoas do tucumã. Através da curva TG foi observado que a perda de massa ocorreu em dois eventos. O primeiro evento ocorreu entre 64°C e 97°C com um percentual de perda de massa pequeno de 1,45%. O segundo evento de decomposição térmica iniciou em 265 °C até 430 °C e a perda de massa foi bem maior quando comparado ao primeiro evento (72,35%).

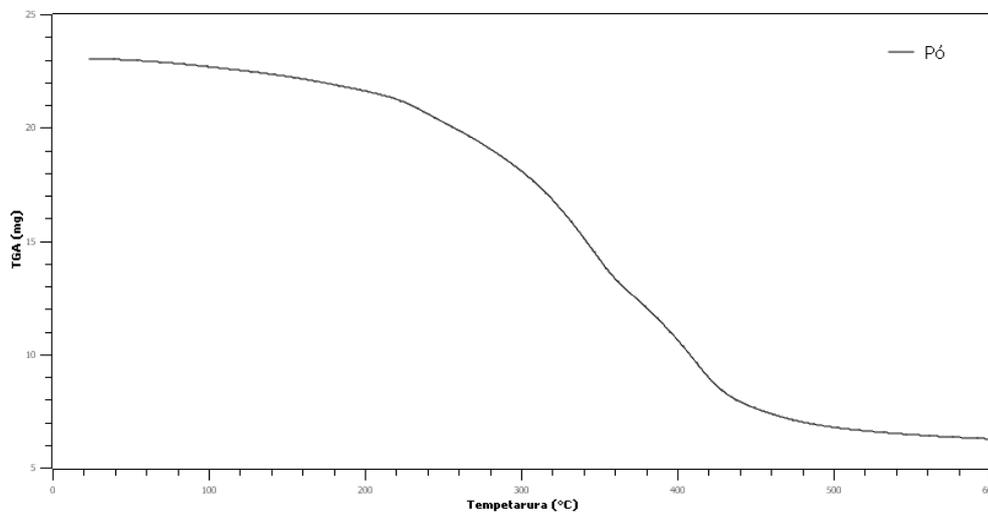


Figura 26: Curva TG do pó do co-produto

## 4.2 FASE 2: Caracterização físico-química do extrato hidroetanólico bruto e do extrato microencapsulado

### 4.2.1 DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE, PH, TEOR DE SÓLIDOS E ÍNDICE DE ACIDEZ DO EXTRATO HIDROETANÓLICO BRUTO

Os resultados obtidos para densidade, pH, teor de sólidos e índice de acidez do extrato bruto estão apresentados na Tabela 6. Na determinação da densidade o valor encontrado foi de 1,04. Para o pH foi obtido um valor correspondente a 5,02. O teor de sólido apresentou um valor de 12,3%. Já na avaliação do índice de acidez o valor encontrado foi de 3,5 mg/KOH.

**Tabela 6: Determinação da densidade real, pH, teor de sólidos e índice de acidez do extrato hidroetanólico bruto**

Testes	Determinações $\pm$ DP
Densidade aparente (g/cm <sup>3</sup> )	1,04 $\pm$ 0,01
pH (-)	5,02 $\pm$ 0,01
Teor de sólidos (%)	12,3 $\pm$ 0,38
Índice de acidez (mgKOH/g)	3,5 $\pm$ 0,2

Análises realizadas em triplicata, DP desvio padrão

### 4.2.2 OBTENÇÃO DO PERFIL ESPECTROSCÓPICO NA REGIÃO DO INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURIER (FT-IR)

Os espectros na região do infravermelho do extrato bruto, das três formulações do extrato microencapsulado e MD estão apresentados na Figura 27, Tabela 7. O espectro do extrato bruto mostra banda de absorção em 3381 cm<sup>-1</sup> característica de vibração de estiramento O-H livre. O pico 1624 cm<sup>-1</sup> pode estar relacionada vibração de estiramento C=O de carbonila. A faixa de absorção em 1059 cm<sup>-1</sup> está relacionado a vibrações do estiramento C-O. Nos espectros obtidos nas formulações e MD mostram bandas na faixa entre 3395-3388 cm<sup>-1</sup> característica de vibração de estiramento O-H. Bandas de absorção em 1639 cm<sup>-1</sup>, 1624 cm<sup>-1</sup> e 1647 cm<sup>-1</sup> que pode ser atribuída a vibrações de estiramento C=O de carbonila. Picos de absorção entre 1036 cm<sup>-1</sup>, 1020 cm<sup>-1</sup> e 1013 cm<sup>-1</sup> referentes a vibrações de estiramento C-O (SILVERSTEIN & WEBSTER, 2007).

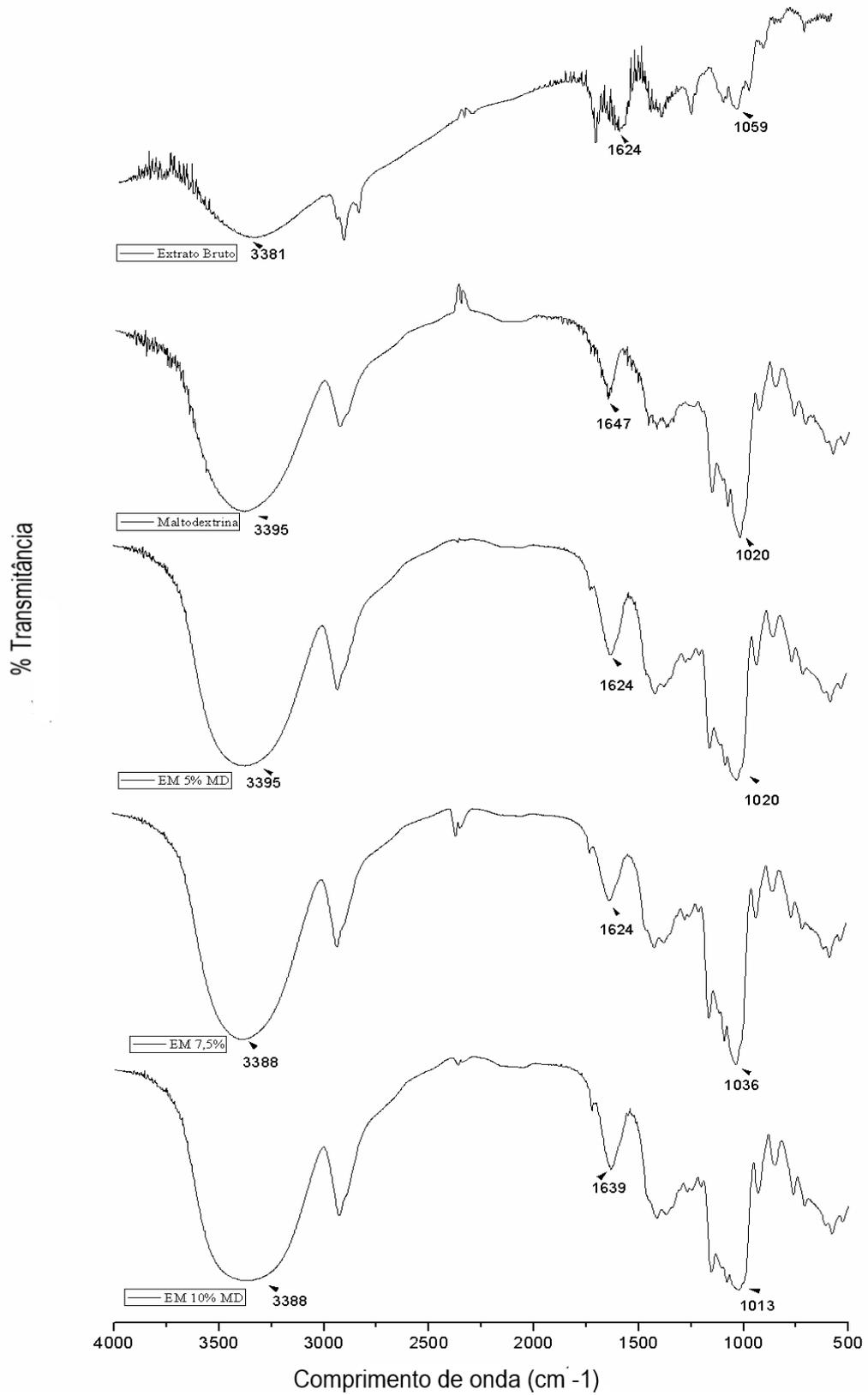


Figura 27: Espectro na região do infravermelho de EHB, EM e MD

Na Tabela 7 estão apresentadas as bandas de absorção que merecem destaque e seus respectivos tipos de ligação.

**Tabela 7: Regiões de absorção de ligação das moléculas do extrato hidroetanólico bruto do extrato microencapsulado e do adjuvante**

Bandas de absorção (cm <sup>-1</sup> )					Tipo de ligação
EHB	EM 5%	EM 7,5%	EM 10%	MD	
3381	3395	3388	3388	3395	O-H
1624	1624	1624	1639	1647	C=O
1059	1020	1036	1013	1020	C-O

#### 4.2.3 OBTENÇÃO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO POR TERMOGRAVIMETRIA (TG/DTG)

As curvas TG de EHB, das formulações de EM e MD estão apresentados na Figura 28, Tabela 8. A curva TG de EHB apresentou três eventos de perda de massa. O primeiro ocorreu no intervalo na faixa de 190-281°C com perda de massa de 49,15%. O segundo evento ocorreu na faixa de intervalo de 121-137°C, com perda de massa de 9,15%. O terceiro ocorreu na faixa de intervalo entre 205-225°C com perda de massa de 20,60%.

A curva TG apresentou três eventos de perda de massa das formulações EM 5% MD e EM 7,5% MD e quatro eventos da formulação EM 10% MD. O primeiro evento em EM 5% MD ocorreu no intervalo 49-100°C com perda de massa de 3,10%. Em EM 7,5% MD ocorreu no intervalo 52-103°C e perda de massa de 4,0% e EM 10% MD ocorreu no intervalo 51-94°C com perda de massa de 3,60%. O segundo evento em EM 5% MD ocorreu na faixa de 200-239°C com perda de massa de 29,40%. Em EM 7,5% MD ocorreu no intervalo entre 212-246°C com perda de massa de 27,30% e EM 10% MD ocorreu na faixa entre 206-249°C com perda de massa de 27,40%. O terceiro evento em EM 5% MD ocorreu no intervalo de 283-356°C e perda de massa de 40,50 %. Em EM 7,5% MD ocorreu na faixa de intervalo 285-344°C e perda de massa de 43,40% e EM 10% ocorreu no intervalo entre 286-333°C com perda de massa 37%. O quarto evento na formulação EM 10% MD ocorreu na faixa entre 446-562°C e com perda de massa de 21,40%. O adjuvante MD apresentou apenas um evento na faixa de 297-350°C com perda de massa de 66,50%.

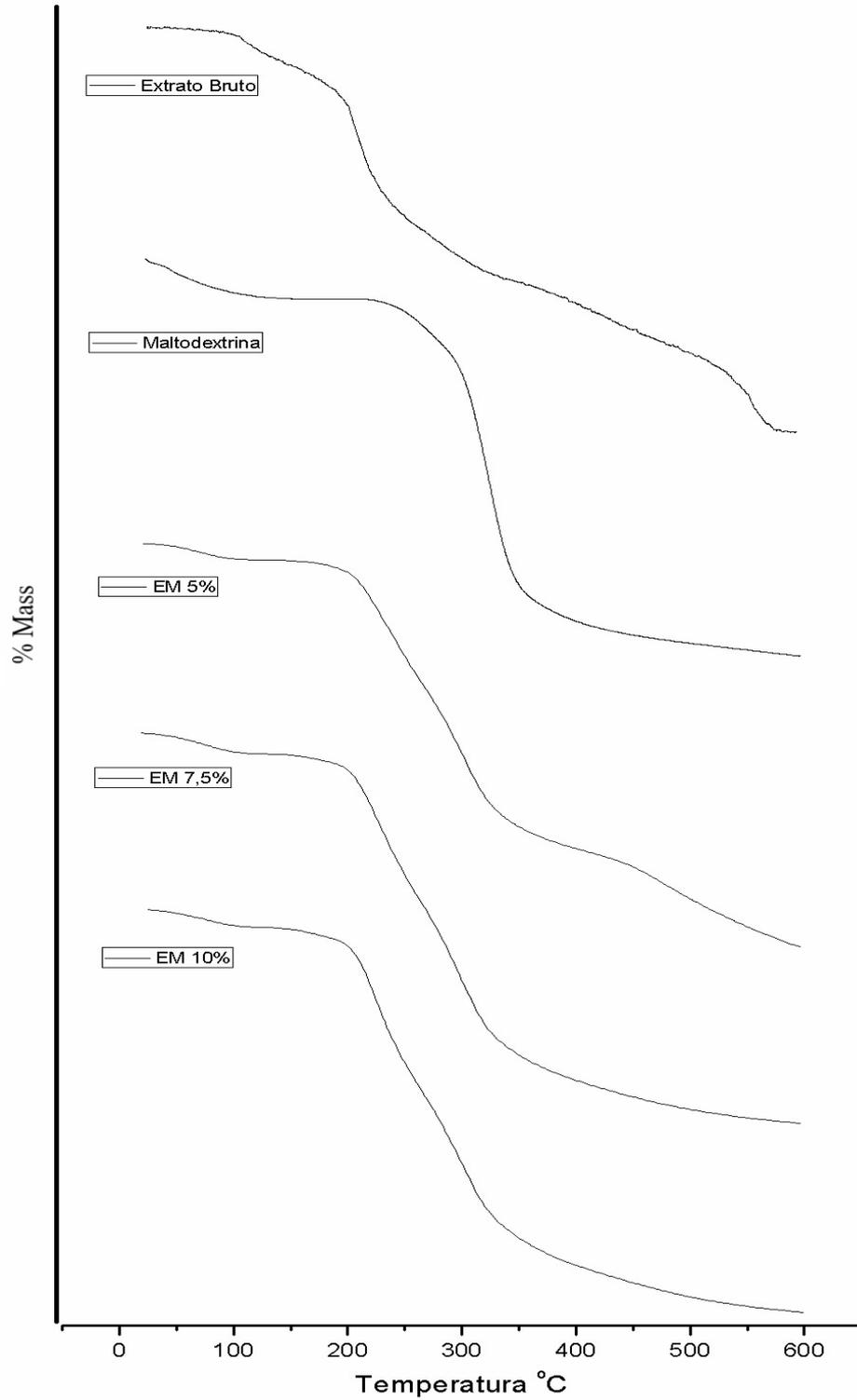


Figura 28: Curva TG de EHB, EM e MD

Na Tabela 8 estão apresentados os eventos térmicos do pó, EHB, EM e MD com suas respectivas perdas de massa e percentual de resíduo final.

**Tabela 8: Comportamento térmico do extrato hidroetanólico bruto, do extrato microencapsulado e do adjuvante**

Formulações	Eventos	Temperatura on set/°C	Temperatura end set/ °C	Massa perdida (%)	Resíduo (%)
EHB	1	190	281	49,15	21,15
	2	121	137	9,15	
	3	205	225	20,60	
EM 5%	1	49	100	3,10	27
	2	200	239	29,40	
	3	283	356	40,50	
EM 7,5%	1	52	103	4,0	25,30
	2	212	246	27,30	
	3	285	344	43,40	
EM 10%	1	51	94	3,60	10,60
	2	206	249	27,40	
	3	286	333	37,00	
	4	446	562	21,40	
MD	1	297	350	66,50	33,50

#### 4.2.4 DETERMINAÇÃO DOS COMPOSTOS FENÓLICOS POR ESPECTROFOTOMETRIA

Os polifenóis totais, taninos condensados e flavonóides totais foram quantificados por espectrofotometria. Os valores encontrados estão apresentados na Tabela 9.

**Tabela 9: Determinação de polifenóis totais (Pt), flavonóides total (Ft) e taninos condensados (Tc) do extrato hidroetanólico bruto e extrato microencapsulado**

Amostras	Pt (mg EAG/gES)	Ft (mg EQuer/g ES)	Tc (mgECAT/ g ES)
Extrato	135,1 ± 0,078	32,73 ± 0,009	76,29 ± 0,001
EM 5% MD	130,5 ± 0,024	27,17 ± 0,002	62,07 ± 0,137
EM 7,5% MD	111,4 ± 0,046	26,84 ± 0,004	58,31 ± 0,118
EM 10% MD	104,7 ± 0,024	25,36 ± 0,004	47,95 ± 0,087

Análises realizadas em triplicata, DP desvio padrão

#### 4.2.5 PERFIL CROMATOGRÁFICO POR CROMATOGRAFIA LÍQUIDA DE ULTRA-ALTA PERFORMANCE (UHPLC-DAD).

Os compostos fenólicos em EHB e EM 5% (formulação que apresentou os maiores teores de compostos fenólicos por espectrofotometria) foram identificados por UHPLC-DAD. Os padrões de referências utilizados foram: ácido gálico, epicatequina, ácido cafeico, rutina, ácido 2- hidroxicinâmico e quercetina. O cromatograma obtido para os padrões (280 nm) revela para o ácido gálico pico no tempo de retenção de 8,58 min (Figura 29 A) e área de 647.74 e o cromatograma em 325 revela para o ácido cafeico pico no tempo de retenção pico no tempo de retenção em 18,51 min (Figura 33 B), com área de 462.07.

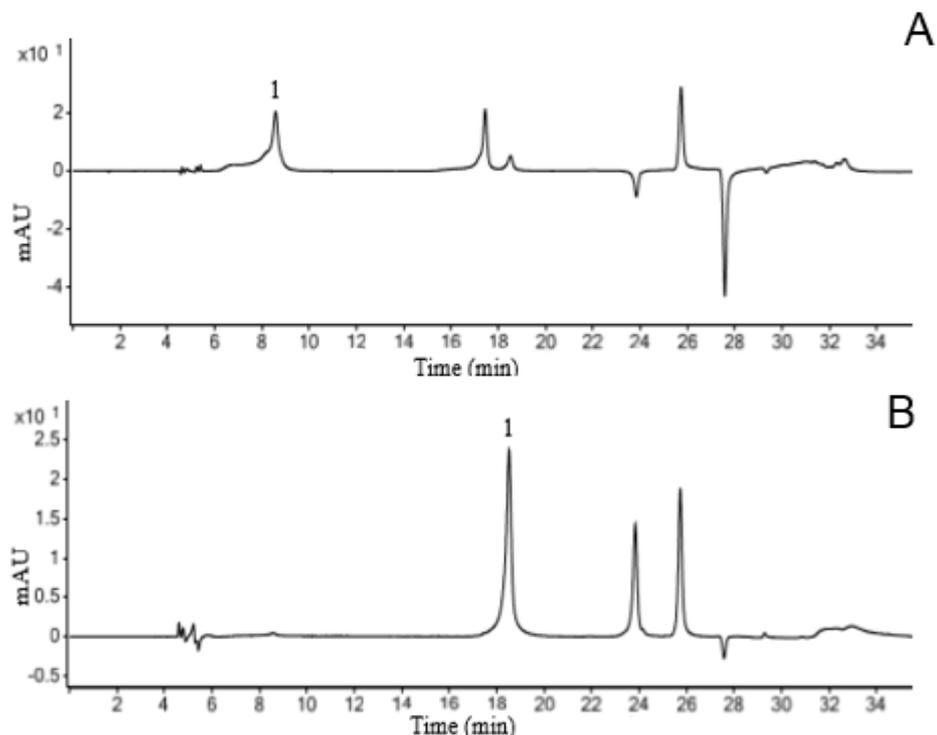


Figura 29: Perfil cromatográfico dos padrões de referência: (A) Cromatograma  $\lambda$  280nm: 1- ácido gálico (8,58 min). (B) Cromatograma  $\lambda$  325nm): 1- ácido cafeico (18,51 min)

Nos cromatogramas obtidos para extrato bruto e extrato microencapsulado em 280 nm observa-se um pico com tempo de retenção em 8,55 min e 8,65 min referente ao ácido gálico (Figura 30A e 30E) semelhante ao observado para o padrão de ácido gálico (Rt 8.58 min). Nos cromatogramas obtidos em 325 nm observou-se um pico no tempo de retenção em 18,69 min nos dois extratos (Figura 30C e 30G), igualmente ao pico do padrão de ácido cafeico (Rt 18.51). A adição da substância padrão aos

extratos promoveu aumento na área do pico que sugere tratar-se do ácido gálico, registrado em 8,63 min (Figura 30B e 30F) e do ácido cafeico, registrado em 18,57 min e 18,49 para o extrato bruto e microencapsulado respectivamente (Figura 30D e Figura 30H).

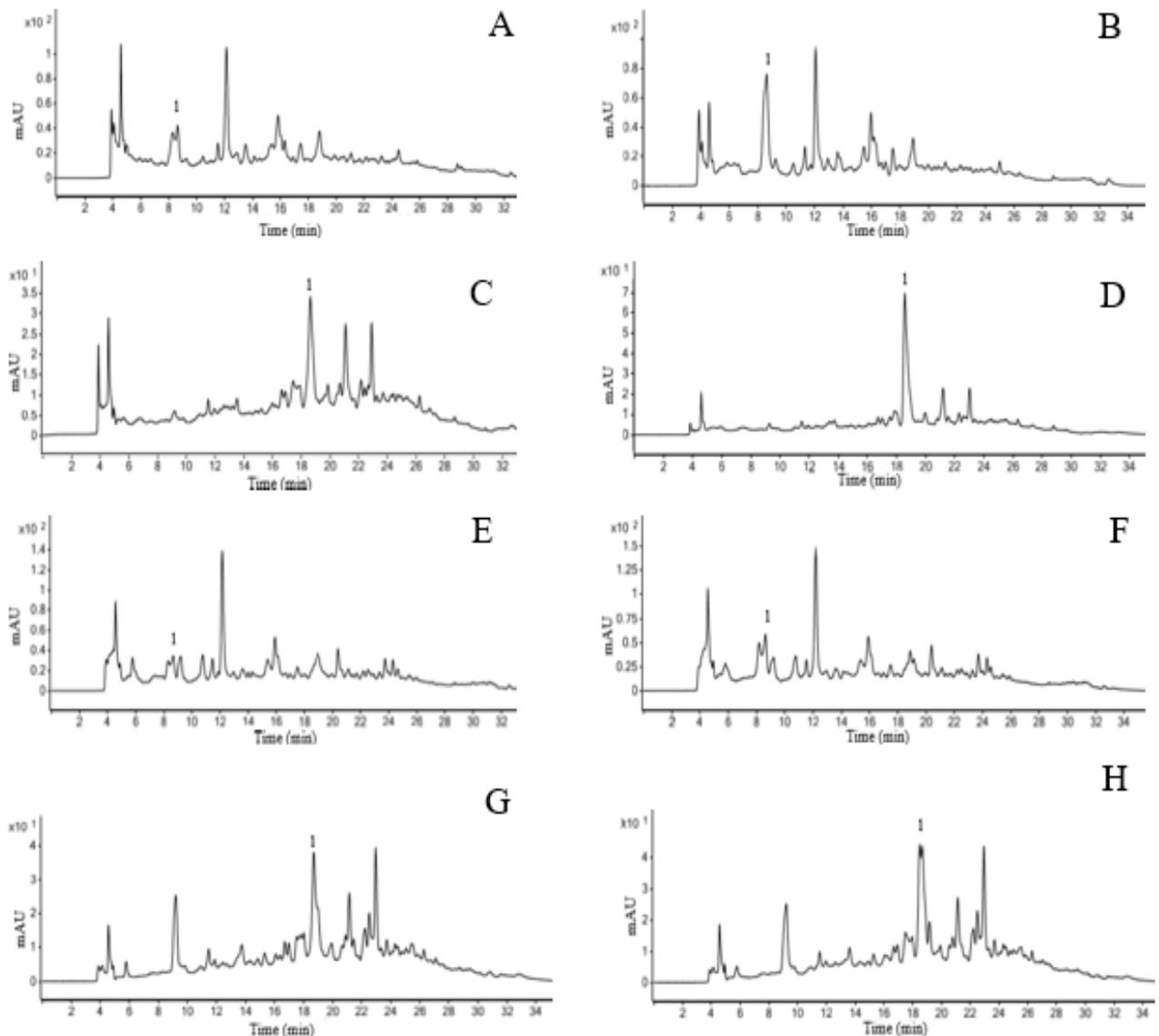


Figura 30: Cromatogramas obtidos para o extrato bruto e microencapsulado 5% MD antes e após a co-injeção dos padrões: (A): Cromatograma EB a 280 nm pico 1 ácido gálico (Rt 8,55 min). (B): cromatograma EB a 280 nm após co-injeção com o padrão de ácido gálico (Rt 8,63 min). (C): cromatograma EB a 325 nm pico 1 ácido cafeico (Rt 18.69 min). (D): cromatograma EB após co-injeção com o padrão ácido cafeico (Rt 18,57 min). (E): cromatograma EM a 280 nm pico 1 ácido gálico (Rt 8,63 min). (F): cromatograma EM a 280 nm após a co-injeção com o ácido gálico (Rt 8,55 min). (G): cromatograma EM a 325 nm pico 1 ácido cafeico (Rt 18.69 min). (H): cromatograma EM a 325 nm após a co-injeção com o ácido cafeico (Rt 18.59 min).

Após a semelhança dos picos de retenção dos padrões de ácido gálico e ácido cafeico e dos picos referentes em EHB (Figuras 31A e 31B) e EM (31C e 31D) realizou-se a sobreposição dos espectros nesses tempos.

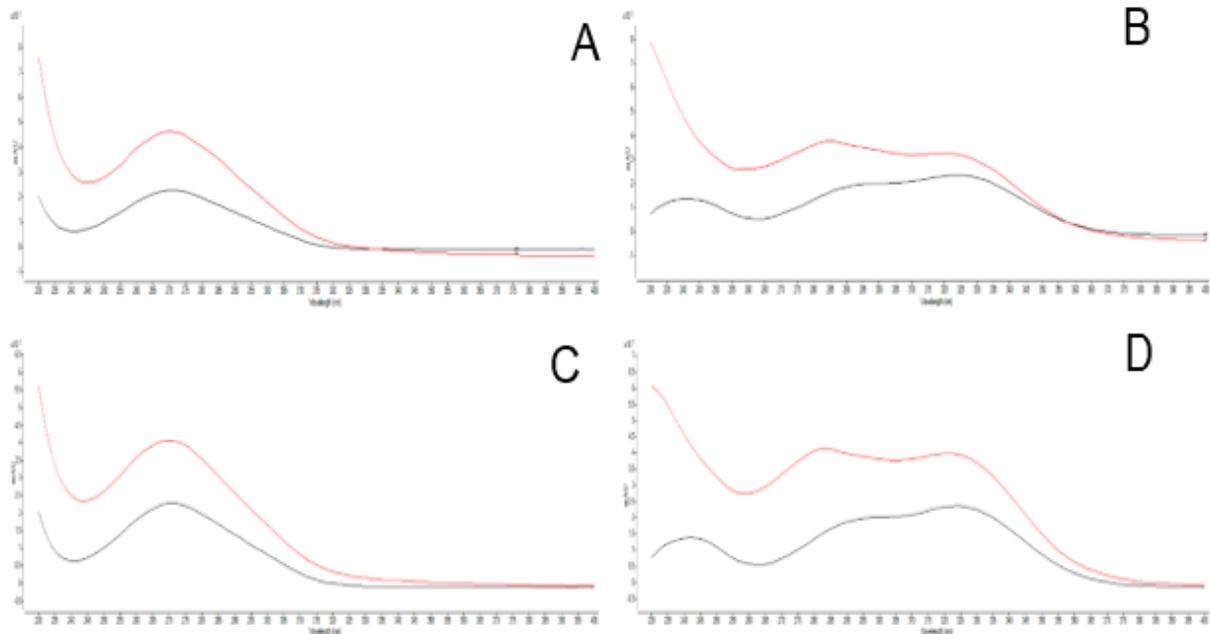


Figura 31: Sobreposição dos espectros: (A) (----) pico referente ao ácido gálico em EHB e (----) pico referente do padrão. (B) (----) pico referente ao ácido cafeico em EHB e (----) pico referente do padrão. (C) (----) espectro referente ao ácido gálico em EM e (----) espectro referente ao padrão. (D) (----) espectro referente ao ácido cafeico em EM e (----) espectro do padrão

Na Tabela 10 estão apresentadas as informações dos perfis cromatográficos obtidos com a identificação dos tempos de retenção de cada pico e seus respectivos comprimentos de onda.

**Tabela 10: Principais compostos fenólicos identificados por UHPLC no extrato hidroetanólico bruto e extrato microencapsulado.**

Pico	Composto	EHB	EM	Padrão	Co-injeção EHB	Co-injeção EM
		Rt (min)	Rt (min)	Rt (min)	Rt (min)	Rt (min)
1	Ácido gálico ( $\lambda$ 280 nm)	8,55	8,65	8,58	8,63	8,63
2	Ácido cafeico ( $\lambda$ 325nm)	18,69	18,69	18,51	18,57	18,49

EHB= extrato hidrofílico bruto; EM= extrato microencapsulado; RT= tempo de retenção

#### 4.2.6 DETERMINAÇÃO DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE TOTAL (AAT)

A determinação da atividade antioxidante foi realizada pela captura do radical livre ABTS e pela captura do radical livre DPPH e os resultados estão apresentados na Tabela 11.

**Tabela 11: Determinação da atividade antioxidante total do extrato hidroetanólico bruto e extrato microencapsulado**

Amostra	DPPH			ABTS <sup>+</sup> ( $\mu\text{M}$ trolox)
	$\mu\text{g}$	Inibição (%)	IC <sub>50</sub> ( $\mu\text{g}/\text{mL}$ )	
Extrato	10	9,5 $\pm$ 0,52	60,22 $\pm$ 0,86	1094,01 $\pm$ 7,33 $\mu\text{mol}$
	25	40,14 $\pm$ 0,31	38,29 $\pm$ 0,24	1101,33 $\pm$ 3,66 $\mu\text{mol}$
	40	81,99 $\pm$ 0,50	8,29 $\pm$ 0,80	1247,88 $\pm$ 3,60 $\mu\text{mol}$
EM 5% MD	10	54,28 $\pm$ 0,97	24,12 $\pm$ 0,61	938,91 $\pm$ 4,23 $\mu\text{mol}$
	25	61,87 $\pm$ 1,25	19,37 $\pm$ 0,79	941,35 $\pm$ 6,23 $\mu\text{mol}$
	40	83,19 $\pm$ 1,21	5,91 $\pm$ 0,76	956,01 $\pm$ 7,63 $\mu\text{mol}$
EM 7,5% MD	10	44,74 $\pm$ 0,28	30,12 $\pm$ 0,21	833,88 $\pm$ 4,23 $\mu\text{mol}$
	25	60,74 $\pm$ 1,14	20,01 $\pm$ 1,37	854,65 $\pm$ 2,12 $\mu\text{mol}$
	40	78,67 $\pm$ 4,34	8,79 $\pm$ 2,73	868,08 $\pm$ 4,23 $\mu\text{mol}$
EM 10% MD	10	36,67 $\pm$ 1,30	35,20 $\pm$ 0,82	726,42 $\pm$ 2,12 $\mu\text{mol}$
	25	59,93 $\pm$ 1,78	20,56 $\pm$ 1,12	788,70 $\pm$ 5,60 $\mu\text{mol}$
	40	76,25 $\pm$ 1,02	10,25 $\pm$ 1,34	799,89 $\pm$ 2,12 $\mu\text{mol}$

Análises realizadas em triplicata, DP desvio padrão

#### 4.2.7 RENDIMENTO DE SECAGEM E RENDIMENTO DE MICROENCAPSULAÇÃO

Após o processo de microencapsulação foram avaliadas as formulações quanto ao rendimento de secagem e de microencapsulação. Os resultados estão apresentados na Tabela 12.

**Tabela 12: Rendimento de secagem e de microencapsulação das formulações obtidas**

Formulações	Rendimento de secagem (%)	Rendimento de microencapsulação (%)		
		Pt	Ft	Tc
EM 5%	16,55 $\pm$ 0,12	96,50 $\pm$ 0,10	83,02 $\pm$ 0,01	81,37 $\pm$ 0,01
EM 7,5%	37,68 $\pm$ 0,04	82,32 $\pm$ 0,13	82,03 $\pm$ 0,02	76,46 $\pm$ 0,04
EM 10%	41,57 $\pm$ 0,12	77,40 $\pm$ 0,10	77,50 $\pm$ 0,02	62,74 $\pm$ 0,01

Análises realizadas em triplicata, DP desvio padrão

#### 4.2.8 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE, ATIVIDADE DE ÁGUA (AW), ÍNDICE DE SOLUBILIDADE E CAPACIDADE DE INTUMESCIMENTO

As três formulações foram analisadas quanto o teor de umidade por balança de infravermelho, atividade de água (Aw), e quanto suas propriedades de reidratação pelo índice de solubilidade em água e capacidade de intumescimento. Os resultados encontrados estão apresentados na Tabela 13.

**Tabela 13: Determinação do teor de umidade, atividade de água, índice de solubilidade e capacidade de intumescimento das formulações**

Amostras	Teor de umidade (%)	Atividade de água (-)	Índice de solubilidade (%)	Capacidade de intumescimento (g/g)
EM 5%	3,57 ± 0,83	0,2582 ± 0,014	70,0 ± 0,01	0,35 ± 0,03
EM 7,5%	3,87 ± 0,60	0,2201 ± 0,007	80,0 ± 0,03	0,55 ± 0,04
EM 10%	5,00 ± 0,40	0,1986 ± 0,005	90,0 ± 0,01	1,16 ± 0,03

Análises realizadas em triplicata, \*calculado por diferença, DP desvio padrão

#### 4.2.9 POTENCIAL ZETA

O tamanho de partícula, carga elétrica e o índice de polidispersão das três formulações foram avaliadas e os valores encontrados de tamanho de partícula variaram entre 0,240 µm a 0,418 µm. Os de carga elétrica foram entre -29,3 mV a -35,5 mV. Já os valores encontrados para o índice de polidispersão foram entre 0,428 a 0,489 (Tabela 14).

**Tabela 14: Determinação do tamanho de partícula, carga elétrica e PDI das formulações**

Formulações	Tamanho de partícula (µm)	Carga elétrica (mV)	Índice de polidispersão (PDI)
EM 5% MD	0,418	-33,5	0,486
EM 7,5% MD	0,240	-35,5	0,428
EM 10% MD	0,368	-29,3	0,489

MD= Maltodextrina

#### 4.2.10 DETERMINAÇÃO DA MORFOLOGIA DAS PARTÍCULAS

Com o objetivo de avaliar as características intrínsecas dos EM (forma e a superfície) foram obtidas fotomicrografias em Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) no aumento de 1000x e 5000x (Figura 32).

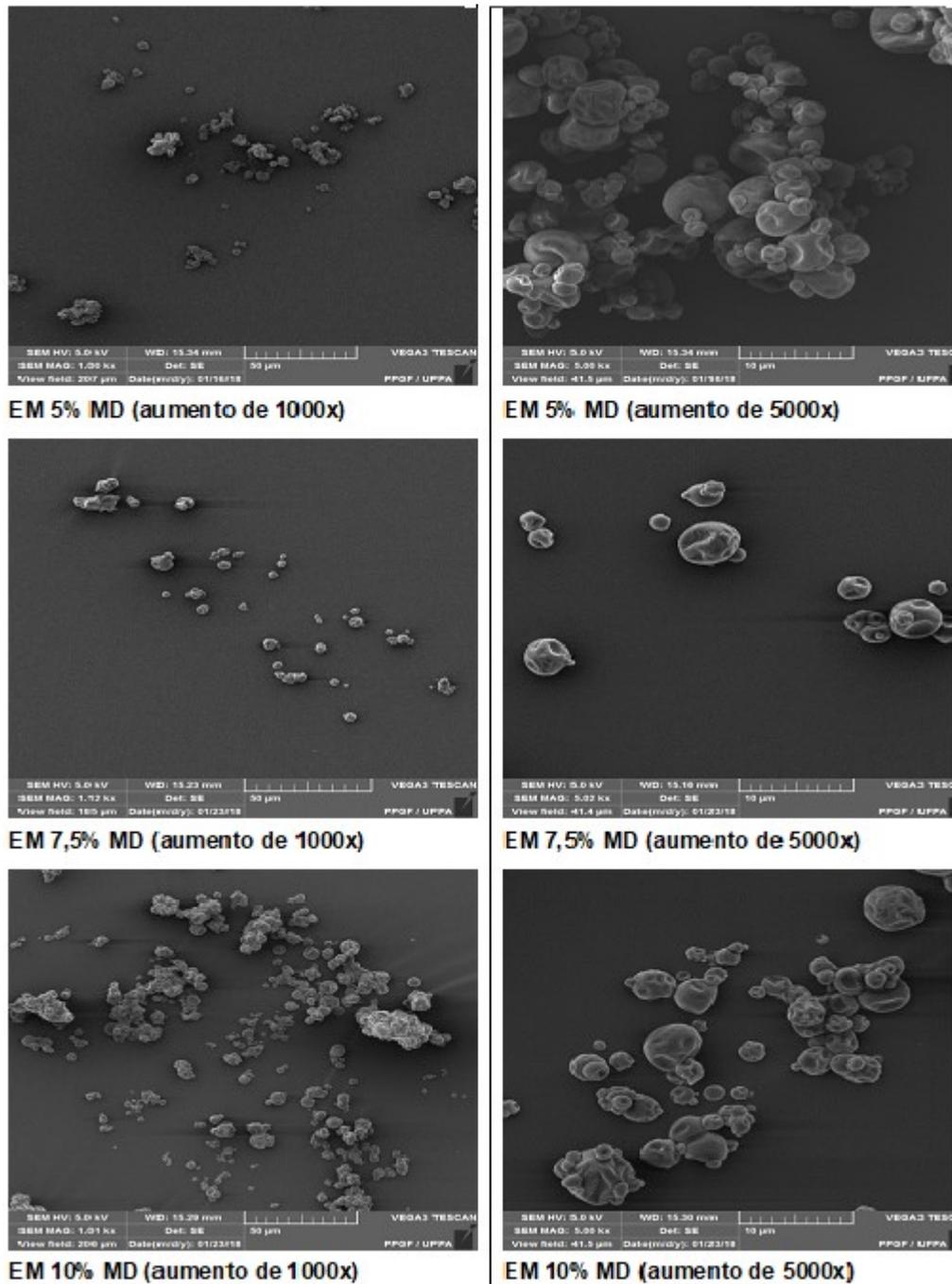


Figura 32: Fotomicrografias das formulações no aumento de 5000x e 1000x respectivamente

### 4.3 FASE 3: Caracterização do extrato lipofílico (EL) e do extrato lipofílico microencapsulado (ELM) a partir do co-produto das amêndoas do tucumã

#### 4.3.1 DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE, PH E ÍNDICE DE ACIDEZ DO EXTRATO LIPOFÍLICO

Os resultados obtidos para densidade aparente, pH e índice de acidez do extrato lipofílico estão apresentados na Tabela 15. Na determinação da densidade o

valor encontrado foi de 0,91. Para o pH foi obtido um valor correspondente a 3,17. Já na avaliação do índice de acidez o valor encontrado foi de 4,09 mg/KOH.

**Tabela 15: Determinação da Densidade real, pH e Índice de acidez do extrato lipofílico**

Testes	Determinações $\pm$ DP
Densidade aparente (g/cm <sup>3</sup> )	0,91 $\pm$ 0,02
pH (-)	3,17 $\pm$ 0,07
Índice de acidez (mgKOH/g)	4,09 $\pm$ 0,12

Análises realizadas em triplicata, DP desvio padrão

#### 4.3.2 OBTENÇÃO DO PERFIL ESPECTROSCÓPICO NA REGIÃO DO INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURIER (FT-IR)

Nos espectros obtidos de EL, ELM e Mistura Binária (MB) foram observadas bandas em 2909 cm<sup>-1</sup> e 2918 cm<sup>-1</sup> referente ao estiramento C-H. Bandas em 1743 cm<sup>-1</sup> e 1734 cm<sup>-1</sup> relacionada a vibrações do estiramento C=O. Banda em 1447 cm<sup>-1</sup> e 1444 cm<sup>-1</sup> referente a vibração do tipo dobramento do grupo CH<sub>3</sub> e bandas em 1140 cm<sup>-1</sup> e 1162 cm<sup>-1</sup> referente a vibrações de estiramento C-O. ELM apresentou bandas em 3407 cm<sup>-1</sup> característica de vibração de estiramento O-H, em 1606 cm<sup>-1</sup> referente ao vibrações de estiramento C=C e em 1034 cm<sup>-1</sup> referente vibrações de estiramento C-C (Figura 33, Tabela16) (SILVERSTEIN & WEBSTER, 2007).

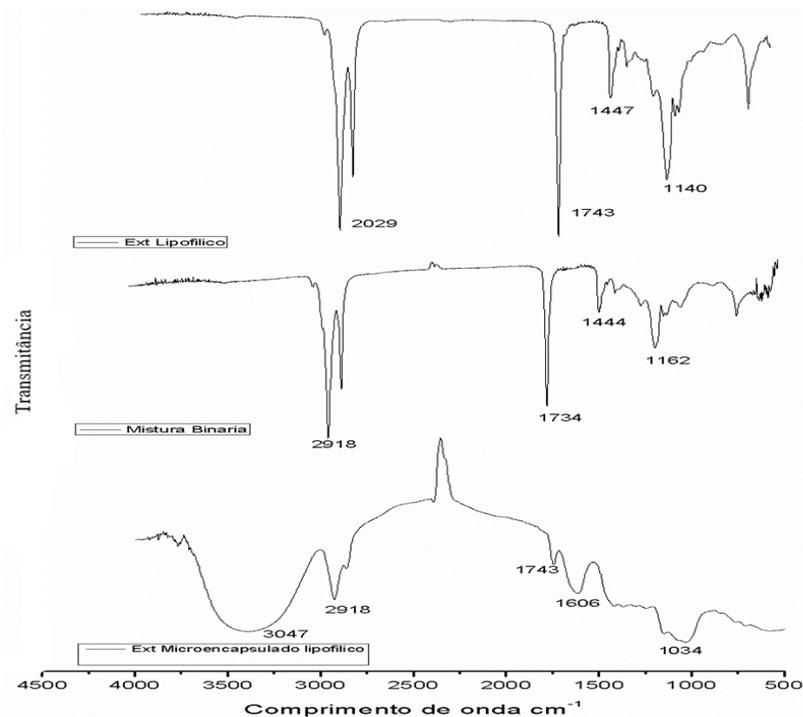


Figura 33: Espectros na região do Infravermelho de EL, MB e ELM

Na Tabela 16 estão apresentadas as bandas e seus respectivos tipos de ligação encontrados em EL, ELM e mistura binária.

**Tabela 16: Regiões de absorção das moléculas do extrato lipofílico, do extrato lipofílico microencapsulado e da mistura binária**

Extrato lipofílico	Bandas de absorção (cm <sup>-1</sup> )		Tipo de ligação
	Extrato lipofílico microencapsulado	Mistura binária	
	3407		O-H (livre)
2909	2918	2918	C-H
1743	1743	1734	C=O
	1606		C=C
1447		1444	C-H <sub>3</sub>
1140		1162	C-O
	1034		C-C

#### 4.3.3 ANÁLISE TERMOANÁLITICA

##### 4.3.3.1 OBTENÇÃO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO POR TERMOGRAVIMETRIA (TG/DTG)

Na obtenção do comportamento térmico por termogravimetria a curva TG e sua derivada DTG apresenta o comportamento térmico do extrato lipofílico, mistura binária e o extrato lipofílico microencapsulado em apenas uma etapa. Para o extrato lipofílico o evento de perda de massa ocorreu no intervalo entre 404°C-453°C com um percentual de perda de massa de 98% e resíduo final de 2%. O extrato lipofílico microencapsulado apresentou o evento ocorreu no intervalo de 286-360°C com percentual de perda de 70,96% e resíduo final de 29,4%. Já para mistura binária o evento de perda de massa ocorreu no intervalo de 299-351°C com percentual de perda de 64,60% e resíduo final de 34,40%. A Figura 34 apresenta a curva TG e sua derivada DTG com os eventos ocorridos

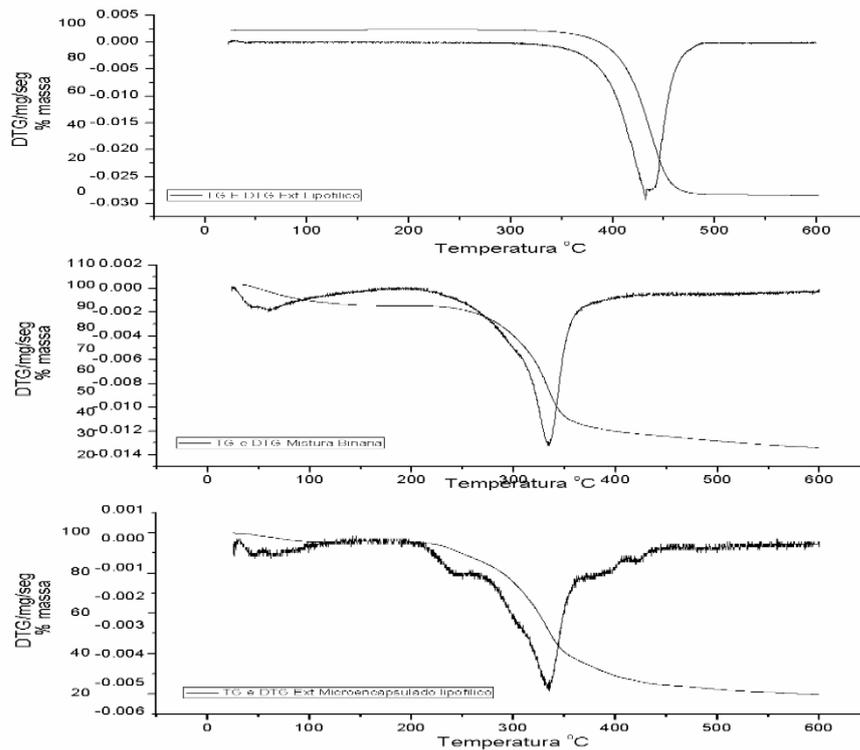


Figura 34: Curva TG/DTG de EL, MB e ELM

Na Tabela 17 estão apresentados os eventos térmicos por termogravimetria de EL, ELM e MB com suas respectivas perdas de massa e percentual de resíduo final.

**Tabela 17: Comportamento térmico por termogravimetria do extrato lipofílico, mistura binária e do extrato lipofílico microencapsulado**

Amostra	Eventos	Temperatura on set/°C	Temperatura end set/ °C	Massa perdida (%)	Resíduo (%)
EL	1	404	453	98	2
MB	1	299	351	64,60	35,40
ELM	1	286	360	70,96	29,04

#### 4.3.3.2 OBTENÇÃO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO POR CALORIMETRIA DIFERENCIAL EXPLORATÓRIA (DSC)

Na análise termoanalítica por calorimetria diferencial exploratória de EL, ELM e foi observado que EL apresentou apenas um evento endotérmico na faixa de 38-45°C, com  $\Delta H=111,64$  J/g. Para MB foram registrados dois eventos, um evento endotérmico na faixa de 26-80°C, com  $\Delta H=114,22$  J/g, e o um evento exotérmico na faixa de 210-273 °C, com  $\Delta H= 103,36$  J/g. Já ELM registrou três eventos térmicos, dois eventos endotérmicos, o primeiro evento na faixa de 29-102 °C, com  $\Delta H= 113,68$  J/g, o

segundo evento na faixa de 200-237 °C, com  $\Delta H = 8,70$  J/g e o um evento exotérmico na faixa de 243-282 °C, com  $\Delta H = 13,78$  J/g. (Figura 35, Tabela 18).

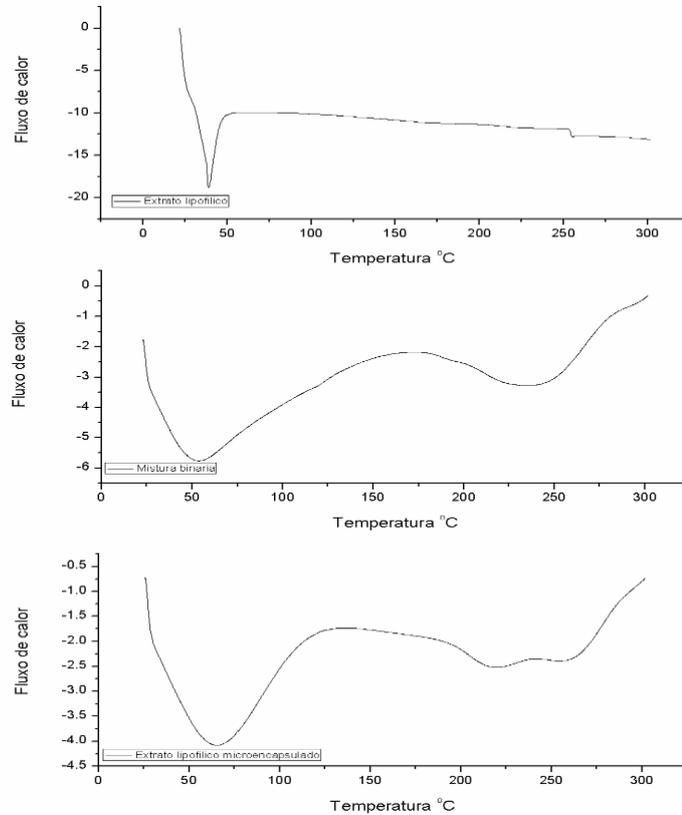


Figura 36: Curva DSC de EL, MB e ELM

Na Tabela 18 estão apresentados os eventos térmicos por DSC de EL, ELM e MB com suas respectivas temperaturas e variação de entalpia.

**Tabela 18: Comportamento térmico por DSC do extrato lipofílico, mistura binária e do extrato lipofílico microencapsulado**

Amostras	Eventos	Temperatura <i>on set/</i> °C	Temperatura <i>end set/</i> °C	Varição de entalpia ( $\Delta H$ J/g)
EL	1	38	45	-111,64
MB	1	26	80	-114,22
	2	210	273	-103,36
ELM	1	29	102	-113,68
	2	200	237	-8,70
	3	246	282	-13,78

#### 4.3.4 DETERMINAÇÃO DOS CAROTENOIDES TOTAIS POR ESPECTROFOTOMETRIA

Os carotenoides totais de EL e ELM foram quantificados por espectrofotometria. Os valores encontrados estão apresentados na Tabela 19.

**Tabela 19: Deteminação dos carotenoides totais dos extratos**

Amostra	Carotenoides totais ( $\mu\text{g}$ ) $\pm$ DP
EL	3305,04 $\pm$ 0,01
ELM	2559,15 $\pm$ 0,01

EL= extrato lipofílico; ELM= extrato lipofílico microencapsulado

#### 4.3.5 DETERMINAÇÃO DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE TOTAL (AAT) DO EXTRATO LIPOFÍLICO E DO EXTRATO LIPOFÍLICO MICROENCAPSULADO

Após quantificação dos carotenoides em EL e ELM foi avaliado a atividade antioxidante pela captura do radical livre ABTS e no Sistema  $\beta$ -caroteno/ácido linoleico. Na tabela 20 estão apresentados os valores encontrados.

**Tabela 20: Determinação da atividade antioxidante total dos extratos**

Amostra	Sequestro do radical ABTS <sup>+</sup> ( $\mu\text{M}$ trolox) $\pm$ DP	Sistema $\beta$ -caroteno/ácido linoleico (%) $\pm$ DP
EL	537,12 $\pm$ 0,00	49,9 $\pm$ 1,8
ELM	584,75 $\pm$ 0,01	43,3 $\pm$ 2,3

EL= extrato lipofílico; ELM= extrato lipofílico microencapsulado

#### 4.3.6 RENDIMENTO DE SECAGEM E RENDIMENTO DE MICROENCAPSULAÇÃO DO EXTRATO LIPOFÍLICO MICROENCAPSULADO

Após o processo de microencapsulação do extrato lipofílico foram avaliadas as formulações quanto ao rendimento de secagem e de microencapsulação, os resultados estão apresentados na Tabela 21.

**Tabela 21: Rendimento de secagem e rendimento de microencapsulação**

Formulação	RS (%)	RM (%)
ELM	13,22 $\pm$ 0,02	77,42 $\pm$ 0,04

RS= rendimento de secagem; RM= rendimento de microencapsulação; ELM= extrato lipofílico microencapsulado

#### 4.3.7 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE, ATIVIDADE DE ÁGUA (Aw), ÍNDICE DE SOLUBILIDADE E CAPACIDADE DE INTUMESCIMENTO DO EXTRATO LIPOFÍLICO MICROENCAPSULADO.

O extrato lipofílico microencapsulado foi analisado quanto o teor de umidade por balança de infravermelho, atividade de água (Aw), e quanto suas propriedades de reidratação pelo índice de solubilidade em água e capacidade de intumescimento. Os resultados encontrados estão apresentados na Tabela 22.

**Tabela 22: Determinação do teor de umidade, atividade de água, índice de solubilidade e capacidade de intumescimento do extrato lipofílico microencapsulado**

Amostra	Teor de umidade (%)	Atividade de água (-)	Índice de solubilidade (%)	Capacidade de intumescimento (g/g)
ELM	6,6 ± 0,06	0,2524 ± 0,007	80,0 ± 0,01	0,45 ± 0,02

ELM= extrato lipofílico microencapsulado

#### 4.3.8 POTENCIAL ZETA DO EXTRATO LIPOFÍLICO MICROENCAPSULADO

O extrato microencapsulado foi analisado quanto o potencial zeta. Foram avaliados o tamanho de partícula, carga elétrica e o índice de polidispersão. O valor encontrado de tamanho de partícula de 1,094 µm. O valor para a carga elétrica foi -27,2 mV. Já o valor encontrado para o índice de polidispersão foi 0,721(Tabela 23).

**Tabela 23: Determinação do tamanho de partícula, carga elétrica e PDI do extrato lipofílico microencapsulado**

Amostra	Tamanho de partícula (µm)	Carga elétrica (mV)	Índice de polidispersão (PDI)
ELM	1,094	-27,2	0,721

ELM= extrato lipofílico microencapsulado

## 5 DISCUSSÃO

A qualidade de um alimento é função do valor nutritivo e do consumo que pode oferecer. O valor nutritivo depende da composição química constituída pela proteína bruta, fibra bruta, extrato etéreo, extrato não nitrogenado, minerais, vitaminas, digestibilidade e natureza dos produtos digeridos (FILHO et al., 2001). A torta resultante da extração do óleo da amêndoa parece sofrer influência não só quanto à característica e qualidade do fruto industrializado, como também do método empregado no processamento e do período de armazenamento até a utilização do produto. A sua utilização vem sendo feita de forma inadequada, muitas vezes por desconhecimento de sua capacidade nutritiva (JÚNIOR, 2006).

Nesta perspectiva, a primeira etapa deste trabalho foi obter, processar e caracterizar o co-produto obtido das amêndoas do tucumã. O co-produto obtido do processamento de frutas não pode ser imediatamente utilizado como insumo na indústria alimentícia, cosmética ou farmacêutica devido à presença, ainda que em pequenas quantidades de umidade, diminui o prazo de validade dos produtos e acelera o seu processo de decomposição.

Assim, as amostras ao serem recebidas foram secas em estufa de ar circulante. A secagem ou dessecação tem por finalidade reduzir a umidade do material vegetal, de modo que possa ser estocado sem risco de proliferação microbiana, facilitando o processo de trituração e diminuindo a ação enzimática (FONSECA, 2005). A presença de umidade no material vegetal pode alterar a composição qualitativa e quantidade de seus metabólitos secundários e propiciar contaminação por microrganismos, sobretudo fungos e bactérias, e pode levar a ineficácia biológica e perda do material. Neste sentido, o valor a ser encontrado deve estar conforme o indicado nos compêndios oficiais.

Em continuidade, as etapas de preparo do material vegetal, o co-produto das amêndoas do tucumã foi triturado em moinho de faca, para obter partículas de tamanhos reduzido. Este equipamento é dotado de cortadores para redução grosseira do tamanho do material vegetal devido a ação de moinhos que em sua maioria tem como acessório, malhas de diferentes aberturas (FONSECA, 2005). Ao realizar a moagem ou trituração objetiva-se obter matérias-primas vegetais para a produção de intermediários, e favorecer o contato com o líquido extrator ou com insumos diretos para a fabricação de fitoterápicos. Para que se consiga um rendimento ótimo no

processo de extração dos constituintes químicos de interesse farmacêutico, necessita-se que o material de partida se encontre suficientemente pulverizado (COSTA et al., 2009). As condições de processamento da droga vegetal triturada influenciam na qualidade de tudo que vier a ser produzido (FARIAS, 2004).

O grau de divisão da droga determina a superfície de contato disponível para interação com o solvente utilizado na obtenção do derivado vegetal, parâmetro preliminar e importante para a escolha do processo de extração adequado. É uma influência direta sobre a eficiência do processo extrativo (SANTOS, 2000; MIGLIATO et al., 2007). Partículas muito finas impedem a absorção do líquido extrator, da mesma forma que partículas grossas não apresentam boa superfície de contato, em ambos os casos, a eficiência de extração dos constituintes é reduzida (COSTA et al., 2011).

Nesta perspectiva, classifica-se como pó grosso aquele cujas partículas passam em sua totalidade pelo tamis com abertura nominal de malha de 1,700 mm e no máximo 40% pelo tamis com abertura nominal de malha de 355  $\mu\text{m}$  (FARMACOPEIA BRASILEIRA V, 2010). Neste sentido, conforme Figura 24 o pó do co-produto das amêndoas do tucumã enquadra-se nesta categoria. Este resultado foi um dos critérios determinantes para a escolha do processo de obtenção da solução extrativa.

A composição de alimentos é importante para determinação nutricional e adequação na dieta alimentar da população e para o planejamento na indústria de alimentos. Esta análise tem sido estimulada para reunir informações, atualizadas, confiáveis e adequadas à realidade nacional (ARAGÃO, 2013). Pesquisas têm demonstrado interesse em investigar informações sobre a composição nutricional das partes não comestíveis de frutas principalmente da região amazônica como casca, bagaço e amêndoas. Grande quantidade dessas partes não comestíveis são desperdiçadas no meio ambiente (GONDIM et al., 2005).

Os macronutrientes são os nutrientes dos quais o organismo precisa em grandes quantidades e que são amplamente encontrados nos alimentos. Estão distribuídos nos alimentos e devem ser ingeridos diariamente para assegurar uma alimentação saudável (GOVEIA et al., 2007). As proteínas, carboidratos, lipídeos e fibras são os componentes dos alimentos que contribuem para o fornecimento de energia (calorias) para a dieta.

Na análise da composição nutricional do pó do co-produto das amêndoas do tucumã, foram encontrados valores significativos de macronutrientes. Entre eles, os

que apresentaram maior percentual foram os carboidratos, seguido do percentual encontrado de fibras, lipídeos e proteínas (Tabela 4). Vale ressaltar que por se tratar de um produto que já havia passado por um processo de extração do óleo apresentou percentual significativo de lipídeos.

Batista et al (2008) determinaram o teor de lipídeos nas amêndoas do tucumã do Amazonas (*Astrocaryum aculeatum*) e tucumã do Pará (*Atrocaryum vulgare* Mart.) e encontraram para o tucumã do Amazonas valor de semelhante ao encontrado no estudo (15,77). Porém, para tucumã do Pará mesma espécie deste estudo o valor encontrado foi superior (23,89). Vários fatores podem estar envolvidos nas diferenças dos resultados, como por exemplo, procedência geográfica, condições ambientais e o processamento do material vegetal (FREITAS et al., 2010; NAVES et al., 2010).

Zaninetti et al (2016) avaliaram o potencial de produção de óleo do tucumã (*Astrocaryum aculeatum*) para a produção de biodiesel em diferentes áreas do Estado do Acre e o teor de lipídeos encontrado foi superior ao encontrado neste estudo. A justificativa para essa superioridade pode ser em razão de características genéticas, espécies e região de plantio diferente (FREITAS et al., 2010; NAVES et al., 2010).

Miller et al (2013) avaliaram a farinha do resíduo do tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart.) na alimentação de poedeiras e encontraram para fibras FDA, proteína e lipídeos valores inferiores aos encontrados neste estudo, esse fato pode estar relacionado a diferença na obtenção das amostras. No referido estudo, as amostras foram obtidas em feiras e supermercados após o despulpamento manual do fruto do tucumã. Já as amostras deste estudo foram provenientes da indústria após a extração do óleo das amêndoas por prensagem a frio. Na indústria, subentende-se que há um cuidado maior na armazenagem e conservação tanto do fruto como das chamadas “tortas”.

O teor de material volátil (percentual de umidade residual) é de grande relevância para assegurar a estabilidade microbiológica e química de espécies vegetais, uma vez que, teores de umidade acima do especificado propiciam a proliferação de fungos e bactérias, além de possíveis degradações de substâncias químicas por processos de hidrólise, mesmo em um curto prazo (NUNES, 2008). Este parâmetro pode oferecer também informações em torno da armazenagem e conservação do material vegetal. O valor de umidade do estudo (Tabela 4), se encontra dentro do limite máximo estabelecido de 14% (FARMACOPEIA

BRASILEIRA, 2010). Esse resultado pode inferir que houve eficiência nos processos de secagem e conservação e diminuição do risco de contaminação microbiológica.

O resíduo de mineral fixo (RMF) é o produto inorgânico que permanece após a queima da matéria orgânica da amostra, que é transformada em CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O e NO<sub>2</sub>. Os elementos minerais se apresentam sob a forma de óxidos, sulfatos, fosfatos, silicatos e cloretos, dependendo das condições de incineração e da composição do alimento. Sua determinação fornece uma indicação da riqueza dos elementos minerais na amostra (BRASIL, 2006). As cinzas podem ser fisiológicas (derivadas do tecido vegetal) e não fisiológicas (areia e terra aderidas a superfície da droga) (FARMACOPEIA BRASILEIRA V, 2010).

Com isso, quando o valor encontrado é superior ao permitido, provavelmente seja indício de procedimentos de colheita e pós colheita inadequados (SHARAPIN, 2000; SOUSA et al., 2003). Nem sempre este resíduo representa toda a substância inorgânica presente na amostra, pois alguns sais podem sofrer redução ou volatilização no aquecimento (IAL, 2008). O resíduo mineral fixo obtido (Tabela 4) encontra-se dentro dos limites estabelecidos na legislação e sugere que há presença de compostos inorgânicos no co-produto das amêndoas do tucumã.

Oliveira et al (2008) realizaram a caracterização físico química da amêndoa de tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart.) e encontraram valores de cinzas inferior ao do estudo, porém, superior para umidade e lipídeos. É importante ressaltar que as amostras do estudo de Oliveira foram oriundas da região do nordeste do Pará e do Maranhão, o que pode justificar as diferenças nos resultados tendo em vista se tratar da mesma espécie. Contudo, deve ser considerado também que as amostras passaram por processos diferentes antes das análises.

Bora et al (2001) avaliaram a composição nutricional do fruto e das amêndoas do tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart.) e obtiveram para as amêndoas valores superiores ao deste estudo em relação a umidade, lipídeos, proteína e inferiores para cinzas, fibras e carboidratos. Por se tratar da mesma espécie, essa variação nos resultados pode ser explicada pelas diferenças de clima, solo ou práticas agrícolas (FAGUNDES & YAMANISHI, 2001).

No estudo, avaliação do potencial das amêndoas de frutos amazônicos para fins alimentícios, analisou-se a composição nutricional das amêndoas do tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart.) obtidas de fornecedores que trabalham com despulpamento de frutas e os valores encontrados foram superiores ao deste estudo

para lipídeos, proteínas e valor energético e inferiores para umidade, cinzas e carboidratos (PINHEIRO, 2013).

Ferreira et al (2008) realizaram a caracterização físico-química do fruto e do óleo extraído de tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart.) e os resultados encontrados para a “torta” obtida da extração do óleo por prensagem foram superiores para umidade e carboidratos. Porém, inferiores para proteínas, lipídeos, fibras, cinzas e valor energético. Essas diferenças nos resultados chamam bastante atenção, pois, as amostras foram da mesma espécie, oriundas da “torta” obtidas por processo bastante semelhante. Fatores, como diversidade genética e condições diferentes de clima e solo podem ter interferido neste resultado (SCHROTH et al., 2004).

No estudo de Pessoa (2016), que avaliou a composição nutricional e biotiva da amêndoa do tucumã os resultados encontrados da composição centesimal foram inferiores ao encontrado neste estudo para cinzas, proteínas, carboidratos e superiores para umidade, lipídeos e valor energético. As diferenças nos resultados podem ser em razão de clima, relevo e temperaturas diferentes (FAGUNDES & YAMANISHI, 2001).

Em relação ao co-produto de outras espécies amazônicas, Costa (2017) avaliou a composição nutricional do co-produto das amêndoas do cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) obtidas da prensagem a frio para extração do óleo e encontrou valores superiores em relação a cinzas, umidade, lipídeos e proteínas. Já para fibras, carboidrato e valor energético valores inferiores aos deste estudo.

A espectroscopia na região do infravermelho foi uma das técnicas realizadas para avaliar os parâmetros de controle de qualidade em todas as etapas do estudo. Esta é uma técnica que tem por objetivo a identificação (ou mesmo determinação) de grupos funcionais (característicos) dos compostos orgânicos analisados, proporcionando um estudo preliminar de sua estrutura química de substâncias isoladas e de amostras complexas (MACIEL, et al., 2002). Tem sido uma técnica utilizada para fornecer informações importantes sobre a compatibilidade fármaco-excipiente e possíveis reações entre as espécies químicas envolvidas durante ou após qualquer processo físico (SILVA-JÚNIOR et al., 2008).

Os espectros obtidos para o pó (Figura 25, Tabela 5) apresentaram um agregado de bandas de absorção referentes aos estiramentos O-H, C-H, C=O, C-O, C-O, C=C relacionadas a grupos funcionais importantes e atribuídos a presença principalmente de carboidratos, proteínas (aminoácidos aromáticos), água (SAMPAIO

et al., 2016), fibras e lipídeos, com isso corrobora o resultado da composição centesimal.

A análise de bandas características de determinados grupos funcionais de uma molécula fornece, através de um simples exame do espectro e consulta de tabelas e dados um conjunto de informações sobre a estrutura da molécula (BARBETTA & MAGINE, 2006). Assim, foi possível através dos espectros de FT-IR obter informações estruturais das moléculas e sugerir a presença de importantes grupos funcionais no pó (SILVERSTEIN & WEBSTER, 2007).

A análise do comportamento térmico e da estabilidade térmica, pode ser empregada no controle de qualidade de matérias-primas e avaliação no desenvolvimento de medicamentos fitoterápicos (ZHANG, et al., 2008).

No estudo termogravimétrico (TG) do pó do co-produto foi observado decomposição em dois eventos térmicos (Figura 26). Na primeira etapa, ocorreu um pequeno percentual de perda de massa referente a perda de água e voláteis (SAMPAIO et al, 2016; GABBAY ALVES et al., 2018) e foi demonstrado que a presença de água no material era pequena, e corrobora o resultado do teor de umidade na amostra. Na segunda etapa, a perda de massa pode estar relacionada a decomposição térmica dos compostos orgânicos (carboidratos, proteínas, fibras, lipídeos e decomposição de açúcares) (COSTA, 2017; GABBAY ALVES et al., 2018), o que corrobora os resultados da composição nutricional.

Baseado nos resultados promissores de macronutrientes apresentado neste estudo, sugere-se que o pó do co-produto das amêndoas do tucumã pode ser incluído na dieta como alimento fonte de macronutrientes, de acordo com as regras estabelecidas pela legislação brasileira (BRASIL, 1998) bem como ótima alternativa de enriquecimento de produtos alimentícios, ao elevar seu valor nutricional com uma matéria prima de baixo custo e importância de sua utilização como fonte de alimento humano e animal.

A segunda etapa do estudo consistiu em obter e avaliar os parâmetros físico-químico do extrato hidroetanólico bruto e do extrato hidroetanólico microencapsulado a partir do pó gerado do co-produto das amêndoas do tucumã. Vale ressaltar que pela primeira vez foi realizado a microencapsulação do co-produto das amêndoas do tucumã (*Atrocaryum vulgare* Mart). Neste sentido, as comparações relatadas são relacionadas ao processo de microencapsulação por *spray drying* e o adjuvante de secagem utilizado.

O método para a obtenção da solução extrativa e posteriormente do extrato bruto foi a percolação que permitiu a extração dos constituintes do material vegetal até a exaustão. As matérias-primas de origem vegetal utilizadas na produção de fitoterápicos, fitocosméticos e nutracêuticos necessitam de estudos para comprovar que possuem o efeito esperado.

Nesse sentido, são necessários requisitos que garantam a autenticidade dessa espécie como a avaliação de seus metabólitos ativos. Também devem ser considerados diversos fatores para assegurar a qualidade desse material vegetal, como os aspectos físicos, químicos e físico-químicos (GUIZZO et al, 2015).

A densidade é uma propriedade física importante e pode ser utilizada para distinguir um material puro de um impuro. Ela também pode ser utilizada na identificação e no controle de qualidade de um determinado produto industrial, bem como ser relacionada com a concentração de soluções (ANDRE et al, 2013). O resultado encontrado na determinação da densidade está dentro dos limites estabelecidos (Tabela 6) e sugere que EHB apresenta boa estabilidade e conservação.

O potencial de hidrogeniônico é um parâmetro que está relacionado com o crescimento dos microrganismos, o valor de referência é de 4,0 a 7,0 (FARMACOPÉIA BRASILEIRA V, 2010). A maioria das bactérias cresce na faixa que vai de 6,0 a 8,0, mas existem grupos de bactérias que crescem também na faixa do pH ácido. A sobrevivência desses microrganismos em larga escala de pH, requer a secreção de diferentes enzimas, que possam tornar o pH do ambiente a ser colonizado ideal para o seu crescimento (ANDRE et al, 2013). Este, influencia na estabilidade de formulações fitoterápicas, cosmética e alimentícia (MACIEL et al, 2006). O valor encontrado (Tabela 6), está dentro dos limites estabelecidos como referência, e apresenta característica de um produto levemente ácido e com boa conservação (EVANGELISTA, 2008).

A acidez é um importante parâmetro na apreciação do estado de conservação de um produto alimentício, na manutenção do balanceamento ácido-base no organismo, na indicação de deterioração por bactérias com produção de ácido. A acidez total titulável é expressa pelos ácidos orgânicos, presente no alimento (CARVALHO, 2002). Os ácidos orgânicos presentes em alimentos influenciam no sabor, odor, cor, estabilidade e manutenção da qualidade (produtos mais ácidos são naturalmente mais estáveis quanto à deterioração). A acidez titulável de frutas varia

de 0,2 a 6%. O valor determinado de acidez titulável (Tabela 6), se encontra dentro dos limites estabelecido e sugere a presença de ácidos orgânicos, boa estabilidade e ausência de deterioração por bactérias (CARVALHO, 2002).

Os parâmetros de controle de qualidade como pH e acidez total titulável para espécies frutíferas, permite a valorização de frutos como alimento funcional, e oferece uma opção de atividade sustentável para a população (CANUTO et al., 2010). Pinheiro (2013) avaliou o pH e a acidez titulável do extrato hidrossolúvel das amêndoas do tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart) e encontrou para o pH valor superior ao deste estudo. Já para a acidez valor inferior aos encontrados neste trabalho. Essas divergências podem está relacionadas a diferença dos tipos de extratos obtidos. Pessoa (2016) realizou o estudo que avaliou a composição nutricional e biotiva da amêndoa do tucumã e encontrou para o pH valor superior ao encontrado neste estudo, já para acidez titulável valor inferior. As diferenças podem ser em virtude de constituição genética e a fatores ambientais (FAGUNDES & YAMANISHI, 2001).

Os sólidos totais podem ser conceituados como sendo todos os constituintes das matérias primas alimentícias que não a água, e as substâncias mais voláteis que vaporizam a temperatura inferior ou igual a 105 °C. A matéria seca ou sólidos totais é composta de proteínas, lipídios, glicídios, sais minerais, vitaminas, ácidos orgânicos, pigmentos e outras substâncias fisiológicas ativas ou não, podendo ser divididos em duas classes: água-solúvel ou solúvel em água e água-insolúvel, cujo conhecimento facilita a identificação laboratorial da composição da matéria-prima em estudo (CHAVES, 2004).

A concentração de sólidos presentes no líquido de alimentação exerce grande impacto sobre a eficiência da operação de secagem. Esta, tem importância sobre vários aspectos, como a utilização adequada de calor no processo de secagem e o uso de adjuvantes que visa a formação de partículas menores e melhorar o rendimento do processo. O aumento no conteúdo de sólidos eleva a viscosidade, resultando em pós com maior densidade (OLIVEIRA & PETROVICK, 2010). Aspectos esses importantes para a realização da próxima etapa do estudo. O valor encontrado (Tabela 6) foi significativo (importante para a etapa de microencapsulação) e corrobora com os resultados da composição centesimal que apresentou elevados teores de carboidratos, lipídeos, fibras e proteínas (Tabela 4).

Os espectros obtidos para EHB e EM (Figura 27, Tabela 7) apresentaram bandas de absorção características dos grupos funcionais álcoois, fenóis, alcanos,

alcenos, amidas, metila, compostos halogenados e compostos aromáticos (SILVERSTEIN & WEBSTER, 2007) e anel de anidroglicose, correspondente a maltodextrina (GABBAY ALVES et al., 2018). Esses grupos funcionais são atribuídos a presença compostos fenólicos, como os ácidos fenólicos, taninos e flavonoides (SAMPAIO et al., 2016) e evidencia que não houve mudanças significativas que pudessem interferir no perfil do extrato, além de garantir a permanência das bandas atribuídas a eles.

Porém, tendo em vista se tratar de um extrato vegetal que contém diferentes moléculas (com grupamentos complexos de substância química) o espectro de EHB evidenciou picos que não são bem resolvidos, visto que apresentou bandas de absorção arredondadas e mal resolvidas, o que dificulta a obtenção de informações satisfatória sobre a presença de grupamentos químicos referentes aos compostos fenólicos (COSTA, 2017).

Foi observado que as três formulações apresentaram picos de bandas iguais ou quando não, bem próximas. Algumas bandas foram semelhantes as obtidas para MD. Os resultados obtidos sugerem que houve compatibilidade entre os compostos fenólicos e o agente encapsulante (SILVA-JÚNIOR et al., 2008). Os grupos funcionais se mantiveram após o processo de secagem, além de representar um parâmetro fundamental para assegurar a eficácia do produto seco obtido por *spray drying*

Neste sentido, o FT-IR contribuiu como uma técnica de caracterização estrutural com intuito de confirmar a presença dos grupos funcionais importantes no extrato bruto e microencapsulado. Além de auxiliar na comprovação de que não houve degradação e nem interferência do agente encapsulante sobre a disponibilidade dos compostos, bem como, sugere que o processo de secagem não afetou a composição química dos compostos funcionais originalmente presentes no material vegetal (SAMPAIO et al., 2016).

O comportamento térmico de EHB apresentou a decomposição em três eventos térmicos (Figura 28, Tabela 8). Na primeira etapa, a perda de massa está relacionada à liberação de água presente no material. Na segunda etapa, deve-se provavelmente a sucessivas reações e pode estar relacionado à perda de açúcares (GABBAY ALVES et al., 2018). Na terceira etapa, a perda de massa pode estar relacionada com a degradação e carbonização da matéria orgânica dos biocompostos presentes na amostra (COSTA, 2017).

A termogravimetria permite conhecer detalhadamente as alterações que o aquecimento pode causar na massa das substâncias, como modificações da estrutura molecular e ainda estabelecer a faixa de temperatura em que as mesmas sofrem processos de decomposição, como por exemplo o amido que sofre degradação na faixa de temperatura entre 30 °C a 300°C (CEREDA & VILPOUX, 2003).

O estudo termogravimétrico (TG) do extrato microencapsulado e de MD mostrou que o comportamento térmico para EM 5% MD e EM 7,5% MD ocorreu com três etapas de termodecomposição (Figura 28, Tabela 8). Já EM 10% MD quatro etapas semelhante ao encontrado para o extrato microencapsulado do co-produto do cacau (GABBAY ALVES et al., 2018) e MD apresentou apenas uma etapa de termodecomposição, com temperatura e perda de massa semelhante ao terceiro evento das três formulações (Figura 28, Tabela 8). Essas etapas demonstraram que houve degradação e/ou volatilização dos constituintes. O aumento na concentração de MD influenciou quantitativamente no aumento do comportamento térmico conforme observado para formulação EM 10% MD.

No primeiro evento em EM 5% MD, EM 7,5% MD e EM 10% MD, a perda de massa foi atribuída a evaporação de água e de compostos voláteis presente no produto intermediário e em pequena quantidade em MD e reações sucessivas de degradação do extrato (SAMPAIO et al., 2016; GABBAY ALVES et al., 2018). No segundo evento nas três formulações, a perda de massa pode ter ocorrido em virtude do início de degradação térmica envolvendo processos de decomposição da matéria orgânica (carboidratos, proteínas, aminoácidos, flavonóides entre outros, todos esses presentes no EHB e EM) até a formação do material carbonáceo (COSTA et al., 2013).

O terceiro evento de perda de massa em EM 5% MD, EM 7,5% MD e EM 10% MD pode ser em razão da degradação térmica dos biopolímeros, em virtude de sua clivagem térmica que conduz cadeias poliméricas de menor massa molecular (SAMPAIO et al., 2016; GABBAY ALVES et al., 2018). E o quarto evento, ocorrido na formulação EM 10%, a perda de massa ocorreu em razão da degradação térmica final dos extratos (COSTA et al., 2009; SAMPAIO et al., 2016).

Estes dados foram importantes para avaliar a estabilidade térmica dos extratos, tendo em vista, que o conhecimento prévio tem a finalidade de garantir a estabilidade físico-química dos constituintes químicos presente no extrato (SILVA JÚNIOR et al., 2006; COSTA et al., 2013). Através do estudo termogravimétrico foi possível obter informações em a relação umidade, materiais voláteis, resíduos e em

relação a temperatura máxima de estabilidade dos extratos (COSTA et al., 2013). E corroborar os resultados do material fixo, teor de sólidos e FT-IR.

Nascimento (2012) avaliou o potencial do caroço do fruto do tucumã (*Astrocaryum aculeatum*) como insumos energéticos em processos de termoconversão e o estudo termogravimétrico demonstrou três eventos de perda de massa, o primeiro ele atribuiu principalmente à liberação de água das amostras. O segundo, atribuiu à degradação da hemicelulose (temperaturas menores) e celulose (temperaturas maiores), com picos característicos nas curvas DTG e início da degradação da lignina. O terceiro atribuiu, principalmente, a degradação da lignina sem picos característicos.

Com o objetivo de determinar a presença dos compostos fenólicos responsáveis pela atividade antioxidante em EHB e EM 5% MD foi realizado inicialmente a determinação de polifenóis totais, flavonoides totais e taninos condensados por espectrofotometria (Tabela 9). Por se tratar de um extrato obtido do co-produto da amêndoa do fruto (tucumã), esses resultados tornam-se promissor, em razão da quantidade de compostos fenólicos concentrar-se em sua maioria na casca e polpa dos frutos e vegetais. A quantidade final de fenólicos totais pode ser influenciada por fatores como: a maturação, a espécie, práticas de cultivo, origem geográfica, estágio de crescimento, condições de colheita e processo de armazenamento (Soares et al., 2008).

Neste sentido, os compostos fenólicos são substâncias amplamente distribuídas no reino vegetal, em particular nas frutas. Os benefícios desses compostos já são conhecidos, caracterizado em especial pela sua capacidade antioxidante extraordinária na prevenção ou redução do estresse oxidativo associado a desordens do envelhecimento ou a doenças crônicas (QUIDEAU et al., 2011). Gonçalves et al (2010) avaliaram as quantidades de polifenóis em 22 frutas brasileira, sendo dez nativas da Amazônia, dentre elas o tucumã, e os resultados apontaram que o tucumã é uma das principais fontes de polifenóis entre os frutos mais consumidos na dieta amazônica.

Em relação a mesma espécie, o valor de polifenóis totais encontrado foi inferior ao extrato etanólico da amêndoa do tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart.) (PESSOA, 2016). A diferença nos resultados pode estar relacionada ao solvente utilizado na extração, bem como a parte do fruto utilizada. Em relação ao mesmo gênero, o resultado foi superior ao encontrado na casca e semente do tucumã (*Astrocaryum*

*huaimi*) (ROSSATO, 2016). Porém, inferior ao encontrado para o extrato etanólico da casca do tucumã (*Astrocaryum aculeatum*) por Garcia (2012) e Sagrillo et al (2015).

Nesta perspectiva, os taninos apresentam atividade antioxidante, cicatrizante, antiinflamatória e são responsáveis pela adstringência em alguns frutos como no caso do tucumã (MONTEIRO et al., 2005). Porém, altas concentrações de taninos podem provocar danos à saúde como baixa digestibilidade proteica, inibição enzimática e toxicidade hepática (ROCHA et al., 2011). Com isso, o interesse da pesquisa nesses compostos presentes em 30% das espécies vegetais superior são em concentração moderada e baixa.

Garcia (2012) avaliou o conteúdo de tanino na casca e na polpa do tucumã (*Astrocaryum aculeatum*) e o valor encontrado na casca (26,4 mg/g) foi quatro vezes maior que na polpa (6,4 mg/g). Os resultados encontrados por Garcia (2012) e neste estudo confirmam que essas substâncias estão presentes em sua maioria na casca, folhas e semente quando comparadas a polpa dos frutos (PANSERA et al., 2003). O conteúdo de taninos neste estudo (76,29 mg) foi três vezes e duas vezes maior que o encontrado nos extratos etanólico da casca do tucumã (*Astrocaryum aculeatum*) 26,4 mg/g e 31,4 mg/g determinado por GARCIA (2012) e SAGRILLO et al (2015) respectivamente.

Assim sendo, os flavonoides são conhecidos como os principais responsáveis pela capacidade antioxidante em frutos por causa do elevado potencial de oxidação e redução, protegendo assim os tecidos dos danos oxidativos (IGNAT et al., 2011). O resultado deste trabalho foi superior aos estudos do extrato etanólico da amêndoa do tucumã (*Astrocaryum vulgare*) (PESSOA, 2016). E inferior ao encontrado no extrato etanólico da casca do tucumã (*Astrocaryum aculeatum*) (SAGRILLO et al 2015) e (GARCIA, 2012).

Na determinação dos compostos fenólicos por espectrofotometria no extrato microencapsulado e os resultados obtidos foram relativos ao encontrado em EHB (Tabela 9). Com isso, foi demonstrado que não houve grandes perdas por degradação dos compostos fenólicos durante a secagem por pulverização. Os flavonoides em geral, foram entre os compostos fenólicos que apresentaram menores perdas (Tabela 9). Os polifenóis totais também apresentaram percentuais pequenos de perdas (Tabela 9). Já os taninos condensados foram os que apresentaram os maiores percentuais de perda (Tabela 9). Das três formulações, EM 5% MD apresentou os maiores percentuais de compostos fenólicos. Assim, pode-se inferir que o aumento

de MD proporcionou diminuição da perda por degradação dos compostos fenólicos no extrato microencapsulado.

Após os resultados promissores da determinação de compostos fenólicos por espectrofotometria, realizou-se a identificação desses compostos por UHPLC-DAD, para confirmar os compostos responsáveis pela atividade antioxidante. A identificação e a atribuição dos picos dos compostos fenólicos presentes em EHB e EM foram baseadas na comparação de seus tempos de retenção e espectros DAD com os dos padrões de referência e confirmados com a realização da co-injeção. Os cromatogramas obtidos após a realização da co-injeção demonstraram que houve o aumento de área nesses determinados picos.

Nesta perspectiva, os ácidos fenólicos conferem propriedades antioxidantes tanto para os alimentos como para o organismo, sendo, por isso, indicados para o tratamento e prevenção do câncer, doenças cardiovasculares dentre outras doenças (FERGUSON & HARRIS, 2006).

Assim, foram confirmados apenas ácido gálico e ácido cafeico (Figuras 29,30 e 31, Tabela 10). Os cromatogramas apresentaram ainda vários outros picos que podem estar relacionados a presença de flavonoides, compostos glicosilados e outros ácidos fenólicos. Vale que ressaltar que a amostra se trata de extrato (mistura complexa) o que dificulta uma boa separação dos picos e obtenção de espectros característicos. Os resultados sugerem que o processo de microencapsulação foi eficiente, preservou os compostos fenólicos (ácidos fenólicos) após o processo de secagem.

A presença do ácido gálico e ácido cafeico já é conhecido no gênero *Astrocaryum*. Sagrillo et al (2015) realizaram a identificação e quantificação dos compostos fenólicos por HPLC na casca e polpa do tucumã (*Astrocaryum aculeatum*) entre eles o ácido gálico, ácido cafeico, o ácido clorogênico, os flavonoides (rutina e quercetina) e ainda, o  $\beta$ -caroteno.

Dentre as diversas propriedades dos metabólitos secundários biossintetizados pelos vegetais, a atividade antioxidante, exibida por muitas plantas merece destaque. Isso devido ao fato dos antioxidantes, que são substâncias que em pequenas concentrações, em comparação ao substrato oxidável, retardam ou previnem significativamente o início ou a propagação da cadeia de reações de oxidação. Estes compostos inibem não só a peroxidação dos lipídios, mas também, a oxidação de outras moléculas, como proteínas e DNA (MORAIS et al., 2016).

Diante disso, vários métodos têm sido desenvolvidos para avaliar a capacidade antioxidante *in vitro* em vegetais e seus extratos. Porém, a determinação da capacidade antioxidante não deve se basear apenas em um método, assim, há a necessidade de pelo menos dois métodos *in vitro* para inferir com maior segurança que os extratos analisados podem apresentar alguma atividade em combater os radicais livres formado no interior do organismo humano (OLIVEIRA, 2015).

Nesta perspectiva, a atividade antioxidante em EHB e EM foi realizada pelos métodos da captura do radical DPPH e ABTS<sup>+</sup> e analisado três concentrações diferentes (10 µg/mL, 25 µg/mL e 40 µg/mL). Na realização do método do radical ABTS<sup>+</sup>, as três concentrações analisadas apresentaram expressivo potencial antioxidante (Tabela 11). Os antioxidantes presentes em EHB e EM capturaram o cátion ABTS<sup>+</sup> com isso, houve a perda de coloração do meio reacional e provocou um decréscimo da absorbância (PÉREZ-JIMÉNEZ & SAURA-CALIXTO, 2006).

Na avaliação pelo método da captura do radical DPPH os antioxidantes presentes nos extratos foram capazes de doar hidrogênio radicalar ao radical DPPH (BRAND-WILLIAMS et al., 1995), assim, quanto maior o número de hidroxilas doadoras de hidrogênio presentes na amostra, maior sua atividade antioxidante.

Em EHB, a concentração de 10 µg não foi capaz de reduzir em 50% o radical DPPH, nesta concentração o percentual de inibição foi menos de 10% mesmo após uma hora de reação (Tabela 11). Na concentração de 25µg o percentual de inibição foi de 40% e seu IC50 foi 38,29 µg/mL (Tabela 11). Já na concentração de 40 µg o percentual de inibição foi de mais de 80% e seu IC foi de 8,29 µg/mL (Tabela 11). Com isso, inferi-se que a partir da concentração de 25 µg os antioxidantes presentes em EHB são capazes de reduzir o radical DPPH em 50%.

Na avaliação da atividade antioxidante no extrato microencapsulado, nas três concentrações testadas EM 5% MD apresentou os maiores percentuais de inibição, menores IC 50 e conseqüentemente maior atividade antioxidante. Diferente de EHB as três formulações evidenciaram a partir da concentração de 10 µg percentual de inibição capaz de reduzir o radical DPPH em 50% (Tabela 11). Foi observado ainda que EM 5% apresentou percentuais de inibição e maior atividade antioxidante quando comparado ao encontrado para EHB. O que pode ser justificado pelo fato de MD ter efeito antioxidante.

Igualmente observado para os compostos fenólicos, a formulação que apresentou maior atividade antioxidante para os dois métodos testados foi a

formulação com menor concentração de MD (Tabela 11). Com o aumento de MD houve uma diminuição nos percentuais de inibição e da atividade antioxidante, assim EM 10% apresentou os menores percentuais e, conseqüentemente, menor atividade (Tabela 11). MD influenciou de forma inversamente proporcional ao resultado da atividade antioxidante. Foi demonstrado que quanto maior a concentração do extrato, maior é o percentual de inibição e menor o IC 50. Quanto maior o consumo de DPPH pela amostra e menor o IC 50, maior é sua atividade antioxidante (ALVES et al., 2007).

Contudo, os melhores resultados para a capacidade antioxidante foram observados no método da captura do radical ABTS, o que pode ser em razão desde método ser utilizado tanto para amostras hidrossolúveis quanto lipossolúveis, sendo vantajoso em relação a outros métodos (LIMA, 2008).

No estudo dos extratos etanólico da casca do tucumã (*Astrocaryum aculeatum*) os valores de IC 50 pelo método DPPH encontrados foram semelhantes aos deste trabalho (GARCIA, 2012) e (SAGRILLO et al., 2015). O extrato metanólico da casca e semente do tucumã (*Astrocaryum huaimi*) demonstrou para o método do radical ABTS<sup>+</sup> resultados inferiores aos deste estudo (ROSSATO, 2016).

Vários estudos têm revelado o potencial antioxidante de casca, sementes, bagaço e polpa de uma variedade de frutos, incluindo o tucumã (gênero *Astrocaryum*). Assim, os resultados obtidos ratificam o potencial antioxidante encontrado para diferentes extratos da amêndoa do tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart.) (PESSOA, 2016), porém, com valores inferiores ao deste estudo para os dois métodos e corroboram os dados obtidos na quantificação dos compostos fenólicos por espectrofotometria e identificação desses compostos por HUPLC-DAD.

A secagem por *spray drying* tem se destacado quando se trata de procedimentos que envolvem a microencapsulação de compostos bioativos devido à sua facilidade de operação e boa relação custo-benefício. Ao retirar a água dos produtos, assegura a estabilidade microbiológica, pH, previne reações de degradação e oxidação, protege de umidade, reduz o custo de armazenamento e transporte, além de obter um produto com propriedades específicas como, por exemplo, solubilidade instantânea (COUTO et al., 2012; NESTERENKO et al., 2013; CALISKAN & DIRIM, 2013; MISHRA et al., 2014; SINGH & DIXIT, 2014).

Existe uma concentração ótima de material a ser encapsulado como forma de garantir maior rendimento (CARMO et al., 2015). São vários os fatores indispensáveis para obtenção de extratos secos com melhores características físico-químicas e

aumento do rendimento da operação, assim, faz-se necessário a otimização dos parâmetros de secagem como, temperatura de entrada e de saída e velocidade de fluxo de alimentação, concentração e tipo de adjuvantes tecnológicos, e teores de resíduos seco do extrato fluido a ser seco (VASCONCELOS et al., 2005).

Neste sentido, na avaliação do rendimento de secagem os percentuais encontrados para as três formulações foram inferiores a 50% (Tabela 12). Este resultado pode estar relacionado às perdas do pó durante a secagem que normalmente ocorrem devido à aderência das partículas na parede da câmara de secagem ou devido as partículas mais finas serem levadas diretamente para o filtro do secador, não sendo recolhidas no coletor (SAMPAIO, 2012).

Além desses fatores, a composição dos extratos microencapsulados em relação a açúcares e lipídeos também podem ter interferido na recuperação do pó, diminuindo o rendimento final (FANG & BHANDARI, 2011; SAMPAIO, 2012). Carvalho (2018) realizou a microencapsulação do extrato hidroetanólico das folhas do pariri (*Arrabidaea chica*) utilizando a hidroxietilcelulose como adjuvante de secagem no mesmo equipamento e obteve percentual de rendimento superior ao encontrado neste estudo. As diferenças nos resultados podem ser em razão de uma maior quantidade de teor de sólido do extrato de *Arrabidaea chica* e ainda agente microencapsulante diferente.

Das três formulações analisadas o melhor rendimento foi para a maior concentração de maltodextrina (MD) e o menor rendimento para a menor concentração de MD. Assim, infere-se que a concentração do adjuvante de secagem influenciou de forma diretamente proporcional ao resultado do rendimento. Quanto maior a quantidade do adjuvante maior o rendimento.

Na avaliação do rendimento de microencapsulação os percentuais encontrados foram superiores a 70% em todas as formulações (Tabela 12). Com isso, sugere que não houve grandes perdas por degradação destes compostos pela temperatura. Diferentemente do resultado de rendimento de secagem, o melhor rendimento de microencapsulação foi para a formulação com menor concentração de adjuvante e o menor resultado foi para a formulação com maior concentração de adjuvante, ou seja, a quantidade de adjuvante influenciou de forma inversamente proporcional no rendimento de microencapsulação. Mereceu destaque o rendimento de polifenóis totais que evidenciou que mais de 90% deles se mantiveram presentes em EM na formulação com menor concentração de MD. A maior perda ocorreu em relação ao

rendimento de microencapsulação dos taninos condensados, indício de que estes são mais susceptíveis a degradação pela temperatura. Os flavonoides apresentaram menor queda no rendimento

Os percentuais encontrados de rendimentos de microencapsulação de polifenóis foram semelhantes aos obtidos nos estudos de microencapsulação dos polifenóis do bagaço de azeitona utilizando MD (PAINI et al., 2015), microencapsulação do extrato hidroetanólico do co-produto das amêndoas do cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) utilizando MD (COSTA et al., 2018) microencapsulação do co-produto das amêndoas do cacau (*Theobroma cacao*) utilizando MD (GABBAY ALVES et al., 2017).

Em relação ao rendimento de secagem foi inferior ao estudo do co-produto das amêndoas do cupuaçu (COSTA et al., 2018) e ao estudo do co-produto das amêndoas do cacau (GABBAY ALVES et al., 2017).

Uma secagem é considerada eficiente quando seu rendimento for superior a 50 % (BHANDARI et al., 1997). Assim, considera-se que o processo de secagem não foi eficiente. No entanto, o processo de microencapsulação por *spray dryer* foi eficiente mais de 80% dos compostos fenólicos se mantiveram nas formulações após a secagem.

Diante disso, o teor de umidade residual é um parâmetro importante a ser determinado nas formas farmacêuticas sólidas, uma vez que altos teores de umidade podem favorecer o crescimento microbiológico e a degradação química de constituintes reduzindo sua atividade biológica (SAMPAIO, 2012).

A umidade das formulações pode ter sido afetada pelas condições operacionais durante o processo de secagem como a temperatura de entrada do *spray dryer* (BOTREL et al, 2014). A umidade do produto final de secagem é determinada pela temperatura de saída, que por sua vez é dependente da temperatura de entrada influenciando no tamanho de partícula e diferenças morfológicas (OLIVEIRA & PETROVICK, 2010).

A quantidade de material de parede nas formulações influenciou de forma diretamente proporcional no teor de umidade, com o aumento de MD, houve um aumento do teor de umidade (Tabela 13). Os valores encontrados para as três formulações foram baixos e indica que as condições de operação de secagem foram suficientes para a evaporação da água (FAZAELI et al., 2012) e demonstrou que a MD desempenhou de forma eficaz sua função de diminuir a umidade dos pós. Com o

aumento de MD houve aumento no teor de umidade. A formulação que apresentou o menor resultado foi a com menor concentração de MD.

Esses resultados foram inferiores ao encontrado para os extratos microencapsulados do co-produto das amêndoas do cupuaçu (COSTA et al., 2018) e co-produto das amêndoas do cacau (GABBAY ALVES et al., 2017) e semelhante ao encontrado no estudo de microencapsulação dos polifenóis do bagaço de azeitona (PAINI et al., 2015).

A atividade de água ( $A_w$ ) afeta a capacidade de processamento, propriedades de manuseamento e estabilidade do pó (FIORDA et al., 2013). Assim, todas as formulações apresentaram valores de  $A_w$  inferiores a 0,3 (Tabela 13), indício de baixa quantidade de água livre nas amostras, o que conseqüentemente pode ser favorável para a estabilidade durante o armazenamento dos extratos microencapsulados (TONON et al., 2009). Além de diminuir o risco de contaminação microbiana, pois um valor de atividade de água inferior a 0,5 pode evitar crescimento microbiano (FIORDA et al., 2013).

Diferente do observado para o teor de umidade, com o aumento de MD houve uma diminuição no valor de  $A_w$ , a relação foi inversamente proporcional. Essa relação aumento de MD diminuição da atividade de água também foi observada no estudo de microencapsulação por *spray drying* do extrato crioconcentrado de erva mate (*Ilex paraguariensis* A. St. Hill) empregando a maltodextrina como agente encapsulante (NUNES, 2014).

O índice de solubilidade (IS) e a capacidade de intumescimento (CI) estão relacionados à quantidade de sólidos solúveis presentes em uma amostra seca e permite verificar o grau de intensidade do tratamento térmico, em função da hidrólise do amido, da dilatação dos grânulos em água aquecida e aumento do volume e conseqüente solubilização do amido entre outros componentes da matéria prima, tais como proteína, lipídios e fibras (MOURA, 2011), todos esses compostos estão presentes na amostra em estudo.

Em substâncias que apresentam elevado teor protéico, quanto maior a solubilidade, melhor é a indicação de seu uso em sistemas alimentares (FERNANDES et al., 2003). Neste sentido, com o aquecimento possivelmente ocorreu a hidrólise do amido rompendo as membranas e liberando a dextrina.

Esse processo influenciou no encapsulamento, espessamento, textura, estrutura e retenção da umidade nos pós. Os valores obtidos de IS (Tabela 13) foram

diretamente proporcionais a concentração MD, quanto maior a concentração de MD, maior o percentual de solubilidade, resultado já esperado devido as propriedades hidrofílicas da maltodextrina e provavelmente dos outros componentes hidrossolúveis presentes no extrato.

Este resultado ratifica as observações dos estudos de Gabbay Alves et al (2017) e Costa et al (2018) e semelhante ao encontrado para extrato microencapsulado por *spray dryer* do resíduo agroindustrial de acerola utilizando a goma do cajueiro e maltodextrina como adjuvante de secagem (MOREIRA, 2007).

Os resultados obtidos na avaliação das propriedades de reidratação pela sua capacidade de intumescimento (CI) (Tabela 13) demonstraram que o aumento MD influenciou no aumento da capacidade de intumescimento de forma diretamente proporcional igualmente ocorreu com o índice de solubilidade. Os valores do índice de solubilidade e capacidade de intumescimento foram semelhantes ao encontrado nos estudos do extrato microencapsulado do co-produto das amêndoas do cupuaçu (COSTA et al., 2018) e de microencapsulação dos polifenóis do bagaço de azeitona (PAINI et al., 2015).

O tamanho da partícula é uma das propriedades físicas mais importantes a ser analisada. Este controla inúmeras propriedades importantes como óticas, viscosidade, velocidade de sedimentação, dentre outras. As três formulações apresentaram tamanhos de partícula menores que  $1\mu\text{m}$  (Tabela 14). Esses tamanhos tornam o produto altamente solúvel, por outro lado, torna-os também mais suscetível a oxidação. O tamanho das micropartículas está relacionado com a quantidade de adjuvante, as micropartículas com menor proporção de material de parede apresentaram uma pequena diminuição no diâmetro médio (OLIVEIRA & PETROVICK, 2010).

A formulação que apresentou menor tamanho foi EM 7,5% MD, já o maior tamanho foi para EM 5% MD. Desta forma inferir-se que a concentração de MD influenciou na diminuição do tamanho de partícula em EM 7,5% MD em relação a EM 5% MD, e evidenciou que um aumento de 2,5% de MD foi o suficiente para obtenção do menor tamanho de partícula, pois reduziu em quase a metade o tamanho em relação a EM 5% MD (Tabela 14).

Porém, a formulação EM 10% MD apresentou tamanho maior que EM 7,5% MD e menor que EM 5% MD, e foi demonstrado que mesmo que o menor tamanho não tenha sido da formulação com maior concentração de MD ainda assim, o aumento

de MD influenciou na diminuição do tamanho de partícula. No estudo de microencapsulação dos polifenóis do bagaço de azeitona utilizando MD, foi observado que a menor concentração de MD ocasionou no menor tamanho (PAINI et al., 2015).

O potencial Zeta é um indicador da carga elétrica total da superfície, podendo corresponder à dissociação de grupos funcionais na superfície da partícula ou pela presença de íons ou moléculas iônicas no meio aquoso, seu valor pode ser positivo ou negativo, dependendo das características da superfície das partículas (SCHAFFAZICK et al., 2003). Conforme os valores obtidos (Tabela 14), as três formulações foram consideradas moderadamente estáveis, e evidenciado que as partículas carregadas de EM se repeliram umas às outras e a força existente superou a tendência natural à agregação (SCHAFFAZICK et al., 2003). Quanto maior o potencial Zeta, mais estável é a suspensão.

Em comparação ao valor de EM 5% MD e EM 7,5% MD foi observado que o aumento de MD proporcionou um aumento da carga, e tornou essa mais estável que as outras formulações. Entretanto, EM 10% MD foi a formulação que apresentou menor valor.

O índice de polidispersidade (PDI) fornece informações sobre o grau de homogeneidade de uma amostra. Quanto menor o seu valor, maior será a homogeneidade do diâmetro de partículas no sistema e vice-versa (LIU & WU, 2010). Valores menores que 0,2 são considerados de baixa polidispersividade ou monodispersas e valores acima de 0,4 consideram-se polidispersas. O ideal é que o PDI seja o menos disperso possível para que a variação nas propriedades seja a menor possível.

As três formulações foram consideradas polidispersas pois apresentaram PDI elevado (Tabela 14), caracterizadas como heterogênea. O menor valor de PDI foi para EM 7,5% MD igualmente ocorrido na análise do tamanho de partícula, e sugere que o aumento de MD influenciou na diminuição do PDI. Porém, o maior valor de PDI foi para EM 10% MD diferente do ocorrido na análise do tamanho de partícula, que apresentou maior tamanho para EM 5% MD. Entretanto, os valores foram bem próximos, entre 0,428-0,489 (Tabela 14).

Os valores obtidos foram semelhantes ao encontrado para o extrato microencapsulado do co-produto das amêndoas do cupuaçu (COSTA et al., 2018) e para o extrato microencapsulado do co-produto das amêndoas do cacau (GABBAY

ALVES et al., 2017). Os melhores resultados obtidos em relação ao PDI, tamanho de partícula e carga foram para a formulação EM 7,5% MD.

Nesta perspectiva, a qualidade dos produtos obtidos é dependente das condições de operação do *spray dryer* e são consideradas adequadas partículas que não tenham sofrido expansão e rachaduras em sua estrutura (FAZAELI et al., 2012).

As fotomicrografias das três formulações apresentaram morfologias semelhantes, com baixa deformação de suas estruturas. Suas superfícies externas apresentaram-se sem fissuras e assim não levou a ruptura, o que é fundamental para garantir a maior proteção do ativo. Em geral, exibiram formas esféricas regular, embora algumas arredondadas, sem forte aglomeração (Figura 32), que pode ser em razão da repulsão das cargas negativas, com tamanhos variados, algumas partículas exibiram superfícies com invaginações, provavelmente atribuídas ao enrugamento sofrido pelas partículas durante a secagem e resfriamento no processo de *spray drying* (PELEG, 2005; SAÉNZ et al., 2009). Essa rugosidade vai depender da velocidade de secagem e das propriedades viscoelásticas do material de parede (BOTREL et al., 2012; BOTREL et al., 2014). As partículas evidenciaram heterogeneidade e corroboram os resultados do índice de polidispersão.

Características similares foram observados nos estudos de COSTA et al (2018) e GABBAY ALVES et al (2017) utilizando a maltodextrina como adjuvante de secagem. Porém, no estudo de Paini et al (2015) foi observado deformação estrutural e forte aglomeração nas micropartículas obtidas utilizando a maltodextrina.

O tipo de material de parede e a sua quantidade em relação ao ativo são alguns dos principais fatores que influenciam o processo de microencapsulação dos compostos bioativos em relação à proteção, estabilidade e aplicação do produto (ROSENBERG, 1990).

PAINI et al (2015) em seu estudo que avaliou os parâmetros para microencapsulação dos compostos fenólicos do bagaço de azeitona obteve o maior rendimento de microencapsulação nas condições, temperatura de entrada 130°, fluxo 10mL/min e MD 10%. GABBAY ALVES et al (2017) realizaram o estudo de otimização para microencapsulação do co-produto das amêndoas do cacau utilizando a metodologia de superfície de resposta e obteve condições ótimas com temperatura de entrada 170°C, fluxo 2,5 mL/min e MD 5,0%. COSTA et al (2018) realizaram o estudo de otimização para microencapsulação do co-produto das amêndoas do cupuaçu utilizando a metodologia de superfície de resposta e obteve condições ótimas

com temperatura de entrada 170°C, fluxo 5,0 mL/min e MD 5,0%. Neste estudo, o maior rendimento de microencapsulação foi nas condições de temperatura de entrada de 100°C, fluxo 7,5 mL/min e MD 5%.

Assim, sugere-se que apenas 5% do agente microencapsulante foi suficiente para proteger os compostos bioativos de grandes perdas quando submetidos ao processo de secagem e manter sua atividade de interesse, com isso foi possível obter o extrato microencapsulado rico em antioxidantes naturais a partir do co-produto das amêndoas do tucumã.

Neste sentido, os resultados encontrados demonstraram que os extratos apresentaram boa estabilidade e conservação. Os valores encontrados para os compostos fenólicos e atividade antioxidante foram promissores. Assim, infere-se que estes servem de base para estudos futuros que busquem novas fontes naturais de compostos com esta propriedade e sugere que o extrato do co-produto das amêndoas do tucumã pode ser reaproveitado e contribuir para a sustentabilidade.

A terceira etapa do estudo consistiu em obter e avaliar os parâmetros físico-químico do extrato lipofílico e do extrato lipofílico microencapsulado por *spray dryer* utilizando como agentes encapsulantes a maltodextrina e a goma arábica.

Nesta ocasião utilizou-se como o líquido extrator o óleo de palma com o intuito realizar uma nova alternativa de extração de substâncias lipofílicas baseado nos princípios da química verde. O objetivo do processo foi a extração de carotenoides a partir do pó do co-produto das amêndoas do tucumã. É importante ressaltar que pela primeira vez foi realizado a obtenção do extrato lipofílico utilizando o óleo de palma como líquido extrator e do extrato lipofílico microencapsulado a partir do co-produto das amêndoas do tucumã e que todas as análises realizadas nos extratos obtidos foram realizadas também no óleo de palma.

Inicialmente foram avaliados os parâmetros densidade, pH e índice de acidez do extrato lipofílico. O valor encontrado na determinação da densidade (Tabela 15) foi semelhante ao encontrado geralmente para tinturas e está dentro dos limites estabelecidos na literatura e sugere que EL apresenta boa estabilidade e conservação.

O potencial de hidrogeniônico influencia na estabilidade de formulações fitoterápicas, cosmética e alimentícia (MACIEL et al, 2006). Os carotenoides são estáveis na maioria dos alimentos na faixa de pH de 3,0 a 7,0 (RIBEIRO & SERAVALLI, 2004). O valor encontrado (Tabela 15) está dentro dos limites

estabelecidos como referência e apresenta característica de um produto ácido com boa conservação (EVANGELISTA, 2008).

A acidez é expressa pelos ácidos orgânicos presentes nos alimentos e influenciam no sabor, odor, cor, estabilidade e manutenção da qualidade (produtos mais ácidos são naturalmente mais estáveis quanto à deterioração) (CARVALHO, 2002). Entre os fatores que podem influenciar no processo de degradação de carotenoides encontra-se a acidez (DIAS et al., 2014). O valor obtido de acidez titulável (Tabela 15) encontra-se dentro dos limites estabelecido e sugere boa estabilidade e ausência de deterioração por bactérias (CARVALHO, 2002), além de corroborar o resultado do pH. Assim, os valores encontrados de acidez e pH foram de fundamental importância para os compostos de interesse do estudo.

Foram obtidos espectros na região do infravermelho para o extrato lipofílico, o lipofílico microencapsulado e mistura binária. As bandas de absorção obtidas no EL podem ser atribuídas principalmente a grupos hidrocarbonetos observados nos tipos de ligação C-H, C-C, C=C, CH<sub>3</sub> e banda referente ao estiramento de grupos característicos na estrutura de carotenoides (Figura 33, Tabela 16) (SILVERSTEIN & WEBSTER, 2007). O espectro do extrato lipofílico microencapsulado apresentou além das bandas características de hidrocarbonetos presentes em EL, bandas características de grupos funcionais presentes no agente encapsulante. O que pode indicar a interação entre o extrato lipofílico e o agente encapsulante (Figura 33, Tabela 16).

Com isso, foi possível detectar alterações significativas na forma e posição das bandas de absorção dos diferentes grupos funcionais do extrato lipofílico microencapsulado ou das moléculas livres (SPRICIGO et al., 2008). Os espectros obtidos demonstraram que as mudanças ocorridas não interferiram no perfil dos extratos ao garantir a permanência das bandas atribuídas a eles.

Nesta perspectiva, o FT-IR contribuiu como uma técnica de caracterização estrutural com intuito de confirmar a presença dos grupos presentes na estrutura de carotenoides nos extratos lipofílico e lipofílico microencapsulado. Além de sugerir que não houve interferência do agente encapsulante sobre a disponibilidade dos compostos.

A termogravimetria permite conhecer detalhadamente as alterações que o aquecimento pode causar na massa das substâncias, como modificações da estrutura

molecular e ainda estabelecer a faixa de temperatura em que as mesmas sofrem processos de decomposição.

O estudo termogravimétrico (TG) para EL, ELM e mistura binária ocorreu em etapa única (Figura 34, Tabela 17) e demonstrou que houve degradação e/ou volatilização dos constituintes. Para o EL a perda de massa foi de 98% relacionado a matéria orgânica. Já para o ELM a perda de massa foi 70% o que pode estar relacionado aos polímeros utilizados pois apresentou perda de massa em menor quantidade que EL e em temperaturas diferentes. A mistura binária apresentou perda de massa de em temperaturas semelhantes a ELM, o que sugere que o processo de microencapsulação foi eficiente.

A calorimetria exploratória diferencial (DSC) também têm sido utilizadas para estudar as interações intermoleculares entre fármacos e adjuvantes, tornando-se de grande utilidade em estudos de pré-formulação. Assim, podem ser obtidas informações sobre possíveis incompatibilidades físicas ou químicas entre o fármaco e os adjuvantes. Também é possível investigar reações químicas, como polimerização, despolimerização e degradação ou erosão do polímero (SHAFFAZICK et al., 2003).

Os resultados encontrados no estudo termoanalítico por DSC (Figura 35, Tabela 18), demonstraram que o extrato lipofílico apresentou apenas um evento endotérmico relacionado a fusão dos constituintes do extrato com pico de temperatura máxima de fusão em 38,88°C. A mistura binária apresentou dois eventos (um endotérmico e um exotérmico). O primeiro endotérmico relacionado ao ponto de fusão dos polímeros, com pico de temperatura máxima de fusão em 53,70°C e o segundo relacionado a degradação dos constituintes, com temperatura inicial em 210°C. Já o extrato lipofílico microencapsulado apresentou dois eventos endotérmicos, o primeiro relacionado ao ponto de fusão, com o pico de temperatura máxima de fusão em 65,47°C e o segundo relacionado a perda de massa (vaporização de água e compostos voláteis) e decomposição dos compostos e um evento exotérmico relacionado a degradação dos materiais, com temperatura de inicial em 246°C.

Os resultados encontrados na análise termoanalítica foram relevantes para a avaliação da estabilidade do produto intermediário além de fornecerem dados sobre a perda de umidade, demais compostos voláteis e a temperatura máxima de estabilidade (COSTA et al., 2013). Foi evidenciado também que não houve alterações de forma significativas no comportamento entre o extrato lipofílico e o extrato lipofílico

microencapsulado. Assim, sugere-se que houve interação entre os constituintes do extrato e o agente encapsulante e que o processo de microencapsulação foi eficiente.

Nesta perspectiva, os carotenoides merecem grande destaque na alimentação humana como fonte de vitamina A e pela sua ação antioxidante que está relacionada com a diminuição de riscos de doenças degenerativas (como as cardiovasculares, câncer e obesidade, dentre outras) (VERONEZI & JORGE, 2011).

Os carotenoides totais para o extrato lipofílico e lipofílico microencapsulado foram determinados por espectrofotometria. Os valores encontrados os dois extratos foram relevantes para o estudo pois, a amostra se trata de um co-produto (Tabela 19). Vários estudos apontam que a polpa e a casca do fruto do tucumã são ricas em carotenoides (GARCIA, 2012; SAGRILLO et al, 2015). Porém, são poucos os estudos que relatam o conteúdo de carotenoides em amêndoas do fruto. Pessoa (2016) avaliou a composição nutricional e bioativa das amêndoas do tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart) e valor encontrado de carotenoides totais utilizando solventes orgânicos foi inferior ao deste estudo (1,44 µg). A literatura indica que a coloração de frutos que variam do amarelo ao vermelho geralmente está associada à presença de carotenoides e que as sementes e amêndoa não são fontes potenciais desse fitoquímico (CREPALDI et al., 2001).

Os resultados tornam-se relevantes tendo em vista que evidências epidemiológicas associam altos níveis plasmáticos de β-caroteno e outros carotenoides com a redução do risco de câncer e doenças cardiovasculares (FLAKELAR et al., 2017).

Goula et al (2017) avaliaram a capacidade de extração de carotenoides em casca de romã utilizando óleos vegetais (óleo de soja e girassol) como solvente extrator e os valores encontrados foram de 0,6134 e 0,6715 mg de carotenoides/100g.

Oliveira (2018) obteve em seu estudo que avaliou o extrato lipofílico dos resíduos de ucuúba utilizando o óleo de soja valor de carotenoides totais de 0,1759 mg de carotenoides/100 g.

Neste sentido, as propriedades antioxidantes dos carotenóides fundamentam-se na estrutura destes compostos, principalmente no sistema de duplas ligações conjugadas, também responsáveis pela cor desses pigmentos, tornando possível o sequestro de radicais livres, a modulação do metabolismo do carcinoma, inibição da proliferação celular, aumento da diferenciação celular via retinóides, estimulação da comunicação entre as células, fortalecimento imunológico, a redução do risco de

catarata e a proteção da pele causada por danos da radiação UV (SAN & YILDIRIM, 2010; KLJAK & GRBEŠA, 2015).

Na avaliação da atividade antioxidante do extrato lipofílico e do extrato lipofílico microencapsulado os valores encontrados para os dois métodos utilizados corroboram os resultados da determinação de carotenoides total. Esses resultados (Tabela 20) são promissores a considerar o método alternativo de extração utilizado e o tipo de amostra em estudo. Assim, pode-se inferir que o extrato lipofílico e o extrato lipofílico microencapsulado apresentaram teores significativos de carotenoides totais e boa atividade antioxidante pelos dois métodos utilizados e que o processo de secagem não afetou as propriedades antioxidantes do extrato microencapsulado pois os valores encontrados foram bem próximos.

Após a realização do processo de microencapsulação por *spray dryer*, os parâmetros rendimento de secagem e rendimento de microencapsulação são importantes de serem avaliados a fim de verificar a eficiência do processo. Neste sentido, na análise do rendimento de secagem o valor obtido foi inferior a 20% (Tabela 21), igualmente observado para a formulação do extrato hidroetanólico microencapsulado com 5% do agente encapsulante maltodextrina. Assim, o acréscimo do adjuvante goma arábica não influenciou no aumento do rendimento final.

Vários fatores podem influenciar no rendimento secagem, por exemplo, às perdas do pó durante a secagem que normalmente ocorrem devido à aderência das partículas na parede da câmara de secagem ou devido as partículas mais finas serem levadas diretamente para o filtro do secador, não sendo recolhidas no coletor (SAMPAIO, 2012). Além disso, a composição do extrato microencapsulado em relação a açúcares e lipídeos também podem ter interferido na recuperação do pó, diminuindo o rendimento final (FANG & BHANDARI, 2011; SAMPAIO, 2012). Assim, pode-se considerar que não houve uma eficiência no rendimento de secagem.

Já para o rendimento de microencapsulação o percentual encontrado foi superior a 70% (Tabela 21), semelhante ao encontrado para o rendimento de microencapsulação dos compostos fenólicos no extrato hidroetanólico microencapsulado. Os carotenoides podem sofrer oxidação na presença, de luz, calor e compostos pró-antioxidantes (RIBEIRO & SERAVALLI, 2004). Agentes como calor, ácidos, luz, oxigênio e enzimas como lipoxigenase provocam alterações nos carotenoides, resultam na isomerização, diminuição da cor e perda da atividade pró-vitamina A (MELÉNDEZ-MARTÍNEZ et al., 2004).

Nesta perspectiva, sugere-se que a temperatura utilizada no processo de secagem foi suficiente e não degradou os carotenoides. Diferentemente do resultado de rendimento de secagem, houve eficiência no processo de microencapsulação, pois, mais de 70% dos carotenoides se mantiveram na formulação após a secagem.

Diante disso, o teor de umidade residual é um parâmetro importante a ser determinado nas formas farmacêuticas sólidas, uma vez que altos teores de umidade podem favorecer o crescimento microbiológico e a degradação química de constituintes reduzindo sua atividade biológica (SAMPAIO, 2012).

A umidade do produto final de secagem é determinada pela temperatura de saída, que por sua vez é dependente da temperatura de entrada e influencia no tamanho de partícula e diferenças morfológicas (OLIVEIRA & PETROVICK, 2010).

O valor encontrado (Tabela 22) encontra-se dentro do estabelecido de 14% e indica que as condições de operação de secagem foram suficientes para a evaporação da água (FAZAELI et al., 2012) e demonstrou que o uso dos adjuvantes prática muito comum no âmbito da secagem por *spray drying* influenciaram no teor de umidade residual (SAMPAIO, 2012). Porém, o valor foi superior ao encontrado para a formulação com maior concentração de MD no extrato hidroetanólico microencapsulado. O acréscimo do adjuvante goma arábica pode ter influenciado no aumento do teor de umidade.

A atividade de água ( $A_w$ ) afeta a capacidade de processamento, propriedades de manuseamento e estabilidade do pó (FIORDA et al., 2013). A formulação apresentou valor de  $A_w$  inferior a 0,3 (Tabela 22), indício de baixa quantidade de água livre nas amostras, o que conseqüentemente pode ser favorável para a estabilidade durante o armazenamento do extrato microencapsulado (TONON et al., 2009). Esse resultado foi semelhante ao encontrado para a formulação com menor concentração do adjuvante maltodextrina do extrato hidroetanólico microencapsulado. Com isso infere-se que o adjuvante goma arábica não teve influência no valor encontrado para atividade de água. Além de diminuir o risco de contaminação microbiana, pois um valor de atividade de água inferior a 0,5 pode evitar crescimento microbiano (FIORDA et al., 2013).

Na avaliação das propriedades de reidratação foram avaliadas a capacidade de intumescimento e índice de absorção de água. Diante disso, os carotenoides são moléculas lipossolúveis. São insolúveis em água, exceto quando formam complexo com proteínas (carotenoproteínas). O valor encontrado para o índice de solubilidade

em água (IS) e capacidade de intumescimento (CI) (Tabela 22) encontram-se dentro dos parâmetros desejáveis e podem estar relacionados as características de hidrofiliabilidade dos agentes encapsulantes utilizados. Os dados obtidos foram semelhantes ao encontrado para a formulação com 7,5% do extrato hidroetanólico microencapsulado, o que pode estar relacionado ao acréscimo do adjuvante goma arábica.

O tamanho da partícula controla inúmeras propriedades importantes como óticas, viscosidade, velocidade de sedimentação, dentre outras. O tamanho das micropartículas está relacionado com a quantidade de adjuvante. Micropartículas com menor proporção de material de parede apresentam uma pequena diminuição no diâmetro médio (OLIVEIRA & PETROVICK, 2010). O valor encontrado do tamanho de partícula de 1,094  $\mu\text{m}$  (Tabela 23), é considerado adequado para micropartículas e para assegurar a estabilidade da formulação. Neste sentido, o tamanho das partículas, a carga e sua distribuição são muito importantes e influenciam significativamente na aparência, textura, estabilidade e, no sabor dos alimentos (GOYAL et al., 2015).

O índice de polidispersidade (PDI) forneceu informações sobre o grau de homogeneidade da formulação. O valor encontrado foi considerado alto (Tabela 23) e superior ao encontrado para as três formulações do extrato hidroetanólico microencapsulado, e ainda, caracterizou a amostra como polidispersa e heterogênea e com isso, sugere uma maior variação nas suas propriedades, principalmente na solubilização das partículas em matriz alimentícia (LIU & WU, 2010). O valor obtido para a carga elétrica total (Tabela 23), considera a formulação moderadamente estável e evidenciou que as partículas carregadas de ELM se repeliram umas às outras, assim a força existente superou a tendência natural à agregação (SCHAFFAZICK et al., 2003). O valor foi inferior ao obtido para as três formulações do extrato hidroetanólico microencapsulado. A inserção da goma arábica pode ter influenciado no resultado.

## 6 CONCLUSÕES

Através da caracterização físico-química por espectroscopia na região do infravermelho, termogravimetria e a composição nutricional do pó do co-produto das amêndoas do tucumã foi possível obter informações em relação a grupos funcionais característicos de compostos fenólicos, estabilidade do pó e teores significativos de macronutrientes como fibras, proteínas, lipídeos e principalmente carboidratos.

A partir da caracterização física e físico-química do extrato hidroetanólico, extrato lipofílico e extrato microencapsulado foi possível obter parâmetros de controle de qualidade conforme especificações farmacopeicas. A espectroscopia na região do infravermelho possibilitou sugerir a presença de grupos funcionais característicos de compostos fenólicos, entre eles ácidos fenólicos (extrato hidroetanólico) e carotenoides (extrato lipofílico) e que não houve degradação nem interferência dos agentes encapsulantes sobre os compostos de interesse. O comportamento termogravimétrico possibilitou fornecer dados relevantes acerca da estabilidade térmica dos constituintes desses extratos.

Na análise morfológica por microscopia eletrônica de varredura foi observado que as formulações obtidas a partir do extrato hidroetanólico microencapsulado exibiram formas esféricas, algumas arredondadas, sem forte aglomeração e tamanhos variados.

Através da análise espectrofotométrica foram obtidos valores promissores de compostos fenólicos como polifenóis totais, flavonoides totais e taninos condensados (extrato hidroetanólico e extrato hidroetanólico microencapsulado) e carotenoides totais (extrato lipofílico e extrato lipofílico microencapsulado). A cromatografia líquida de ultra-alta performance possibilitou identificar a presença de dois importantes grupos de ácidos fenólicos (ácido gálico e ácido cafeico) nos extratos (hidroetanólico e hidroetanólico microencapsulado).

Os extratos apresentaram boa atividade antioxidante pelos dois métodos avaliados DPPH e ABTS (extrato hidroetanólico e extrato hidroetanólico microencapsulado) e ABTS e sistema  $\beta$ -caroteno/ácido linoleico (extrato lipofílico e extrato lipofílico microencapsulado). Portanto, os resultados mostraram boa utilidade do co-produto do tucumã na forma de micropartículas rica em compostos antioxidantes, que podem ser adicionados em pães e exploradas como alimento funcional.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDALLA, A. E. M. et al. **Egyptian mango by-product. Compositional quality of mango seed kernel.** Food Chemistry, 103(4), pp. 1134-1140, 2007.
- ABDALLA, A.L.; SILVA FILHO, J.C.; GODOI, A.R. et al. **Utilização de subprodutos da indústria de biodiesel na alimentação de ruminantes.** Revista Brasileira de Zootecnia, Viçosa, v.37, p.260-258, 2008.
- ABE, L. T.I.; LAJOLO, F. M.; GENOVESE, M. I. **Comparison of phenol content and antioxidant capacity of nuts.** Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, v. 30, p. 254-259, 2010.
- ADA. American Dietetic Association. **Position of the American Dietetic Association: functional foods**, 1999.
- AERTS, T. J.; BARRY, T. N.; MCNABB, W.C. **Polyphenols and agriculture: Beneficial effects of proanthocyanidins in forages.** Agriculture Ecosystems & Environment v. 75, v. 1, p.1-12,1999.
- AGOSTINI-COSTA, T. S.; GARRUTI, D. S.; LIMA, L.; FREIRE, S.; ABREU, F. A. P.; FEITOSA, T. **Avaliação de metodologias para determinação de taninos no suco de caju.** Boletim CEPPA, Curitiba, v. 17, n. 2, p. 167-176, 1999.
- AHMED M, AKTER MS, LEE JC, EUN JB. **Encapsulation by spray drying of bioactive components, physicochemical and morphological properties from purple sweet potato.** LWT Food Sci Technol, v. 43, n.13, p. 7–12, 2010.
- AHMAD, S. M. E ALI SIAHSAR, B. **Analogy of physicochemical attributes of two grape seeds cultivar.** Ciencia e Investigación Agraria, v. 38, n. 2, p. 291-301, 2011.
- AHMAD-QASEM M. H. et al. **Influence of olive leaf processing on the bioaccessibility of bioactive polyphenols.** Journal Agricultural Food Chemistry, v. 62, n. 26, p. 6190–6198, 2014.
- AIZPURUA-OLAIZOLA, O., NAVARRO, P., VALLEJO, A., OLIVARES, M., ETXEBARRIA, N., USOBIAGA, A. **Microencapsulation and storage stability of polyphenols from *Vitis vinifera* grape wastes.** Food Chem. v. 190, p. 614–621, 2016.

AJILA, R. et al. **Free radical scavenging capacity and antioxidant activity of selected plant species from the Canadian prairies.** Food Chemistry, v. 84, p. 551-562, 2008.

AJILA, C.M.; RAO, L. J.; RAO, U.J.S. P. **Characterization of bioactive compounds from raw and ripe *Mangifera indica* L. peel extracts.** Food and Chemical Toxicology, v. 48, p. 3406–3411, 2010.

ALMEIDA, J.S.; SANTOS NETO, D.S.; PAIVA, K.S.L. et al. **Utilização de subprodutos de frutas na alimentação animal.** Revista Eletrônica Nutritime, v.11, n.3, p.3430– 3443, 2014.

ALMEIDA, I. F. et al. **Characterization of an antioxidant surfactant-free topical formulation containing *Castanea sativa* leaf extract.** Drug Development and Industrial Pharmacy, v. 62, p. 144-15, 2013.

ALIAKBARIAN, B., CASAZZA, A.A., PEREGO, P. **Valorization of olive oil solid waste using high pressure–high temperature reactor.** Food Chem. p.128, p. 704–710, 2011.

ALINKEEL, R et al. **The dietary bioflavonóide, quercentin, selectively induces apoptosis of prostate câncer cells by down-regulating the expression. Of heat shock protein 90.** National Institute of Health Prostate, v.68, p. 1773-1789,2008.

ALVES, C.Q, BRANDÃO, H.N, DAVID, J.M, DAVID, J.P, LIMA, L.S. **Avaliação da atividade antioxidante de flavonóides.** Diálogos e ciência – Revista da rede ensino FTC, v. 5, n. 12, p.78, 2007.

ALVES, T.V.G. **Obtenção e caracterização de hidrogóéis de poliacrilamida-cometilcelulose como sistemas carreadores de cloridrato de propranolol.** Dissertação mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciências Farmacêuticas. Universidade Federal do Pará, 2011.

ALVES, T.V.G. **Aproveitamento de resíduo agroindustrial: micropartículas contendo extrato de cacau (*Theobroma cacao* L.) padronizadas em antioxidantes naturais para suplementação da dieta de tambaqui (*Colossoma macropomum*).**

Tese doutorado. Programa de Pós-Graduação em Inovação Farmacêutica. Universidade Federal do Pará, 2017.

ALVES, T.V.G.; COSTA, R.S.; ALIAKBARIAN, B.; CASAZZA, A. A.; PEREGO, P.; SILVA JÚNIOR, J.O.C.; RIBEIRO COSTA, R.M.; CONVERTI, A. **Microencapsulation of Theobroma cacao L. waste extract: optimization using response surface methodology.** Journal of Microencapsulation, vol. 34, n. 2, pag. 111–120, 2017.

ALVES, T.V.G.; COSTA, R.S.; ALIAKBARIAN, B.; CASAZZA, A. A.; PEREGO, P.; ARRUDA, M. S. P.; SILVA JÚNIOR, J.O.C.; CONVERTI, A.; RIBEIRO COSTA, R.M. **Bioactive compounds and antioxidant potential for polyphenol-rich cocoa extract obtained by agroindustrial residue.** Natural Product Research, 2017.

ALVES, T.V.G.; COSTA, R.S.; GOMES, A.T.A.; COSTA, C.E.F.; PEREGO, P.; SILVA JÚNIOR, J.O.C.; CONVERTI, A.; RIBEIRO COSTA, R.M. **Quality control of Amazonian cocoa (*Theobroma cacao L.*) by-products and microencapsulated extract by termal analysis.** Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. Springer, 2018.

Amazon oil industry. Disponível em: >  
[http://www.amazonoil.com.br/produtos/oleos/tucuma\\_polpa.htm](http://www.amazonoil.com.br/produtos/oleos/tucuma_polpa.htm). Acesso: 20 de junho 2018.

AMBRÓSIO, C.L.B.; CAMPOS, F.A.C.S.; FARO, Z.P. **Carotenóides como alternativa contra a hipovitaminose A.** Revista Brasileira de Nutrição, v. 19, p. 233-243, 2006.

AMIN, I.; NORAZAIDAH, Y.; HAINIDA, K.I.E. **Antioxidant activity and phenolic content of raw and blanched *Amaranthus* species.** Food Chemistry. v. 94, n.1, p. 47-52, 2006.

ANDERSEN, O.M.; JORDHEIM, M. **Chemistry of flavonoide-based colors in plant.** Comprehensive Natural Products II: Chemistry and Biology, v. 3, p. 547-614, 2010.

ANGELO PM, JORGE N. **Compostos fenólicos em alimentos** – Uma breve revisão. Revista do Instituto Adolfo Lutz, v. 66, n.1, p. 1-9, 2007.

ANDRADE, T de J. A. dos S et al. **Antioxidant properties and chemical composition of technical Cashew Nut Shell Liquid (tCNSL)**. Food Chemistry, Barking, v. 126, p. 1044-1048, 2011.

ANSON, R. **Microencapsulation: for enhanced textile performance**. Performance Apparel Markets, v. 12, n. 12, p. 21-39, 2005.

ANDRÉ, M.F. **Determinação de compostos fenólicos em extrato de carqueja empregando técnicas cromatográficas e eletroforéticas**. Universidade Estadual de Campinas Instituto de Química. 2014.

ANDRE.; A.C.G.M.; SILVA, A.P.F.; VASCONCELOS, E.M. **Caracterização físico-química do material vegetal e dos extratos de *cestrum laevigatum* schltdl (solanaceae)**. Cadernos de Graduação - Ciências Biológicas e da Saúde Fits. Maceió. v. 1. n.2, p. 11-19, maio 2013.

AOUADA, F. A.; CHIOU, B-S.; ORTS, W. J.; MATTOSO, L. H. C. **Physicochemical and morphological properties of poly(acrylamide) and methylcellulose hydrogels: Effects of monomer, crosslinker and polysaccharide compositions**. Polymer Engineering na Science. 2009.

AOAC International. **Official methods of analysis**. Gaithersburg: Published by AOAC International, 2, cap. 32, p.1-43, 1997.

APOSTOLIDES Z.; BALENTINE D.A.; HARBOWY M.E.; HARA Y.; WEISBURGER J.H.; **Inhibition of PhIP mutagenicity by catechins and by theaflavins and gallate esters**. Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis. vol. 389. p.167–172, 1997.

ARAÚJO, A. A. D. S.; MERCURI, L. P.; SEIXAS, S. R. S.; STORPIRTIS, S.; & MATOS, J. D. R. **Determinação dos teores de umidade e cinzas de amostras comerciais de guaraná utilizando métodos convencionais e análise térmica**. Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas. v. 42, n. 2, 2006.

ARRUDA, H. S.; PEREIRA, G. A.; PASTORE, G. M. **Oligosaccharide profile in Brazilian Cerrado fruit araticum (*Annona crassiflora* Mart.)**. LWT - Food Science and Technology, 2016.

AROGBA, S. S. **Mango (*Mangifera indica*) kernel: Chromatographic analysis of the tannin, and stability study of the associated polyphenol oxidase activity.** Journal Food Composition Analysis, 13(2), pp. 149-156, 2000.

ARARUNA, S. M.; SILVA, A. H.; CANUTO, K. M.; SILVEIRA, E. R.; LEAL, L. K. A. M. **Influence of process conditions on the physicochemical characteristics of cumaru (*Amburana cearensis*) powder produced by spray drying.** Brazilian Journal of Pharmacognosy, Curitiba, PR, v. 23, n. 1, p. 132-137, 2013.

ARAGÃO, A.B. **Caracterização bioquímica e centesimal das espécies *Astrocaryum vulgare* Mart. (tucumã) e *Endopleura uchi* (Huber) Cuatrec. (uxi) nativas da região Amazônica.** Dissertação mestrado. Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia, Universidade Estadual Paulista, 2013.

ARAÚJO, O. Amazonia em rede. Disponível <<https://amazonianarede.com.br/inocentado-pela-fvs-da-contaminacao-o-tucuma-volta-a-ser-consumido-em-parintins/>>. Acesso em: 20 de junho de 2018, 2015.

ARTS, M. J. T. J.; DALLINGA, J. S.; VOSS, H. P.; HAENEN, G. R. M. M.; BAST, A. **A new approach to assess the total antioxidant capacity using the TEAC assay.** Barking, Food Chemistry, v. 88, p. 567-570, 2004.

BACELAR-LIMA, C.G.; MENDOÇA, M.S.; BARBOSA, C.T.S. **Morfologia floral de uma população de tucumã, (*Astrocaryum aculeatum* G. Mey. *Arecaceae*) na Amazônia Central.** Acta Amazonica, v. 36, n. 4, p. 407-412, 2006.

BAE, G. U.; SEO, D. W.; KWON, H. K.; LEE, H. Y.; HONG, S.; LEE, Z. W.; HA, K. S.; LEE, H. W.; HAN, J. W. **Hydrogen Peroxide Activates p70<sup>S6k</sup> Signaling Pathway.** Journal Biological Chemistry, v. 274, p. 32596, 1999.

BHANDARI, B. R. et al. **A semi-empirical approach to optimize the quantity of drying AIDS required to spray dry sugar- rich foods.** Drying Technology, v. 15, p. 2509-2525, 1997.

BARBOSA, N. P., CONCEIÇÃO, E. C. **Alimentos com Potencial Aplicação em Cosméticos Naturais.** Revista de Processos Químicos. p. 127-131, 2016.

BARBOSA, W. L. R. **ALFAFITO: Alfarrábios de Fitoquímica**. Laboratório de Fitoquímica; Faculdade de Ciências Farmacêuticas. Universidade Federal do Pará (UFPA). Belém.

BARBETA, CM.; MAGINE, M.R. **Espectros eletromagnéticos na região do infravermelho: utilização na caracterização de novos materiais**. In: X Encontro Latino Americano de Iniciação Científica E VI Encontro Latino Americano de Pós-graduação. São José dos Campos. Universidade vale do Paraíba. v 13, p 304-307, 2006.

BAKOWSKA-BARCZK; KOLODZIEJCZYK. **Black currant polyphenols: their storage stability and microencapsulation**. Industrial Crops and Products, v.34, p. 3101-3109, 2011.

BARREIROS, A. L. B. S.; DAVID, J. P.; DE QUEIROZ, L. P.; DAVID, J. M. **A-type proanthocyanidin antioxidant from *Dioscorea lasiophylla***. *Phytochemistry*. v 55, p. 805-808, 2000.

BASTOS, D. H. M.; OLIVEIRA, D. M.; MATSUMOTO, R. L. T; CARVALHO, P. O.; RIBEIRO, M. L. *Med. Aromatic Plant Sci. Biotechnol.* 1, 37. 2007.

BATISTA, R.S.M.; ABREU, L.F.; DAMASCENO, F.S.; OLIVEIRA, C.F.; FARACO, W.W.; OLIVEIRA, M.S.P. **Determinação do teor de lipídios das amêndoas do tucumã-do-amazonas (*Astrocaryum aculeatum*) e do tucumã-do-Pará (*Astrocaryum vulgare*)**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa Amazônia Oriental, 2008.

BEMILLER, J.; WHISTLER, R. **Carboidratos. Química de los Alimentos**. Acribia ed. p.189-265, 2000.

BERINGHS, A.O. **Estratégias tecnológicas para Incorporação de microesferas contendo extrato padronizado de *Cecropia Glaziovii* Snethl obtido por turbo extração em sistemas carreadores multiparticulados**. Dissertação Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Farmácia. Universidade Federal de Santa Catarina, 2015.

BOBBIO, F.O.; BOBBIO, P.A. **Introdução à química de alimentos**. 3ª. Edição – São Paulo: Livraria Varela, 2003.

BOND, A. J.; MORRISON-SAUNDERS, A. **Re-evaluating Sustainability Assessment: Aligning the vision and the practice**. Environmental Impact Assessment Review, v. 31, n. 1, p. 1-7, 2011.

BONY, E. et al. **Awara (*Astrocaryum vulgare* Mart) pulp oil: Chemical characterization, and anti-inflammatory properties in a mice model of endotoxic shock and a rat model of pulmonary inflammation**. Fitoterapia, v. 83, n. 1, p. 33–43, 2012.

BORA, P.S.; NARAIN, N.; ROCHA, R. V. M.; DE OLIVEIRA MONTEIRO, A. C.; DE AZEVEDO MOREIRA, R. **Characterisation of the oil and protein fractions of tucuma (*Astrocaryum vulgare* Mart.) Fruit pulp and seed kernel**. Ciencia e Tecnologia de Alimentos. v. 3, n.2, p. 111-116, 2001.

BOTREL, D. A. et al. **Evaluation of spray drying conditions on properties of microencapsulated oregano essential oil**. International Journal of Food Science and Technology, v. 47, p.2289– 2296, 2012.

BOTREL, D. A. et al. **Influence of wall matrix systems on the properties of *spray-dried* microparticles containing fish oil**. Food Research International, v. 62, p. 344–352, 2014.

BOYD L.; BEVERIDGE, E.G. **Antimicrobial activity of some alkyl esters of gallic acid (3,4,5 trihydroxybenzoic acid) against esterichia cold NCTC 5933 with particular reference to n-propyl gallate**, Microbios v.120. p. 73–85, 1981.

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

BRASIL. **Regulamento técnico referente à informação nutricional complementar**. Portaria n. 27, de 13 de janeiro de 1998. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 16 jan. 1998.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Métodos Analíticos Físico-Químicos para Controle de Leite e Produtos Lácteos**. Instrução Normativa 68, 12/12/06. Brasília: Ministério da Agricultura, 2006.

BREWER, M.S. **Natural Antioxidants: Sources, Compounds, Mechanisms of Action, and Potential Applications**. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. v. 10, p. 221-247, 2011.

BROADHURST, R. B.; JONES, W. T. **Analysis of condensed tannins using acidified vanillin**. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 29, p. 788, 1978.

BROINIZI, P. R. B.; ANDRADE-WARTHA, E. R. S. DE; SILVA, A. M. O.; NOVOA, A. J. V.; TORRES, R. P.; AZEREDO, H. M. C.; ALVES, R. E.; MANCINI, J. **Evaluation of the Antioxidant Activity of Phenolic Compounds Naturally Contained in By-products of the Cashew Apple (*Anacardium occidentale* L.)** *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 27, 902, 2007.

BURIOL, L. **Composição química e atividade biológica de extrato oleoso de própolis: uma alternativa ao extrato etanólico**. *Química Nova*, Vol. 32, N. 2, p. 296-302, 2009.

BURATTO, A. P.; CARPES, S. T.; VECCHIA, P. D; LOSS, E. M. S.; APPELT, P. **Determinação da atividade antioxidante e antimicrobiana em castanha-do-pará (*Bertholletia excelsa*)**. *Revista Brasileira de Pesquisa em Alimentos, Campo Mourão (PR)*, 2011.

CASTRO, N., DURRIEU, V., RAYNAUD, C., ROUILLY, A. **Influence of DE-value on the physicochemical properties of maltodextrin for melt extrusion processes**. *Carbohydrate Polymer*, v. 144, p. 464–473, 2016.

CASTRO, R.J.S., SATO, H. H. **Synergistic effects of agroindustrial wastes on simultaneous production of protease and  $\alpha$ -amylase under solid state fermentation using a simplex centroid mixture design**. *Industrial Crops and Products*. v.49, p.813-821, 2013.

ÇAM, M.; İÇYER, N. İÇYER, N. C.; ERDOGAN, F. **Pomegranate peel phenolics: microencapsulation, storage stability and potential ingredient for functional food development.** LWT – Food Science and Technology, v. 55, p. 117-123, 2013.

CAETANO, A. C. S. MELO, E. ALMEIDA.; LIMA, V. L. A. G.; MACIEL, M. I. S.; ARAÚJO, C. R. **Extração de antioxidantes de resíduos agroindustriais de acerola.** Braz. J. Food Technol., v. 12, n. 2, p. 155-160, 2009.

CAO, X.Q.; VASSEN, R.; SCHWARTZ, S.; JUNGEN, W.; TIETZ, F.; STOEVER, D. **Spray-drying of ceramics for plasma-spray coating.** J Eur Ceram Soc v. 20, p 2433-2439. 2000.

CARMO, E. L.; FERNANDES, R. V. B.; BORGES, S. V. **Microencapsulação por spray drying, novos biopolímeros e aplicações na tecnologia de alimentos.** Journal of Chemical Engineering and Chemistry, v. 1, n. 2, p. 30–44, 2015.

CARVALHO, F. B. **Microencapsulação do extrato de *Arrabidaea chica* (humb. & bonpl.) b. verl. utilizando hidroxietilcelulose como material de parede: estudos de pré-formulação e atividade antifúngica.** Dissertação mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciências Farmacêuticas. Universidade Federal do Pará, 2018.

CARVALHO, J. E. U; ALVES, S. M.; NASCIMENTO, W. M. O.; MULLER, C. H. **Características físico-químicas de um tipo de bacuri (*Platonia insignis* Mart.) sem sementes.** Revista Brasileira de Fruticultura, v. 24, n. 2, p. 573-575, 2002.

CEREDA, M., VILPOUX, O. F. **Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas latino americanas.** São Paulo: Fundação Cargill, v.3, p. 711, 2003.

CHANG, Y. X.; YANG, J. J.; PAN, R. L.; CHANG, Q.; LIAO, Y. H. **Antihygroscopic effect of leucine on spray-dried herbal extract powders.** Powder Technology, Lausanne, v. 266, p. 388-395, nov. 2014.

CHEN, C.; TANG, H.; SUTCLIFFE, L. H.; BELTON, P. S. **Green Tea Polyphenols React with 1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl Free Radicals in the Bilayer of Liposomes: Direct Evidence from Electron Spin Resonance Studies.** Journal of Agricultural and Food Chemistry, v. 48, p. 5710-5714, 2000.

CHEN, A.Y., CHEN, Y.C.A. **A review of the dietary flavonoid, kaempferol on human health and câncer chemoprevention.** Food Chemistry, v.138, n. 4, p. 2099-2107, 2013.

CHEN, H.; ZHANG, Y.; ZHONG, Q. **Physical and antimicrobial properties of spray-dried zein–casein nanocapsules with co-encapsulated eugenol and thymol.** Journal of Food Engineering, Essex, v. 144, p. 93–102, 2015.

CHAVES, M.C.V.; GOUVEIA, J.P.G.; ALMEIDA, F.C.; LEITE, J. C.; SILVA, F.L.H. **Caracterização físico-química do suco da acerola.** Revista de Biologia e Ciências da Terra, v.4, n. 2, 2004.

CHAVES, M. H.; CITÓ, A. M. C. L.; LOPES, J. A. D.; COSTA, D. A.; OLIVEIRA, C. A. A.; COSTA, A. F.; BRITO JÚNIOR, F. E. M. **Fenóis totais, atividade antioxidante e constituintes químicos de extratos de *Anacardium occidentale L.*, Anacardiaceae.** Revista Brasileira de Farmacognosia, v. 20, n. 1, p. 106-112, 2008.

COLLINS, C. H.; BRAGA, G. I.; BONATO, P. S. **Fundamentos da cromatografia.** Campinas, 2006.

CONTRERAS-CALDERÓN, J. et al. **Antioxidant capacity, phenolic content and vitamin C in pulp, peel and seed from 24 exotic fruits from Colombia.** Food Research International, v. 44, p. 2047–2053, 2011.

CORREIA, B.R.; OLIVEIRA, R.L.; JAEGER, S.M.P.L. *et al.* **Consumo, digestibilidade e pH ruminal de novilhos submetidos a dietas com tortas oriundas da produção do biodiesel em substituição ao farelo de soja.** Arq. Bras. Med. Vet. Zootec., v.63, p.356-363, 2011.

COSTA, R.S.; OZELA, E.F.; BARBOSA, W.L.R.; PEREIRA, N.L.; SILVA JÚNIOR, J.O.C. **Caracterização física, química e físico-química do extrato seco por nebulização (spray-drying) de *Cynara scolymus L.* (Asteraceae).** Revista Brasileira de Farmácia, v.90, n. 3, p. 169-174, 2009.

COSTA, D. A.; CHAVES, M. H.; SILVA, W. C. S.; COSTA, C. L. S. **Constituintes químicos, fenóis totais e atividade antioxidante de *Sterculia striata* St. Hil. et.**

Naudin. *Acta Amazônica*, v. 40, n. 1, p. 207 – 212, 2010.

COSTA, R.S; CAMELO, S.R.P.; RIBEIRO COSTA, R.M.; BARBOSA, W. L. R.; VASCONCELOS F.; SILVA, J.O.C. **Physical, chemical and physico-chemical control of *Heliotropium indicum* Linn. Boraginaceae, powder and tincture.** *International Journal of Pharmaceutical Science and Research*, v. 2, n.7, p. 2211-2216, 2011.

COSTA, R.S. et al. **Investigation of thermal behavior of *Heliotropium indicum* L. lyophilized extract by TG and DSC.** *Journal Of Thermal Analysis And Calorimetry*, v. 111, n. 3, p.1959-1964, 2013.

COSTA, A. P. G. C.; CRUZ, F. G. G.; RUFINO, J. P. F.; FEIJÓ, J. DA C.; MELO, R. D. **Viabilidade econômica da farinha do resíduo de tucumã na alimentação de frangos de corte.** *Revista Agropecuária Técnica*, Areia-PB, v. 38, n. 4, p. 225-233, 2017.

COSTA, R.S. **Otimização do processo de microencapsulação do extrato do co-produto agroindustrial do cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) - padronizado em antioxidantes naturais visando o enriquecimento nutricional e funcional da multimistura.** Tese doutorado. Universidade Federal do Pará. Programa de Pós-Graduação em Inovação Farmacêutica, 2017.

COSTA, R.S.; TEIXEIRA, C.B.; ALVES, T.V.G.; RIBEIRO COSTA, R.M.; CASAZZA, A. A.; ALIAKBARIAN, B.; CONVERTI, A.; SILVA JÚNIOR, J.O.C.; PEREGO, P. **Optimization of spray drying conditions to microencapsulate cupuassu (*Theobroma grandiflorum*) seed by-product extract.** *Natural Product Research*, 2018.

CYMERYS, M. **Tucumã do Pará, in frutíferas e plantas uteis na vida Amazônica.** Editado por P. Shanley & G. Medina, p. 209-214. Belém: CIFOR, Imazon, 2005.

CREPALDI, I. C.; ALMEIDA-MURADIAN, L. B.; PENTEADO, M. D. C.; SALATINO, A. **Composição nutricional do fruto de licuri (*Syagrus Coronata* (Martius) Beccari).** *Revista Brasileira de Botânica*. v.24, n.2, p.155-159, 2001.

DAMASCENO, F.S.; BATISTA, R.S.M.; OLIVEIRA, C.F.; ABREU, L.F.; OLIVEIRA, M.S.P. **Caracterização Físico-Química da Polpa de Tucumãs do Bag da Embrapa Amazônia Oriental** (*Astrocaryum vulgare* Mart). Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa Amazônia Oriental, 2008.

DAVID, J. P.; BRANDÃO, H. N.; MEIRA, M.; DAVID, J. M.; DE QUEIROZ, L. P.; GIULIETTI, A. M.; BRANCO, A.; AGRA, M. de F. **Radical scavenging, antioxidant and cytotoxic activity of Brazilian Caatinga plants**. *Fitoterapia*. v. 78, p. 215-218, 2007.

DESAI, M.P., LABHASETWAR, V., AMIDON, G.L., LEVY, R.J. **Gastrointestinal uptake of biodegradable microparticles: effect of particle size**. *Pharm. Res.* V.13, p.1838–1845, 1996.

DESAI, K. G. H.; PARK, H. J. **Recent developments in microencapsulation of food ingredients**. *Drying Technology*, Abingdon, UK, v. 23, n. 7, p. 1361-1394, 2005.

DEGÁSPARI, C. H.; WASZCZYNSKYJ, N. **Propriedades antioxidantes de compostos fenólicos**. *Visão Acadêmica*, v. 5, p. 33-40, 2004.

DJERIDANE, A. et al. **Antioxidant activity of some Algerian medicinal plants extracts containing phenolic compounds**. *Food Chemistry*, v.97, n.4, p.654-60, 2006.

DIAS, Diogo Lopes. **"Nomenclatura dos fenóis"**; *Brasil Escola*. Disponível em <<https://brasilecola.uol.com.br/quimica/nomenclatura-dos-fenois.htm>>. Acesso em 20 de junho de 2018.

DIAS, M. G.; M. FILOMENA G.F.C.; CAMÕES.; OLIVEIRA, L. **Carotenoid stability in fruits, vegetables and working standards – Effect of storage temperature and time**. *Food Chemistry*. v. 156. P. 37-41, 2014.

DOBIÁŠ, P.; PAVLÍKOVÁ, P.; ADAM, M.; EISNER, A.; BEŇOVÁ, K.B. **Comparison of pressurized fluid and ultrasonic extraction methods for analysis of plant antioxidants and their antioxidant capacity**. *Central European Journal of Chemistry*, v.8, p. 87-95, 2010.

DONG, J.; LIU, Y.; LIANG, Z.; WANG, W. Investigation on ultrasound-assisted extraction of salvianolic acid B from *Salvia miltiorrhiza* root. **Ultrasonics Sonochemistry**, v.17, p. 61-65, 2010.

Diretriz da Sociedade Brasileira de Medicina do Esporte. **Modificações dietéticas, reposição hídrica, suplementos alimentares e drogas: comprovação de ação ergogênica e potenciais de riscos para a saúde**. Rev Bras Med Esporte, v. 9, p 4355, 2003.

DRUSCH, S.; REGIER, M.; BRUHN, M. **Recent advances in the microencapsulation of oils high in polyunsaturated fatty acids**. In: Novel Technologies in Food Science, Springer, v. 7, p. 159-181, 2012.

DUARTE-ALMEIDA, J.M.; SANTOS, R.J.; GENOVESE, M.I.; LAJOLO, F.M. **Avaliação da atividade antioxidante utilizando sistema  $\beta$ -caroteno/ácido linoléico e método de seqüestro de radicais DPPH**. Ciência e Tecnologia de Alimentos, v.26, n.2, p.446-452, 2006.

EFRAIM, P.; ALVES, A. B.; JARDIM, D. C. P. **Polifenóis em cacau e derivados: teores, fatores de variação e efeitos na saúde**. Brazilian Journal of Food Technology, Campinas, v. 14, n. 3. p. 181-201, 2011.

EVANGELSITA, J. **Tecnologia de alimentos**. São Paulo: Atheneu, 2008.

EVERETTI, J. D. et al. **Thorough study of reactivity of various compound classes toward the Folin-Ciocalteu reagent**. Journal of Agricultural and Food Chemistry, v. 58, n. 14, p. 8139-8144, 2010.

FAGUNDES, G. R.; YAMANISHI, O. K. **Características físicas e químicas de frutos de mamoeiro do grupo solo comercializado em 4 estabelecimentos de Brasília DF**. Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal, v.23, p.541-545, 2001.

FAGUNDES, R.L.M.; COSTA, Y.R. **Uso de alimentos funcionais na alimentação**. Higiene Alimentar. v.17.p.47, 2003.

FAMETRO.Faculdade Metropolitana da grande Fortaleza. Disponível em: <<http://www.tamcqa5.blogspot.com>>. Acesso em: 20 de junho de 2018.

FANG, Z.; BHANDARI, B. **Effect of spray drying and storage on the stability of bayberry polyphenols**. Food Chemistry, v. 129, p.1139–1147, 2011.

FANG, Z.; BHANDARI, B. **Encapsulation of polyphenols: a review**. Trends in Food Science & Technology, v. 21, n. 10, p. 510-523, 2010.

FARMACOPÉIA BRASILEIRA. 2ª ed. São Paulo: Indústria Gráfica Siqueira, p. 1265, 1959.

FARMACOPÉIA BRASILEIRA. 5ª ed. Brasília, Agência Nacional de Vigilância Sanitária, Vol. 1, p. 546, 2010.

FARIAS, M.R. **Avaliação da qualidade de matérias-primas vegetais**. In: SIMÕES, C.M.O.; SCHENKEL, E.P.; GOSMAN, G.; MELLO, J.C.P.; MENTZ, L.A.; PETROVICK, P.R. Farmacognosia: da planta ao medicamento. 4ª ed. Porto Alegre: UFSC, p. 263-288, 2004.

FÁVARO-TRINDADE, C. S.; SANTANA, A. S.; MONTERREY-QUINTERO, E. S.; TRINDADE, M. A.; NETTO, F. M. **The use of spray drying technology to reduce bitter taste of casein hydrolysate**. Food Hydrocolloids, Oxford, v. 24, n. 4, p. 336-340, 2010.

FAZAELI, M.; EMAM-DJOMEH, Z.; ASHTARI, A. K.; OMID, M. **Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder**. Food and Bioproducts Processing, Rugby, v. 90, n. 4, p. 667-675, 2012.

FERGUSON, L.R., HARRIS, P.J. Protection against cancer by wheat bran: role of dietary fibre and phytochemicals. *European Journal of Cancer Prevention*. v.8, n.1, p.17-25, 2006.

FERNANDES, M.S.; WANG, S.H.; ASCHERI, J.L.R.; OLIVEIRA, M.F.; COSTA, S.A.J. **Efeito da temperatura de extrusão na absorção de água, solubilidade e dispersibilidade da farinha pré-cozida de milho e soja (70:30)**. Ciência e Tecnologia de Alimentos, v.23, n.2, p. 234-239, 2003.

FERNÁNDEZ-GARCÍA, E.; CARVAJAL-LÉRIDA, IRENE.; JARÉN-GALÁN, M.; GARRIDO-FERNÁNDEZ, J.; PÉREZ-GÁLVEZ, A.; HORNERO-MÉNDEZ, D. **Carotenoids bioavailability from foods: From plant pigments to efficient biological activities**. Food Research International. v. 46. p. 438–450, 2012.

FERREIRA, E. S.; LUCIEN, V. G.; AMARAL, A. S.; SILVEIRA, C. S. **Physicochemical characterization of the fruit and oil extracted from tucuman (*Astrocaryum vulgare* Mart.)**. Alim. Nutr., Araraquara, v.19, n.4, p. 427-433, 2008.

FIORDA, F.A.; SOARES-JÚNIOR, M.S.; SILVA, F.A.; SOUTO, L.R.F.; GROSSMANN, M.V.E. **Farinha de bagaço de mandioca: aproveitamento de subproduto e comparação com fécula de mandioca**. Pesq. Agropec. Trop., Goiânia, v. 43, n. 4, p. 408-416, 2013.

FILHO, J. A. R.; CAMARÃO, A. P.; DE AZEVEDO, G. P. C. **Utilização da torta de amêndoa de dendê na alimentação de ruminantes**. Embrapa Amazônia Oriental, 2001.

FLAKELAR, C. L. A. **Rapid method for the simultaneous quantification of the major tocopherols, carotenoids, free and esterified sterols in canola (*Brassica napus*) oil using normal phase liquid chromatography**. Food Chemistry. v. 214, p. 147–155. 2017.

FONSECA, S. G. C. **Farmacotécnica de Fitoterápicos**. Disponível em: <<http://www.farmacotecnica.ufc.br/arquivos/fitoterápicos.pdf>. Acesso em: 30 de março de 2018, 2005.

FREITAS, L.A.P.; ANDRADE, T.C.; TEIXEIRA, C.C.C.; TACON, L.A.; TSUKADA, M. **Innovative applications of spray drying**. Advances in chemical engineering. Kerala, Editora: Transworld Research Network, Cap. 1, p.1-13, 2010.

FREITAS, B.F.; NAVES, M.M.V. **Composição química de nozes e sementes comestíveis e sua relação com a nutrição e saúde**. Revista de Nutrição, v 23, n.2, p.26979, 2010.

FUNARI, C.S.; FERRO, V. O. **Análise de própolis**. Ciência e Tecnologia de Alimentos. Campinas, v.26, n.1, p.171-178, 2006.

GALO, A. L.; COLOMBO, M. F. **Espectrofotometria de longo caminho óptico em espectrofotômetro de duplo-feixe convencional: uma alternativa simples para investigações de amostras com densidade óptica muito baixa.** Quimica Nova.v. 32, n. 2, p. 488-492, 2009.

GARCIA, L. F. M. **Caracterização, avaliação antioxidante e citotóxica dos extratos da polpa e da casca de tucumã (*Astrocaryum aculeatum*).** Dissertação mestrado. Programa de Pós-graduação em farmacologia. Universidade Federal de Santa Maria, 2012.

GARCIA-SALAS, P.; MORALES-SOTO, A.; SEGURA-CARRETERO, A.; FERNÁNDEZ-GUTIÉRREZ, A. **Phenolic-Compound-Extraction Systems for Fruit and Vegetable Samples.** Molecules, v. 15, p. 8813-8826, 2010.

GHARSALLAOUI, A.; ROUDOUT, G.; CHAMBIN, O.; VOILLEY, A.; SAUREL, R. **Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview.** Food Research International, Barking, v. 40, n 9, p. 1107-1121, 2007.

GIADA, M. L. R.; MANCINI FILHO, J. **Importância dos compostos fenólicos da dieta na promoção da saúde humana.** Ciências Biológicas e da Saúde, v.12, n. 4, p. 7-15, 2006.

GONÇALVES, A. E. D. S.; LAJOLO, F. M.; GENOVESE, M. I. **Chemical Composition and Antioxidant/Antidiabetic Potential of Brazilian Native Fruits and Commercial Frozen Pulps.** Journal of Agricultural and Food Chemistry, v. 58, n. 8, p. 4666-4674, 2010.

GONDIM, J.A.M., MOURA, MFV., DANTAS, A.S., MEDEIROS, R.L.S., SANTOS. K.M. **Centesimal composition and minerals in peels of fruits.** Food Science and Technology, v. 25, n.4, p. 825, 2005.

GOUVEIA, G.R.; MENDONÇA, D.R.B.; BRUNO.L.; MONTEIRO, J.B.R. **Os alimentos: Calorias, macronutrientes e micronutrientes.** Sociedade Brasileira de Diabetes. Manual do profissional. Cap 1, 2007.

GOULA, A. M.; VERVERE, M.; ADAMAPOULOU, A.; KADERIDES, K. **Green ultrasound-assisted extraction of carotenoids from pomegranate wastes using vegetable oil.** *Ultrasonics Sonochemistry*, v. 34, p. 821–830, 2017.

GUILHEME, M. R. **Desenvolvimento de hidrogéis superabsorventes para uso eficiente de água.** Tese de Doutorado. Departamento de Química, Universidade Estadual de Maringá, 2006.

GUINAZI, M.; MILAGRES, R. C. R. M.; PINHEIRO-SANT'ANA, H. M.; CHAVES, J. B. P. **Tocoferóis e tocotrienóis em óleos vegetais e ovos.** *Química Nova*, v. 32, p. 2098-2103, 2009.

GUEDES, A. M. M.; FRANÇA, L. F. CORRÊA, N. C. F. **Caracterização física e físico-química da polpa de Tucumã (*Astrocaryum vulgare Mart.*).** In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIAS DOS ALIMENTOS, Campinas. Anais.Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência dos Alimentos, 2005.

GUIZZO, P.L.; BREDDA, T.C.C.; SCARPA, M.V.C.; NAVARRO, F.F. **Controle de Qualidade e triagem fitoquímica da droga vegetal das folhas de *Morus nigra* L. (MORACEAE).** *Revista de Ciência Farmaceutica Básica e Aplicada*, v. 36, n.2, p. 259-265, 2015.

GOYAL, A.; SHARMA, V.; UPADHYAY, N.; SINGH, A.K.; ARORA, S.; LAL, D. et al. **Development of stable flaxseed oil emulsions as a potential delivery system of  $\omega$ -3 fatty acids.** *Journal Food Science Technology*, v. 52, p. 4256-4265, 2015.

HALLIWELL, B.; GUTTERIDGE, J. M. C.; CROSS, C. E. **Free radicals, antioxidants, and human disease: Where are we now?** *Journal Laboratory and Clinical Medicine*, v.119, p. 598-620, 1992.

HANDAYANI, A. D. **Extraction of astaxanthin from giant tiger (*Panaeus monodon*) shrimp waste using palm oil: Studies of extraction kinetics and thermodynamic.** *Bioresource Technology*, v. 99 p. 4414–4419. 2008.

HARBORNE, J. B.; WILLIAMS, C. A. **Advances in flavonoid research since 1992.** *Phytochemistry*, v. 55, p. 481-504, 2000.

HELDT, H. **Plant Biochemistry and Molecular Biology**. Beautiful biochemistry. University Press: Oxford, 1997.

HEIM, K. E.; TAGLIAFERRO, A. R.; BOBILYA, D. J. **Flavonoid antioxidants: chemistry, metabolism and structure-activity relationships**. The Journal of Nutritional Biochemistry, v. 13, p. 572-584, 2002.

HENRIQUEZ C, ALIAGA C, LISSI E. **Formation and decay of the ABTS derived radical cation: A comparison of different preparation procedures**. Int J Chem Kin, v. 34, n. 12, p. 659, 2002.

HIJO, A. A. C. T., COSTA, J. M. G., SILVA, E. K., AZEVEDO, V. M., YOSHIDA, M. I., BORGES, S. V. **Physical and thermal properties of oregano (*Origanum vulgare* L.) essential oil microparticles**. Journal of Food Process Engineering, Westport, v. 38, n. 1, p. 1-10, 2015.

HINKS, J.A. **A review of transmission electron microscopes with in situ ion irradiation**. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. Amsterdam, (267): 3652-3662. 2009.

IGALAVITHANA, A. D. et al. **Heavy metal immobilization and microbial community abundance by vegetable waste and pine cone biochar of agricultural soils**. Chemosphere. v.174, p. 593-603, 2017.

IGNAT, I.; VOLF, I.; POPA, V. I. **A critical review of methods for characterisation of polyphenolic compounds in fruits and vegetables**. Food Chemistry, v. n. 15, p. 1821-1835, 2011.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos Físico Químicos para Análises de Alimentos**, 3. Ed. digital, São Paulo: IAL, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS - IBAMA. **O neoextrativismo ou agroextrativismo**. Brasília. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/resex/textos/h12.htm>>. Acesso em 27/10/2018.

INADA, K. O. P. et al. **Screening of the chemical composition and occurring antioxidants in jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba*) and jussara (*Euterpe edulis*) fruits and their fractions.** Journal of Functional Foods, v. 17, p. 422–433, 2015.

JAHURUL, M.H.A., Z Aidul, I.S.M., GHAFoor, K., AL-JUHAIMI, F.Y., NYAM, K.-L., NORULAINI, N.A.N., SAHENA, F., MOHD OMAR, A.K. **Mango (*Mangifera indica* L.) by-products and their valuable components: a review.** Food Chem. v.183, p.173–80, 2015.

Jl, C. et al. **A Review of the Anaerobic Digestion of Fruit and Vegetable Waste.** Appl Biochem Biotechnol. p.1-17, 2017.

JOYE, I. J.; McCLEMENTS, D. J. **Biopolymer-based nanoparticles and microparticles: Fabrication, characterization, and application.** Current Opinion in Colloid and Interface Science, Amsterdam, v. 19, n. 5, p. 417-427, oct. 2014.

JÚNIOR, J.F. **Dendê: manejo e uso dos subprodutos e dos resíduos.** Embrapa Amazônia Oriental, 2006.

KAHN, F. **The genus *Astrocaryum* (Arecaceae).** Revista peruana de biología, v. 15, n. 11, p. 31–48, 2008.

KALLEL, F., DRISS, D., CHAARI, F., BELGHITH, L., BOUAZIZ, F., GHORBEL, R., CHAABOUNI, S.E. **Garlic (*Allium sativum* L.) husk waste as a potential source of phenolic compounds: Influence of extracting solvents on its antimicrobial and antioxidant properties.** Ind. Crops Prod.v. 62, p.34–41, 2014.

KERAMATI, H., SAIDI, M.H., ZABETIAN, M. **Stabilization of the suspension of zirconia microparticle using the nanoparticle halos mechanism: zeta potential effect.** J. Dispers. Sci. Technol. v. 37, p. 6–13, 2016.

KIM, M.K.; AHN, S.H.; LEE-KIM, Y.C. **Relationship of serum  $\alpha$ -tocopherol, carotenoids and retinol with the risk of breast cancer.** Nutr Res. v. 21, p. 797-809, 2001.

KISSEL, T.; MARETSCHKEK, S.; PACKHAUSER, C.; SCHNIEDERS, J.; SEIDEL, N. **Microencapsulation techniques for parenteral depot systems and their application in the pharmaceutical industry**. In: BENITA, S. *Microencapsulation: Methods and Industrial Applications*. 2ª edição. Boca Raton, CRC Press Taylor E Francis Group, p. 104, 2006.

KLJAK, K.; GRBEŠA, D. **Carotenoid content and antioxidant activity of hexane extracts from selected Croatian corn hybrids**. *Food Chemistry*. v.167, p. 402–408, 2015.

KRISHNAN, S.; KSHIRSAGAR, A. C.; SINGHAL, R. S. **The use of gum arabic and modified starch in the microencapsulation of a food flavoring agent**. *Carbohydrate Polymers*, Worcester, v. 62, p. 309-315, 2005.

KUANG, S. S.; OLIVEIRA, J. C.; CREAN, A. M. **Microencapsulation as a tool for incorporating bioactive ingredients into food**. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v. 50, n. 10, p. 1913-1918, 2010.

LAGHARI, A.H.; ALI MEMON, A.; MEMON, S.; NELOFAR, A.; KHAN, K. M. et al. **Determination of free phenolic acids and antioxidant capacity of methanolic extracts obtained from leaves and flowers of camel thorn (*Alhagi maurorum*)**. *Natural Product Research*, v.26, p.173-176, 2012.

LAI, H.M., CHENG, H.H. **Properties of pregelatinized rice flour made by hot air or gum puffing**. *International Journal of Food Science & Technology*, v. 39, p. 201-212, 2004.

LEMOS, M. R. B. **Caracterização e estabilidade dos compostos bioativos em amêndoas de baru (*Dipteryx alata* Vog.), submetidas a processo de torrefação**. Tese de Doutorado. Programa de Pós-graduação em Ciências da Saúde, Universidade de Brasília, 2012.

LETELIER M.E.; RODRIGUEZ E.; WALACE A.; LORCA M., REPETTO Y.; MORELLO A.; ALDUNATE J. ***Trypanosoma cruzi*: A possible control of transfusion- induced**

**chagas disease by phenolic antioxidants.** *Parasitologia Experimental.* v. 71, p. 357–363, 1990.

LI, Y. et al. **Green ultrasound-assisted extraction of carotenoids based on the bio-refinery concept using sunflower oil as an alternative solvent.** *Ultrasonics Sonochemistry.* v. 20, p. 12–18, 2013.

LIMA, G. P. P.; VIANELLO, F.; SANTOS, C. A. F.; CORREA, L. C. **Antioxidant content in guava (*Psidium guajava*) and araçá (*Psidium* spp.) germplasm from different Brazilian regions.** *Plant Genetic Resources: Characterization and Utilization* v. 9, n. 3, p. 384–391, 2011.

LIMA, L. P.; GUERRA, G.A.D.; MING, L.C.; MACEDO, M.R.A. **Ocorrência e usos do tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart.) em comunidades ribeirinhas, quilombolas e de agricultores tradicionais no município de Irituia, Pará.** *Amazôn. Rev. Antropol. (Online)* 5 (3) Especial: p. 762-778, 2013.

LIMA, K. G. **Avaliação do efeito do ácido gálico no tratamento de células de hepatocarcinoma hepg2.** Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Biologia Celular e Molecular. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2014.

LIU, H.; CAO, J.; JIANG, W. **Evaluation and comparison of vitamin C, phenolic compounds, antioxidant properties and metal chelating activity of pulp and peel from selected peach cultivars.** *LWT - Food Science and Technology*, v. 63, p. 1042-1048, 2015.

LIU, C.H.; WU, C.T. **Optimization of nanostructured lipid carriers for lutein delivery.** *Colloids and Surfaces A. Physicochemical and Engineering Aspects*, v. 353, n. 2-3, p. 149-156, 2010.

LOCATELLI, C.; FILIPPIN-MONTEIRO, F. B.; CRECZYNSKI-PASA, T. B. **Alkyl esters of gallic acid as anticancer agents: a review.** *European Journal of Medicinal Chemistry.* v. 60, p. 233-9, 2013.

LOPERA, S. M.; GUZMAN, C.; CATAÑO, C.; GALLARDO, C. **Desarrollo y caracterización de microparticulas de ácido fólico formadas por secado por aspersión, utilizando goma arábica y maltodextrina como ateriales de pared.** Revista Vitae, Medellín, v. 16, n. 1, p. 55-65, 2009.

LORENZI, H. et al. **Flora Brasileira: Arecaceae (Palmeiras).** Editora Plantarum. p. 384, 2010.

MACIEL, M.A.M.; PINTO, A.C.; VEIGA JR, V.F. **Plantas medicinais: a necessidade de estudos multidisciplinares.** Química Nova, v. 25, n. 3, p. 429-438, 2002.

MACIEL, R.L.; MOREIRA-CAMPOS, LM.; SILVA, B.C.; BRANDÃO, M.G.L. **Características fisicoquímicas e químicas e estudo preliminar de estabilidade de tinturas preparadas com espécies de *Arnica lychonophora* em comparação com *Arnica montana*.** Revista Brasileira de farmacognosia. v.16, n.1, p. 99-104, 2006.

MANACH, C.; MAZUR, A.; SCALBERT, A. **Polyphenols and prevention of cardiovascular diseases.** Current Opinion in Lipidology, v. 16, p. 77-84, 2005.

MATIAS, M.F.O.; OLIVEIRA, E.L.; GERTRUDES, E.; MAGALHÃES, M.A. **Use of fibres obtained from the cashew (*Anacardium occidentale*, L) and guava (*Psidium guajava*) fruits for enrichment of food products.** Brazilian Archives of Biology and Technology, Curitiba, v.48, p.143-150, 2005.

MALTA, L. G. et al. **Assessment of antioxidant and antiproliferative activities and the identification of phenolic compounds of exotic Brazilian fruits.** Food Research International, v. 53, p.417–425, 2013.

MATOS, K.A.N.; LIMAB, D.P.; BARBOSA, A.P.P.; MERCADANTE, A. Z.; CHISTÉ, R.C. **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, 2019.

MARCO, G. J. **A Rapid Method for Evaluation of Antioxidants.** Journal of the American Oil Chemists' Society. v.45, p. 594-598, 1968.

MARTÍNEZ-FLÓREZ, S.; GONZÁLEZ-GALLEGO, J.; CULEBRAS, J. M.; TUÑÓN, M. J. **Los flavonoides: propiedades y acciones antioxidantes**. *Nutrición Hospitalaria*, v. 17, n. 6, p. 271-278, 2002.

MARIATH, J.G.; LIMA, M.C.; SANTOS, L. M. **Vitamin A activity of buriti (*Mauritia vinifera* Mart) and its effectiveness in the treatment and prevention of xerophthalmia**. *Am J Clin Nutr.* v. 49, p.849-53, 1989.

MELENDÉZ- MARTINÉZ, A.J.; VICARIO, I. M.; HEREDIA, F.J. **Estabilidad de los pigmentos carotenoides em los alimentos**. *Archivos Latinoamericano de Nutrición.* v. 54. n. 2. p. 209-215, 2004.

MELO, E. A. et al. **Capacidade antioxidante de frutas**. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, v. 44, n. 2, p. 193-201, 2008.

MELO, P.S. **Composição química e atividade biológica de resíduos agroindustriais**. Dissertação Mestrado. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, ESAL/USP, 2010.

MENDONÇA, R. D.; FERREIRA, K. S.; DE SOUZA, L. M.; MARINHO, C. S.; TEIXEIRA, S. L. **Physical and chemical characteristics of Cortibel 1 and Cortibel 4 guavas stored in environmental**. *Bragantia*, v. 66, p. 685–692, 2007.

MIGLIATO, K.F et al. **Controle da qualidade do fruto de *Syzygium cumini* (L.) Skeels**. *Revista Brasileira de Farmacognosia*. v. 17, n. 1, p. 94-101, 2007.

MILLER NJ, RICE-EVANS CA, DAVIES MJ, GOPINATHANN V, MILNER A. **A novel method for measuring antioxidant capacity and its application to monitoring the antioxidant status in premature neonates**. *Clin Sci.* v. 84, n. 4, p. 407-412, 1993.

MILLER, W.P.M.; CRUZ, F.G.G.; CHAGAS, E.O.; SILVA, A.F.; ASSANTE, R.T. **Farinha do resíduo de tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart.) na alimentação de poedeiras**. *Revista Acadêmica de Ciências Agrárias e Ambientais*, v.11, n.1, p.105-114, 2013.

MILLER, H. E. **A simplified method for the evaluation of antioxidants**. *Journal of the American Oil Chemists' Society*.v. 48.p. 91,1971.

MIRANDA, I.P.A.; A. RABELO. **Guia de identificação das palmeiras de Porto Trombetas-PA**. Manaus: Editora da Universidade Federal do Amazonas/Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. p. 365, 2008.

MONTEIRO, J.M. et al. **Teor de taninos em três espécies medicinais arbóreas simpátricas da caatinga**. Revista Árvore, v. 29, n. 6, p. 999-1005, 2005.

MORAES, F. P.; COLLA, L. M. **Functional foods and nutraceuticals: definition, legislation and health benefits**. Revista Eletrônica de Farmácia. v. 3. p. 99-112, 2006.

MORAES, J. D.; DIAS, M. R. P. **Elaboração do doce em massa e néctar de tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart.)**. Monografia (Especialização em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Pará, Belém, 2001.

MORAIS, M. L et al. **Determinação do potencial antioxidante in vitro de frutos do cerrado brasileiro**. Revista Brasileira de Fruticultura, v. 35, n. 2, p. 355-360, 2013.

MORAIS, N.R.L et al. **Prospecção fitoquímica e avaliação do potencial antioxidante de *Cnidocolus phyllacanthus* (müll. Arg.) Pax & k. hoffm. Oriundo de apodi, RN**. Revista Brasileira de Plantas Medicinai, v.18, n.1, p.180-185, 2016.

MOREIRA, S.G. **Caracterização química dos compostos bioativos e obtenção de micropartículas a partir da torta da prensagem da Castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa*)**. Tese de doutorado. Programa de Pós-graduação em Ciência de Alimentos. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2015.

MOREIRA, G.E.G. **Obtenção e caracterização de extrato microencapsulado do resíduo agroindustrial de acerola**. Dissertação mestrado. Programa de pós-graduação em Engenharia Química. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2007.

MOURA et al. **Propriedades de absorção e solubilização de extrudados de farinha mista de feijão, milho e arroz biofortificados**. IV Reunião de biofortificação. Teresina-PI, 2011.

MUNIN, A.; EDWARDS-LÉVY, F. **Encapsulation of natural polyphenolic compounds: a review**. *Pharmaceutics*, v. 3, p. 793-829, 2011.

MURUGESAN, R.; ORSAT, V. **Spray Drying for the Production of Nutraceutical**. *Journal of Chemical Engineering and Chemistry*, Vol. 1 N. 2 (2015)030–044  
Ingredients - A Review. *Food and Bioprocess Technology*, v. 5, n. 1, p. 3-14, 2012.

National Research Council Subcommittee. RDAs, **Recommended Dietary Allowances**. 10th ed., Washington, DC: National Academy Press, 1989.

NARDINI, M.; CIRILLO, E.; NATELLA, F.; SCACCINI, C.; *J. Agric. Food Chem.* 50, 5735, **2002**.

NASCIMENTO, V.F. **Caracterização de biomassas amazônicas – ouriço de castanha-do-brasil, ouriço de sapucaia e caroço do fruto do tucumã – visando sua utilização em processos de termoconversão**. Dissertação mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. Universidade Estadual de Campinas, 2012.

NAVES, L.P.; CORRÊA, A.D.; SANTOS, C.D.; ABREU, C.M.P. **Componentes antinutricionais e digestibilidade protéica em sementes de abóbora (*Cucurbita máxima*) submetidas a diferentes processamentos**. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 30, n.1, p.180-184, 2010.

NEGRÃO-MURAKAMI, A.N., NUNES, G.L., PINTO, S.S., MURAKAMI, F.S., AMANTE, E.R., PETRUS, J.C.C., PRUDÊNCIO, E.S., AMBONI, R.D.M.C. **Influence of DE-value of maltodextrin on the physicochemical properties, antioxidant activity, and storage stability of spray dried concentrated mate (*Ilex paraguariensis* A. St. Hil.)**. *LWT. Food Sci. Technol.* p. 1– 7, 2016.

NEVES, E. M. P.X. **Estudo da hidrólise da biomassa do tucumã (*Astrocaryum vulgare* mart.) e do inajá (*Maximiliana maripa* (aubl) mart) visando a obtenção de açúcares**. Dissertação mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal do Pará, 2012.

NUNES, K.M. **Caracterização química e físico-química e estudos preliminares de planejamento da formulação fitoterápica semi-sólida contendo tintura de *Calendula officinalis* L.** Dissertação Mestrado. Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Ciências Farmacêuticas, 2008.

NUNES, G.L. **Microencapsulação por spray drying do extrato crioconcentrado de erva mate (*Ilex paraguariensis* A. St. Hill) empregando a maltodextrina como agente encapsulante.** Dissertação mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos. Universidade Federal de Santa Catarina, 2014.

NURHADI, B., ROOS, Y.H., MAIDANNYK, V. **Physical properties of maltodextrin DE 10: Water sorption, water plasticization and enthalpy relaxation.** J. Food Eng. v. 174, p. 68–74. 2016.

OGAWA, M.; MAIA, E. L.; FERNANDES, A. C.; NUNES, M. L.; OLIVEIRA, M. E. B. de.; FREITAS, S.T. **Resíduos do beneficiamento do camarão cultivado: obtenção de pigmentos carotenoides.** Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, v. 27, n. 2, p. 333-337, 2007.

OKUDA T. **Systematics and health effects of chemically distinct tannins in medicinal plants.** Phytochemistry. Review, v. 66, n. 17, p.2012-2031, 2005.

OLSON, J. A. **Carotenoids and human health.** Arch Latinoam Nutr.v. 49, p.7-11, 1999.

OLIVEIRA, C. F et al. **Caracterização físico-química da amêndoa de tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart.).** Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa Amazônia Oriental, 2008.

OLIVEIRA, L.F. et al. **Aproveitamento alternativo da casca do maracujá-amarelo (*Passiflora edulis* F. Flavicarpa) para produção de doce em calda.** Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, v.22, n.3, p.1-60, 2002.

OLIVEIRA, O.W.; PETROVICK, P.R.; **Secagem por aspensão (spray drying) de extratos vegetais: bases e aplicações.** Revista Brasileira de Farmacognosia, v. 20, n. 4, p. 641-650, 2010.

OLIVEIRA, G.L.S. **Determinação da capacidade antioxidante de produtos naturais in vitro pelo método do DPPH: estudo de revisão.** Revista Brasileira de Plantas Mediciniais, Campinas, v.17, n.1, p.36-44, 2015.

OLIVEIRA, K. de A. **Aproveitamento dos resíduos agroindustriais da ucuúba (*virola surinamensis*): obtenção de extratos padronizados em antioxidantes naturais.** Dissertação mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciências Farmacêutica. Universidade Federal do Pará, 2018.

OROIAN, M.; ESCRICHE, I. **Antioxidants: Characterization, natural sources, extraction and analysis.** Food Research International, v.74, p.10-36, 2015.

ORDÓÑEZ, J. A. **Tecnologia de alimentos: componentes dos alimentos e processos.** v.1. Porto Alegre: ARTMED, 2005.

ORDÓÑEZ-SANTOS, L. E.; PINZÓN-ZARATE, L. X.; GONZÁLEZ-SALCEDO, L. O. **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.

OYEWUMI, M.O., KUMAR, A., CUI, Z. **Nano-microparticles as immune adjuvants: correlating particle sizes and the resultant immune responses.** Expert Rev. Vaccines. v.9, p.1095–1107, 2010.

OZCAN, T. et al. **Phenolics in Human Health.** International Journal of Chemical Engineering and Applications, v. 5, p. 393-396, 2014.

PAINI, M.; ALIAKBARIAN B.; CASAZZA A. A.; LAGAZZO, A. BOTTER, PEREGO, P. **Microencapsulation of phenolic compounds from olive pomace using spray drying: A study of operative parameters.** LWT Food Sci Technol, v. 62, p. 177–186, 2015.

PANG, S. F.; YUSOFF, M. M.; GIMBUM, J. **Assessment of phenolic compounds stability and retention during spray drying of Orthosiphon stamineus extracts.** Food Hydrocolloids, v. 37, p. 159-165, 2014.

PANSERA, M.R et al. **análise de taninos totais em plantas aromáticas e medicinais cultivadas no Nordeste do Rio Grande do Sul**. Revista Brasileira de Farmacognosia, v.13, p.17-22, 2003.

PANTOJA, N.V.; REGIANI, A.M. **Estudo do fruto do tucumã (*Astrocaryum aculeatum*) para obtenção de óleo e síntese de biodiesel**. Sociedade Brasileira de Química (SBQ), 2008.

PAULO, F., SANTOS, L. **Design of experiments for microencapsulation applications: A review**. Mater. Sci. Eng. C, 2017.

PARJIKOLAEI, B. R. et al. **Influence of green solvent extraction on carotenoid yield from shrimp (*Pandalus borealis*) processing waste**. Journal of Food Engineering. v.155, p.22–28, 2015.

PELEG, M. **Mixtures of food powders and particulates**. In C. H. Onwulata (Ed.), Encapsulated and powdered foods, Boca-Raton: CRC, p. 27–37, 2005.

PÉREZ-JIMÉNEZ J, SAURA-CALIXTO F. **Effect of solvent and certain food constituents on different antioxidant capacity assays**. Food Res Int, v. 39, p. 791-800, 2006.

PEREIRA, E.S.; REGADAS FILHO, J.G.L.; FREITAS, E.R. et al. **Valor energético de subprodutos da agroindústria brasileira**. Archivos de Zootecnia, v. 58, n. 223, p. 455-458. 2009.

PESSOA, R.A. **Composição nutricional e bioativa da amêndoa do tucumã (*Astrocaryum vulgare*)**. Dissertação mestrado. Programa de Pós-graduação em Alimentos e Nutrição. Universidade Federal do Piauí, 2016.

PINHEIRO, R.C. **Avaliação do potencial das amêndoas de frutos amazônicos para fins alimentícios**. Dissertação mestrado. Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal do Pará, 2013.

POYER, A; SCHAEFER, L. **Obtenção de taninos a partir do extrato hidroalcoólico de folhas e flores de *Lippia alba***. Trabalho de Conclusão de Curso. Bacharelado em Química Industrial. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2014.

POLLONIO, M.A.R. **Alimentos funcionais: as recentes tendências e os envolvidos no consumo.** Higiene Alimentar. v.14. p. 26-31, 2000.

PRIOR, R. L.; WU, X.; SCHAICH, K. J. **Standardized Methods for the Determination of Antioxidant Capacity and Phenolics in Foods and Dietary Supplements.** Journal of Agricultural and Food Chemistry, v. 53, n. 10, p. 4290-4302, 2005.

PRIOR, R.I. Phytochemicals. In: Shils M.E.; OLSON J.A.; SHIKE M.; ROSS A.C. **Modern nutrition in: health and disease.** Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, v. 94, p.582, 2006.

QUIDEAU, S.; DEFFIEUX, D.; DOUAT-CASASSUS, C.; POUYSÉGU, L. **Plant Polyphenols Chemical Properties, Biological Activities and synthesis.** Angewandte Chemie International Edition, v 50, p. 586-621, 2011.

RAY, S., RAYCHAUDHURI, U., CHAKRABORTY, R. **An overview of encapsulation of active compounds used in food products by drying technology.** Food Biosci. V. 13, p. 76–83, 2016.

RECHNER, A. R.; SPENCER, J. P. E.; KUHNLE, G.; HAHN, U.; RICE-EVANS, C. A.; Free Radical Biol. Med. 30, 1213, **2001.**

RE, R; PELLEGRINI, N.; PROTEGGENTE, A.; PANNALA, A.; YANG, M.; RICE-EVANS, C. **Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay.** Free Radical Biology and Medicine, New York, v.26, p.1231–1237, 1999.

RETORE, M. **Caracterização da fibra de co-produtos agroindustriais e sua avaliação nutricional para coelhos em crescimento.** Dissertação mestrado. Programa de Pós-Graduação em Zootecnia. Universidade Federal de Santa Maria, 2009.

RIBEIRO, E. P.; SERAVALLI, E. A. G. **Química de alimentos.** São Paulo: Edgar Blücher, p. 184, 2004.

RIBEIRO, C. *Encapsulamento de Aromas Alimentares. Tese Doutorado. Universidade Técnica de Lisboa – Instituto Superior de Agronomia, 2007.*

ROA, V.; DAZA, M. S. T. **Evaluation of water activity measurements with a dew point electronic humidity meter.** Lebensmittel – Wissencharft und Technologie, v. 24, n. 3, p. 208-213, 1991.

ROBERT P, GORENA T, ROMERO N, SEPULVEDA E, CHAVEZ J, SAENZ C. **Encapsulation of polyphenols and anthocyanins from pomegranate (*Punica granatum*) by spray drying.** Int J Food Sci Technol, v.45, p.1386–1394, 2010.

ROESLER, R. et al. **Antioxidant activity of *Caryocar brasiliense* (pequi) and characterisation of components by electrospray ionization mass spectrometry.** Food Chemistry, v. 110, p. 711–717, 2008.

ROSENBERG, M.; KOPELMAN, I. J.; TALMON, Y. **Factors affecting retention in spray-drying microencapsulation of volatile materials.** Journal Agricultural Food Chemistry, v.38, p.1288-1294, 1990.

ROBERFROID, M. **Functional food concept and its application to prebiotics.** Digestive and Liver Disease. v. 34, Suppl. 2, p. 105-10, 2002.

ROGÉRIO, M. C. P.; GONÇALVES, L.C; BORGES, I.; FERREIRA, P.S.D. **Resíduos de frutas na alimentação de gado de leite.** In: Alimentos para gado de leite. Belo Horizonte: FEPMVZ, p. 88-115, 2009.

ROSSATO, A.S. **Estudo de frutos do cerrado: quantificação de oligossacarídeos, fenólicos totais e avaliação da capacidade antioxidante.** Tese doutorado. Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas, 2016.

RUFINO, MA. DO S. M.; ALVES, R. E.; DE BRITO, E. S.; MORAIS, S. M. DE; SAMPAIO, C.DE G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. D. Metodologia Científica: **Determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre DPPH.** Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, (Comunicado técnico *on line*, 127), 2007.

RUFINO, MA. DO S. M.; ALVES, R. E.; DE BRITO, E. S.; MORAIS, S. M. DE; SAMPAIO, C. DE G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. D. Metodologia Científica: **Determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre ABTS**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, (Comunicado técnico *on line*, 128), 2007.

RUFINO, J. P. F.; CRUZ, F.G. G.; MILLER, W.P.M.; MELO, R.D.; FEIJÓ, J. DA C; CHAGAS, E. O. DAS. **Análise econômica da inclusão de farinha do resíduo de tucumã (*Astrocaryum vulgare*, Mart) na alimentação de poedeiras comerciais**. Rev. Bras. Saúde Prod. Anim., Salvador, v.16, n.1, p.1-9, 2015.

RUSCHEL, C. F. C.; HUANG, C. T.; SAMIOS, D.; & FERRÃO, M. F. **Exploratory Analysis Applied To Attenuated Total Reflectance Fourier Transform Infrared (ATR-FTIR) Of Biodiesel/Diesel Blends**. Química Nova, p.810-815, 2014.

SAAVEDRA-LEOS, Z., LEYVA-PORRAS, C., ARAUJO-DAZ, S.B., TOXQUI-TERN, A., BORRS-ENRQUEZ, A.J. **Technological application of maltodextrins according to the degree of polymerization**. Molecules, v. 20, p. 21067–21081, 2015.

SACHINDRA, N.M.; MAHENDRAKAR, N.S. **Process optimization for extraction of carotenoids from shrimp waste with vegetable oils**. Bioresour. Technol. n. 96 v. 10, p. 1195–1200, 2005.

SAGRILLO, M.R et al. **Tucumã fruit extracts (*Astrocaryum aculeatum* Mayer) decrease cytotoxic effects of hydrogen peroxide on human lymphocytes**. Food Chemistry, v. 173, p.741-748, 2015.

SAMPAIO, R.C.A. **Desenvolvimento e caracterização tecnológica de micropartículas de *Arrabidaea chica* (H & B) B. Verl. obtidas por *spray dryer***. Dissertação. Universidade Federal do Pará, 2012.

SAMPAIO, R.C.A, DA COSTA, R.S., DE SOUZA, C.R.F et al. **Thermal characterization of *Arrabidaea chica* (Humb. & Bonpl.) B. Verl. dry extracts obtained by spray dryer**. J Therm Anal Calorim, v. 123, p. 2469, 2016.

SAMMAN, S.; SIVARAJAH, G.; MAN, J.C.; AHMAD, Z.I.; PETOCZ, P.; CATERSON, I.D. **A mixed fruit and vegetable concentrate increases plasma antioxidant**

**vitamins and folate and lowers plasma homocysteine in men.** J Nutr. v. 133, n. 7, p. 2188-2193, 2003.

SAN, B.; YILDIRIM, A. N. **Phenolic, alpha-tocopherol, beta-carotene and fatty acid composition of four promising jujube (*Ziziphus jujuba* Miller) selections.** Journal of Food Composition and Analysis. v. 23, p.706–71, 2010.

SANSONE, F.; MENCHERINI, T.; PICERNO, P.; D'AMORE, M.; AQUINO, R. P.; LAURO, M. R. **Maltodextrin/pectin microparticles by spray drying as carrier for nutraceutical extracts.** Journal of Food Engineering, v.105, p.468-476, 2011.

SANTOS-BUELGA, C.; SCALBERT, A. **Proanthocyanidins and Tannin-Like Compounds—Nature, Occurrence, Dietary Intake and Effects on Nutrition and Health.** Journal of the Science of Food and Agriculture, v. 80, p.1094-1117, 2000.

SANTOS, I.S.N. **Avaliação do potencial antioxidante dos compostos fenólicos de extractos de plantas da flora portuguesa.** Trabalho para obtenção do grau de licenciado em Ciências Farmacêuticas. Universidade Fernando Pessoa, 2011.

SANTOS, A.B. DOS., FÁVARO-TRINDADE, C.S., GROSSO, C.R.F. **Preparo e caracterização de microcápsulas de oleoresina de páprica obtidas por atomização.** Ciênc. Tecnol. Aliment. V. 25, p. 322–326. 2005.

SANCHEZ-MORENO, J. A., LARRAURI & SAURA-CALIXTO, F. **A procedure to measure the antiradical efficiency of polyphenols.** Journal of the Science of Food and Agriculture. v.76, p. 270–276, 1998.

SANTOS, E.V.M. **Extração de matérias-primas vegetais.** In: SHARAPIN, N. Fundamentos de tecnologia de produtos fitoterápicos. Cytel, Santafé de Bogotá, p. 27-60, 2000.

SANTOS, L. P.; MORAIS, D. R.; SOUZA, N. E.; COTTICA, S. M.; BOROSKI, M.; VISENTAINER, J. V. **Compounds and fatty acids in different parts of *Vitis labrusca* and *V. vinifera* grapes.** Food Res Int., v. 44, p. 1414-1418, 2011.

SANTOS, E.O.; KABEYA, L. M.; FIGUEIREDO-RINHEL, A. S.; MARCHI, L.F.; ANDRADE, M. F.; PIATESE, F. **Flavonols modulate the effector functions of**

**healthy individuals immune complex-stimulated neutrophils: A therapeutic perspective for rheumatoid arthritis.** *International Immunopharmacology*, v. 21, n. 1, p. 102-111, 2014.

SCHAFFAZICK, S.R., GUTERRES, S.S., FREITAS, L.L., POHLMANN, A.R. **Caracterização e estabilidade físico-química de sistemas poliméricos nanoparticulados para administração de fármacos.** *Química Nova*, v. 26, p. 726 – 737, 2003.

SCHROTH, G. et al. **Extractive use, management and in situ domestication of a weedy palm, *Astrocaryum tucuma*, in the central Amazon.** *Forest Ecology and Management*, v. 202, p.161-179, 2004.

SHANLEY, P.; MEDINA, G. **Frutíferas e plantas úteis na vida Amazônica.** Belém: CIFOR, v. 1, cap. 2, p. 209-214, 2005.

SHAHAT, A.A.; MARZOUK, M.S. **Tannins and related compounds from medicinal plants of Africa.** *Medicinal Plant Research in Africa*. Elsevier, 2013.

SHARAPIN, N. **Fundamentos de tecnologia de produtos fitoterápicos.** Cytel, Santafé de Bogotá, p. 145-157, 2000.

SIMÕES, C.M.O et al. **Farmacognosia da planta ao medicamento.** 6ª ed. Porto Alegre/Florianópolis: Ed. UFRGS/ Ed. UFSC, p. 833, 2007.

SIMÕES, D.L.V. **Composição Nutricional e Elaboração do Biscoito e da Barra de Cereal do Fruto de Tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart.).** Dissertação mestrado. Programa de pós-graduação em Ciências e Tecnologia. Universidade Nova de Lisboa, 2010.

SILVERSTEIN, R.M.; WEBSTER, F.X.; KIEMLE, D.J. **Identificação espectrométrica de compostos orgânicos.** 7ª edição, Editora: LTC, p. 86-87, 2007.

SILVA-JÚNIOR, J. O. C.; VIEIRA, J. L. F.; BARBOSA, W. L. R.; & PEREIRA, N. L. **Caracterização físico-química do extrato fluido e seco por nebulização de *Symphytum officinale* L.** *Brazilian Journal of Pharmacognosy*, v. 16, p.671-677, 2006.

SILVA - JUNIOR, J. F.; BEZERRA, J. E. F.; LEDERMAN, I. E. **Recursos genéticos e melhoramento de fruteiras nativas e exóticas em Pernambuco.** Disponível em:

<<http://www.cpatsa.embrapa.br/catalogo/livrorg/fruteirasnativas.pdf>>. Acesso em: 20 de junho 2018, 2008.

SILVA-JÚNIOR, A.A.; SCARPA, M.V.; PESTANA, K.C.; MERCURI, L.P. MATOS, J.R.; OLIVEIRA, A.G. **Thermal analysis of biodegradable microparticles containing ciprofloxacin hydrochloride obtained by spray drying technique.** *Thermochimica Acta*. v. 467, n. 1-2, p.91-98, 2008.

SILVA-IBRAHIM, P. **Otimização da extração e microencapsulamento de polifenóis e antocianinas de jaboticaba (*Myrciaria cauliflora*)** Tese de doutorado. p. 173. 2011.

SILVA, L. E. O. **“Limites e potencialidades do tucumã como fonte de energia para regiões isoladas da Amazônia”.** Dissertação mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade de Brasília, 2012.

SILVA, P.I., STRINGHETA, P.C., TEOFÍLO, R.F., DE OLIVEIRA, I.R.N. **Parameter optimization for spray-drying microencapsulation of jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba*) peel extracts using simultaneous analysis of responses.** *J. Food Eng.* v. 117, p. 538–544, 2013.

SILVA, C.P. **Bioacessibilidade dos polifenóis de jotojá-do-cerrado (*Hymenaea Stigonocarpa* Mart.) e seus efeitos em genes relacionados a absorção de glicose em células Caco-2.** Tese de doutorado. Universidade de São Paulo, 2018.

SINGH, S.; DIXIT, D. **A review on spray drying: emerging technology in food industry.** *International Journal of Applied Engineering and Technology, Journal of Chemical Engineering and Chemistry - V. 1, n. 2 (2015), p. 030–044 Jaipur, v. 4, n. 1, p. 1-8, 2014.*

SINGH, M.N., HEMANT, K.S.Y., RAM, M., SHIVAKUMAR, H.G. **Microencapsulation: A promising technique for controlled drug delivery.** *Res. Pharm. Sci.* v.5, p.65–77, 2010.

SOARES, A. L. et al. **Lipid oxidation and fatty acid profile related to broiler breast meat color abnormalities.** *Brazilian Archives of Biology and Technology*, v. 52, n. 6, p. 1513-1518, 2009.

SOUSA, M.S.B., VIEIRA, L.M., SILVA, M.J.M., LIMA, A. **Caracterização nutricional e compostos antioxidantes em resíduos de polpas de frutas tropicais.** Ciênc. agrotec. v. 35, p. 554–559, 2011.

SOUZA, P. H. M.; SOUZA NETO, M. H.; MAIA, G. A. **Componentes funcionais nos alimentos.** Boletim da SBCTA. v. 37, n. 2, p. 127-135, 2003.

SOVA, M. **Antioxidant and Antimicrobial Activities of Cinnamic Acid Derivatives.** Mini Reviews in Medicinal Chemistry, v. 12, n. 8, p. 749-767, 2012.

SPRICIGO, R.; BOTELHO, K.C.A.; CONSIGLIERI, V.O.; SERRA, CHR. **Obtenção e avaliação de complexos de inclusão de furosemida com  $\beta$ -ciclodextrina e hidroxipropil- $\beta$ -ciclodextrim: efeitos nas propriedades de dissolução da droga.** Lat Am Pharm. v. 27. P. 645-653, 2008.

STAMATOPOULOS, K. et al. **Optimization of multistage extraction of olive leaves for recovery of phenolic compounds at moderated temperatures and short extraction times.** Foods, v. 3, p. 66-81, 2014.

SUAVE, J.; DALL'AGNOL, E. C.; PEZZIN, A. P. T.; SILVA, D. A. K.; MEIER, M. M, SOLD, V. **Microencapsulação: inovação em diferentes áreas.** Health and Environment Journal, v. 7, n. 2, p.12-20, 2006.

TEIXEIRA, M. L.; SOARES, A. R.; SCOLFORO, J. R. S. **Variação do teor de tanino da casca de barbatimão [*Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville] em 10 locais de Minas Gerais.** Ciência Prática de Lavras, v.14, p. 229-232, 1990.

TEIXEIRA, U.H.G.; SIMIONI, T.A.; PINA, D.S. et al. **Potencial de utilização de co-produtos agroindustriais para suplementos.** Revista Eletrônica Nutritime, v. 11, n. 2, p. 3363– 3386, 2014.

TIVERON, A. P. **Atividade antioxidante e composição fenólica de legumes e verduras consumidas no Brasil.** Dissertação Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologia de Alimentos. Universidade de São Paulo, 2010.

TIWARI, S.; GOEL, A.; JHA, K. K.; SHARMA, A. **Microencapsulation techniques and its application: a review.** The Pharma Research, v. 3, n. 12, 2010.

TONON, R. V. et al. **Physical and morphological characterization of açai (*Euterpe oleracea* Mart.) powder produced with different carrier agents**. International Journal of Food Science and Technology, v. 44, p. 1950-1958, 2009.

TONON, R.; GROSSO, C.; HUBINGER, D. **Influence of emulsion composition and inlet air temperature on the microencapsulation of flaxseed oil by spray drying**. Food Research International, Guelph, v. 44, p. 282-289, 2011.

TODA FRUTA. Disponível em: <<http://todafruta.blogspot.com/2009/04/tucuma-astrocaryum-tucuma-e.html>>. Acesso em: 20 de junho 2018.

TROPICOS. Disponível em:<<http://www.theplantlist.org/tpl1.1/record/kew-17587>>. Acesso em: 15 nov. 2018.

TSUKUI, A.; REZENDE, C. M. **Extração Assistida por Micro-ondas e Química Verde**. Revista Virtual de Química, v. 6, p.1713-1725, 2014.

TURCHIULI, C., JIMENEZ MUNGUÍA, M.T., HERNANDEZ SANCHEZ, M., CORTES FERRE, H., DUMOULIN, E. **Use of different supports for oil encapsulation in powder by spray drying**. Powder Technol. v. 255, p.103–108, 2014.

UTOMO, B., PRAWOTO, A.A., BONNET, S., BANGVIWAT, A. **Environmental performance of cocoa production from monoculture and agroforestry systems in Indonesia**. J. Clean. Prod. v. 134, p. 583–591, 2016.

VALENTE, J. M. L. D. **Subprodutos Alimentares: Novas Alternativas e Possíveis Aplicações Farmacêuticas**. Dissertação mestrado. Pós-graduação em Ciências Farmacêuticas. Universidade Fernando Pessoa, 2015.

VASCONCELOS, E.A.F.; MEDEIROS, M.G.F.; RAFFIN, F.N.; MOURA, T.F.A.L. **Influência da temperatura de secagem e da concentração de Aerosil®200 nas características dos extratos secos por aspersão da *Schinus terebinthifolius* Raddi (Anacardiaceae)**. Revista Brasileira de Farmacognosia, v. 15, n. 3, p. 243-249, 2005.

VASCONCELOS, M. A. M.; MATTIETO, R. A.; GONÇALVES, A. C. S.; OLIVEIRA, P.; MOREIRA, P. I. O.; ALVES, S.M.; MOREIRA, D. K.T.; FIGUEIREDO, J. G.; FILHO, H.

A. D. **Avaliação do processo de extração e caracterização do óleo e sementes de andiroba** (*Carapa guianensis* Aublet). Anais da Conferência do Subprograma de Ciência e Tecnologia SPC&T Fasel/PPG7. 2009.

VASCONCELOS, B. E. C. **Avaliação das características físicas, químicas e nutricionais dos óleos do tucumã** (*Astrocaryum aculeatum* e *Astrocaryum vulgare*) obtidos com CO<sub>2</sub> pressurizado. Dissertação mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal do Pará, 2010.

VEGGI, P. C. **Obtenção de Compostos Fenólicos de Plantas Brasileiras via Tecnologia Supercrítica utilizando cossolventes e Extração Assistida por Ultrassom**. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas, 2013.

VERONEZI, C. M.; JORGE, N. **Carotenoides em abóboras**. B. CEPPA, Curitiba, v. 29, n. 1, p. 9-20, 2011.

VIEIRA, B. DE C R.; MOREIRA, Y. R.; ALFAIATE, M. B.; SOUZA, M. H.; MENDONÇA, P. P.; DEMINICIS, B.B. **Utilização de subprodutos e resíduos de frutas na suplementação de ovinos** (*Ovis aries*) Archives of Veterinary Science, v. 22, n. 2, p. 08-17, 2017.

VICKERY, M. L. E.; VICKERY, B.; **Secondary Plant Metabolism**. The Macmillan Press LTD: London, 1981.

VILLACHICA, H. **Frutales y hortalizas promissórias de La Amazonía**: tratado de cooperación amazonica. Lima: Secretaria Pro-Tempore. p. 367, 1996.

WANG, C. J. et al. Protective effect of Hibiscus anthocyanins against tert-butyl hidroperoxideinduced hepatic toxicity in rats. Food and Chemical Toxicology, v. 38, p. 411-416, 2000.

WANG, H. et al. **In vitro and in vivo antioxidant activity of aqueous extract from *Choerospondias axillaris* fruit**. Food Chemistry, v. 106, p. 888-895, 2008.

WANDREY, C.; BARTKOWIAK, A.; HARDING, S.E. **Materials for Encapsulation In: Zuidam N.J., Nedovic, V.A. (Eds.)**. Encapsulation Technologies for Food Active Ingredients and Food Processing, p. 31- 100, 2009.

WILSON, N.; SHAH, N. P. **Microencapsulation of vitamins**. Asean Food Journal, v. 14, n. 1, p. 1-14, 2007.

WILLIAMS, R. J. et al. **Flavonoids: antioxidants or signaling molecules?** Free Radical Biology e Medicine, v. 36, n. 7, p. 838-849, 2004.

W. S. ROCHA.; LOPES, R. M.; DA SILVA, D. B.; VIEIRA, R. F.; DA SILVA, J. P.; AGOSTINI-COSTA, T. DA S. **Compostos fenólicos totais e taninos condensados em frutas nativas do cerrado**. Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal - SP, v. 33, n. 4, p. 1215-1221, 2011.

YAN, L. Y.; TENG, L. T.; JHI, T. J. **Antioxidant properties of guava fruit: comparison with some local fruits**. Sunway Academic Journal, v.3, p. 9–20, 2006.

YOSHIOKA, K.; KATAOKA, T.; HAYASHI, T.; HASEGAWA, M.; ISHI, Y.; HIBASAMI, H. **Induction of apoptosis by gallic acid in human stomach cancer KATO III and colon adenocarcinoma COLO 205 cell lines**. Oncology Reports. v. 7, n. 6, p. 1221-1224, 2000.

YUYAMA, L. K. O. et al. **Polpa e casca de tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart.): quais os constituintes nutricionais?** Nutrire, v. 30, p. 225, Suplemento, 2005.

YUYAMA, L. K. O. et al. **Processamento e avaliação da vida de prateleira do tucumã (*Astrocaryum vugare* Mart.) desidratado e pulverizado**. Ciência e Tecnologia de Alimentos, v. 28, n. 2, p. 408-412, 2008.

ZAIDEL N.D.A, MAKHTAR N, A.; JUSOH Y.M.M.; MUHAMAD II. **Efficiency and thermal stability of encapsulated anthocyanins from red dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus* (Weber) Britton & Rose) using microwave-assisted technique**. Chem Eng Trans, v. 43, p.127–132, 2015.

ZHANG, L.M.; ZHAO, X.; JI, J.J.; DAI, Y.J. **TG-DTG as an effective method for the characterization of rutin extracted from the buds of *Sophora japonica* L.** Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, p. 1-6, 2008.

ZANINETTI, R.A.; MOREIRA, A.; FERRAUDO, A.S.; TEIXEIRA, S.T. **Variabilidade populacional na produção de óleo, lipídios totais na amêndoa e polpa de tucumã coletados no estado do Acre.** Agrotrópica v. 28, n. 2, p. 179-184. 2016.

ZIBERNA, L.; FORNASARO, S.; CVOROVIC, J.; TRAMER, F.; PASSAMONTI, S. **Bioavailabilit of flavonoids: The role of cell membrane transportes.** Polyphenols in Human Health and Disease, v. 1, p.489-511, 2014.