



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE
ESCOLA DE QUÍMICA E ALIMENTOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E CIÊNCIA DE
ALIMENTOS

**AVALIAÇÃO DO MICROENCAPSULAMENTO POR ATOMIZAÇÃO E DA
BIOATIVIDADE DO ARAÇÁ-BOI (*Eugenia stipitata*)**

MELCHOR SORIA ITURRI

RIO GRANDE, RS

2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE
ESCOLA DE QUÍMICA E ALIMENTOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E CIÊNCIA DE ALIMENTOS

**AVALIAÇÃO DO MICROENCAPSULAMENTO POR ATOMIZAÇÃO E DA
BIOATIVIDADE DO ARAÇÁ-BOI (*Eugenia stipitata*)**

MELCHOR SORIA ITURRI

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para
obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciência de
Alimentos

Dr. CARLOS PRENTICE - HERNÁNDEZ
Orientador

RIO GRANDE, RS

2017

Ficha catalográfica

S714a Soria Iturri, Melchor.
Avaliação do microencapsulamento por atomização e da bioatividade do arará-boi (*Eugenia stipitata*) / Melchor Soria Iturri. – 2017.
160 p.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Programa de Pós-graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos, Rio Grande/RS, 2017.

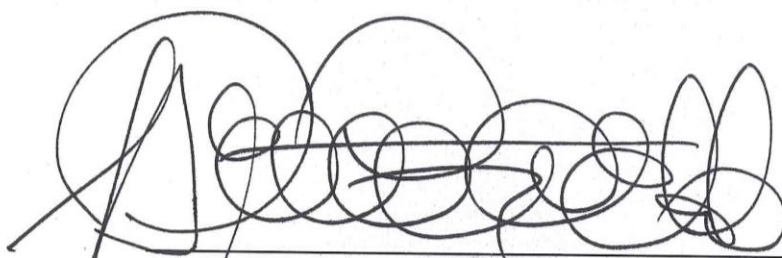
Orientador: Dr. Carlos Prentice-Hernández.

1. Arará-boi 2. Bioatividade 3. Calorimetria Exploratória Diferencial 4. Psicrometria 5. Secagem por atomização 6. Simulação da digestão gastrointestinal I. Prentice-Hernández, Carlos II. Título.

CDU 664.853

APROVAÇÃO

Dissertação defendida por Melchor Soria Iturri e aprovada em 3 de março de 2017,
pela Comissão Examinadora constituída pelos professores:



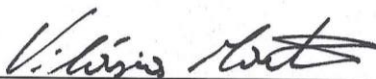
Prof. Dr. Carlos Prentice-Hernández – FURG



Prof. Dr. Caciardo Pelayo Zapata Noreña – UFRGS



Profa. Dra. Myriam de Las M. Salas Mellado – FURG.



Profa. Dra. Vilásia Guimarães Martins – FURG.

RESUMO

O araçá-boi (*Eugenia stipitata*) é uma fruta nativa da Amazonia Ocidental que apresenta compostos bioativos com propriedades funcionais para a saúde, e foi comprovado que pode ser consumida para prevenir o câncer. A desvantagem que apresenta é que tem alto índice de perecibilidade, que o leva a perder em pouco tempo suas propriedades bioativas. Por esse motivo, o objetivo geral foi avaliar o microencapsulamento por atomização da polpa do araçá-boi para conservar sua bioatividade. Inicialmente realizou-se a caracterização físico-química da polpa de araçá-boi, ressaltando a alta acidez e o conteúdo de açúcares totais e redutores, por tal motivo para conservar os polifenóis totais e a capacidade antioxidante do fruto por microencapsulamento por atomização, foi necessário usar materiais de parede. Realizou-se a Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) para determinar a proporção do material de parede e a temperatura do bulbo seco (T.b.s) do ar de secagem a serem usados. As proporções usadas dos materiais de parede (Maltodextrina e Goma arábica) para obter as micropartículas da polpa de araca-boi foram 10 e 20 % m/m. A faixa da T.b.s do ar de secagem para maltodextrina foi de 100,4 até 118,5 °C; e para goma arábica foi de 132,0 até 150,5 °C. Para determinar a vazão do ar de secagem de um *mini* atomizador, onde a T.b.s do ar na saída fosse a mais baixa possível, usaram-se as propriedades termodinâmicas do ar úmido e o balanço de massa para água. Depois de que a melhor condição de secagem foi estabelecida, realizou-se a secagem por atomização da polpa de araçá-boi. Após a secagem por atomização, nas micropartículas obtidas do recipiente e nas retidas da câmara de secagem, quantificou-se a concentração de polifenóis totais e a capacidade antioxidante. As micropartículas do recipiente, obtidas com 20 % de maltodextrina a 100 °C foram as que conservaram uma quantidade maior de polifenóis totais e apresentaram maior capacidade antioxidante pelos três métodos testados (ABTS⁺, DPPH, FRAP). Essas micropartículas apresentaram uma boa estabilidade térmica, pois foram semelhantes ao comparado com o comportamento térmico da maltodextrina pura, e apresentaram uma temperatura de transição vítrea (Tg) de 63,69 °C, podendo ser armazenadas à temperatura ambiente de 20 a 35 °C sem apresentar problemas de pegajosidade. Estas micropartículas foram também as que apresentaram morfologia esférica mais pronunciada, com tamanho heterogêneo de $5,98 \pm 2,48 \mu\text{m}$. As micropartículas do recipiente obtidas com 20 % de maltodextrina a 100 °C, após a simulação da digestão gastrointestinal *in vitro* foram as que apresentaram maior bioatividade para serem absorvidos pelo organismo, em vista de que elas conservaram $60,58 \pm 1,65 \%$ dos polifenóis totais da fruta, e apresentaram a maior capacidade antioxidante pelos três métodos testados.

Palavras-chave: Araçá-boi. Bioatividade. Calorimetria Exploratória Diferencial. Psicrometria. Secagem por atomização. Simulação da digestão gastrointestinal.

ABSTRACT

Evaluation of spray-drying microencapsulation and bioactivity of araza (*Eugenia stipitata*)

The araza (*Eugenia stipitata*) is an Occidental Amazonian native fruit that presents bioactive compounds with functional properties for health, and it has been proven that it can be consumed to prevent cancer. The disadvantage presents is that it has a high index of perishability, which leads in a short time to lose its bioactive properties. By this cause the general aim of this work was to evaluate the microencapsulation by atomization of the araza pulp to maintain its bioactivity. Initially the physical-chemical characterization of the araza pulp was carried out, highlighting the high acidity and the total and reducing sugar content, for this reason to conserve the total polyphenols and the antioxidant capacity present in the fruit by microencapsulation by atomization wall materials were used. Differential Scanning Calorimetry (DSC) was performed to determine the ratio of the wall material and the dry bulb temperature of the drying air to be used. The proportions used of wall materials (maltodextrin and gum arabic) to obtain the microparticles of the araza pulp were 10 and 20 % m/m. The Dry bulb temperature range of the drying air for maltodextrin was from 100.4 to 118.5 °C; and for gum arabic was from 132.0 to 150.5 °C. To determine the flow rate of the drying air of a mini spray dryer, where the dry bulb temperature of the air in the outlet is the lowest possible, was used the thermodynamic properties of the humid air and the mass balance for water. After the best drying condition was established, it was performed the spray drying of the araza pulp. After to spray drying, in the microparticles from the container and in the retained ones of the drying chamber, was quantified the concentration of total polyphenols and the antioxidant capacity. The microparticles of the container, obtained with 20 % of maltodextrin and dried with dry bulb temperature of the drying air of 100 °C, conserved most total polyphenols and presented most antioxidant capacity by the three methods tested (ABTS⁺, DPPH and FRAP) than the other experiments. These microparticles had good thermal stability, because they were similar to the thermal behavior of pure maltodextrin and have a glass transition temperature (Tg) of 63.69 °C and can be stored at room temperature from 20 to 35 °C without having stickiness problems. These microparticles were also the ones that presented a more pronounced spherical morphology, with heterogeneous size of 5.98 ± 2.48 μm. The microparticles of the container obtained with 20 % of maltodextrin and dried with dry bulb temperature of drying air of 100 °C, after simulation of gastrointestinal digestion in vitro were the ones that had the highest bioactivity to be absorbed by the human organism, since they retained 60.58 ± 1.65 % of the total polyphenols of the fruit, and presented more antioxidant capacity by the three tested methods.

Keywords: Araza. Bioactivity. Differential scanning calorimetry. Psychrometry. Spray drying. Simulation of gastrointestinal digestion.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição físico-química da polpa de araçá-boi.....	20
Tabela 2 - Porcentagem de polpa, casca e semente do araçá-boi	51
Tabela 3 - Caracterização físico-química da polpa de araçá-boi.....	52
Tabela 4 – Concentração de açúcares totais e redutores presentes na polpa de araçá-boi	54
Tabela 5 - Porcentagem de água e de matéria seca total das amostras analisadas por DSC ...	64
Tabela 6 – Dados de porcentagem de água e dos picos endotérmicos da Calorimetria Exploratória Diferencial das amostras testadas	67
Tabela 7 - Parâmetros iniciais e finais calculados para vazão do ar de 1,68 m ³ /min para secagem por atomização.	74
Tabela 8 - Vazões do ar de secagem onde a T.b.s do ar na saída está 10 °C acima da temperatura de saturação adiabática do ar	78
Tabela 9 – Parâmetros iniciais e finais do ar, calculados para a vazão do ar de 0,63 m ³ /min na secagem por atomização	81
Tabela 10 – Concentração de polifenóis totais e capacidade antioxidante da maltodextrina (MA) e goma arábica (GA)	82
Tabela 11 – Quantidade do material de parede misturado com a matéria seca da polpa de araçá-boi microencapsulada	84
Tabela 12 – Concentração de polifenóis totais e capacidade antioxidante das micropartículas da polpa de araçá-boi do recipiente do <i>mini</i> atomizador	86
Tabela 13 – Eficiência do microencapsulamento da polpa de araçá-boi em função da conservação de Polifenóis Totais e da Capacidade antioxidante das micropartículas do recipiente de produto do <i>mini</i> atomizador	89
Tabela 14 - Concentração de polifenóis totais e capacidade antioxidante das micropartículas da polpa de araçá-boi retido na câmara de secagem.....	93
Tabela 15 - Eficiência do microencapsulamento da polpa de araçá-boi em função da conservação de polifenóis totais e da capacidade antioxidante das micropartículas retidas na câmara de secagem	94
Tabela 16 – Tamanho e morfologia das micropartículas obtidas mediante microscopia eletrônica de varredura (MEV).....	117
Tabela 17 – Concentração de polifenóis totais e capacidade antioxidante das micropartículas atomizadas da polpa de araçá-boi do recipiente do <i>mini</i> atomizador após a simulação da digestão gastrointestinal <i>in vitro</i>	120
Tabela 18 – Eficiência do microencapsulamento da polpa de araçá-boi, em função da preservação de polifenóis totais e da capacidade antioxidante nas micropartículas do recipiente do <i>mini</i> atomizador após a simulação da digestão gastrointestinal <i>in vitro</i>	121
Tabela 19 – Concentração de polifenóis totais e capacidade antioxidante presentes nas micropartículas atomizadas da polpa de araçá-boi retidas na câmara de secagem do <i>mini</i> atomizador após a simulação da digestão gastrointestinal <i>in vitro</i>	123
Tabela 20 – Eficiência do microencapsulamento da polpa de araçá-boi em função da preservação de polifenóis totais e da capacidade antioxidante das micropartículas retidas na câmara de secagem do <i>mini</i> atomizador após a simulação gastrointestinal <i>in vitro</i>	124

Tabela 21 - Valores médios de concentração de polifenóis totais e da capacidade antioxidante das melhores micropartículas atomizadas da polpa de araçá-boi após a simulação da digestão gastrointestinal <i>in vitro</i>	126
Tabela 22 — Dados obtidos na elaboração da curva padrão de ácido gálico para quantificar os polifenóis totais.....	143
Tabela 23 — Dados obtidos na elaboração da curva padrão de sulfato ferroso para quantificar a capacidade antioxidante pelo método FRAP	143
Tabela 24 — Dados obtidos na elaboração da curva padrão de Trolox para quantificar a capacidade antioxidante pelo método ABTS	144
Tabela 25 — Dados obtidos na elaboração da curva padrão de DPPH para quantificar a capacidade antioxidante pelo método DPPH	144
Tabela 26 — Absorbâncias na quantificação de polifenóis totais da polpa de araçá-boi usando como solvente solução de etanol 80 % v/v em água.....	145
Tabela 27 — Absorbâncias na quantificação de polifenóis totais da polpa de araçá-boi usando como solvente a solução composta de uma proporção (50:50) de metanol (50 % v/v em água) e acetona (70 % v/v em água).....	145
Tabela 28 — Absorbâncias na quantificação da capacidade antioxidante pelo método FRAP da polpa de araçá-boi usando como solvente solução de etanol 80 % v/v em água	146
Tabela 29 — Absorbâncias na quantificação da capacidade antioxidante pelo método FRAP da polpa de araçá-boi usando como solvente a solução composta de uma proporção (50:50) de metanol (50 % v/v em água) e acetona (70 % v/v em água).....	146
Tabela 30 — Absorbâncias na quantificação da capacidade antioxidante pelo método ABTS da polpa de araçá-boi usando como solvente solução de etanol 80 % v/v em água	147
Tabela 31 — Absorbâncias na quantificação da capacidade antioxidante pelo método ABTS da polpa de araçá-boi usando como solvente a solução composta de uma proporção (50:50) de metanol (50 % v/v em água) e acetona (70 % v/v em água).....	147
Tabela 32 — Absorbâncias na quantificação da capacidade antioxidante pelo método DPPH da polpa de araçá-boi usando como solvente solução de etanol 80 % v/v em água	148
Tabela 33 — Absorbâncias na quantificação da capacidade antioxidante pelo método DPPH da polpa de araçá-boi usando como solvente a solução composta de uma proporção (50:50) de metanol (50 % v/v em água) e acetona (70 % v/v em água).....	148
Tabela 34 — Absorbâncias na quantificação de polifenóis totais das micropartículas da polpa de araçá-boi do recipiente do <i>mini</i> atomizador, e da Goma arábica	149
Tabela 35 — Absorbâncias na quantificação de polifenóis totais das micropartículas da polpa de araçá-boi retidas da câmara de secagem do mini atomizador, e da Maltodextrina.....	149
Tabela 36 — Absorbâncias na quantificação da capacidade antioxidante pelo método FRAP das micropartículas da polpa de araçá-boi do recipiente do <i>mini</i> atomizador, e da Goma arábica.....	150
Tabela 37 — Absorbâncias na quantificação da capacidade antioxidante pelo método FRAP das micropartículas das micropartículas da polpa de araçá-boi retidas da câmara de secagem do <i>mini</i> atomizador.....	150
Tabela 38 — Absorbâncias na quantificação da capacidade antioxidante pelo método ABTS das micropartículas da polpa de araçá-boi do recipiente do <i>mini</i> atomizador, e da Goma arábica	151

Tabela 39 — Absorbâncias na quantificação da capacidade antioxidante pelo método ABTS das micropartículas das micropartículas das micropartículas da polpa de araçá-boi retidas da câmara de secagem do <i>mini</i> atomizador	151
Tabela 40 — Absorbâncias na quantificação da capacidade antioxidante pelo método DPPH da polpa de araçá-boi do recipiente do <i>mini</i> atomizador, e da Goma arábica	152
Tabela 41 — Absorbâncias na quantificação da capacidade antioxidante pelo método DPPH das micropartículas das micropartículas das micropartículas da polpa de araçá-boi retidas da câmara de secagem do <i>mini</i> atomizador	152
Tabela 42 — Absorbâncias na quantificação de polifenóis totais das micropartículas da polpa de araçá-boi do recipiente do <i>mini</i> atomizador, e da Goma arábica, após a simulação da digestão gastrointestinal <i>in vitro</i>	153
Tabela 43 — Absorbâncias na quantificação de polifenóis totais das micropartículas da polpa de araçá-boi retidas na câmara de secagem do <i>mini</i> atomizador, e da Goma arábica, após a simulação da digestão gastrointestinal <i>in vitro</i>	153
Tabela 44 — Absorbâncias na quantificação da capacidade antioxidante pelo método FRAP das micropartículas da polpa de araçá-boi do recipiente do <i>mini</i> atomizador, e da Goma arábica, após a simulação da digestão gastrointestinal <i>in vitro</i>	154
Tabela 45 — Absorbâncias na quantificação da capacidade antioxidante pelo método FRAP das micropartículas da polpa de araçá-boi retidas na câmara de secagem do <i>mini</i> atomizador, e da Goma arábica, após a simulação da digestão gastrointestinal <i>in vitro</i>	154
Tabela 46 — Absorbâncias na quantificação da capacidade antioxidante pelo método ABTS das micropartículas da polpa de araçá-boi do recipiente do <i>mini</i> atomizador, e da Goma arábica, após a simulação da digestão gastrointestinal <i>in vitro</i>	155
Tabela 47 — Absorbâncias na quantificação da capacidade antioxidante pelo método ABTS das micropartículas da polpa de araçá-boi retidas na câmara de secagem do <i>mini</i> atomizador, e da Goma arábica, após a simulação da digestão gastrointestinal <i>in vitro</i>	155
Tabela 48 — Absorbâncias na quantificação da capacidade antioxidante pelo método DPPH das micropartículas da polpa de araçá-boi do recipiente do <i>mini</i> atomizador, e da Goma arábica, após a simulação da digestão gastrointestinal <i>in vitro</i>	156
Tabela 49 — Absorbâncias na quantificação da capacidade antioxidante pelo método DPPH das micropartículas da polpa de araçá-boi retidas na câmara de secagem do <i>mini</i> atomizador, e da Goma arábica, após a simulação da digestão gastrointestinal <i>in vitro</i>	156

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Araçazeiro-boi e a fruta araçá-boi.....	19
Figura 2 - Estrutura geral de uma microcápsula	24
Figura 3 - Estrutura das micropartículas	25
Figura 4 - Desenho esquemático da secagem co-corrente por atomização	26
Figura 5 - Diagrama representativo da transição entre os estados vítreo e gomoso para um material amorfo	28
Figura 6 - Frutos de araçá-boi recepcionados no LTA da Escola de Química e Alimentos... 31	
Figura 7 - Materiais de parede usados para o microencapsulamento da polpa de araçá-boi .. 32	
Figura 8 - Polpa, sementes e casca de araçá-boi.....	32
Figura 9 - Polpa de araçá boi congelada a -18 °C, e após descongelamento <i>overnight</i>	33
Figura 10 - Fluxograma de operações e balanço de massa para a obtenção da polpa de araçá-boi.....	33
Figura 11 - Fluxograma de operações e balanço de massa para o microencapsulamento por atomização da polpa de araçá-boi	35
Figura 12 - Extratos filtrados para quantificar açúcares totais e redutores.....	37
Figura 13 - Curva padrão de glicose elaborada para determinar açúcares totais na polpa de araçá-boi.....	38
Figura 14 - Curva padrão de glicose elaborada para determinar açúcares redutores na polpa de araçá-boi.....	39
Figura 15 - Curva padrão de ácido gálico elaborada para determinar a concentração dos polifenóis totais da polpa de araçá-boi.....	40
Figura 16 - Curva padrão de Trolox equivalente elaborada para determinar a capacidade antioxidante pela captura do radical livre ABTS•+ da polpa de araçá-boi	42
Figura 17 - Curva padrão de DPPH elaborado para determinar a capacidade antioxidante pela captura do radical livre DPPH da polpa de araçá-boi	43
Figura 18 - Curva padrão de sulfato ferroso elaborada para determinar a capacidade antioxidante pela redução do ferro (FRAP) da polpa de araçá-boi.....	44
Figura 19 - Equipamento usado e as amostras analisadas por DSC	45
Figura 20 - Micropartículas atomizadas da polpa de araçá-boi antes e após a mistura com água destilada.....	46
Figura 21 - Etapas durante a simulação da digestão gastrointestinal <i>in vitro</i>	49

Figura 22 - Picos de evaporação de água, da água destilada e da polpa diluída e da polpa diluída misturada com Maltodextrina obtidos por DSC	65
Figura 23 - Picos de evaporação de água, da água destilada e da polpa diluída e da polpa diluída misturada com Goma arábica obtidos por DSC	66
Figura 24 - Carta psicrométrica mostrando as linhas características de aquecimento do ar ...	73
Figura 25 - Carta psicrométrica onde o ar está 10 °C acima da temperatura de saturação adiabática do ar	76
Figura 26 - Carta psicrométrica com as linhas características de aquecimento do ar úmido, à vazão do ar de secagem usado no microencapsulamento da polpa de araçá-boi	80
Figura 27 - Micropartículas avaliadas da polpa de araçá-boi, geradas no recipiente e na câmara de secagem do <i>mini</i> atomizador	83
Figura 28 - Micropartículas da polpa de araçá-boi do recipiente de produto.....	85
Figura 29 - Micropartículas da polpa de araçá-boi retidas na câmara de secagem	91
Figura 30 - Curva de análise térmica da maltodextrina (MD) e das micropartículas encapsuladas com MD do recipiente do <i>mini</i> atomizador	97
Figura 31 - Curva de análise térmica da goma arábica (GA) e das micropartículas encapsuladas com GA do recipiente do <i>mini</i> atomizador.....	100
Figura 32 - Curva de análise térmica da maltodextrina (MD) e das micropartículas encapsuladas com MD retidas na câmara de secagem do <i>mini</i> atomizador	102
Figura 33 - Curva de análise térmica da goma arábica (GA) e das micropartículas encapsuladas com GA retidas na câmara de secagem do <i>mini</i> atomizador.....	104
Figura 34 - Micrografias das micropartículas do recipiente do <i>mini</i> atomizador obtidas com 10 % de maltodextrina a 120 °C.....	105
Figura 35 - Micrografias das micropartículas do recipiente do <i>mini</i> atomizador obtidas com 20 % de maltodextrina a 120 °C.....	106
Figura 36 - Micrografias das micropartículas do recipiente do <i>mini</i> atomizador obtidas com 20 % de maltodextrina a 100 °C.....	107
Figura 37 - Micrografia aumentada em 2000 vezes das micropartículas do recipiente do <i>mini</i> atomizador obtidas com 10 % de goma arábica a 120 °C	109
Figura 38 - Micrografias das micropartículas do recipiente do <i>mini</i> atomizador obtidas com 20 % de goma arábica a 120 °C.....	109
Figura 39 - Micrografias das micropartículas do recipiente do produto do <i>mini</i> atomizador obtidas com 20 % de goma arábica a 100 °C	110

Figura 40 - Micrografias das micropartículas retidas na câmara de secagem do <i>mini</i> atomizador obtidas com 10 % de maltodextrina a 120 °C.....	111
Figura 41 - Micrografias das micropartículas retidas na câmara de secagem do <i>mini</i> atomizador obtidas com 20 % de maltodextrina a 120 °C.....	112
Figura 42 - Micrografias das micropartículas retidas na câmara de secagem do <i>mini</i> atomizador obtidas com 20 % de maltodextrina a 100 °C.....	113
Figura 43 - Micrografia com aumento de 4000 vezes das micropartículas retidas na câmara de secagem do <i>mini</i> atomizador obtidas com 10 % de goma arábica a 120 °C.....	114
Figura 44 - Micrografias das micropartículas retidas na câmara de secagem do <i>mini</i> atomizador obtidas com 20 % de goma arábica a 120 °C.....	115
Figura 45 - Micrografias das micropartículas retidas na câmara de secagem do <i>mini</i> atomizador obtidas com 20 % de goma arábica a 100 °C.....	115
Figura 46 - Concentrações de Polifenóis Totais da polpa de araçá-boi, das micropartículas obtidas com 20 % de maltodextrina a 100 °C antes e após a simulação da digestão gastrointestinal <i>in vitro</i>	128
Figura 47 - Capacidade antioxidante pela captura do radical livre ABTS•+ da polpa de araçá-boi, e das micropartículas obtidas com 20 % de maltodextrina a 100 °C antes e após a simulação da digestão gastrointestinal <i>in vitro</i>	129
Figura 48 - Capacidade antioxidante pela captura do radical livre DPPH expresso como IC-50 da polpa de araçá-boi, e das micropartículas obtidas com 20 % de maltodextrina a 100 °C antes e após a simulação da digestão gastrointestinal <i>in vitro</i>	130
Figura 49 - Capacidade antioxidante pela captura do radical livre DPPH expresso como g amostra/g DPPH da polpa de araçá-boi, e das micropartículas obtidas com 20 % de maltodextrina a 100 °C antes e após a simulação da digestão gastrointestinal <i>in vitro</i>	131
Figura 50 - Capacidade antioxidante pelo método FRAP da polpa de araçá-boi, e das micropartículas obtidas com 20 % de maltodextrina a 100 °C antes e após a simulação da digestão gastrointestinal <i>in vitro</i>	132

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 OBJETIVOS	17
2.1 OBJETIVO GERAL.....	17
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	18
3.1 GENERALIDADES	18
3.2 ARAÇÁ-BOI.....	19
3.3 ALIMENTOS FUNCIONAIS	21
3.3.1 Origem	21
3.3.2 Regulamentação Brasileira para “Alimento Funcional”	21
3.4 PRINCIPAIS ANTIOXIDANTES NOS ALIMENTOS	22
3.4.1 Ácido ascórbico	22
3.4.2 Compostos Fenólicos	23
3.5 MICROENCAPSULAÇÃO	23
3.5.1 Secagem por atomização	25
3.5.2 Temperatura de transição vítrea (Tg)	27
3.5.3 Materiais de parede como coadjuvantes na secagem por atomização	28
3.6 SIMULAÇÃO DA DIGESTÃO GASTROINTESTINAL <i>IN VITRO</i>	30
3.6.1 Modelos da digestão <i>in vitro</i>	30
3.6.2 Biodisponibilidade dos Compostos Fenólicos	30
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	31
4.1 MATERIAL	31
4.1.1 Matéria-prima.....	31
4.1.2 Material de parede ou agentes coadjuvantes	31
4.2 METODOLOGIA.....	32
4.2.1 Obtenção da polpa de araçá-boi.....	32
4.2.2 Microencapsulamento da polpa de araçá-boi mediante secagem por atomização ..	34
4.2.3 Análises da polpa	36

4.2.4 Análise das micropartículas atomizadas	46
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
5.1 RENDIMENTO EM POLPA DE ARAÇÁ-BOI	51
5.2 COMPOSIÇÃO QUÍMICA PROXIMAL DA POLPA DE ARAÇÁ-BOI	51
5.2.1 Açúcares totais e redutores da polpa de araçá-boi	53
5.3 POLIFENÓIS TOTAIS E CAPACIDADE ANTIOXIDANTE PRESENTE NA POLPA DE ARAÇÁ-BOI	54
5.4 DETERMINAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE SECAGEM POR ATOMIZAÇÃO DA POLPA DE ARAÇÁ-BOI	62
5.4.1 Calorimetria exploratória diferencial (DSC) da polpa diluída de araçá-boi misturada com material de parede	62
5.4.2 Vazão do ar de secagem para o microencapsulamento da polpa de araçá-boi por atomização	71
5.5 CARACTERIZAÇÃO DA BIOATIVIDADE DAS MICROPARTÍCULAS	82
5.5.1 Concentração de polifenóis totais e capacidade antioxidante das micropartículas do recipiente de produto do <i>mini</i> atomizador	85
5.5.2 Concentração de polifenóis totais e capacidade antioxidante das micropartículas retidas na câmara de secagem do <i>mini</i> atomizador	91
5.6 ANÁLISE TÉRMICA E DETERMINAÇÃO DA ESTRUTURA DAS MICROPARTÍCULAS	95
5.6.1 Análise Térmica das micropartículas	96
5.6.2 Estrutura das micropartículas	105
5.7 SIMULAÇÃO DA DIGESTÃO GASTROINTESTINAL <i>IN VITRO</i> DAS MICROPARTÍCULAS	119
5.8 Comportamento dos polifenóis totais e DA capacidade antioxidante da polpa de araçá-boi e das microparticulas atomizadas antes e após a simulação da digestão gastrointestinal <i>in vitro</i>	128
6 CONCLUSÃO	133
7 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	134
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	135
APÊNDICE	143

1 INTRODUÇÃO

A maioria das frutas tropicais é altamente perecível, deteriorando-se em poucos dias, dificultando assim sua comercialização. O araçá-boi (*Eugenia stipitata*) é uma fruta produzida no Brasil, que é pouco conhecida pelos brasileiros. A polpa do araçá-boi, além de apresentar características nutricionais e sensoriais interessantes, apresenta compostos bioativos com propriedades funcionais para a saúde. Neri-Numa et al. (2013) demonstraram que o extrato etanólico da polpa de araçá-boi apresentou propriedades antimutagênicas e antigenotóxicas numa concentração de 300 mg/kg de peso corporal, com este resultado os autores sugeriram que este fruto pode ser utilizado como um agente preventivo contra o câncer. O araçá-boi apresenta uma taxa de respiração elevada ($600 \text{ mgCO}_2\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$), por este fato ele é aproveitado principalmente pelas populações nativas e é pouco comercializado por sua alta perecibilidade, que o leva a perder em pouco tempo sua bioatividade.

Além disso, a polpa de araçá-boi tem uma alta acidez, o que limita seu consumo “*in natura*”. Nos estados de Amazonas e Bahia, onde a fruta é mais conhecida, algumas agroindústrias usam a polpa de araçá-boi para obter suco concentrado, sorvetes, doces e geleias; a elaboração destes produtos faz com que os compostos bioativos presentes na polpa sofram degradação.

A secagem tem como princípio remover água de um alimento, reduzindo assim, a deterioração microbiológica e as taxas das reações de degradação, e prolongar a disponibilização dos alimentos sazonais, impedindo a perda do valor comercial, sensorial e funcional. Além da preservação, a secagem dos alimentos reduz a massa e o volume do produto, aumentando a eficiência do transporte e do armazenamento.

Entre as técnicas de secagem a atomização é aplicada a qualquer produto possível de ser bombeado, como emulsões, pastas, soluções e suspensões. A secagem por atomização é ideal para a secagem de produtos que contêm compostos sensíveis ao calor, dado que o tempo de exposição das partículas ao calor é curto, geralmente poucos segundos. A secagem por atomização é uma técnica de microencapsulamento, que trata da inclusão do material ativo em uma matriz sólida de polímero formando uma microesfera. A microencapsulação ou microencapsulamento tem aplicações em produtos como óleos essenciais, fármacos, produtos alimentícios, suplementos, minerais, aromas, fragrâncias, aditivos naturais entre outros. O microencapsulamento preserva a substância ativa de interesse, evita perdas nutricionais, inibe reações de oxidação, conserva a cor e sabor, e aumenta a vida útil do produto final.

No microencapsulamento por atomização de polpa de frutas, é importante a adição de materiais poliméricos como agentes carreadores (material de parede), visto que aumentam a temperatura de transição vítrea (Tg) do produto final, minimizando problemas de aderência e manipulação além de aumentar o rendimento do processo e a estabilidade do produto em condições ambientais, devido à formação de um “filme” protetor. Entre os materiais de parede usados para obter micropartículas de polpas de frutas estão a maltodextrina e a goma arábica, pois geralmente os sucos de frutas contêm alta concentração de ácidos e açúcares, o que faz que as micropartículas atomizadas tenham baixa Tg apresentando pegajosidade à temperatura ambiente, acarretando problemas como adesão às paredes do secador, aglomeração e dificuldades na sua produção.

Com o intuito de conservar a bioatividade do fruto, neste trabalho foi estudado o microencapsulamento mediante secagem por atomização da polpa de araçá-boi, com a finalidade de tornar possível seu aproveitamento. Com isso, esta fruta será uma alternativa a mais para aproveitar a produção agrícola no Brasil, sendo que hoje a fruta é produzida numa escala muito baixa e aproveitada principalmente pelas pessoas do campo com pouca difusão no mercado. Finalmente, para estudar a resistência das micropartículas da polpa de araçá-boi, foi realizada uma simulação da digestão gastrointestinal *in vitro* das micropartículas obtidas da polpa do araçá boi.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o microencapsulamento por atomização e a bioatividade apresentada pela polpa do araçá-boi.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar a caracterização físico-química da polpa de araçá-boi;
- Determinar a concentração de polifenóis totais e a capacidade antioxidante, presentes na polpa e nos produtos microencapsulados;
- Determinar as melhores condições de operação de secagem por atomização para o microencapsulamento da polpa de araçá-boi;
- Realizar a análise térmica e determinar a estrutura das micropartículas atomizadas;
- Avaliar o comportamento das micropartículas atomizadas utilizando uma simulação da digestão gastrointestinal *in vitro*.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 GENERALIDADES

Inicialmente se mostram dois trabalhos sobre microencapsulamento da polpa de frutas mediante secagem por atomização, ressaltando que nessas pesquisas as condições de secagem por atomização foram determinadas através de planejamento experimental.

Oliveira, Tonon e Cabral (2013), estudaram a estabilidade da polpa de morango atomizada utilizando diferentes materiais de parede. O trabalho teve por objetivo avaliar o efeito de diferentes agentes carreadores (Maltodextrina 5DE, Maltodextrina 10DE, Goma arábica e Capsul) nas características físico-químicas (umidade, densidade, solubilidade, teor de antocianinas e atividade antioxidante) da polpa de morango desidratada por atomização e armazenada à temperatura ambiente por 90 dias. Cada formulação foi preparada utilizando a proporção 1:2 (matéria seca da polpa: material de parede). A secagem por atomização foi realizada em um *mini* atomizador Buchi Modelo B-190 (Flawil, Suíça), com temperaturas de bulbo seco do ar de secagem de 180 °C na entrada e 90 °C na saída (definidas em ensaios preliminares), respectivamente; pressão do ar comprimido de 7 bar; vazão média do ar secagem de 700 L/h, e vazão média de alimentação de 15 mL/min. Para o estudo da estabilidade, as amostras foram estocadas em embalagens flexíveis de alumínio revestidas com polietileno e colocadas em dessecadores contendo sílica gel, à temperatura ambiente (25 ± 2 °C), durante 90 dias, sendo avaliadas periodicamente, a cada 15 dias, em relação aos teores de antocianinas totais e atividade antioxidante. Os resultados obtidos indicaram que a goma arábica foi o agente carreador mais adequado para a produção de polpa de morango em pó.

Ferrari, Ribeiro e Aguirre (2012), estudaram a secagem por atomização de polpa de amora-preta usando maltodextrina como material de parede, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da temperatura do ar de secagem (160 ou 180 °C) e da concentração de maltodextrina (5, 15 ou 25 %) sobre as características físico-químicas da polpa de amora-preta em pó, produzido por atomização. O produto final foi analisado quanto ao teor de umidade e de antocianinas, higroscopicidade, atividade de água, cor, distribuição do tamanho das partículas e microestrutura. Temperaturas de secagem maiores resultaram em maior na redução da umidade, da atividade de água e do conteúdo de antocianinas dos pós, além da formação de partículas maiores e mais higroscópicas. A temperatura teve efeito significativo na diminuição dos valores dos parâmetros de cor L* e C* somente nos ensaios realizados com

25 % de maltodextrina. Em relação à microestrutura, as partículas produzidas à temperatura de 180 °C apresentaram superfície lisa e maior uniformidade em relação às amostras secas a 160 °C. O aumento da concentração de maltodextrina resultou na formação de partículas com menor umidade e higroscopicidade. Além disso, esses pós (micropartículas) apresentaram menor teor de antocianinas, em função da diluição dos pigmentos da fruta, o que levou ao aumento da luminosidade e à redução do croma das amostras. O ensaio realizado à temperatura de 160 °C com 5 % de maltodextrina foram o mais efetivo na manutenção do teor de antocianinas dos pós, visto que a retenção desses pigmentos foi em torno de 80 %.

3.2 ARAÇÁ-BOI

O araçá-boi (*Eugenia stipitata*) é uma fruta nativa da Amazônia, que pertence à família *Myrtaceae*, que é a mesma da goiabeira e jabuticabeira. É originária da Amazônia Ocidental, usualmente cultivada em pequena escala no Brasil, Peru, Bolívia, Equador, Colômbia. O araçazeiro-boi é um arbusto que alcança de 3 a 5 m de altura, possui ramificação densa, com copa de igual diâmetro (CHAVES FLORES; CLEMENT, 1984). Na Figura 1, tem-se o araçazeiro-boi, e a fruta. Segundo Ferreira e Gentil (1999) a produtividade do araçá-boi é de 23 Tn/há com um rendimento em polpa de 63 a 85 %.

Figura 1 - Araçazeiro-boi e a fruta araçá-boi



Fonte: INIAP e SENACYT (2009)

A Tabela 1 mostra a composição físico-química da polpa de araçá-boi, que apresenta excelentes propriedades sensoriais, que lhe conferem o sabor e aroma característicos,

possuindo alto teor de água, e baixo teor de proteína, carboidratos, fibras, compostos bioativos e considerável teor de vitaminas e sais minerais.

Tabela 1 - Composição físico-química da polpa de araçá-boi

Componente	Unidade	Quantidade
Umidade	%	95,12 ± 2,92
Cinzas	%	0,14 ± 0,01
Extrato etéreo	%	0,40 ± 0,04
Proteína	%	0,71 ± 0,10
Fibra	%	0,37 ± 0,05
Carboidratos totais	%	3,62 ± 0,35
Açúcar total	%	1,89 ± 0,07
Vitamina A	UI/100g	150,21 ± 18,2
Vitamina C	mg/100 g	101,10 ± 7,36
Polifenóis totais	mg/100 g	121,16 ± 13,7
Atividade antioxidante	μmol equiv. Trolox/g	5,00 ± 0,16
pH	-	2,51 ± 0,11
Acidez	% ác. Cítrico	2,88 ± 0,02
Sólidos solúveis	°Brix	4,40 ± 0,25
Cálcio	μg/g	100,00 ± 2,25
Magnésio	μg/g	47,00 ± 1,85
Potássio	μg/g	500,00 ± 25
Fósforo	μg/g	100,00 ± 3,5
Sódio	μg/g	9,00 ± 1,27
Ferro	μg/g	1,00 ± 0,04
Zinco	μg/kg	2,00 ± 0,15
Selênio	μg/kg	0,02

Fonte: INIAP e SENACYT (2009)

Esses frutos quando maduros são muito delicados, amassando-se com facilidade e, portanto, são difíceis de serem transportados por longas distâncias. Quando se dispõe de uma grande quantidade de frutos, recomenda-se que seja feito o beneficiamento dos frutos e que a polpa seja comercializada congelada, para uso no processamento de outros produtos. Apesar

das possibilidades de bons negócios que apresenta, o araçá-boi se caracteriza como uma planta de pequenos pomares, pouco plantada comercialmente, o que restringe a oferta de frutos e produtos (FERREIRA; GENTIL, 1999).

3.3 ALIMENTOS FUNCIONAIS

3.3.1 Origem

A ideia da função do alimento ir além da ação natural de nutrir surgiu em 1920 quando foi adicionado iodo ao sal para combater o bócio. O termo “alimentos funcionais” foi primeiramente introduzido no Japão em meados dos anos 80, o termo se referia aos alimentos processados, contendo ingredientes que auxiliam em funções específicas do corpo além de serem nutritivos. Em 1991 estes alimentos foram definidos como “Alimentos para uso específico de saúde” (*Foods for Specified Health Use* - FOSHU) voltado à pesquisa e regulamentação dos alimentos funcionais, estabeleceu-se que FOSHU são aqueles alimentos que têm efeito específico sobre a saúde devido a sua constituição química e que não deveriam expor ao risco de saúde ou higiênico, o programa é administrado pelo Ministério da Saúde japonês, e hoje registra cerca de cem produtos com alegação de propriedade funcional.

Também a origem dos alimentos funcionais veio da observação de alguns hábitos alimentares de comunidades de todo o mundo. A baixa incidência de doenças em alguns povos chamou a atenção para a sua dieta: o baixo índice de doenças vasculares de povos como os esquimós, com alimentação baseadas em peixes e em produtos do mar ricos em ômega 3 e 6, e de franceses consumidores de vinho tinto; baixo índice de câncer de mama entre os orientais, devido ao consumo de soja, que contém fitoestrogênios; redução do risco de doenças coronarianas e de câncer, em populações que têm costume de consumir frutas e verduras (ANJO, 2004)

3.3.2 Regulamentação Brasileira para “Alimento Funcional”

No Brasil o setor de alimentos é regulamentado pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde embora outros órgãos públicos como Ministério da Agricultura também possuam regulamentos.

A portaria nº398 de 30/04/99, da Secretaria de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde do Brasil fornece a definição de Alimento Funcional: Todo aquele alimento ou

ingrediente que, além das funções nutricionais básicas, quando consumido como parte da dieta usual, produz efeitos metabólicos e/ou fisiológicos e/ou efeitos benéficos à saúde, devendo ser seguro para consumo sem supervisão médica. Nessa resolução, faz-se a distinção entre alegação de propriedade funcional e alegação de propriedade de saúde:

- **Alegação de propriedade funcional:** é aquela relativa ao papel metabólico ou fisiológico que uma substância (seja nutriente ou não) tem no crescimento, desenvolvimento, manutenção e outras funções normais do organismo humano.

- **Alegação de propriedade de saúde ou bioatividade:** é aquela que afirma, sugere ou implica a existência de relação entre o alimento ou ingrediente com doença ou condição relacionada à saúde. Não são permitidas alegações de saúde que façam referência à cura ou prevenção de doenças.

Na legislação da maioria dos países três condições básicas devem ser alcançadas para que um alimento seja classificado como funcional: ser um alimento derivado de ingredientes de ocorrência natural; ser consumido em parte da dieta diária; apresentar função particular após sua ingestão, servindo para regular um processo metabólico específico, como aumento dos mecanismos de defesa biológica, prevenção de doenças, aumento da resistência, controle das condições físicas naturais de envelhecimento e outros (POLLONIO, 2000).

3.4 PRINCIPAIS ANTIOXIDANTES NOS ALIMENTOS

Entre os principais antioxidantes com funcionalidade bioativa no corpo humano, destacam-se o ácido ascórbico e os compostos fenólicos (DIPLOCK et al., 1998).

3.4.1 Ácido ascórbico

A vitamina C é essencial à saúde. O ácido ascórbico participa dos processos celulares de oxirredução, acelera a absorção intestinal dos íons de ferro e sua mobilização, influenciando sua distribuição dentro do organismo, também é importante na biossíntese das catecolaminas as quais estimulam a produção de colágeno, previne o escorbuto, é importante na defesa do organismo contra infecções e fundamental na integridade das paredes dos vasos sanguíneos. A recomendação da dose diária de ácido ascórbico é de 75 mg/dia e 90 mg/dia para mulheres e homens respectivamente (MANELA-AZULAY et al., 2003).

3.4.2 Compostos Fenólicos

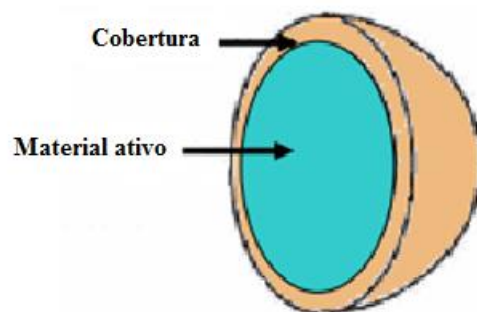
Os compostos fenólicos são quimicamente definidos como substâncias que possuem um anel aromático com um ou mais substituintes hidroxílicos, incluindo seus grupos funcionais e geralmente apresentam propriedade antioxidante (LEE et al., 2005). Os mais importantes metabólitos fenólicos são os ácidos fenólicos (ácidos hidroxibenzóicos e hidroxicinâmicos), os polifenóis e os flavanóides (ANJO, 2004).

Foram desenvolvidas pesquisas sobre a presença de compostos fenólicos em frutas (Pearson et al., 1999) que demonstraram que esses compostos presentes em suco comercial e extrato fresco de maçãs (casca, polpa e fruta inteira) inibiram, *in vitro*, a oxidação de LDL humana, que provoca a aterosclerose, que é uma doença crônica que afeta a parede das artérias, levando a formação de placas de gordura, que podem comprometer o fluxo de sangue através dessas artérias. A doença pode afetar as artérias do cérebro, coração, rins e de outros órgãos vitais, assim como as artérias dos membros superiores e inferiores. Quando a aterosclerose ocorre nas artérias que suprem o cérebro, ela poderá provocar uma isquemia cerebral transitória ou um acidente vascular cerebral (derrame cerebral). Quando a aterosclerose ocorre nas artérias que suprem o coração (artérias coronárias), ela poderá provocar angina do peito, infarto do miocárdio, insuficiência cardíaca e morte. Nos Estados Unidos e na maior parte do mundo, a aterosclerose e suas manifestações, são as principais causas de doença e morte. Apesar dos importantes avanços da medicina, o infarto do miocárdio e o derrame cerebral são responsáveis por mais mortes que todas as demais causas combinadas.

3.5 MICROENCAPSULAÇÃO

A microencapsulação é o processo onde as partículas individuais ou gotas de um material ativo (*core*) rodeiam-se por uma cobertura (*shell*) para produzir cápsulas no intervalo de micras, conhecidos como “microcápsulas” (VILA JATO, 1997). Na Figura 2 destaca-se a estrutura da microcápsula composto por dois elementos, um material ativo e uma parede que rodeia o primeiro.

Figura 2 - Estrutura geral de uma microcápsula



Fonte: (VILSTRUP, 2004).

O conteúdo da microcápsula é chamado na literatura técnica de “material ativo”, “fase interna” ou “núcleo”. Já ao referir-se ao material que forma a parte externa, os textos normalmente usam os termos “material de parede”, “cobertura”, “agente encapsulador”, “carregador”, “casca”. O material do núcleo compreende, em geral, 80 % a 85 % das cápsulas.

Segundo Vila Jato (1997), as microcápsulas são caracterizadas e controladas com ensaios que garantem sua qualidade e homogeneidade, assim como seu comportamento na liberação do material ativo.

Os ensaios característicos realizados às microcápsulas são:

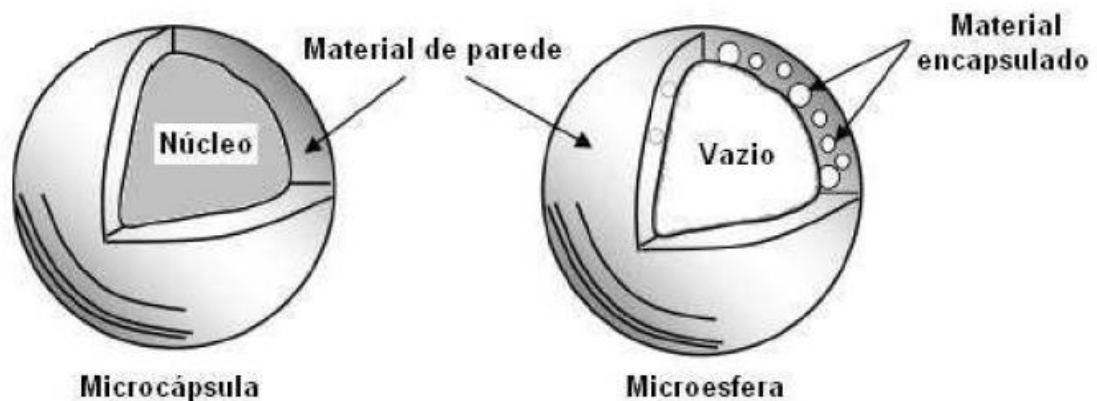
- a) Características morfológicas, tamanho de partícula, estrutura interna, densidade, solubilidade, higroscopicidade,
- b) Rendimento da produção,
- c) Eficiência da encapsulação e conteúdo em material ativo,
- d) Estudo de liberação do material ativo,
- e) Estado físico e interações polímero-material ativo.

Em relação à estrutura física, as micropartículas podem ser classificadas como microcápsulas ou microesferas, como mostrado na Figura 3. As microcápsulas consistem em micropartículas, onde o núcleo está envolvido por uma camada ou filme polimérico formando um sistema do tipo reservatório, e são tipicamente produzidas por coacervação complexa, secagem em leito fluidizado, coextrusão e inclusão molecular. Já as microesferas, produzidas principalmente mediante secagem por atomização, constituem um sistema matricial, no qual o polímero forma uma rede tridimensional onde o material a ser microencapsulado pode estar adsorvido, incorporado ou ligado covalentemente à matriz polimérica, formando sistemas de

dissolução, dispersão ou sistemas porosos. Nestes sistemas, a área central consiste em um vazio resultante da expansão das partículas durante os estágios finais da secagem (JAFARI et al., 2008).

O tamanho de uma cápsula pode variar de alguns micrômetros até 1 mm, podendo ser classificada em nano ($< 0,2 \mu\text{m}$), micro (0,2 a $500 \mu\text{m}$) e macropartículas ($> 500 \mu\text{m}$) (RÉ, 1998).

Figura 3 — Estrutura das micropartículas



Fonte: (JAFARI et al., 2008).

Segundo Vilstrup (2004), existem processos de microencapsulação tipo A e tipo B. Do tipo A encontram-se, os processos de coacervado complexa, polímero-polímero incompatível e processos de injeção submergida. Do tipo B estão baseados em processos físicos, destacam-se a secagem por atomização (*spray drying*), resfriamento depois da atomização (*spray chilling*), recobrimento em leito fluidizado, disco giratório com orifícios múltiplo.

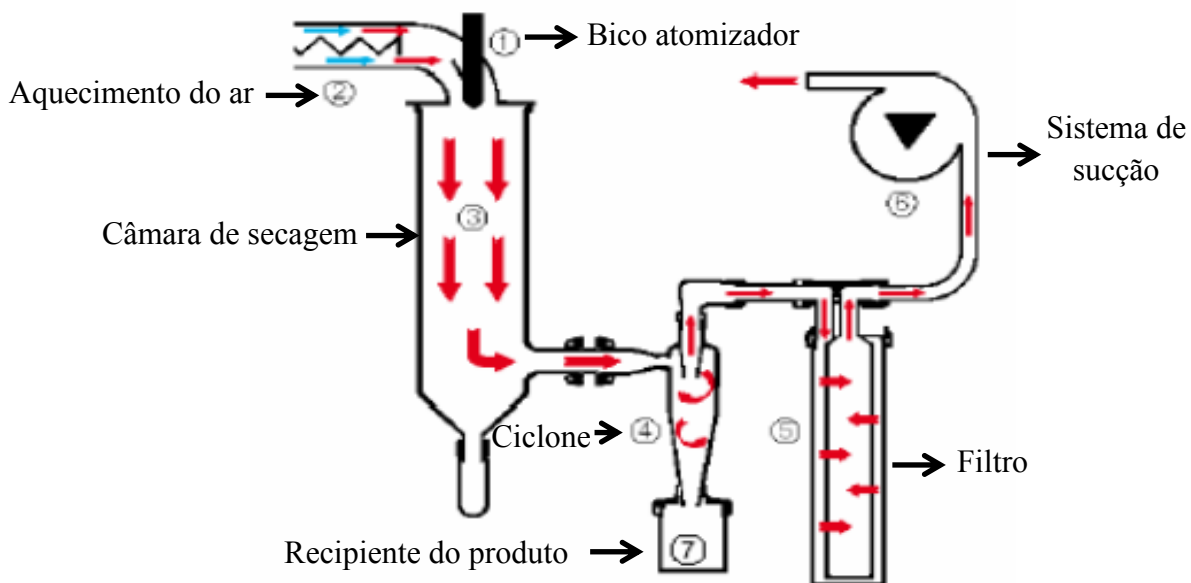
3.5.1 Secagem por atomização

O processo de secagem por atomização consiste em pulverizar um líquido para dentro de uma câmara submetida a uma corrente controlada de ar quente, que supre o calor necessário à evaporação do solvente, resultando na formação de um pó (microesferas). A evaporação da água é muito rápida, graças à alta relação área de superfície/volume das gotículas. Com isso, o tempo de exposição das partículas ao calor é curto (geralmente poucos segundos), e a temperatura do núcleo não ultrapassa os 100°C , o que reduz a ocorrência de alterações indesejáveis em compostos termossensíveis, a vantagem é que as partículas

atomizadas são muito pequenas (geralmente menores que 100 μm), o que torna o produto altamente solúvel (DEYMONAZ et al., 2002).

O produto obtido usando microencapsulação com secagem por atomização está constituído por microcápsulas de forma aproximadamente esférica e de tamanho entre 5 e 600 μm , e que sempre apresenta uma cobertura porosa; porém, quando se faz microcápsulas por este método é necessário utilizar uma baixa proporção do material ativo, e que o material de parede tenha um porcentagem importante da microcápsula total. No caso da microencapsulação de óleos voláteis, recomenda-se que o material volátil não represente mais do que 20 % do total da microcápsula.

Figura 4 - Desenho esquemático da secagem co-corrente por atomização



Fonte: (DEYMONAZ et al., 2002)

O sistema utilizado por um secador por atomização (*Spray Dryer*) pode ser explicado seguindo o desenho esquemático apresentado na Figura 4. Por um sistema de bombeamento, a suspensão é aspirada até a parte superior, sendo aquecida (2) até uma temperatura (de entrada ou “INLET”), apropriada para atomização. Através de um bocal (ou bico atomizador) (1) com saída para os dois fluidos, a suspensão e o gás geralmente ar são injetados ao mesmo tempo na câmara de secagem (3). O processo de atomização é iniciado quando a massa líquida, sob efeito de compressão do gás, é gotejada pelo pequeno orifício do bocal e é seco pelo efeito de temperatura. Devido ao sistema de sucção (6), o pó atomizado passa por um reservatório onde o gás se movimenta de forma tangencial, formando um

ciclone (4), que serve para separar partículas finas dos aglomerados. Os aglomerados, mais pesados, se depositam por gravidade no recipiente de produto (7), e os finos seguem o fluxo de sucção até ficarem retidos em um filtro (5).

A temperatura do ar de secagem, a velocidade de alimentação e a umidade do ar são as variáveis de processo mais importantes na secagem por atomização para conseguir microencapsular (BIRCHAL; PASSOS, 2005). Este processo melhora a estabilidade dos alimentos, uma vez que reduz consideravelmente a atividade de água, minimizando as alterações físicas, químicas e microbiológicas durante o seu armazenamento (HATAMIPOUR et al., 2007).

No caso de secagem por atomização dos sucos de frutas, o alto conteúdo de açúcares redutores (frutose e glicose) pode acarretar a obtenção de microcápsulas (micropartículas) com alta pegajosidade e higroscopicidade, diminuindo o rendimento do processo. Porém, é fundamental conhecer T_g do alimento e utilizar agentes carreadores com alto peso molecular como polímeros e gomas antes da atomização.

3.5.2 Temperatura de transição vítrea (T_g)

Transições de fase são alterações no estado físico dos materiais que têm efeito significativo sobre as suas propriedades físicas. Existem três estados físicos básicos: sólido, líquido e gasoso. O termo transição refere-se à mudança, no estado, provocada por uma alteração de temperatura ou pressão. As transições de fase em alimentos ocorrem, geralmente, como resultado de mudanças na composição ou na temperatura, durante as etapas de processamento ou armazenagem (ROOS, 1995).

Compostos, quimicamente puros, geralmente, são estáveis. No entanto, os alimentos são formados por uma combinação de diferentes componentes e, por essa razão, geralmente, existem em um estado de não equilíbrio amorfo. Materiais amorfos são compostos susceptíveis às mudanças de temperatura e pressão do ambiente, de modo que pequenas variações nas condições ambientes podem provocar mudanças de estado em alguns componentes, causando mudanças estruturais indesejáveis. A mudança de fase mais comum em alimentos é a transição vítrea, que consiste em uma transição de fase de segunda ordem de um estado sólido-vítreo para um estado semilíquido pegajoso. A transição vítrea de um composto ocorre a certa temperatura, denominada temperatura de transição vítrea (T_g), que é variável com a composição do alimento, principalmente, com o teor de água (ROOS, 1995).

Na Figura 5, pode-se observar um diagrama representativo da transição entre os estados vítreo e gomoso.

Figura 5 - Diagrama representativo da transição entre os estados vítreo e gomoso para um material amorfo



Fonte: Labuza et al. (2004).

A partir da observação da Figura 5, percebe-se que quando maior é a concentração de sólidos na substância a temperatura de transição para trocar de estado vítreo para o gomoso é maior, este comportamento é usado na indústria de alimentos, especialmente na área de secagem por atomização, pois o uso do material de parede na secagem por atomização, além de proteger o composto ativo, aumenta o conteúdo de sólidos da suspensão (mistura do alimento líquido com o material de parede sólido).

3.5.3 Materiais de parede como coadjuvantes na secagem por atomização

Alimentos ricos em açúcares redutores (glicose e frutose) e ácidos (cítrico, málico e tartárico) de baixa massa molecular, como os sucos e polpa de frutas, são difíceis de atomizar, pois produzem pós (micropartículas) muito higroscópicos, suscetíveis à aglomeração e com problemas de pegajosidade. Em temperaturas geralmente usadas em atomizadores, tais compostos de baixa massa molecular tendem a apresentar os problemas de adesão às paredes da câmara de secagem, além de coesão (adesão das partículas entre si), podendo mesmo produzir um produto pastoso ao invés de um pó (BHANDARI; DATA; HOWES, 1997).

Essa alta higroscopicidade é explicada pelo fato de que os açúcares e os ácidos de baixa massa molecular têm baixa temperatura de transição vítrea (Tg), tornando-se gomosas à temperatura da câmara de secagem (DOLINSKY et al., 2000). O problema pode ser evitado ou minimizado quando se adicionam adjuvantes de secagem, que são carboidratos de alto peso molecular, como as maltodextrinas, que têm alta Tg, sendo capazes de reduzir a higroscopicidade dos pós e facilitar a secagem (BHANDARI; DATA; HOWES, 1997).

Segundo Collares, Finzer e Kieckbusch (2004), a goma arábica tem valores de Tg maiores que as de maltodextrinas o que sugere que a goma arábica é provavelmente mais efetiva que as maltodextrinas para reduzir a higroscopicidade de pós. A maltodextrina é o agente carreador (material de parede) comumente empregado na secagem por atomização, em função de sua baixa higroscopicidade, alta solubilidade em água fria e baixo custo (BHANDARI; DATA; HOWES, 1997).

3.5.3.1 Goma arábica e maltodextrina como material de parede

- Goma arábica (ou goma acácia)

É constituída por um arranjo altamente ramificado de galactose, arabinose, ramnose e ácido glicurônico, contendo ainda cerca de 2 % de um componente protéico ligado covalentemente a esse arranjo molecular, exercendo um papel crucial na determinação das propriedades emulsificantes da goma (RANDALL; PHILLIPS; WILLIAMS, 1988). É considerada historicamente como o material encapsulante por excelência, graças à sua solubilidade, baixa viscosidade, boas propriedades emulsificantes, sabor suave e alta estabilidade oxidativa conferida a óleos (THEVENET, 1995). Por outro lado, tem alto custo e problemas de disponibilidade, já que é produzido em regiões sujeitas a variações climáticas imprevisíveis e conflitos políticos, o que pode comprometer sua oferta. Assim, a busca por substitutos totais ou parciais para a goma arábica tem sido incentivada, como a maltodextrina (Mc NAMEE, 1998).

- Maltodextrina

É um produto proveniente da hidrólise parcial do amido, existe alta correlação entre o valor de equivalente de dextrose (ED) de um amido hidrolisado e a estabilidade oxidativa conferida ao núcleo. Com o aumento do ED, aumenta a barreira ao oxigênio e, portanto, a estabilidade oxidativa (ANANDARAMAN; REINECCIUS, 1986). Wagner e Warthesen (1995) observaram que, quanto maior o ED de um amido hidrolisado, maior a

eficiência da cápsula em proteger o caroteno contra oxidação. Por outro lado, quanto maior o ED, menor a temperatura de transição vítrea, aumentando a probabilidade de aglomeração (*caking*) do pó obtido. Devido à sua baixa viscosidade a altas concentrações, as maltodextrinas têm sido estudadas como substitutos para a goma arábica (QI; XU, 1999).

3.6 SIMULAÇÃO DA DIGESTÃO GASTROINTESTINAL *IN VITRO*

3.6.1 Modelos da digestão *in vitro*

Os modelos de digestão *in vitro* são amplamente utilizados com objetivo de estudar, através da simulação das condições gastrointestinais, as alterações estruturais, a digestibilidade e a liberação de compostos presentes nos alimentos. Estes modelos compreendem, na sua generalidade, uma digestão com pepsina gástrica a pH ácido, seguida de uma digestão com pancreatina e sais biliares em condições ligeiramente alcalinas. Contudo, existem diversos fatores que influenciam os resultados dos métodos de digestão *in vitro*, tais como, as características das amostras, atividade das enzimas, a composição iónica, os tempos de digestão e stress mecânico aplicado (HUR; DECKER; MC CLEMENTS, 2011). Estudos realizados com infusões de chá verde e preto mostraram resultados variáveis após a digestão gastrointestinal *in vitro*. Assim, enquanto que alguns compostos, tais como, o ácido gálico, não sofreram qualquer alteração após as condições aplicadas, outros, tais como a epigallocatequina diminuíram ligeiramente. No entanto, a atividade antioxidante dos chás diminuiu cerca de 72 % e a concentração global de Polifenóis diminuiu cerca de 68 % (RECORD; LANE, 2001).

3.6.2 Biodisponibilidade dos Compostos Fenólicos

A absorção dos polifenóis pode ser medida de forma direta, através da determinação destes compostos ou de seus metabolitos no plasma sanguíneo e urina, ou de forma indireta, pelo aumento da capacidade antioxidante do plasma após o consumo de alimentos ricos nestes compostos (JARDINI, 2010). Dos vários polifenóis, o ácido gálico e as isoflavonas parecem ser os mais bem absorvidos, seguidos pelas catequinas e flavanonas. Os polifenóis de mais difícil absorção parecem ser as proantocianidinas, as catequinas-galato do chá e as antocianinas (RASTEIRO, 2012).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 MATERIAL

4.1.1 Matéria-prima

Os frutos de araçá-boi foram adquiridos da fazenda “Amizade” (15°06’392” S, 39°09’040” W), município de Una, Sul da Bahia. Após colheita foram transportados devidamente acondicionados em sacos plásticos congelados em caixa de isopor selada até o Laboratório de Tecnologia de Alimentos (LTA) da Escola de Química e Alimentos da FURG, localizado na cidade de Rio Grande, RS. Então, estes foram selecionados em função da maturação, descartando os que apresentavam injúrias mecânicas. A Figura 6 mostra os frutos de araçá-boi recepcionados no LTA da Escola de Química e Alimentos.

Figura 6 – Frutos de araçá-boi recepcionados no LTA da Escola de Química e Alimentos



4.1.2 Material de parede ou agentes coadjuvantes

Como material de parede, foram utilizados maltodextrina (MD) com equivalente dextrose (DE-18,5) do Pryme Foods, e goma arábica (GA) do Instantgum BA®, da Colloides Naturels Brasil. Na Figura 7 mostram-se os materiais de parede usados nesta pesquisa.

Figura 7 – Materiais de parede usados para o microencapsulamento da polpa de araçá-boi

A= Maltodextrina; B = Goma arábica

4.2 METODOLOGIA

4.2.1 Obtenção da polpa de araçá-boi

Após selecionadas, as frutas foram higienizadas por imersão em solução binária de hipoclorito de sódio a 20 ppm em água destilada, durante 10 min. Depois se realizou o descascamento manual e a retirada das sementes; a qual também foi feita manualmente utilizando facas de aço inoxidável. Na Figura 8 observa-se a polpa, sementes e a casca de araçá-boi.

Figura 8 – Polpa, sementes e casca de araçá-boi

A= Casca e semente, B = Polpa; C = Fruto

A polpa foi obtida, utilizando um liquidificador, esta foi triturada a 100 rpm por 5 min. Cabendo aqui salientar que em todas as operações descritas se controlaram a massa de

cada componente (fruto, polpa, casca, semente). Finalmente a polpa triturada foi armazenada sob congelamento à temperatura de $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$. A Figura 9 mostra a polpa de araçá boi congelada e descongelada.

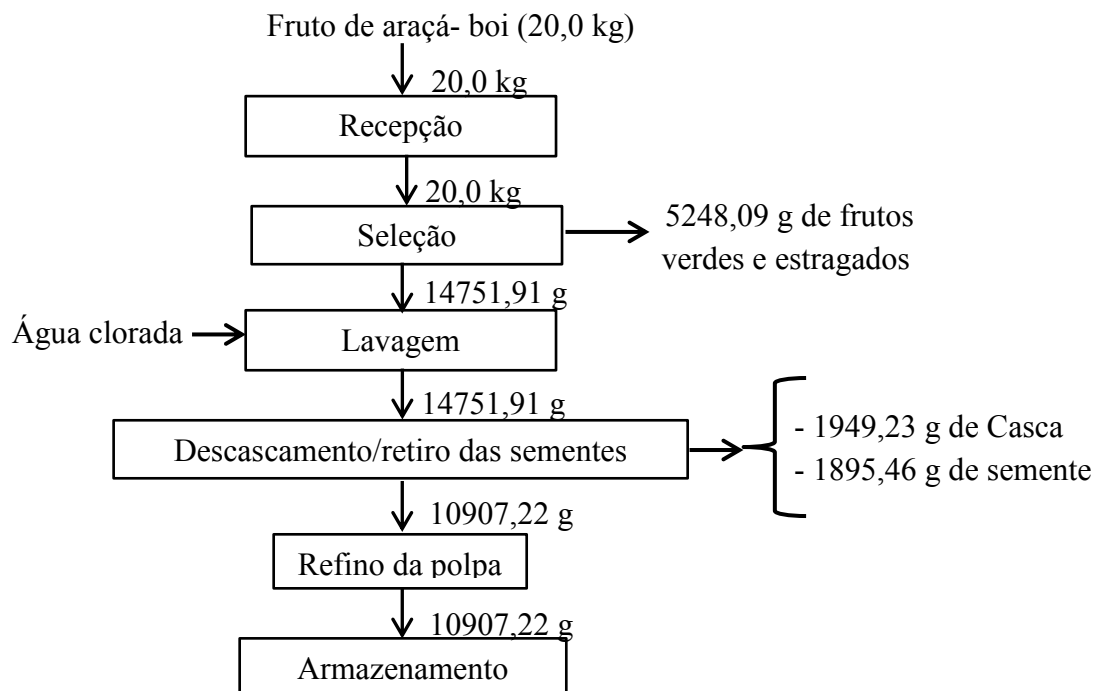
Figura 9 – Polpa de araçá boi congelada a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, e após descongelamento *overnight*



A= Polpa de araçá boi congelada; B = Polpa de araçá boi descongelada.

A Figura 10 mostra o fluxograma utilizado para a obtenção da polpa

Figura 10 – Fluxograma de operações e balanço de massa para a obtenção da polpa de araçá-boi



4.2.2 Microencapsulamento da polpa de araçá-boi mediante secagem por atomização

Para obter as micropartículas atomizadas da polpa de araçá-boi, foram executadas as operações descritas na Figura 11.

- Descongelamento: A polpa obtida no item anterior foi descongelada (*overnight*) lentamente em refrigerador (4 a 5 °C) por 18 h, seguidamente até atingir o equilíbrio térmico com a temperatura ambiente.

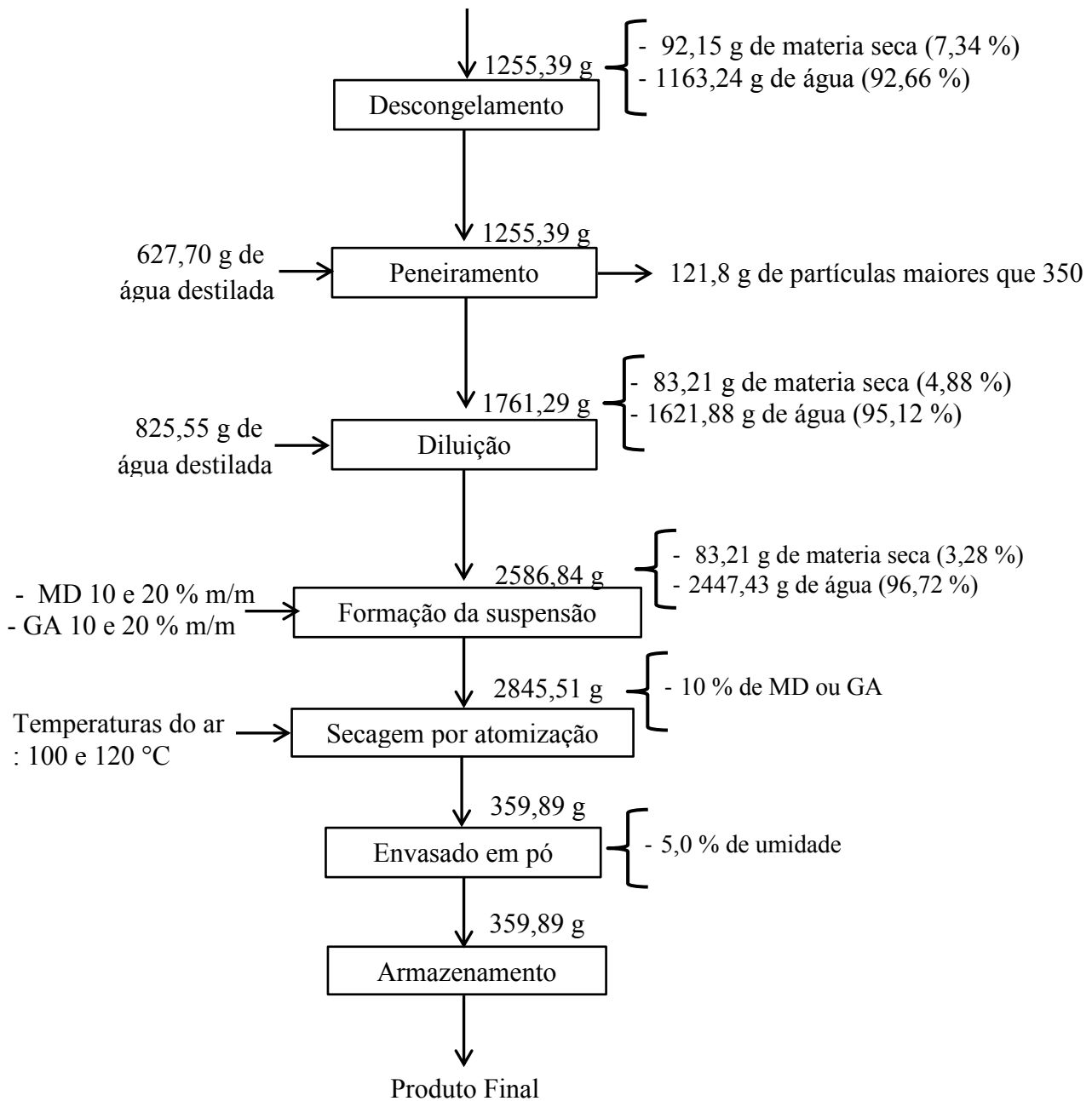
- Peneiramento: Para conseguir realizar o peneiramento, realizou-se a primeira diluição da polpa com água destilada, na proporção 1:0,5 (polpa : água). Posteriormente, a polpa diluída foi peneirada a uma abertura de 350 µm, com fim de eliminar as partículas maiores a esse diâmetro, para evitar a obstrução do bico do *mini* atomizador (diâmetro de 1,0 mm).

- Diluição: Após o peneiramento da polpa, a polpa não apresentou uma boa fluidez na bomba peristáltica do *mini* atomizador; para aumentar a fluidez realizou-se uma segunda diluição também com água destilada, usou-se água destilada numa massa igual a 50 % da massa da polpa peneirada diluída.

- Formação da suspensão: Sendo o tipo de material de parede uma das variáveis independentes deste estudo, procedeu-se de maneira diferente para cada experimento. Para realizar a formação da suspensão misturou-se polpa diluída (3,28 % de matéria seca da polpa de araçá-boi) com o material de parede (maltodextrina (MD) ou goma arábica (GA)) em duas proporções (matéria seca: material de parede) que foram encontrados mediante a análise de Calorimetria exploratória diferencial (DSC) da polpa diluída misturada com o material de parede (Figura 22 e 23), sendo as seguintes: proporção 1:3. Nessa proporção, o material de parede representou o 10 % m/m da suspensão; proporção 1:9, onde o material de parede representou o 20 % m/m da suspensão. A mistura foi homogeneizada utilizando homogeneizador UltraTurrax IKA T25 até completar a solubilização do material de parede.

- Secagem por atomização: Antes da secagem, desumidificou-se o ar do meio até atingir uma umidade relativa de 68 ± 2 % a 25 °C, que foi medido com psicrômetro de bancada. Após, cada suspensão estudada foi submetida à secagem por atomização usando um *mini* atomizador (Marca: Labmaq, Modelo: PS-1) do LTA da Escola de Química e Alimentos da FURG. Usaram-se duas temperaturas do bulbo seco (T.b.s) do ar de secagem, 100 e 120 °C, que foram determinadas mediante a análise de calorimetria exploratória diferencial (DSC) da polpa diluída misturada com o material de parede (Figura 22 e 23); nesta operação unitária foram utilizadas as seguintes condições de secagem no *mini* atomizador:

Figura 11 – Fluxograma de operações e balanço de massa para o microencapsulamento por atomização da polpa de araçá-boi



- Vazão de alimentação = 0,10 L/h;

- Vazão de ar comprimido = 40,0 L/min;

- Vazão do ar de secagem = 0,63 m³/min (determinado usando as propriedades termodinâmicas da mistura de ar seco e de vapor de água através da carta psicrométrica, e o balanço de massa para água);

- T.b.s do ar de secagem = 100 °C e 120 °C (Determinado através do DSC da polpa diluída misturada com o material de parede)

- Pressão do ar comprimido = 3 a 5 bar;

- Diâmetro do bico atomizador = 1,0 mm

- Envasado: Imediatamente após obter o produto final, as micropartículas atomizadas do recipiente e as micropartículas retidas na câmara de secagem do *mini* atomizador foram colocadas em embalagens de alumínio revestidas com polietileno e seladas hermeticamente.

- Armazenamento: As micropartículas envasadas foram colocadas em dessecadores contendo sílica gel à temperatura ambiente (25 ± 2 °C), durante todo o tempo de avaliação das amostras de cada experimento.

4.2.3 Análises da polpa

4.2.3.1 Caracterização físico-química da polpa

- A composição química proximal da polpa de araçá-boi, foi realizada determinando os teores de umidade, cinzas, proteínas, lipídeos, pH e acidez total titulável, de acordo com as metodologias da A.O.A.C. (1993).

- A característica física medida da polpa foi a cor. Por meio do sistema de leitura de três parâmetros, o CIELab, proposto pela *Commission Internationale de l'Eclairage* (CIE), em 1971. Os parâmetros L^* , a^* e b^* foram fornecidos pelo colorímetro Konica Minolta CR-400, onde L^* define a luminosidade ($L^* = 0$ preto e $L^* = 100$ branco), a^* e b^* são responsáveis pela cromaticidade ($+a^*$ vermelho e $-a^*$ verde, $+b^*$ amarelo e $-b^*$ azul) (CALVO; DURÁN, 1997).

4.2.3.2 Quantificação dos açúcares totais e redutores da polpa de araçá-boi

- Preparo da amostra:

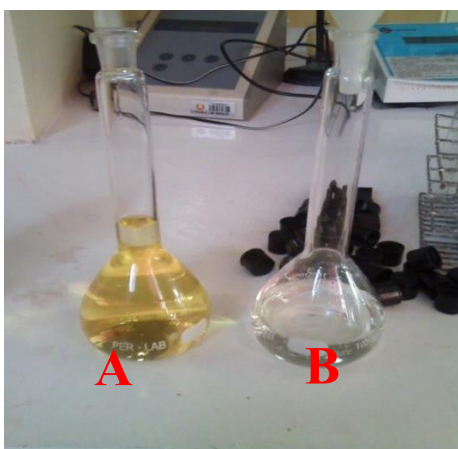
Para a quantificação de açúcares totais e redutores, a polpa de araçá-boi foi descongelada (*overnight*) em geladeira a 4 °C, e então até o equilíbrio térmico a temperatura ambiente. Após o descongelamento realizou-se a determinação dos açúcares totais e redutores utilizando dois solventes (aquoso e hidroetanólico), a proporção de polpa e solvente esta descrita a seguir:

- Em solvente aquoso: em 10,0 g de polpa foi adicionada água destilada até completar 100 mL.

- Em solvente hidroetanólico: em 10,0 g de polpa foi adicionada solução etanólica de 70 % m/m até completar 100 mL.

Cada mistura foi assim homogeneizada e deixada em repouso por 8 h a temperatura ambiente, depois desse tempo foi centrifugada a 15 °C (Centrifuga Hanil, marca Supra 22 K, modelo 1544-6906) por 15 min com força centrípeta de 9815,9 g. Seguidamente recuperou-se o sobrenadante e finalmente realizou-se a filtração da amostra em papel filtro com porosidade de 7 µm. A Figura 12 mostra os extratos de cada solvente usado.

Figura 12 – Extratos filtrados para quantificar açúcares totais e redutores

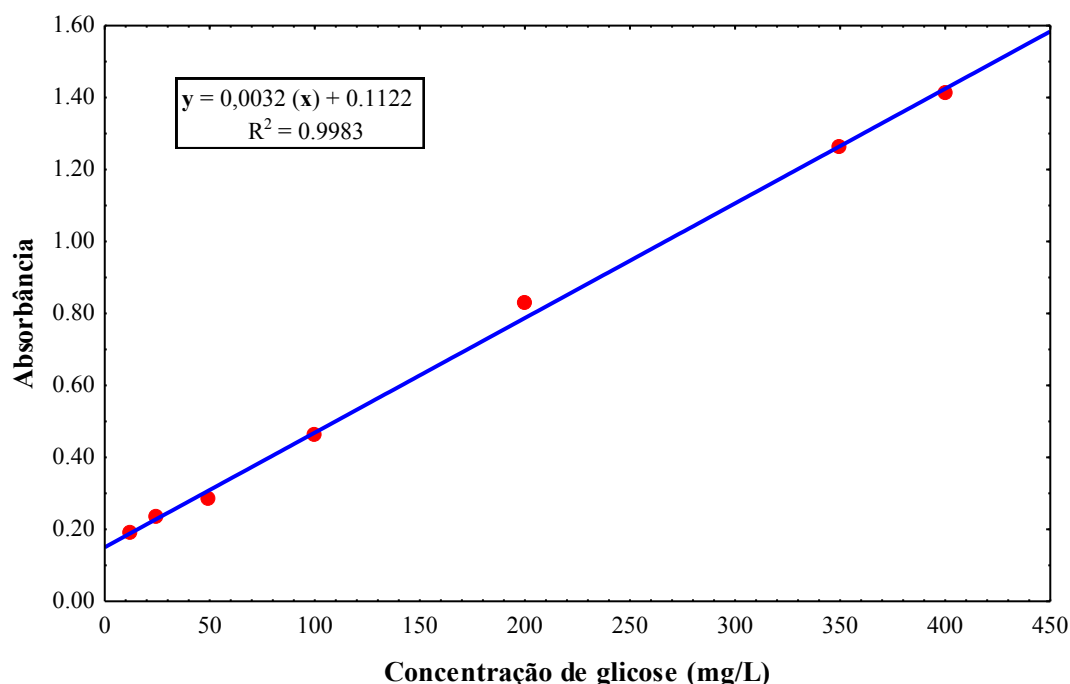


A= Extrato hidroetanólico; B = Extrato aquoso

- Quantificação dos açúcares totais da polpa de araçá-boi

Para a quantificação dos açúcares totais foi utilizada a metodologia descrita por DUBOIS et al. (1956). Primeiramente elaborou-se uma curva padrão de soluções de glicose (D-glicose) na faixa de 10,0 até 400 mg/L. Posteriormente realizou-se a análise de cada amostra por triplicata, para isso pipetou-se em tubos de ensaio 0,5 mL de cada extrato (aquoso ou hidroetanólico), seguidamente adicionou-se 0,5 mL de fenol a (5 % m/m em água destilada), após agitação, adicionou-se 2,5 mL de ácido sulfúrico concentrado a 98 N pelas paredes dos tubos. Depois disso deixou-se em repouso até atingir a temperatura ambiente. A leitura de absorvância foi realizada espectrofotômetro (Espectrofotômetro marca: Biospectro, modelo: SP-22) a 490 nm. Os resultados foram expressos em g de glicose/100 g de polpa e em g de glicose/100 g de matéria de seca. Na Figura 13 mostra-se a curva padrão elaborada para determinar a concentração de açúcares totais da polpa de araçá-boi.

Figura 13 – Curva padrão de glicose elaborada para determinar açúcares totais na polpa de araçá-boi



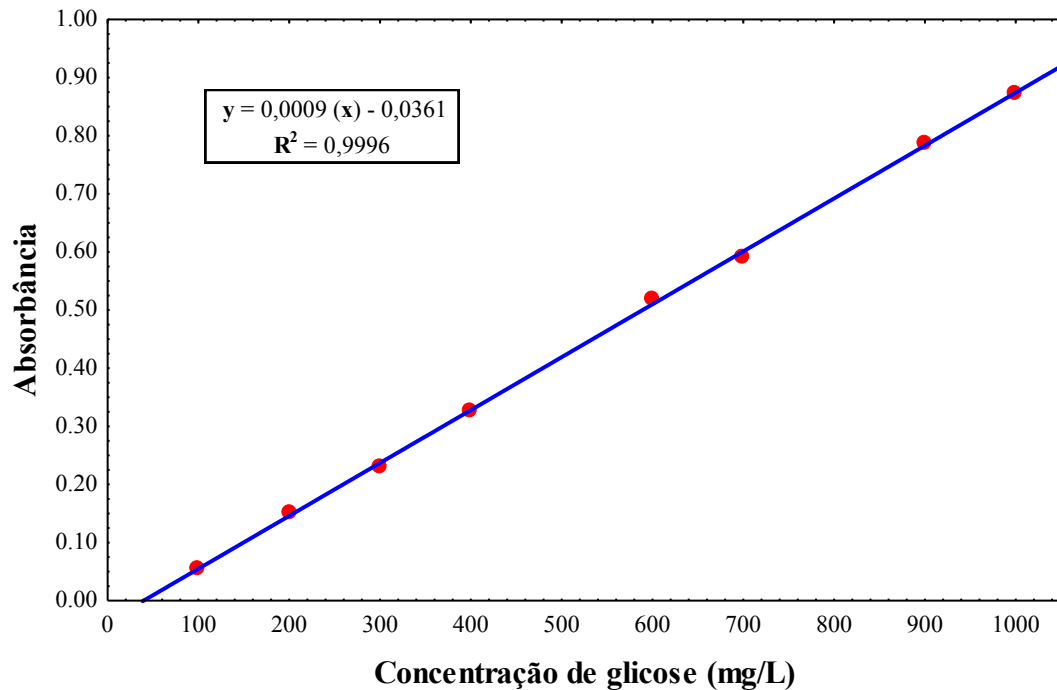
- Quantificação dos açúcares redutores da polpa de araçá-boi

A quantificação dos açúcares redutores da polpa de araçá-boi foi realizada pelo método Ácido 3,5-Dinitrosalicílico (DNS). Primeiramente elaborou-se uma curva padrão de soluções de glicose (D-glicose) na faixa de 100,0 até 1000 mg/L. Depois realizou-se a análise de cada amostra por triplicata, para isso pipetou-se em tubos de ensaio 1,0 mL de extrato (aquoso ou hidroetanólico), em seguida adicionou-se 0,5 mL de reagente DNS, depois levou-se os tubos ao banho Maria durante 5 minutos a 100°C; após o tempo decorrido, interrompeu-se a reação colocando os tubos em banho de água fria a 5 °C; seguidamente adicionou-se a cada tubo 8,5 mL de água destilada para elevar o volume a 10 mL. A leitura da absorbância foi realizada em espectrofotômetro (Espectrofotômetro marca: Biospectro, modelo: SP-22) no comprimento de onda de 540 nm. Os resultados foram expressos em g de glicose/100 g de polpa e em g de glicose/100 g de matéria de seca.

Reagente DNS: Para um volume final de 1000 mL, 10 g de ácido 3,5-dinitrosalicílico adicionou-se a 200 mL de uma solução 2 M de NaOH recém-preparada (solução A). Em paralelo, 300 g de tartarato duplo de sódio e potássio foi dissolvido em 500 mL de água destilada (solução B), sob aquecimento e agitação constantes. Ainda nessas condições, a solução A foi adicionada sobre a solução B até a completar a dissolução do DNS. Após resfriamento, transferiu-se a mistura para balão volumétrico de 1000 mL e aferiu-se o

volume com água destilada. O reagente foi armazenado em frasco de polipropileno ao abrigo da luz. Na Figura 14 mostra-se a curva padrão elaborada para determinar a concentração de açúcares redutores da polpa de araçá-boi.

Figura 14 – Curva padrão de glicose elaborada para determinar açúcares redutores na polpa de araçá-boi



4.2.3.3 Determinação da concentração dos polifenóis totais da polpa de araçá-boi

- Preparo da amostra

Para a quantificação dos polifenóis totais, a polpa de araçá-boi foi descongelada (*overnight*). Após o descongelamento realizou-se a extração dos compostos fenólicos da polpa, para isso utilizou-se dois solventes de extração, a proporção da polpa e o solvente está descrita a seguir:

A: Com solvente hidroetanólico: 20,0 g de polpa foi adicionada à solução etanólica de 80 % m/m até completar 100 mL.

B: Com solvente hidroacetometanólico: 20,0 g de polpa foram adicionadas a 40 mL de solução de metanol (50 % m/m em água), mais 40 mL de solução de acetona (70 % m/m em água) e foi completada a 100 mL com água destilada.

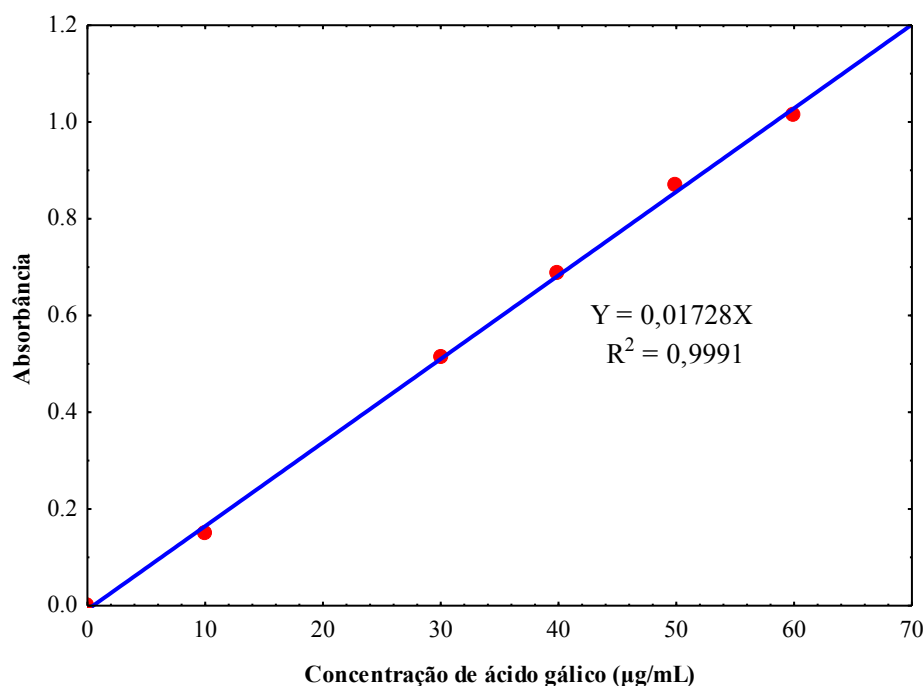
Cada mistura foi homogeneizada e deixada em repouso por 12 h em ambiente escuro, após disso foi centrifugada a 4 °C (Centrifuga Hanil, marca Supra 22 K, modelo 1544-

6906) por 15 min com força centrípeta de 9815,9 g. Posteriormente filtrou-se o sobrenadante com papel filtro com porosidade de 7 μ m.

- Quantificação dos polifenóis totais da polpa de araçá-boi

A quantificação dos polifenóis totais da polpa de araçá-boi foi realizada pelo método descrito por Obanda e Owuor (1997). Inicialmente elaborou-se a curva padrão de soluções de ácido gálico na faixa de 0,0 até 60,0 μ g/mL. Depois se realizou a análise de cada amostra por triplicata, para isso acrescentou-se em tubos de ensaio 1,0 mL de extrato (hidroetanólico ou hidroacetometanólico), em seguida adicionaram-se: 1,0 mL do reagente Folin Ciocalteu (1:3), 2,0 mL de carbonato de sódio (Na_2CO_3) a 20 % m/v em água e 2,0 mL de água destilada. Depois da agitação, esperou-se 2 h em local escuro a temperatura ambiente. Finalmente, a leitura da absorbância realizou-se em espectrofotômetro (Espectrofotômetro marca: Biospectro, modelo: SP-22) a 700 nm. Os resultados foram expressos em mg de ácido gálico/100 g de polpa e em mg de ácido gálico/100 g de matéria de seca. Na Figura 15 observa-se a curva padrão de ácido gálico elaborado para determinar a concentração dos polifenóis totais da polpa de araçá-boi.

Figura 15 – Curva padrão de ácido gálico elaborada para determinar a concentração dos polifenóis totais da polpa de araçá-boi.



4.2.3.4 Determinação da capacidade antioxidante da polpa de araçá-boi

- Preparo da amostra

Para determinar a capacidade antioxidante da polpa de araçá-boi, ela foi descongelada. Após o descongelamento realizou-se a extração dos compostos bioativos, seguiu-se o mesmo procedimento de extração dos compostos fenólicos. Também se utilizou dois solventes de extração, que se mostra a continuação:

A: Com solvente hidroetanólico: 20,0 g de polpa foi adicionada à solução etanólica de 80 % m/m até completar 100 mL.

B: Com solvente hidroacetometanólico: 20,0 g de polpa foram adicionada a 40 mL de solução de metanol (50 % m/m em água), mais 40 mL de solução de acetona (70 % m/m em água) e foi completada a 100 mL com água destilada.

Igualmente, cada mistura foi homogeneizada e deixada em repouso por 12 h em ambiente escuro, depois disso foi centrifugada a 4 °C (Centrifuga Hanil, marca Supra 22 K, modelo 1544-6906) por 15 min com força centrípeta de 9815,9 g. Posteriormente filtrou-se o sobrenadante com papel filtro com 7 µm de porosidade.

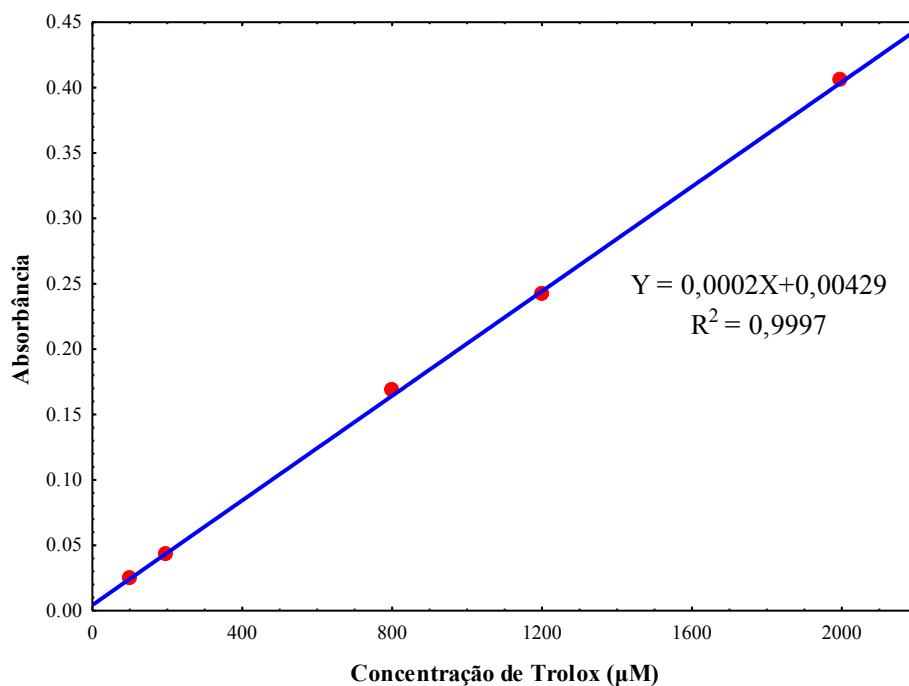
- Determinação da capacidade antioxidante da polpa de araçá-boi pela captura do radical livre ABTS^{•+}

A capacidade antioxidante pela captura do radical livre ABTS^{•+} foi analisada pelo método descrito por Kuskoski et al. (2005). Inicialmente elaborou-se a curva padrão de soluções de Trolox na faixa de 100,0 até 2000,0 µM. Após disso, em ambiente escuro, se realizou a análise de cada amostra por triplicata, para isso colocou-se em tubos de ensaio 30 µL de extrato (hidroetanólico ou hidroacetometanólico), em seguida adicionou-se 3,0 mL do radical livre ABTS^{•+}. Depois da agitação, esperou-se 6 min a temperatura ambiente. A leitura da absorbância realizou-se em espectrofotômetro (marca: Biospectro, modelo: SP-22) a 734 nm. Os resultados foram expressos em µmol de Trolox/g de polpa e em µmol de Trolox/g de matéria de seca.

Preparo do radical livre ABTS^{•+}: Num frasco âmbar de 10 mL, se misturou 5 mL de uma solução 7mM de ABTS (*2,2'-azino-bis (3-ethylbenzo-thiazoline-6-sulfonic acid)*) com 88 µL de uma solução 140 mM de persulfato de potássio (K₂S₂O₈). Após agitação a solução manteve-se no escuro à temperatura ambiente por 16 h. Depois desse tempo diluiu-se 1 mL desta mistura em álcool etílico (CH₃CH₂OH) até obter uma absorbância de 0,68 ± 0,05.

Na Figura 16 mostra-se a curva padrão de Trolox elaborada para determinar a capacidade antioxidante da polpa de araçá-boi pela captura do radical livre ABTS^{•+}.

Figura 16 – Curva padrão de Trolox equivalente elaborada para determinar a capacidade antioxidante pela captura do radical livre ABTS^{•+} da polpa de araçá-boi

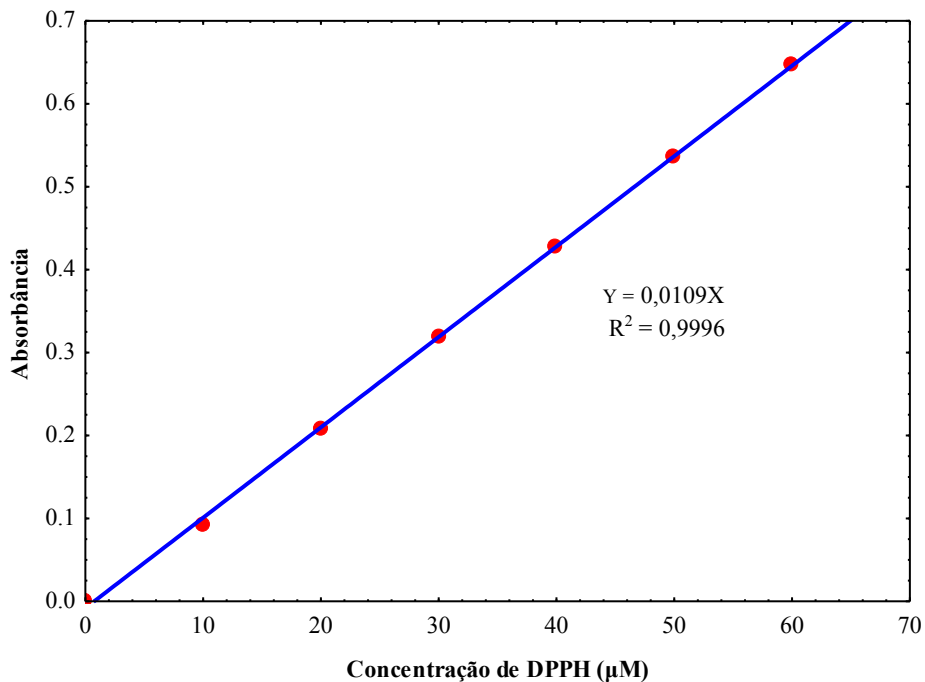


- Determinação da capacidade antioxidante da polpa de araçá-boi pela captura do radical livre DPPH

A capacidade antioxidante pela captura do radical livre DPPH foi analisada pelo método descrito por Brand-Williams, Cuvelier e Berset (1995). Primeiramente, elaborou-se a curva padrão de soluções de DPPH (*2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl*) na faixa de 0,0 até 60,0 µM. Depois, em ambiente escuro, se transferiu 100 µL de cada diluição do extrato (hidroetanólico ou hidroacetometanólico) para tubos de ensaio com 3,9 mL do radical livre DPPH a 60,0 µM. Após agitação, esperou-se 60 min a temperatura ambiente. Cabe salientar que esse tempo foi onde a amostra apresentou sua máxima capacidade antioxidante. Para determinar a concentração de DPPH a neutralizar, utilizou-se 100 µL de cada solvente sem amostra (hidroetanólico ou hidroacetometanólico) e transferiu-se para tubos de ensaio com 3,9 mL do radical livre DPPH a 60,0 µM. A leitura da absorbância foi realizada em espectrofotômetro (marca: Biospectro, modelo: SP-22) a 515 nm. Os resultados foram calculados em mg polpa/mL para IC-50 (concentração necessária para inibir o 50 % do radical livre DPPH), e também em g polpa/g DPPH (quantidade de polpa para neutralizar um

grama de DPPH). Na Figura 17 mostra-se a curva padrão de DPPH elaborada para determinar a capacidade antioxidante da polpa de araçá-boi pela captura do radical livre DPPH.

Figura 17 - Curva padrão de DPPH elaborado para determinar a capacidade antioxidante pela captura do radical livre DPPH da polpa de araçá-boi



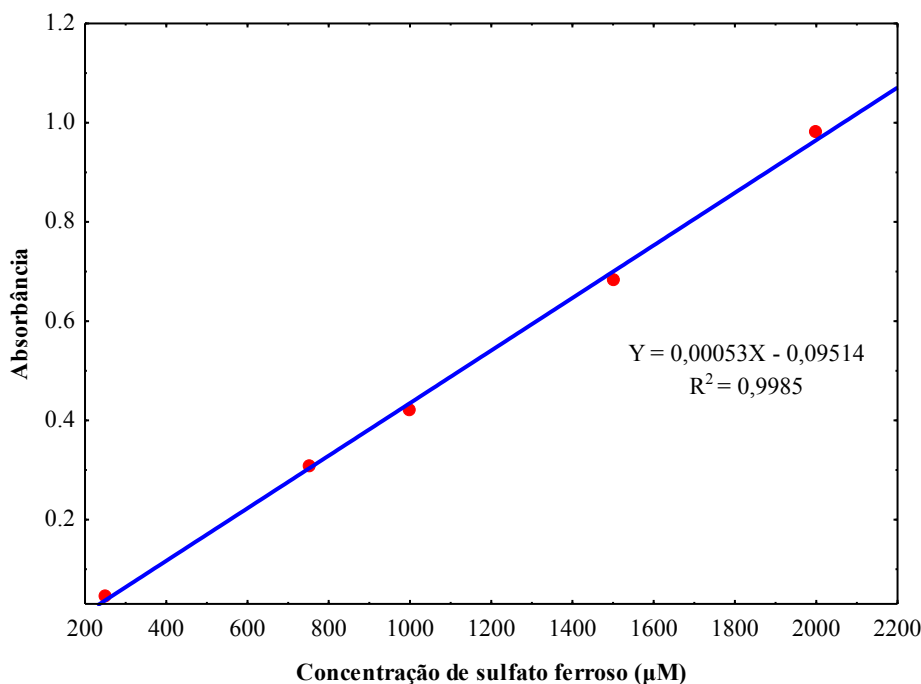
- Procedimento para determinar a capacidade antioxidante da polpa de araçá-boi pela redução do ferro (FRAP-Ferric Reducing Antioxidant Power)

A capacidade antioxidante pela redução do ferro foi analisada pelo método descrito por Pulido, Bravo e Saura-Calixto (2000). Inicialmente elaborou-se a curva padrão de soluções de sulfato ferroso (FeSO_4) na faixa de 250 até 2000 μM . Em seguida, em ambiente escuro, se misturou 90 μL do extrato (hidroetanólico ou hidroacetometanólico), com 270 μL de água destilada e finalmente acrescentou-se 2,7 mL de reagente FRAP. Após agitação, os tubos mantiveram-se a 37 °C por 30 min. A leitura da absorbância foi realizada em espectrofotômetro (marca: Biospectro, modelo: SP-22) a 595 nm. Os resultados foram expressos em $\mu\text{mol FeSO}_4/\text{g}$ polpa e em $\mu\text{mol FeSO}_4/\text{g}$ de matéria seca.

Preparo do reagente FRAP: Em frasco âmbar de 250 mL, misturou-se: 100 mL de tampão acetato (pH = 3,6 a 0,3 M); 10 mL de uma solução 10 mM de TPTZ (2,4,6-Tris (2-piridil)- s- triazina) e 10 mL de uma solução aquosa de cloreto férrico (FeCl_3) 20 mM.

Na Figura 18 observa-se a curva padrão de sulfato ferroso elaborada para determinar a capacidade antioxidante da polpa de araçá-boi pela redução do ferro (FRAP).

Figura 18 - Curva padrão de sulfato ferroso elaborada para determinar a capacidade antioxidante pela redução do ferro (FRAP) da polpa de araçá-boi



4.2.3.5 Calorimetria exploratória diferencial (DSC) da água pura, polpa diluída e da polpa diluída misturada com o material de parede.

Com a finalidade de determinar a temperatura de bulbo seco (T.b.s) do ar de secagem realizou-se a Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC). Para isso usou-se o calorímetro *Thermal analyzer-DSC* (marca: Shimadzu, modelo: FC- 60 A) do LTA-EQA. Primeiramente nas panelinhas para amostra líquida pesou-se de 2 a 5 mg de amostra, seguidamente as panelinhas contendo as amostras foram hermeticamente fechadas, utilizou-se nitrogênio ultrapuro como gás de purga com vazão de 50 mL/min. Posteriormente as amostras foram aquecidas de 25 até 200 °C com uma taxa de aquecimento de 10°C/min. Após a análise térmica interpretou-se os picos endotérmicos característicos da evaporação de água. Os dados dos picos endotérmicos como: temperatura inicial, temperatura do pico, temperatura final e a entalpia do processo endotérmico foram obtidas através do software TA-60. Na Figura 19 observam-se o equipamento usado e as amostras analisadas.

Figura 19 - Equipamento usado e as amostras analisadas por DSC



A = Calorímetro exploratório diferencial (marca: Shimadzu, modelo: FC- 60 A) do LTA-EQA; B = Suspensões testadas por DSC antes de ser colocadas nas panelinhas de amostra líquida.

4.2.3.6 Cálculo das propriedades termodinâmicas do ar úmido do médio ambiente e balanço de massa da água durante a secagem

Para realizar o balanço de massa da água durante a secagem por atomização foi necessário determinar as propriedades termodinâmicas do ar úmido, para isso usou-se a carta psicrométrica. Antes da secagem por atomização o ar úmido do meio foi desumidificado até uma umidade relativa de $68 \pm 2 \%$ a $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Para desumidificar o ar do meio, utilizou-se o sistema de ar condicionado na função “*Dry* - modo desumidificação”.

Realizou-se o balanço de massa para água utilizando a Equação 1.

$$Ma \cdot X_a + G \cdot W_i = Ma \cdot X_s \cdot X_f + G \cdot W_f \quad (1)$$

Onde:

Ma = vazão de alimentação expressa em kg/h

X_a = Fração de água na suspensão inicial

X_s = Fração de sólido na suspensão inicial

X_f = Fração de água no produto final

G = Vazão do ar de secagem expresso em kg de ar seco/h

W_i = Umidade absoluta do ar na entrada da secagem (kg vapor de água/kg ar seco)

W_f = Umidade absoluta do ar na saída (kg vapor de água/kg ar seco)

4.2.4 Análise das micropartículas atomizadas

Foram analisadas as micropartículas recolhadas no recipiente de produto e na câmara de secagem do *mini* atomizador, e foram quantificados a suas concentrações de polifenóis totais e a capacidade antioxidante pelos métodos DPPH, ABTS e FRAP.

4.2.4.1 Quantificação dos polifenóis totais das micropartículas atomizadas

- Preparo da amostra

Para determinar a concentração dos polifenóis totais das micropartículas atomizadas da polpa de araçá-boi, primeiramente as micropartículas atomizadas foram solubilizadas com água destilada. Pesou-se 0,5 a 1,0 g de micropartículas atomizadas e misturou-se com 25 a 30 mL de água destilada. Visto que seus materiais de parede, maltodextrina ou goma arábica são solúveis em água. Após, para a extração dos compostos fenólicos das micropartículas atomizadas, em ambiente escuro, a mistura foi agitada por 4 h a temperatura ambiente, após desse tempo cada amostra foi centrifugada a 4 °C (Centrifuga Hanil, marca Supra 22 K, modelo 1544-6906) por 20 min com força centrípeta de 9815,9 g. Posteriormente filtrou-se o sobrenadante com papel filtro com 7 µm de porosidade. Finalmente anotou-se o volume do filtrado, que foi usado para calcular o fator de diluição. Na Figura 20 observam-se as micropartículas atomizadas da polpa de araçá-boi antes e após a mistura com água destilada.

Figura 20 – Micropartículas atomizadas da polpa de araçá-boi antes e após a mistura com água destilada.



A= micropartículas atomizadas; B = micropartículas atomizadas após da mistura com água destilada.

- Quantificação dos polifenóis totais das micropartículas atomizadas

A quantificação dos Polifenóis Totais das micropartículas atomizadas da polpa de araçá-boi foi determinada com o mesmo procedimento realizado para a polpa de araçá-boi. Cabe salientar que para calcular a concentração real de polifenóis totais das micropartículas atomizadas, foi calculada a concentração de polifenóis totais da goma arábica e maltodextrina.

4.2.4.2 Determinação da Capacidade antioxidante das micropartículas atomizadas

- Preparo da amostra

Para determinar a Capacidade antioxidante pelos diferentes métodos das micropartículas atomizadas da polpa de araçá-boi, a amostra foi preparada igual que para a determinação dos Polifenóis Totais, primeiramente as micropartículas atomizadas foram solubilizadas com água destilada. Pesou-se 0,5 a 1,0 g de micropartículas atomizadas e misturou-se com 25 a 30 mL de água destilada, para a extração dos compostos bioativos das micropartículas atomizadas, num ambiente escuro, a mistura deixou-se em agitação por 4 h a temperatura ambiente, após desse tempo cada mistura foi centrifugada a 4 °C (Centrifuga Hanil, marca Supra 22 K, modelo 1544-6906) por 20 min com força centrípeta de 9815,9 g. Posteriormente filtrou-se o sobrenadante com papel filtro de 7 µm de porosidade. Anotou-se o volume do filtrado, que foi usado para calcular o fator de diluição.

- Procedimento para determinar a capacidade antioxidante das micropartículas atomizadas pela captura do radical livre ABTS^{•+}

Para determinar a capacidade antioxidante das micropartículas atomizadas pela captura do radical livre ABTS^{•+} usou-se a mesmo procedimento realizado para a polpa de araçá-boi.

- Procedimento para determinar a capacidade antioxidante das micropartículas atomizadas pela captura do radical livre DPPH

Para determinar a capacidade antioxidante das micropartículas atomizadas pela captura do radical livre DPPH usou-se a mesmo procedimento realizado para a polpa de araçá-boi.

- Procedimento para determinar a capacidade antioxidante da polpa de araçá-boi pela redução do ferro (FRAP-*Ferric Reducing Antioxidant Power*)

Para determinar a capacidade antioxidante das micropartículas atomizadas pela redução do ferro, usou-se a mesmo procedimento realizado para a polpa de araçá-boi. Cabe indicar que para calcular a capacidade antioxidante real pelo três métodos das micropartículas atomizadas, foi determinada a capacidade antioxidante da goma arábica e maltodextrina pelos mesmos métodos mencionados.

4.2.4.3 Calorimetria exploratória diferencial das micropartículas atomizadas

Com a finalidade de determinar a temperatura de transição vítrea (T_g) das micropartículas atomizadas analisou-se a calorimetria exploratória diferencial (DSC). Para isso usou-se o *Thermal analyzer*-DSC (marca: Shimadzu, modelo: FC- 60 A) do LTA-EQA. Inicialmente nas panelinhas para amostra sólida pesou-se de 2 a 5 mg de amostra, seguidamente as panelinhas contendo as amostras foram hermeticamente fechadas, utilizou-se nitrogênio ultrapuro como gás de purga com vazão de 50 mL/min. Após, as amostras foram aquecidas de 25 até 200 °C com uma taxa de aquecimento de 10°C/min. Então, através do programa TA-60, calculou-se a T_g, sendo este valor a temperatura media do ponto de inflexão das curvas de análise térmica, que foi causada pela descontinuidade do calor específico das micropartículas.

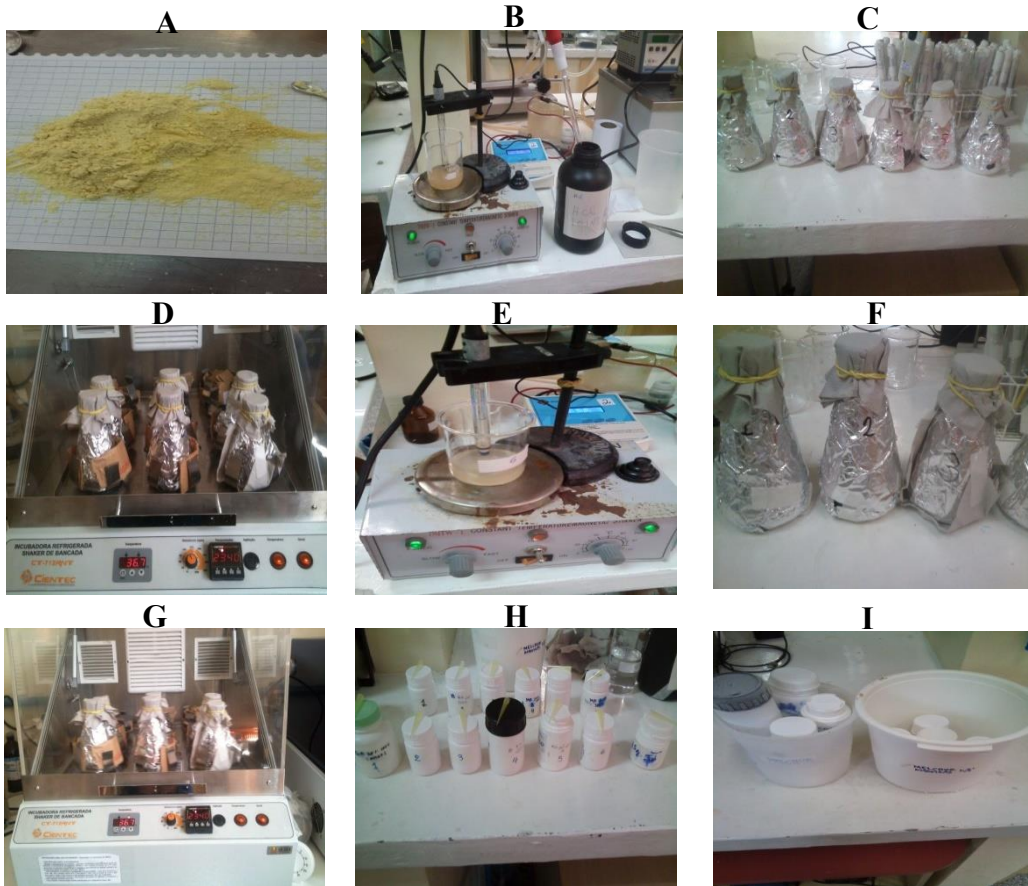
4.2.4.4 Análise de estrutura das micropartículas atomizadas

Com a finalidade de determinar a morfologia e tamanho das micropartículas atomizadas, realizou-se a análise de morfologia no Centro de Microscopia Eletrônica do Sul FURG (CEME-SUL FURG). Utilizou-se o microscópio eletrônico de varredura, Jeol, JSM - 6610LV equipado com espectrômetro de energia dispersiva (EDS), Thermo Scientific, Ultra Dry, USA. Foram utilizados os aumentos de 2000 e 4000 vezes.

4.2.4.5 Simulação da digestão gastrointestinal “*in vitro*” das micropartículas

A simulação da digestão gastrointestinal *in vitro* foi realizada utilizando o método descrito por Briones-Labarca et al. (2011). Na Figura 21 mostram-se as etapas realizadas durante a simulação da digestão gastrointestinal *in vitro*.

Figura 21— Etapas durante a simulação da digestão gastrointestinal *in vitro*



A= Micropartículas atomizadas; B = Ajuste de pH =2; C=Adição de pepsina; D= Incubação com agitação; E= Ajuste de pH =6; F = Adição de pancreatina e biliar; G= Incubação com agitação; H= digeridos gastrointestinais filtrados; I = Filtrados ultracongelados

Assim, pesou-se 0,5 a 1,0 g de micropartículas atomizadas, logo se adicionaram 25 mL de água destilada, e se ajustou o pH a 2 com uma solução de HCl 1M. Após, a mistura foi colocada em Erlenmeyer de 250 mL coberto de papel alumínio. Em seguida adicionaram-se 50 μ L de uma solução de pepsina (50 mg/mL em HCL 0,1 N) por cada grama de amostra pesada. Após as amostras foram incubadas ao abrigo da luz, durante 2 h, com uma agitação de 100 rpm e à temperatura de 37°C. Para tal fim usou-se uma incubadora Shaker de bancada (marca: Cientec-CT; modelo: 712RNT). Após o tempo de incubação, os digeridos gástricos foram submetidos a uma digestão intestinal *in vitro*. Para tal, nesse mesmo Erlenmeyer contendo o digerido gástrico, adicionou-se uma solução de NaHCO₃ 1M até atingir pH 6,0; após foi adicionado 250 μ L de uma solução mista de pancreatina e bile (4 mg/mL de pancreatina e 24 mg/mL de bile em NaHCO₃ 0,1 M) por cada grama de amostra. Os erlenmeyers contendo as amostras ainda fechadas com papel de alumínio novamente foram incubadas ao abrigo da luz, durante 2 h, com uma agitação de 100 rpm a 37°C. Após o digerido gastrointestinal foi centrifugado a 4 °C (Centrifuga Hanil, marca

Supra 22 K, modelo 1544-6906) por 20 min com força centrípeta de 9815,9 g. Posteriormente filtrou-se o sobrenadante com papel filtro de 7 µm de porosidade. Seguidamente os filtrados foram armazenados a - 86 °C em Ultra freezer (marca: INDREL, modelo: IULT 90-D), até os próximos análises.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 RENDIMENTO EM POLPA DE ARAÇÁ-BOI

A Tabela 2 apresenta o rendimento em polpa de araçá-boi (73,94 %). Este valor mostra que o araçá-boi tem uma boa quantidade de polpa, fazendo com que seja viável sua utilização na indústria alimentar, especialmente em agroindústrias de suco. Outras pesquisas como as de Sacramento, Barreto e Faria (2008); Rodríguez e Bastidas (2009); Gentil e Clement (1996) e Falcão et al. (2000), encontraram um rendimento médio em polpa de araçá-boi de 78,63 %; 70,00 % ; 74,00 % e 77,00 % respectivamente. Alguns destes valores variaram do valor encontrado nesta pesquisa, estas diferenças devem-se as condições climáticas, nutrientes do solo onde o fruto foi produzido.

Tabela 2 - Porcentagem de polpa, casca e semente do araçá-boi

Componente	Massa (g)	Rendimento médio (%)
Fruta inteira	14751,91	-----
Polpa	10907,22	73,94
Casca	1949,23	13,21
Semente	1895,46	12,85

O restante (casca e semente) representaram 26,06 % da fruta, em comparação com Sacramento et al. (2008) que encontraram 21,37 % de descarte na polpa de araçá-boi; observa-se que a porcentagem de descarte da polpa de araçá-boi é considerável, sendo uma alternativa para as pesquisas futuras, pois pelas pesquisas de Peschel et al. (2006) sabe-se que na casca e sementes das frutas existe maior concentração de compostos antioxidantes, os quais são benéficos para a saúde.

5.2 COMPOSIÇÃO QUÍMICA PROXIMAL DA POLPA DE ARAÇÁ-BOI

Na Tabela 3 apresentam-se os resultados da composição química proximal da polpa de araçá-boi, onde a umidade ($92,66 \pm 0,09$ %), matéria seca ($7,34 \pm 0,09$ %) e sólidos solúveis totais ($4,6 \pm 0,55$ °Brix) do araçá-boi foram inferiores aos valores apresentados pela maioria dos frutos consumidos *in natura* no Brasil.

Tabela 3 - Caracterização físico-química da polpa de araçá-boi

Componente	Unidade	Valor
Umidade	%	92,66 ± 0,09
Lipídios (b.u)	%	0,35 ± 0,06
Proteínas (b.u)	%	0,12 ± 0,01
Cinzas (b.u)	%	0,13 ± 0,03
Carboidratos (diferença)	%	6,74 ± 0,00
Sólidos solúveis	°Brix	4,60 ± 0,55
pH	-----	2,72 ± 0,13
Acidez	g ác.cítrico/100 g polpa (%)	2,91 ± 0,04
Acidez	g ác.cítrico/100 g m.s (%)	39,67 ± 0,48
L	----	56,02 ± 1,02
a*	----	2,20 ± 0,09
b*	----	40,42 ± 0,94

m.s: matéria seca da polpa de araçá-boi; b.u: base úmida. L: luminosidade; a*: +a indica vermelho e -a indica verde; b*: +b indica amarelo e -b indica azul.

Alguns valores de sólidos solúveis em sucos como da pitanga (6 a 13 °Brix), da acerola (10 a 14,0 °Brix) e do cajá (11,46 a 15,0 °Brix) foram maiores ao do araçá-boi. A polpa de araçá-boi apresenta acidez elevada (2,91 ± 0,04) %, valor maior ao registrado na maioria das polpas mais utilizadas para produção de suco como são os citros (0,6 a 1,8 %), acerola (1,0 a 1,57 %) ou cajá (0,89 a 1,61 %), tendo uma relação °Brix/acidez de 1,58 que é extremamente baixa para os padrões sensoriais dos brasileiros para consumir a fruta *in natura*, fazendo-se normalmente sucos, refrescos, entre outros (VOLPE; SHOFFELE; BARBOSA, 2002). Outras pesquisas que estudaram a polpa de araçá-boi, dentre eles, Canuto et al. (2010) encontraram umidade de 90,10 ± 0,50 % e lipídios (0,3 ± 0,1) %; Fonseca et al. (2012) determinaram pH (2,51 ± 0,11) e acidez (2,88 ± 0,02) % ác. cítrico; Sacramento et al. (2008) encontraram na média pH (2,28), acidez (2,38) % ác. cítrico; Acevedo e Arenas (2013) determinaram em média pH (2,20) e acidez (1,95) % ác. cítrico; INIAP e SENACYT (2009) encontraram pH (2,5 ± 0,11), acidez (2,88 ± 0,02) % ác. cítrico, °Brix (4,40 ± 0,25), umidade (95,12 ± 2,92) %, lipídios (0,40 ± 0,10) %, proteínas (0,71 ± 0,10) % e cinzas (0,14 ± 0,01). Os valores encontrados por esses autores são semelhantes aos mostrados na Tabela 3, sendo valores característicos das frutas, pois elas tem alto conteúdo de água, baixo conteúdo de

lipídios, proteínas e cinzas; embora que expressados em base seca, esses valores nas frutas apresentem importante valor nutricional.

Na determinação da cor da polpa de araçá-boi foram avaliadas as coordenadas L, a*, b*. Os valores encontrados indicam que a polpa de araçá-boi tem uma cor amarela com luminosidade média. Soares (2009) encontrou na polpa de araçá-boi valores médios de L, a*, b* que foram 63,59; 10,97; 44,71; sendo similares aos encontrados neste trabalho.

Comparando a polpa de araçá-boi com frutos cítricos, como a laranja que apresenta pH entre 4,0 e 4,6 e acidez de 0,8 a 1,8 % ac. cítrico; e com limão que tem pH de 2,0 a 3,0 e acidez de 5,5 a 6,2 % ac. cítrico; nota-se que a polpa de araçá-boi é mais ácida que a laranja e que seu pH de $2,72 \pm 0,13$ é próximo ao limão; confirmando-se pela alta acidez da polpa deste fruto.

Como a polpa de araçá-boi é muito ácida, os compostos bioativos *in natura* que ela tem encontram-se em meio ácido ($\text{pH} = 2,72 \pm 0,13$), podendo ser isto uma vantagem, pois os compostos bioativos presentes nos produtos finais provavelmente ajam numa concentração de alta acidez, sendo que a digestão gastrointestinal ocorre em um médio ácido. Durante o processo digestivo estes compostos poder-se-iam conservar melhor, pois eles já estavam adaptados a um meio ácido *in natura*. Além disso, a polpa de araçá-boi tem ácido gálico, este compostos ativo tem comportamento ácido adaptando-se com a matroz ácida do fruto.

5.2.1 Açúcares totais e redutores da polpa de araçá-boi

A Tabela 4 mostra a concentração de açúcares totais e redutores da polpa de araçá-boi utilizando-se para sua análise um extrato aquoso e outro etanólico (70 % m/m em água), observando-se no extrato aquoso a presença de concentrações de açúcares totais e redutores de $13,89 \pm 1,17$ % b.s e $2,99 \pm 0,14$ % b.s, respectivamente. Já no extrato etanólico encontrou-se concentrações de açúcares totais e redutores de $8,72 \pm 0,14$ % b.s e $3,68 \pm 0,07$ % b.s, respectivamente. Soares (2009) obteve valores médios para açúcares totais e redutores de 6,85 % b.s e 4,40 % b.s respectivamente; Teixeira, Oliveira e Ramos (2013) encontraram uma concentração de açúcares totais de $8,42 \pm 0,12$ % b.s; assim o resultado de extrato etanólico foi semelhante ao encontrado por esses autores, observando-se no extrato aquoso um aumento de açúcares totais e diminuição de açúcares redutores.

Tabela 4 – Concentração de açúcares totais e redutores presentes na polpa de araçá-boi

Açúcares	Extrato	Unidade	Quantidade
Totais	Aquoso	g glicose/100 g m.s	13,89 ± 1,17
Redutores	Aquoso	g glicose/100 g m.s	2,99 ± 0,14
Totais	Etanólico	g glicose/100 g m.s	8,72 ± 0,14
Redutores	Etanólico	g glicose/100 g m.s	3,68 ± 0,07

m.s: matéria seca da polpa de araçá-boi

A presença de açúcares na polpa de araçá-boi faz necessária a utilização de coadjuvantes na secagem por atomização, com a finalidade de obter micropartículas atomizadas sem problemas de pegajosidade e aglomeração.

5.3 POLIFENÓIS TOTAIS E CAPACIDADE ANTIOXIDANTE PRESENTE NA POLPA DE ARAÇÁ-BOI

A Tabela 5 mostra a concentração de Polifenóis Totais e Capacidade antioxidante da polpa de araçá-boi em dois extratos com diferentes polaridades. Com o objetivo de extrair a maior quantidade de compostos fenólicos da polpa de araçá-boi, nesta pesquisa usaram-se uma mistura de solventes polares próticos e apróticos. Os solventes polares dividem-se em solvente polar prótico (alta polaridade) e polar aprótico (baixa e média polaridade), o solvente polar prótico contem ligações F-H, O-H, N-H, etc., pois eles são formadores de ligações de hidrogênio, a água, etanol e metanol estão dentro deste grupo. O solvente polar aprótico não formam estas ligações, a acetona e acetonitrila estão dentro deste grupo.

De acordo com Moreira e Mancini-Filho (2004) os ácidos fenólicos (benzoicos e cinâmicos) são substâncias que possuem alta polaridade, precisando para sua extração de solventes com alta polaridade. Varea et al. (2001) testaram a extração dos compostos fenólicos com etanol e água, e obtiveram compostos fenólicos simples (fenóis, ácidos benzoicos e ácidos cinâmicos), confirmando-se que um solvente de alta polaridade extrai moléculas de polaridade alta.

Tabela 5 – Concentração de Polifenóis Totais e Capacidade antioxidante da polpa de araçá-boi em dois extratos

Antioxidante	Extrato	
	A	B
Polifenóis Totais (mg ác.gál./100g polpa)	124,88 ± 3,03 ^b	159,64 ± 2,71 ^a
ABTS (µmol Trolox/g polpa)	8,36 ± 0,78 ^b	19,00 ± 1,42 ^a
DPPH EC 50 58,96 µM (mg/mL)	61,98 ± 0,81 ^a	40,0 ± 0,42 ^b
DPPH (g polpa/g DPPH)	5265,13 ± 68,55 ^a	3397,04 ± 35,78 ^b
FRAP (µmol FeSO ₄ /g polpa)	23,02 ± 0,98 ^b	30,81 ± 0,07 ^a

A= Etanol (80 % v/v em água), B = proporção (50:50) de Metanol (50 % v/v em água) e Acetona (70 % v/v em água); letras diferentes na mesma linha mostram diferença estatisticamente significativa com 95 % de confiança de acordo com o teste t-student.

Observou-se que o extrato B apresentou maior eficiência de extração dos Polifenóis da polpa, e acredita-se que por isso foi o que apresentou a maior capacidade antioxidante nos diferentes métodos analisados. Assim no extrato B o solvente extraiu 27,87 % a mais de polifenóis do que no extrato A. Neri-numa et al. (2013) encontraram na polpa de araçá-boi usando etanol 95 % v/v em água (184,05 ± 8,25) mg ác.gál./100g polpa; a fruta testada pelos autores foi produzida em Manaus, Amazonas, sendo essa concentração maior às duas concentrações obtidas nos extratos A e B deste trabalho, que usou-se fruta da cidade de Ilhéus, Sul da Bahia, podendo ser as condições climáticas e os nutrientes do solo responsáveis pela diferença das concentrações de Polifenóis nas amostras comparadas. INIA e SENACYT (2009) quantificaram também polpa de araçá-boi obtida em Quito, Equador. Para extrair os Polifenóis usaram também etanol 80 % v/v em água e encontraram 121,16 ± 13,7 mg ác.gál./100g polpa, sendo este valor semelhante ao extrato A mostrado na Tabela 5.

Vasco, Ruales e Kamal-Eldin (2008) e Rufino et al. (2010), estudaram o conteúdo de Polifenóis Totais de muitas variedades de frutas, e classificaram as frutas em três categorias: baixa (menor de 100 mg ác. gál./100g polpa), médio (100 – 500 mg ác. gál./100g

polpa) e alto (maior de 500 mg ác. gál./100g polpa). De acordo com essa classificação o araçá-boi está na categoria média para os dois extratos testados.

Na capacidade antioxidante obtida pelo método do radical ABTS observa-se que o extrato B tinha 127,27 % a mais de capacidade antioxidante do que o extrato A. O INIA e SENACYT (2009) analisaram a polpa de araçá-boi usando etanol 80 % v/v em água e obtiveram $(5,00 \pm 0,16)$ $\mu\text{mol Trolox/g}$ polpa, sendo este valor 67,2 % e 280 % a menos do que o extrato A e B respectivamente.

Para o cálculo da capacidade antioxidante pelo método do radical livre DPPH o extrato B também foi mais eficiente do que A, pois para o extrato B precisa-se de 35,46 % a menos de polpa do que o extrato A para neutralizar 50 % de 58,96 μM de radical livre DPPH. Além disso, o extrato B precisa de 35,48 % a menos de polpa do que o extrato A para neutralizar 1 g de radical livre DPPH.

Comparando o resultado da capacidade antioxidante pelo método FRAP, o extrato B teve 33,84 % a mais de capacidade antioxidante do que extrato A. Embora o extrato B tenha sido mais eficiente, mesmo assim pode-se afirmar que a polpa de araçá-boi tem a capacidade de reduzir o Fe^{+3} para Fe^{+2} , sendo isto vantajoso, pois o corpo humano absorve ferro na sua forma reduzida Fe^{+2} . Esta redução do Fe^{+3} pela polpa de araçá-boi pode ser atribuída á presença de vitamina C, pois INIA e SENACYT (2009) quantificaram na polpa de araçá-boi $101,10 \pm 7,36$ mg vit.C/100 g polpa, e Garcia-Casal e Layrisse (1998) mencionaram que uma das funções da Vitamina C é reduzir Fe^{+3} para Fe^{+2} .

Como se observou na Tabela 5, o extrato B foi melhor do que o extrato A. O extrato A é o tipo de extrato usado comumente na extração dos compostos bioativos das frutas, já o extrato B é o tipo de extrato utilizado para a extração dos compostos bioativos das frutas recomendado por Rufino et al. (2007), pesquisadores da EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). Os resultados obtidos na Tabela 5 evidenciaram que a extração recomendada pelos pesquisadores da EMBRAPA é mais eficiente.

Existem pesquisas que obtiveram maior eficiência de extração dos Polifenóis com o extrato hidroacetônico e com extrato hidroetanólico como de Caetano et al. (2009) que quantificaram os Polifenóis Totais dos resíduos agroindustriais de acerola expressados em μg equivalente Catequina/mL usando diferentes solventes de extração, como extrato de acetona 80 % v/v em água, metanol 80 % v/v em água, etanol 80 % v/v em água e água (100 %), após de 60 min. de extração obtiveram em média valores de 5954,2; 1408,4; 1780,6; 922,17 respectivamente.

A eficiência do extrato hidroacetônico, na extração dos polifenóis, também foi constatada por Xu e Chang (2007) ao evidenciarem que, segundo a variedade de ervilha, o extrato hidroacetônico 50 % extraiu a maior quantidade destes compostos, enquanto que em lentilha, soja e duas variedades de feijão, os polifenóis foram mais eficientemente extraídos usando um extrato hidroacetônico a 80 %.

Outros resultados que concordam com este trabalho mostraram que em cascas desidratadas de uma variedade de tubérculo (*Dioscorea alata*), o extrato hidroetanólico a 50 % foi mais eficiente na extração dos polifenóis. Também os polifenóis presentes em cascas de duas variedades de manga foram extraídos com mais eficiência usando o extrato hidroacetônico a 80 % (CHUNG et al., 2008; AJILA; BHAT; PRASADA RAO, 2007).

Também em resíduos agroindustriais de alcachofra, tomate e brócolis a maior extração dos Polifenóis foi obtida com o extrato hidroacetônico a 80 %. Para a extração dos Polifenóis de resíduos agroindustriais de maçã, morango, pepino e chicória o extrato hidrometanólico a 50 % e o extrato hidroetanólico a 50 % foram mais eficientes (PESCHEL et al., 2006).

Como se observou nas pesquisas citadas anteriormente, a eficiência do solvente na extração dos polifenóis é diferente para cada amostra, pois cada solvente nem sempre tem a mesma eficiência de extração em diferentes amostras. Segundo Naczk e Shahidi (2004) a solubilidade dos compostos fenólicos em um determinado solvente ou extrato é uma característica peculiar dos fitoquímicos, o que explica a falta de um procedimento universal para sua extração, assim como a necessidade de uma seleção criteriosa do método de extração para cada fonte natural de antioxidante. Neste sentido, considerando que nos vegetais há polifenóis com polaridade diversificada, recomenda-se o uso de solventes de diferente polaridade de modo a possibilitar a extração eficiente destas moléculas. Soluções aquosas de etanol, metanol e acetona, e a suas misturas, são frequentemente usadas, em diferentes concentrações, e sua eficácia dependerá da polaridade dos polifenóis presentes na amostra, bem como do grau de polimerização e da interação com outros constituintes.

Pérez-Jiménez et al. (2008) ressaltaram que para aumentar a eficiência do processo de extração deve-se combinar pelo menos dois ciclos de extração, utilizando-se soluções de solventes orgânicos aquosos, com diferentes polaridades, de modo a extrair fitoquímicos com diferentes estruturas químicas.

O extrato A foi composto por 20 % de água e 80 % de etanol; o extrato B é composto por 52 % de água, 28 % de acetona e 20 % de metanol. Os índices de polaridade da acetona, etanol, metanol e água são 5,2; 5,4; 6,6; 9,0 respectivamente. Isto evidenciou que a

acetona contida no extrato B é menos polar que os componentes do extrato A fazendo com que o extrato B seja menos polar do que o extrato A. Por consequência a maior eficiência do extrato B na extração dos polifenóis totais da polpa de araçá-boi possivelmente pode-se explicar da seguinte maneira: o extrato A é composto por solventes com alta polaridade (água e etanol) e possivelmente extraiu somente aos ácidos fenólicos da polpa, já o extrato B que tem um solvente menos polar conseguiu extrair além dos ácidos fenólicos outros tipos de polifenóis menos polares como algumas moléculas de flavonoides.

Finalmente, a mistura aquosa de metanol e acetona (extrato B) proporcionou uma extração mais eficiente dos polifenóis da polpa de araçá-boi, provavelmente pela diferença de polaridade entre os dois solventes, permitindo a extração de diversas classes de polifenóis. As cetonas por serem menos polares que os álcoois promoveram a extração de polifenóis com menor polaridade, enquanto que os álcoois extraíram os polifenóis mais polares. Desta forma, a mistura entre esses solventes tornou-se eficiente ao proporcionar a extração mais completa dos polifenóis presentes na matriz alimentar testada.

Para comparar o conteúdo de polifenóis totais e a capacidade antioxidante da polpa de araçá-boi com outras frutas elaborou-se a Tabela 6, que apresenta a concentração de polifenóis totais e a capacidade antioxidante da polpa de araçá-boi em base seca nos dois extratos testados, para calcular todos os valores da Tabela 6 foram utilizadas a Tabela 5 e a composição química proximal da polpa de araçá-boi, considerando que 100 g de polpa de araçá-boi contem 7,34 g de matéria seca.

A excelente capacidade antioxidante da polpa de araçá-boi nos diferentes métodos testados mostrada na Tabela 6, possivelmente seja pela presença de ácidos fenólicos na polpa. Ariza (2012) utilizou cromatografia líquida para identificar e quantificar os ácidos fenólicos da polpa liofilizada de araçá-boi com extrato hidrometanólico a 80 % v/v acidulado com HCl, encontrou em média 75 µg de ácido clorogênico/g, 30 µg de ácido gálico/g e 4,0 µg de ácido cafeico/g, sendo o ácido clorogênico e o ácido gálico os ácidos fenólicos predominantes na polpa. Cabe ressaltar que o ácido clorogênico é o ácido fenólico mais abundante nas plantas, além disso, é o antioxidante mais ativo deste grupo de Polifenóis (DURÁN; BORJA, 1993).

Em geral, os Polifenóis são um grupo heterogêneo de substâncias com diferentes propriedades antioxidantes, as quais estão presentes em diversos alimentos e bebidas, mas em especial na uva e em seus derivados (RIZZON; LINK, 2006). As uvas (*Vitis vinifera L.*) são consideradas uma das maiores fontes de compostos fenólicos quando comparadas a outras frutas e vegetais (MAXCHEIX et al., 1990). Assim seria de grande importância comparar a

concentração de Polifenóis Totais e a capacidade antioxidante da polpa de araçá-boi com a da uva, utilizando a mesma metodologia de extração.

Tabela 6 - Concentração de Polifenóis Totais e Capacidade antioxidante da polpa seca de araçá-boi em dois tipos de extratos

Antioxidante	Extrato	
	A	B
Polifenóis Totais (mg ác.gál./100g polpa)	1701,36 ± 41,28 ^b	2174,93 ± 36,92 ^a
ABTS (µmol Trolox/g polpa)	113,90 ± 10,62 ^b	258,86 ± 19,35 ^a
DPPH EC 50 58,96 µM (mg m. seca/mL)	4,55 ± 0,06 ^a	2,94 ± 0,03 ^b
DPPH (g m.seca/g DPPH)	386,46 ± 4,81 ^a	249,34 ± 2,63 ^b
FRAP (µmol FeSO ₄ /g m. seca)	313,62 ± 13,35 ^b	419,75 ± 0,95 ^a

A= Etanol (80 % v/v em água), B = proporção (50:50) de Metanol (50 % v/v em água) e Acetona (70 % v/v em água); letras diferentes na mesma coluna mostram diferença estatisticamente significativa com 95 % de confiança de acordo com o teste t-student.

Silva, Alves e Coêlho (2011) quantificaram os polifenóis totais e capacidade antioxidante em uvas produzidas em Fortaleza (CE). Esses autores utilizaram o extrato hidroetanólico de 80 % v/v para extrair os compostos fenólicos, sendo este equivalente ao extrato A mostrado na Tabela 6. Para polifenóis totais da uva ‘BRS’ clara e ‘BRS’ escura apresentaram 765,93 ± 36,20 e 860,86 ± 3,13 mg ac.gál./100g m. seca, respectivamente. Comparando os dados relatados afirma-se que a polpa de araçá-boi testado com extrato A, tem em média 54,98 % e 49,40 % a mais de polifenóis do que a uva ‘BRS’ clara e ‘BRS’ morena, respectivamente. Para a capacidade antioxidante pelo método de radical DPPH da uva ‘BRS’ clara e ‘BRS’ escura os autores obtiveram (688,78 ± 6,44) e (1671,83 ± 175,00) g m.seca/g DPPH, respectivamente.

Comparando os dados relatados, observou-se que a matéria seca da polpa de araçá-boi testada com o extrato A conseguiu neutralizar 1,82 e 4,33 vezes mais o radical livre DPPH do que a uva clara e escura, respectivamente. A maior neutralização de radical livre DPPH pelo araçá-boi possivelmente ocorreu por conta de que este apresenta maior quantidade de Polifenóis polares (ácidos fenólicos) do que a uva clara e escura, uma vez que a comparação foi realizada utilizando o mesmo extrato com alta polaridade, que foi o extrato hidroetanólico 80 % v/v.

Comparou-se também o conteúdo de polifenóis totais e a capacidade antioxidante entre a polpa de araçá-boi e alguns legumes e verduras. Tiveron (2010) estudou a atividade antioxidante e composição fenólica de alguns legumes e verduras consumidas no Brasil, onde para extrair os compostos bioativos usou extrato hidroetanólico de 80 % v/v que é equivalente ao extrato A mostrado na Tabela 6. Para polifenóis totais do Espinafre, Cebola, Repolho, Beterraba, Abóbora moranga, Pepino e Cenoura quantificou $1220,00 \pm 48,00$; $590,00 \pm 22,00$; $544,53 \pm 2,79$; $290,00 \pm 9,00$; $277,07 \pm 3,46$; $168,75 \pm 4,50$ e $120,00 \pm 5,00$ mg ác. gál./100g m.seca, respectivamente. Para a capacidade antioxidante pelo método FRAP do Espinafre, Cebola, Repolho, Beterraba, Abóbora moranga, Pepino e Cenoura determinou $270,00 \pm 19,00$; $130,00 \pm 8,00$; $69,81 \pm 2,79$; $40,00 \pm 4,00$; $34,63 \pm 1,73$; $18,00 \pm 1,13$ e $10,00 \pm 0,90$ $\mu\text{mol FeSO}_4/\text{g m.seca}$. De acordo com a Tabela 6, os extratos A e B da polpa de araçá-boi apresentaram maior quantidade de polifenóis totais e melhor capacidade antioxidante pelo método FRAP que alguns legumes e verduras consumidos no Brasil.

Comparou-se o conteúdo de polifenóis totais e a capacidade antioxidante entre a polpa de araçá-boi e cultivares de Morango e Amora preta. Silva, Vendruscolo e Tollares (2011) quantificaram os polifenóis totais e a capacidade antioxidante de quatro cultivares de Morango e Amora preta, produzidas na região Sul do RS, na cidade de Pelotas; para quantificar os polifenóis totais e a capacidade antioxidante usaram a polpa centrifugada e filtrada sem uso de solvente de extração; nos cultivares de Morango: Diamante, Ventana, Camino Real e Camarosa, para polifenóis totais obtiveram em média $1530,71$; $1153,88$; $1071,41$ e $1026,70$ mg ác.gál./100g m.seca respectivamente, e para a capacidade antioxidante pelo método do radical ABTS obtiveram em média $122,71$; $92,82$; $91,76$ e $79,88$ $\mu\text{mol Trolox/g m.seca}$ respectivamente. Os cultivares de Amora preta: Comanche, Tupi, Chocktaw e Cherokee, apresentaram para polifenóis totais em média $758,39$; $717,17$; $613,77$ e $610,98$ mg ác.gál./100g m.seca respectivamente, e para a capacidade antioxidante pelo método do radical ABTS obtiveram em média $107,5$; $92,65$; $66,58$ e $62,10$ $\mu\text{mol Trolox/g m.seca}$ respectivamente. Comparando estes resultados com a polpa de araçá-boi, observa-se que o

extrato B apresentou maior quantidade de polifenóis totais e melhor capacidade antioxidante que os quatro cultivares de Morango e de amora preta cultivados na região Sul do RS do Brasil.

Também se comparou o conteúdo de polifenóis totais e a capacidade antioxidante entre a polpa de araçá-boi e a polpa de pitanga (*Eugenia uniflora L.*). Bagetti et al. (2011) estudaram o conteúdo de polifenóis totais de frutos de pitanga com diferentes colorações de polpa (vermelha e laranja) cultivados no estado do Rio Grande do Sul, para extrair os polifenóis usaram banho de ultrassom com solução aquosa composta por 80 % v/v de metanol, 15 % v/v de água e 5 % v/v de ácido fórmico. Obtiveram para polpa vermelha $1304,35 \pm 18,63$ mg ác.gál./100g m.seca e para polpa laranja $1169,93 \pm 32,68$ mg ác.gál./100g m.seca. Esses resultados foram menores ao ser comparados com a polpa de araçá-boi tanto para o extrato A e B, pois a polpa de araçá-boi testada com o extrato A tem em média 23,33 % a mais de polifenóis do que a pitanga de polpa vermelha e 31,24 % do que a polpa laranja. Enquanto que a polpa de araçá-boi testada com extrato B tem em média 40,02 % a mais de Polifenóis do que a pitanga de polpa vermelha e 46,21 % do que a polpa laranja.

Foi comparado o conteúdo de polifenóis totais e a capacidade antioxidante entre a polpa de araçá-boi e a polpa de Caju (*Anacardium occidentale L.*). França (2013) determinou os polifenóis totais e a capacidade antioxidante de Caju originária da região nordeste do Brasil, para extrair os compostos bioativos utilizou proporção (50:50) de metanol (50 % v/v em água) e acetona (70 % v/v em água) que é equivalente ao extrato B mostrado na Tabela 6, para polifenóis totais encontrou em média 24,35 mg ác. gál./100g m. seca, este valor é 89 vezes menor ao comparado com a polpa de araçá-boi testada com extrato B; para capacidade antioxidante pelo método FRAP encontrou em média 137,08 $\mu\text{mol FeSO}_4/\text{g m. seca}$, este valor é 3 vezes menor ao comparado com a polpa de araçá-boi testada com extrato B; para capacidade antioxidante pelo método de radical DPPH encontrou em média 1284,68 g m. seca/g DPPH, é dizer que é preciso de 1284,68 g de matéria seca da polpa de caju para neutralizar 1 g do radical livre DPPH, assim 100 g de matéria seca neutraliza 0,0778 g de radical livre; a Tabela 6 mostra que o extrato B precisa em média de 249,34 g de matéria seca da polpa araçá-boi para neutralizar 1 g do radical livre DPPH, assim 100 g de matéria seca neutraliza 0,4010 g de radical livre. Pode-se afirmar então que a matéria seca da polpa de araçá-boi neutraliza 5,15 vezes mais o radical livre DPPH do que a matéria seca da polpa de caju.

5.4 DETERMINAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE SECAGEM POR ATOMIZAÇÃO DA POLPA DE ARAÇÁ-BOI

Para conservar os compostos bioativos presentes na polpa de araçá-boi, utilizou-se a microencapsulação mediante a secagem por atomização. Segundo os resultados da caracterização físico-química sabe-se que a polpa de araçá-boi contém alta concentração de açúcar e de acidez, dado que por cada 100 g de matéria seca da polpa, existe aproximadamente 13,89 g de açúcar e 39,68 g de ácido, por isso foi necessário a utilização de material de parede na obtenção das micropartículas. Segundo Dolinsky, Maletskaya e Snezhkin (2000) a higroscopicidade e pegajosidade dos pós microencapsulados (micropartículas) são originados pela presença de ácido e açúcares, pelo fato de ter uma temperatura de transição vítrea (Tg) baixa. Então a alta concentração de açúcar e ácidos presentes na polpa de araçá-boi farão com que as micropartículas apresentem uma Tg baixa, fazendo com que durante a secagem por atomização apareça uma pegajosidade na parede da câmara da secagem, sendo isto desfavorável.

Nesta pesquisa usaram-se a maltodextrina e a goma arábica como materiais de parede. Para determinar a Temperatura de bulbo seco (T.b.s) do ar de secagem usou-se a Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) e para determinar a vazão do ar de secagem usou-se as propriedades termodinâmicas da mistura de ar seco e de vapor de água através da carta psicométrica, além disso, na secagem, utilizou-se o balanço de massa para água.

5.4.1 Calorimetria exploratória diferencial (DSC) da polpa diluída de araçá-boi misturada com material de parede

Para microencapsular polpa de frutas com secagem por atomização é necessário conhecer a temperatura de bulbo seco (T.b.s) do ar de secagem, pois para conseguir o microencapsulamento da matéria seca numa amostra é muito importante que o ar de secagem seja capaz de evaporar a água da matriz. Na atualidade pesquisas sobre microencapsulamento de polpa de frutas, como os de Moraes (2014), Fernandes et al. (2016) e de Tonon, Braber e Hubinger (2009), estabeleceram a T.b.s do ar de secagem mediante o planejamento experimental ou por ensaios preliminares.

Nesta pesquisa não foi realizado um planejamento experimental, e sim usou-se a calorimetria exploratória diferencial (DSC) de fluxo de calor para determinar a faixa da T.b.s do ar de secagem, que foi usado no microencapsulamento da polpa de araçá-boi por

atomização. Na área de microencapsulamento por atomização não existem pesquisas que evidenciem o uso de DSC para determinar a T.b.s do ar de secagem, sendo esta pesquisa a primeira em usa-la.

A justificativa de que a DSC pode ser usada para determinar a T.b.s do ar de secagem fundamenta-se na liberação (processo exotérmico) ou absorção (processo endotérmico) de calor que sofre uma amostra durante a mudança de estado físico ou químico, e segundo Souza (2011) a DSC mede as variações de energia térmica para manter em equilíbrio as temperaturas da amostra e do material de referência durante o evento térmico.

A polpa de fruta antes do seu microencapsulamento por atomização encontra-se muito diluída, sendo a água o componente majoritário na amostra. Esta característica é importante no momento de realizar a DSC, pois o primeiro evento térmico será o processo endotérmico característico da evaporação de água presente na amostra. Para verificar que a DSC consegue determinar o processo endotérmico de evaporação da água, realizou-se a DSC da água destilada. Após realizaram-se a DSC da polpa diluída de araçá-boi e da polpa diluída misturada com Maltodextrina nas proporções (1:1,5); (1:2) e (1:3) polpa/material de parede, e a polpa diluída misturada com Goma arábica nas proporções de (1:1,5); (1:2) e (1:3) polpa/material de parede; estas proporções foram estabelecidas em função da matéria seca da polpa de araçá-boi com o material de parede. Na Tabela 7 estão registradas as porcentagens de água e de matéria seca total das amostras avaliadas. A matéria seca total representa a soma da matéria seca da polpa diluída de araçá-boi e do material de parede (Maltodextrina ou Goma arábica). Com as medições na DSC das amostras testadas encontrou-se a entalpia e as temperaturas inicial, do pico e final, da evaporação da água, esta informação foi adquirida dos picos endotérmicos mostrados nas Figuras 22 e 23. Considerou-se que a faixa entre a temperatura inicial e final dos picos endotérmicos encontrados pela DSC é análoga à faixa da T.b.s do ar de secagem que é capaz de evaporar a água durante o microencapsulamento da polpa de araçá-boi por atomização.

Tabela 5 - Porcentagem de água e de matéria seca total das amostras analisadas por DSC

Amostra	Polpa refinada e peneirada de araçá-boi (g)	Água da Polpa (g)	Matéria seca da polpa (g)	Água de diluição (g)	Material de parede (g)	Porcentagem de água (%)	Porcentagem de matéria seca total (%)
Água destilada	-----	-----	-----	-----	-----	100,0	0,0
Polpa diluída	427,0	199,5	14,0	213,5	-----	97,0	3,0
Polpa diluída-MD (1:1,5)	427,0	199,5	14,0	237,5	21,0	92,0	8,0
Polpa diluída-MD (1:2,0)	427,0	199,5	14,0	237,5	28,0	91,0	9,0
Polpa diluída-MD (1:3,0)	427,0	199,5	14,0	237,5	42,0	88,0	12,0
Polpa diluída-GA (1:1,5)	427,0	199,5	14,0	237,5	21,0	92,0	8,0
Polpa diluída-GA (1:2,0)	427,0	199,5	14,0	237,5	20,0	91,0	9,0
Polpa diluída-GA (1:3,0)	427,0	199,5	14,0	237,5	42,0	88,0	12,0

Polpa diluída-MD (1:1,5) = Polpa refinada e peneirada diluída misturada com maltodextrina numa proporção (1:1,5); Polpa diluída-MD (1:2,0) = Polpa refinada e peneirada diluída misturada com maltodextrina numa proporção (1:2,0); Polpa diluída-MD (1:3,0) = Polpa refinada e peneirada diluída misturada com maltodextrina numa proporção (1:3,0); Polpa diluída-GA (1:1,5) = Polpa refinada e peneirada diluída misturada com goma arábica numa proporção (1:1,5); Polpa diluída-GA (1:2,0) = Polpa refinada e peneirada diluída misturada com goma arábica numa proporção (1:2,0); Polpa diluída-GA (1:3,0) = Polpa refinada e peneirada diluída misturada com goma arábica numa proporção (1:3,0).

Figura 22 – Picos de evaporação de água, da água destilada e da polpa diluída e da polpa diluída misturada com Maltodextrina obtidos por DSC

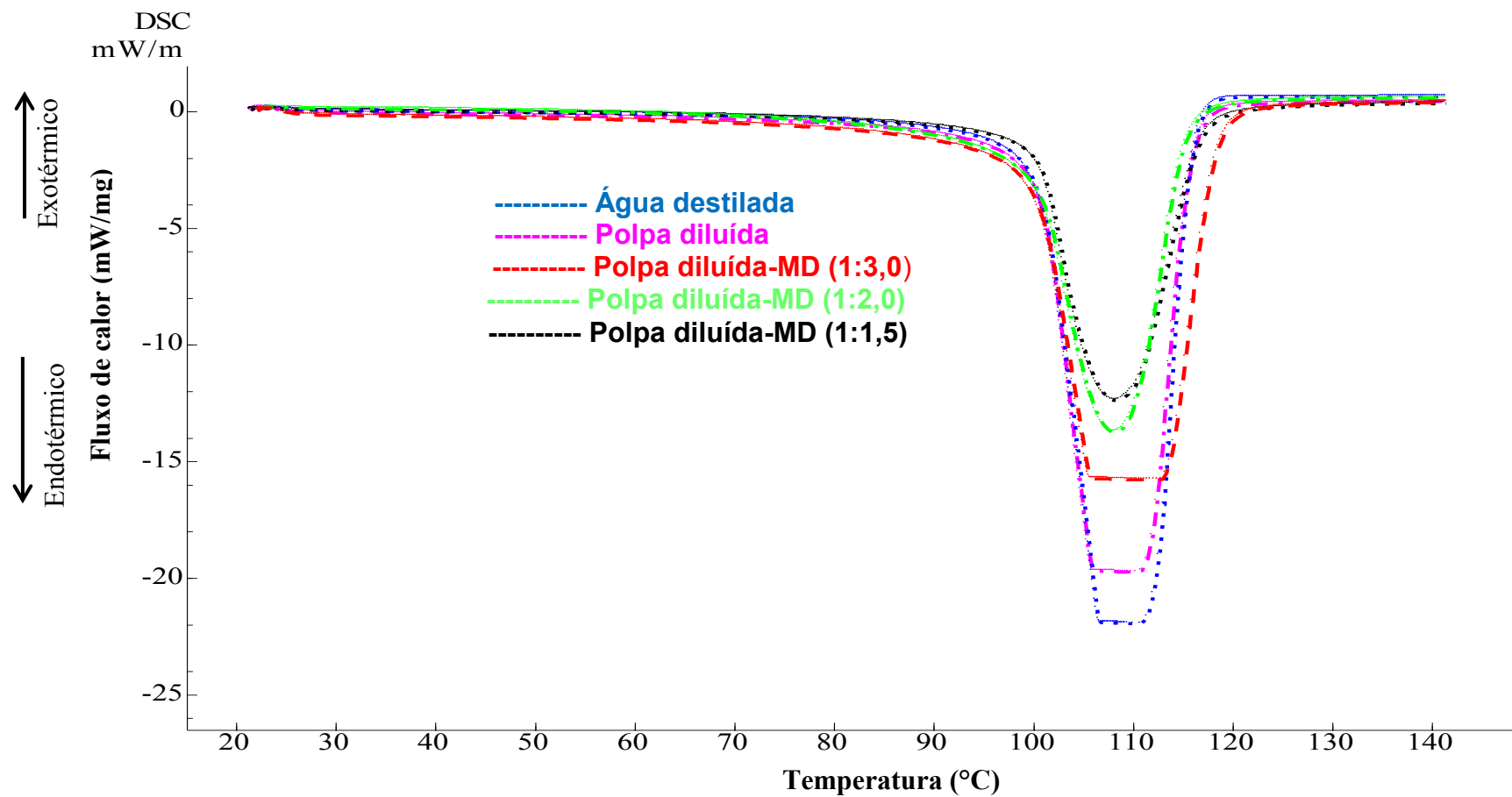
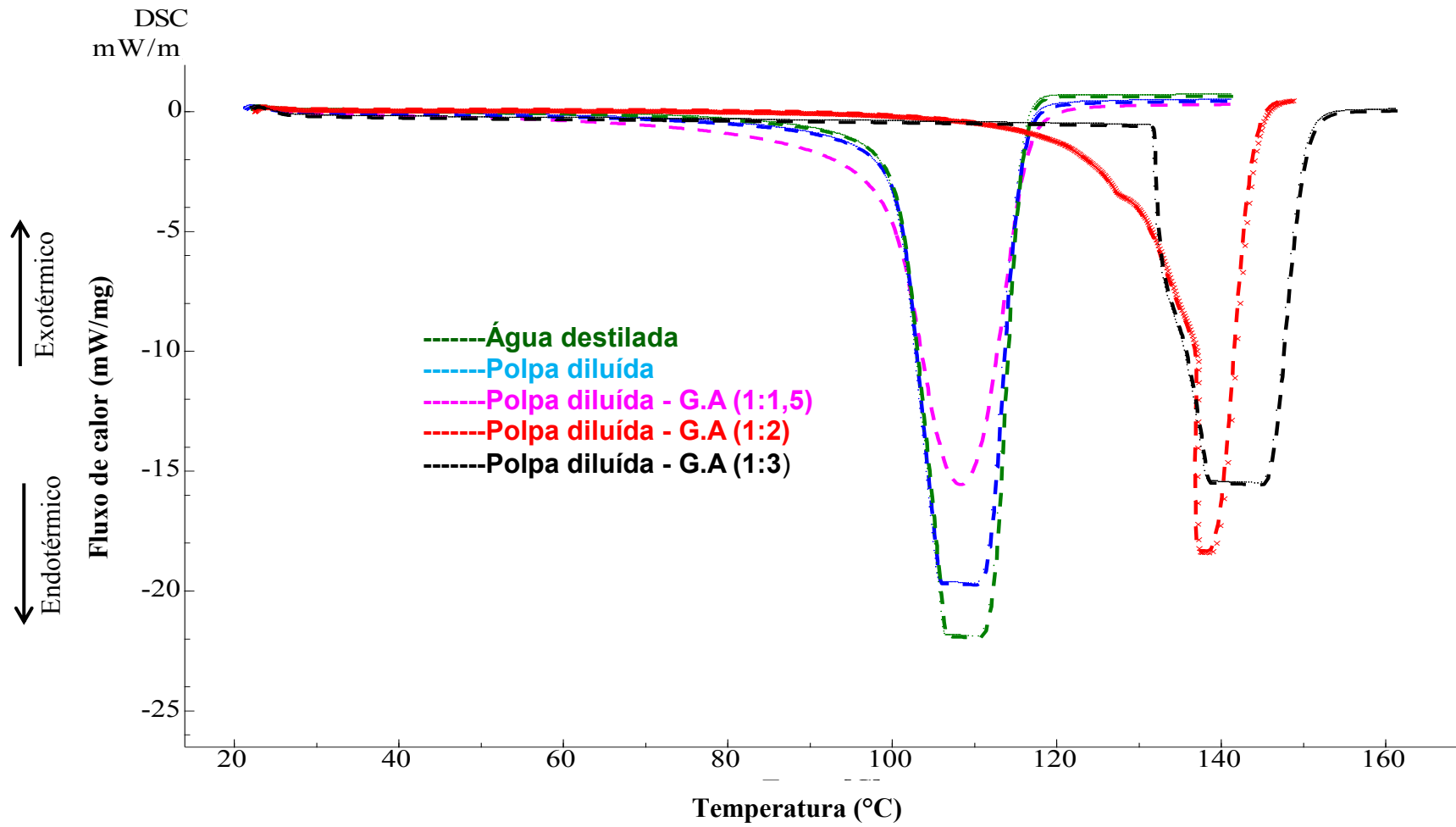


Figura 23 – Picos de evaporação de água, da água destilada e da polpa diluída e da polpa diluída misturada com Goma arábica obtidos por DSC

A Tabela 6 apresenta a porcentagem de água, as temperaturas do pico endotérmico e a entalpia de evaporação da água de cada amostra.

Tabela 6 – Dados de porcentagem de água e dos picos endotérmicos da Calorimetria Exploratória Diferencial das amostras testadas

Amostra	Porcentagem de água (%)	T. inicial (°C)	T. pico (°C)	T. final (°C)	Entalpia (kJ/kg)
Água destilada	100,0	101,2 ± 0,5	111,05 ± 0,6	116,0 ± 0,4	1480,0 ± 5,0 ^a
Polpa diluída	97,0	100,8 ± 0,4	110,6 ± 0,6	116,0 ± 0,5	1340,0 ± 3,5 ^b
Polpa dil.-MD (1:1,5)	92,0	100,8 ± 0,6	108,5 ± 0,5	117,0 ± 0,5	828,4 ± 6,0 ^f
Polpa dil.-MD (1:2,0)	91,0	100,4 ± 0,4	108,3 ± 0,6	115,6 ± 0,8	937,7 ± 5,0 ^g
Polpa dil.-MD (1:3,0)	88,0	100,5 ± 0,9	112,8 ± 0,8	118,5 ± 0,6	1330,0 ± 8,0 ^{d,b}
Polpa dil.-GA (1:1,5)	92,0	99,8 ± 0,7	108,6 ± 0,4	116,7 ± 0,4	1110,0 ± 5,5 ^e
Polpa dil.-GA (1:2,0)	91,0	120,1 ± 0,8	134,1 ± 0,7	144,1 ± 0,9	939,2 ± 6,5 ^{f,g}
Polpa dil.-GA (1:3,0)	88,0	132,0 ± 1,5	145,0 ± 1,2	150,5 ± 0,7	1230,0 ± 8,5 ^c

Polpa diluída-MD (1:1,5) = Polpa refinada e peneirada diluída misturada com maltodextrina numa proporção (1:1,5); Polpa diluída-MD (1:2,0) = Polpa refinada e peneirada diluída misturada com maltodextrina numa proporção (1:2,0); Polpa diluída-MD (1:3,0) = Polpa refinada e peneirada diluída misturada com maltodextrina numa proporção (1:3,0); Polpa diluída-GA (1:1,5) = Polpa refinada e peneirada diluída misturada com goma arábica numa proporção (1:1,5); Polpa diluída-GA (1:2,0) = Polpa refinada e peneirada diluída misturada com goma arábica numa proporção (1:2,0); Polpa diluída-GA (1:3,0) = Polpa refinada e peneirada diluída misturada com goma arábica numa proporção (1:3,0). Letras diferentes na mesma coluna mostram diferenças estatisticamente significativas com 95 % de confiança de acordo com o teste Tukey ($p < 0,05$).

Para determinar a distribuição normal dos dados de temperatura realizou-se o teste de Shapiro-Wilk, encontrando-se para temperatura inicial p-valor menor de 0,01; para temperatura do pico p-valor de 0,02 e para temperatura final p-valor menor de 0,01; consequentemente os dados de temperatura inicial, do pico e final não têm uma distribuição normal, não sendo possível realizar ANOVA nem a comparação de médias pelo teste de Tukey. Igualmente para determinar a distribuição normal dos dados de entalpia realizou-se o teste de Shapiro-Wilk encontrando-se p-valor de 0,622; esse valor foi maior de 0,05; consequentemente os dados da entalpia tem uma distribuição normal, sendo possível realizar ANOVA e a comparação de medias pelo teste de Tukey.

Na Tabela 6 observa-se que a faixa de temperatura onde ocorreu a evaporação de água destilada foi de 101,2 °C a 116,0 °C, precisando-se aproximadamente de 1480,0 kJ/kg para que este processo endotérmico aconteça. A evaporação de água da polpa diluída aconteceu na faixa de 100,8 °C a 116,00 °C, sendo esta faixa semelhante ao da água destilada, mas precisou aproximadamente de 1340,0 kJ/kg, este valor é menor e estatisticamente

diferente ao da água destilada, a entalpia para a evaporação de água da polpa diluída comparada com a da água destilada foi menor, já que a polpa diluída apresentou 3,0 % a menos de conteúdo de água.

Em amostras onde a água está na forma livre espera-se que a amostra com maior conteúdo de água precise de maior energia (entalpia) para conseguir evaporar toda a água, como foram os casos da água destilada e a água da polpa diluída. Já nas amostras que contém material de parede as que apresentaram maior conteúdo de água precisaram de menor energia para evaporar a água.

Na Tabela 6, observa-se a influência da Maltodextrina e Goma arábica na evaporação da água. Nas amostras de polpa diluída-MD (1:1,5), de polpa diluída-MD (1:2,0) e de polpa diluída-MD (1:3,0) a evaporação da água ocorreu quase na mesma faixa de temperatura, aproximadamente de 100,4 °C a 118,5 °C. Para conseguir evaporar a água da polpa diluída-MD (1:3,0) precisou-se de 1330,00 kJ/kg de energia, este valor foi maior e estatisticamente diferente às amostras de polpa diluída-MD (1:2,0) e polpa diluída-MD (1:1,5), que precisaram 937,7 kJ/kg e 828,4 kJ/kg de energia, respectivamente. Observa-se que a maltodextrina cumpriu sua função de material de parede, pois cada vez que aumentou sua concentração na amostra aumentou também a energia necessária para conseguir a evaporação de água, este aumento de energia possivelmente seja porque a água ligou-se com a maltodextrina, formando uma matriz mais difícil de conseguir a evaporação da água.

Pelos dados da Tabela 6, pode-se afirmar que a melhor condição para o microencapsulamento da polpa de arará-boi por atomização utilizando a maltodextrina como material de parede é utilizando ar de secagem com T.b.s entre 100,4 °C a 118,5 °C, e com concentração de Maltodextrina na proporção (1:3), visto que nesta concentração a maltodextrina conseguiu encapsular melhor a polpa de arará-boi já que para evaporar água precisa-se de maior energia (1330,00 kJ/kg).

Nas amostras de polpa diluída-GA (1:1,5), de polpa diluída-GA (1:2,0) e de polpa diluída-GA (1:3,0) a evaporação da água ocorreu na faixa de temperatura entre 99,8 °C a 116,7; 120,1 °C a 134,1 °C e 132,0 °C a 145,0 °C, respectivamente. Observou-se que o comportamento da goma arábica foi diferente ao da maltodextrina, pois para cada concentração de goma arábica a evaporação da água ocorreu numa faixa diferente de temperatura, já para cada concentração de maltodextrina a evaporação ocorreu na mesma faixa de temperatura. Com os dados descritos anteriormente pode-se afirmar que a melhor condição para o microencapsulamento da polpa de arará-boi por atomização utilizando a goma arábica como material de parede possivelmente seja utilizando ar de secagem com T.b.s

entre 132,0 °C a 145,0 °C, e com concentração de goma arábica na proporção (1:3), porque nesta concentração a goma arábica conseguiu encapsular melhor a polpa, pois para conseguir evaporar a água precisa-se maior energia (1230,0 kJ/kg).

Comparando-se a proporção (1:1,5) de maltodextrina com a goma arábica, observou-se que a evaporação da água ocorreu na mesma faixa de temperatura, para a polpa diluída-MD (1:1,5) foi de 100,8 °C a 117,0 °C e para a polpa diluída-GA (1:1,5) a evaporação ocorreu na faixa de 99,8 °C a 116,7 °C. Mas a energia necessária para conseguir evaporar a água da polpa diluída-MD (1:1,5) e polpa diluída-GA (1:1,5) foi de 828,4 kJ/kg e 1110,0 kJ/kg, respectivamente, esses valores são estatisticamente diferentes, então nessa concentração de material de parede a goma arábica comporta-se como melhor encapsulante.

Na proporção (1:2,0) de maltodextrina e goma arábica a evaporação da água ocorreu numa faixa diferente de temperatura, pois para polpa diluída-MD (1:2,0) a evaporação da água ocorreu na faixa de 100,4 °C a 115,6 °C e para polpa diluída-GA (1:2,0) a evaporação ocorreu na faixa de 120,1 °C a 134,1 °C. Já a energia necessária para conseguir evaporar a água da polpa diluída-MD (1:2,0) e polpa diluída-GA (1:2,0) foi de 937,7 kJ/kg e 939,2 kJ/kg, respectivamente, esses valores de energia são estatisticamente semelhantes, observou-se então que independentemente da faixa de temperatura onde ocorreu a evaporação da água, nessa concentração de material de parede, a maltodextrina e goma arábica conseguem encapsular de maneira similar a polpa de araçá-boi.

Relacionando-se a proporção (1:3,0) de maltodextrina com a goma arábica, nota-se que a evaporação da água também ocorreu numa faixa diferente de temperatura. Para a polpa diluída-MD (1:3,0) a evaporação da água ocorreu na faixa de 100,5 °C a 118,5 °C e para a polpa diluída-GA (1:3,0) a evaporação ocorreu na faixa de 132,0 °C a 145,0 °C. A energia necessária para conseguir evaporar a água da polpa diluída-MD (1:3,0) e polpa diluída-GA (1:3,0) foi de 1330,0 kJ/kg e 1230,0 kJ/kg, respectivamente. Esses valores de energia são estatisticamente diferentes e mesmo que a polpa diluída-MD (1:3,0) necessite de maior energia do que a polpa diluída-GA (1:3,0), pode-se afirmar que a maltodextrina possa encapsular melhor, pois para gerar a evaporação da matriz da água precisa de maior energia.

Pelos dados mostrados na Tabela 8 é possível incrementar maiores proporções do material de parede, já que a maior proporção (1:3) testada foi a melhor. Mas Quek et al. (2007), afirmaram que se a proporção do material de parede for muito alta, o pó (partículas microesféricas) poderá ser de baixa qualidade em função da diluição dos nutrientes inicialmente presentes na polpa de fruta.

Usando planejamento experimental ou ensaios preliminares, alguns pesquisadores encontraram as melhores condições de microencapsulamento de polpa de frutas. Moraes (2014) encontrou melhor rendimento de processo no microencapsulamento da polpa de caju (*Anacardium occidentale L.*) usando goma arábica a 15 % m/m e com T.b.s do ar de secagem de 150 °C. Fernandes et al. (2016) determinou melhor rendimento de processo no microencapsulamento da polpa de cagaita (*Eugenia dysenterica*) usando goma arábica a 20 % m/m e com T.b.s do ar de secagem de 175 °C. Ferrari, Ribeiro e Aguirre (2012) estudaram a secagem por atomização de polpa de amora-preta (*Morus nigra L.*), e obtiveram micropartículas com menor umidade e higroscopicidade usando maltodextrina a 25 % m/m e com T.b.s do ar de secagem de 160 °C. Tonon, Braber e Hubinger (2009) aplicaram a secagem por atomização para a obtenção de produtos funcionais a partir do açaí (*Euterpe oleracea*) os autores conseguiram conservar maior concentração de antiocianinas da fruta usando maltodextrina (1:2) com T.b.s do ar de secagem de 140 °C ± 2 °C.

De acordo com as pesquisas citadas anteriormente as melhores proporções de material de parede no microencapsulamento de frutas está entre 15 % a 25 % m/m à vista disso nesta pesquisa incrementou-se a proporção de material de parede até (1:9) (20 % m/m).

Finalmente de acordo com os dados obtidos dos picos endotérmicos da DSC as melhores condições para o microencapsulamento da polpa de araçá-boi por atomização foram:

- Com Maltodextrina:

Temperatura de bulbo seco do ar de secagem = 100,5 °C até 118,5 °C

Proporção de material de parede = (1:3,0)

- Com Goma arábica:

Temperatura de bulbo seco do ar de secagem = 132,0 °C até 145,0 °C

Proporção de material de parede = (1:3,0)

Essas condições de microencapsulamento não foram possíveis de serem executadas, porque nesta pesquisa utilizou-se o *mini* atomizador (Marca: Labmaq, Modelo: PS-1) do LTA (Laboratório de Tecnologia de Alimentos) da Escola de Química e Alimentos da FURG, que tem uma máxima temperatura de bulbo seco do ar de secagem de 120 °C (inferior à temperatura de bulbo seco do ar de secagem = 132,0 °C até 145,0 °C).

Então, de acordo com os dados obtidos dos picos endotérmicos da DSC, e com as condições do equipamento, estabeleceram-se as condições para o microencapsulamento da polpa de araçá-boi por atomização:

- Com Maltodextrina:

Temperaturas de bulbo seco do ar de secagem: 100 °C e 120 °C

Proporção de material de parede: (1:3) (10 % m/m) e (1:9) (20 % m/m)

- Com Goma arábica:

Temperaturas de bulbo seco do ar de secagem: 100 °C e 120 °C

Proporção de material de parede: (1:3) (10 % m/m) e (1:9) (20 % m/m)

Nesta pesquisa considerou-se à DSC como uma ferramenta para determinar as melhores condições de microencapsulamento de polpa de frutas, então se espera que com as condições estabelecidas para o microencapsulamento da polpa de araçá-boi por atomização, com a maltodextrina devem-se obter melhores micropartículas que preservem maior conteúdo de compostos bioativos (maior concentração de Polifenóis Totais e mais Capacidade antioxidante) do que com a Goma arábica, dado que as condições estabelecidas para maltodextrina obedecem aos resultados da DSC..

5.4.2 Vazão do ar de secagem para o microencapsulamento da polpa de araçá-boi por atomização

Depois de estabelecidas as temperaturas de bulbo seco do ar de secagem e as concentrações de material de parede mediante a DSC, determinou-se a vazão do ar de secagem, pois este parâmetro é de muita importância no microencapsulamento da polpa de frutas, pois a vazão do ar de secagem determina a T.b.s do ar na saída. Para melhor conservação dos compostos bioativos é importante que a T.b.s do ar na saída seja a mais baixa possível. Nas pesquisas atuais sobre microencapsulamento da polpa de frutas este parâmetro é determinado mediante ensaios preliminares ou planejamento experimental. Entre eles, Fernandes et al. (2016), para a microencapsulação por atomização da polpa de cagaita, utilizaram uma vazão do ar de secagem de 0,05 m³/min. Porcu e Xavier (2014) no seu estudo sobre a prospecção de substâncias bioativas em polpa de goiaba microencapsulada por atomização usaram uma vazão do ar de secagem de 9,0x10⁻⁶ m³/min. Tonon, Braber e Hubinger (2009) na secagem por atomização para a obtenção de produtos funcionais a partir do açaí utilizaram 1,22 m³/min. Ferrari, Ribeiro e Aguirre (2012) na secagem por atomização da polpa de amora-preta (*Morus nigra L.*) obtiveram melhores resultados com a vazão do ar de secagem de 0,58 m³/min.

Nesta pesquisa, para determinar a vazão do ar de secagem usou-se as propriedades termodinâmicas da mistura de ar seco e de vapor de água através da carta psicrométrica, além disso, na secagem utilizou-se o balanço de massa para água.

O microencapsulamento da polpa de araçá-boi foi realizado no *mini* atomizador utilizando as seguintes condições:

- Vazão de alimentação = 0,10 L/h
- Vazão do ar comprimido = 40,0 L/min
- Vazão do ar de secagem = a calcular nesta etapa do trabalho
- T.b.s do ar de secagem = 100 °C e 120 °C
- Pressão do ar comprimido = 3 a 5 bar
- Diâmetro do bico atomizador = 1,0 mm

Antes da secagem por atomização o ar úmido do meio foi desumidificado até uma umidade relativa de $68 \pm 2 \%$ a 25 °C. Para exemplo, a continuação mostram-se os cálculos realizados para a suspensão de polpa diluída com 20 % de goma arábica, para tal fim usou-se a equação 1 e a carta psicrométrica.

- Amostra: Polpa refinada e peneirada diluída misturada com 20 % m/m (1:9) de goma arábica (GA);

- Densidade da suspensão = 1,349 kg/L;
- Temperatura de bulbo seco do ar do médio ambiente = 25 °C
- Umidade relativa do ar do médio ambiente = 70,0 %
- Vazão de alimentação = 0,10 L/h
- Temperatura de bulbo seco do ar de secagem = 100 °C
- Temperatura de bulbo seco do ar na saída = a calcular nesta etapa do trabalho
- Umidade estabelecida do produto final (micropartículas) = 5,0 %

a) Com as condições estabelecidas determinou-se a T.b.s do ar na saída, usando uma vazão de ar de secagem de 1,68 m³/min

Para isto calculou-se a umidade absoluta do ar na saída (W_f) do *mini* atomizador, para tal fim usou-se a Equação 1:

$$Ma.Xa = 0,1 \frac{L}{h} \cdot 1,349 \frac{kg}{L} \cdot 0,8 = 0,10792 \frac{kg\acute{a}gua}{h}$$

$$G.Wi = \frac{1,12 \frac{kg\acute{a}.u}{m^3} \cdot 1,68 \frac{m^3}{min} \cdot \frac{60 min}{1h}}{(1 + 0,014) \frac{kg\acute{a}.u}{kg\acute{a}.s}} \cdot 0,014 \frac{kgv.a}{kg\acute{a}.s} = 1,5587 \frac{kg\acute{a}gua}{h}$$

$$Ma.Xs.Xf = 0,1349 \frac{Kg}{h} \cdot 0,2 \cdot 0,05 = 0,001349 \frac{kg\acute{a}gua}{h}$$

$$G \cdot Wf = 111,337 \frac{kg\acute{a}.sec\acute{o}}{h} \cdot Wf$$

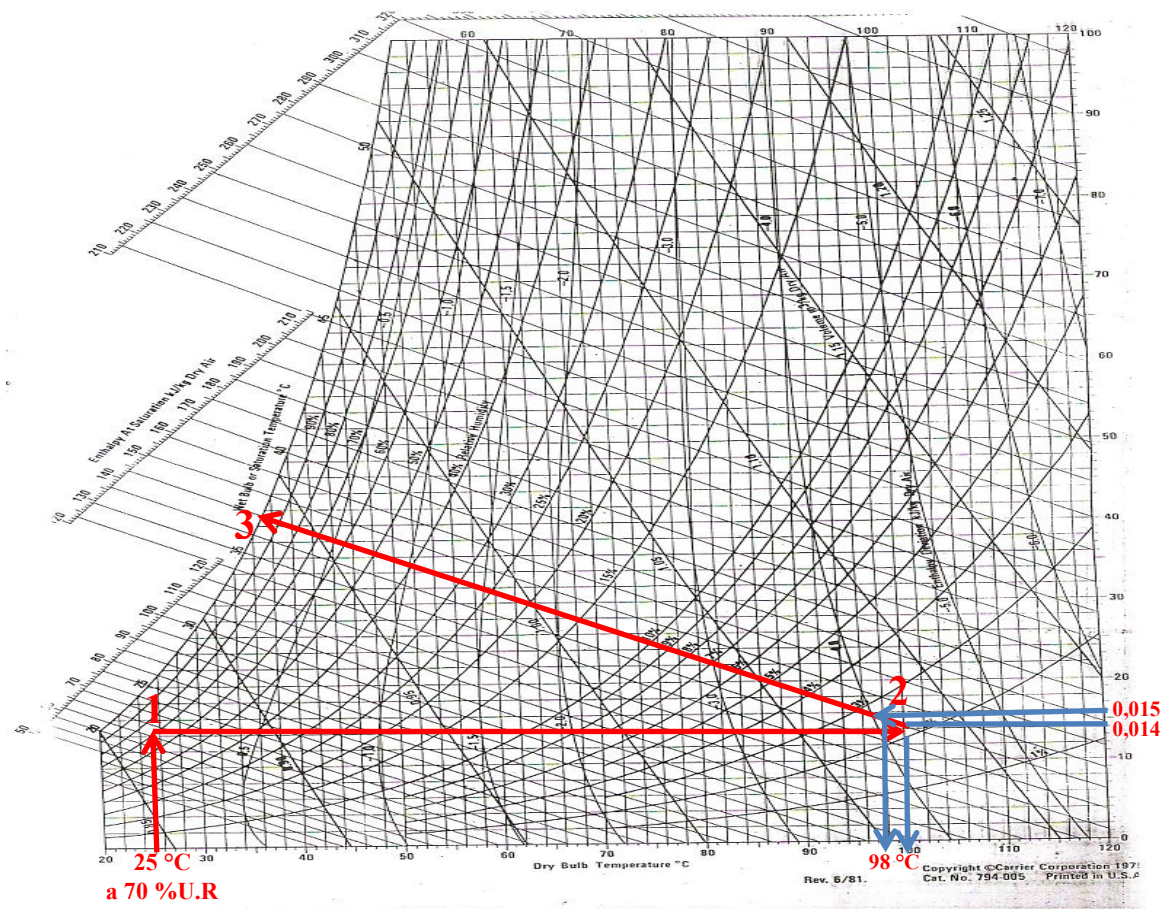
Finalmente:

$$0,10792 \frac{\text{kg}\text{águ}\text{a}}{\text{h}} + 1,5587 \frac{\text{kg}\text{águ}\text{a}}{\text{h}} = 0,001349 \frac{\text{kg}\text{águ}\text{a}}{\text{h}} + 111,337 \frac{\text{kg}\text{a}\cdot\text{sec}\text{o}}{\text{h}} \cdot W_f$$

$$W_f \approx 0,015 \frac{\text{kgv}\cdot\text{águ}\text{a}}{\text{kgar}\cdot\text{sec}\text{o}}$$

Com esse valor W_f encontrado, determinou-se que a T.b.s do ar na saída, que foi de 98 °C, para isso usamos a carta psicrométrica. A Figura 24 mostra a carta psicrométrica com as linhas características de aquecimento do ar úmido do médio ambiente.

Figura 24 - Carta psicrométrica mostrando as linhas características de aquecimento do ar



1 → 2 (Aquecimento do ar); 2 → 3 (saturação adiabática)

Utilizando os mesmos cálculos do exemplo anterior, elaborou-se a Tabela 9, que apresenta os parâmetros iniciais e finais do ar com uma vazão do ar de secagem de 1,68 m³/min.

Tabela 7 - Parâmetros iniciais e finais calculados para vazão do ar de 1,68 m³/min para secagem por atomização.

Amostra	Densidade (kg/L)	T.b.s inicial do ar (°C)	Vazão do ar (m³/min)	W. inicial (kg v.ág./ kg ar sec.)	W. saída (kg v.ág./ kg ar sec.)	T.b.s do ar na saída (°C)
Polpa dil.-GA-20%	1,349	100	1,68	0,0140	0,0150	98,0
Polpa dil.-GA-20%	1,349	120	1,68	0,0140	0,0150	118,0
Polpa dil.-GA-10%	1,149	100	1,68	0,0140	0,0149	98,0
Polpa dil.-GA-10%	1,149	120	1,68	0,0140	0,0149	118,0
Polpa dil.-MD-20%	1,054	100	1,68	0,0140	0,0148	98,0
Polpa dil.-MD -20%	1,054	120	1,68	0,0140	0,0148	118,0
Polpa dil.-MD-10%	1,026	100	1,68	0,0140	0,0148	98,0
Polpa dil.-MD-10%	1,026	120	1,68	0,0140	0,0148	118,0

Polpa diluída-MD -10% = Polpa refinada e peneirada diluída misturada com 10 % de maltodextrina numa; Polpa diluída-MD -20% = Polpa refinada e peneirada diluída misturada com 20 % de maltodextrina; Polpa diluída-GA -10% = Polpa refinada e peneirada diluída misturada com 10 % de goma arábica; Polpa diluída-GA-20% = Polpa refinada e peneirada diluída misturada com 20 % de goma arábica; W. inicial = Umidade absoluta inicial do ar; W. saída = Umidade absoluta do ar na saída.

Na Tabela 7 observou-se que, com está vazão de ar ($1.69 \text{ m}^3/\text{h}$) para todas as amostras, as temperaturas de bulbo seco do ar na saída são altas (entram a $100 \text{ }^\circ\text{C}$ e saem a $98 \text{ }^\circ\text{C}$; entram a $120 \text{ }^\circ\text{C}$ e saem a $118 \text{ }^\circ\text{C}$), visto que o ar na saída está em contato com as micropartículas obtidas, não é favorável que esta temperatura seja muita elevada, devido que as micropartículas contem compostos bioativos, e segundo Moraes (2014) estes compostos são sensíveis a temperaturas altas. Pelo mencionado anteriormente a vazão de ar de $1,68 \text{ m}^3/\text{min}$ não é adequada, então foi necessário calcular a vazão do ar de secagem onde a T.b.s do ar de saída fosse mais baixa, a condição para que isso ocorra, é quando o ar na saída esteja quase saturado, Diante disso calculou-se as vazões do ar de secagem onde a T.b.s do ar na saída esteja $10 \text{ }^\circ\text{C}$ acima de temperatura de saturação adiabática do ar, como mostra a Tabela 10.

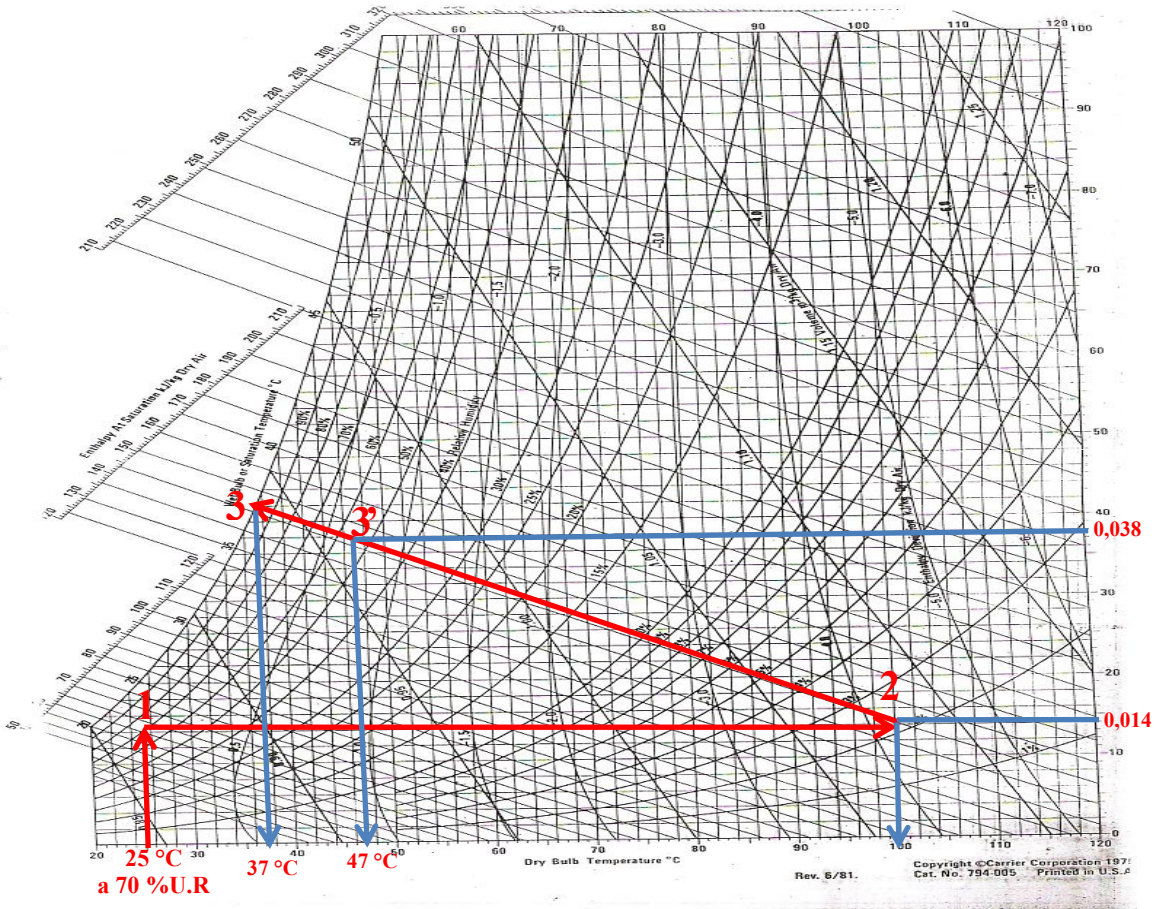
b) Com as condições estabelecidas determinou-se a vazão do ar de secagem para que a T.b.s do ar na saída seja $10 \text{ }^\circ\text{C}$ acima da temperatura de saturação adiabática do ar.

A seguir os cálculos realizados para a suspensão de polpa diluída com 20% de goma arábica.

- Amostra: Polpa refinada e peneirada diluída misturada com 20% m/m (1:9) de GA;
- Densidade da suspensão = $1,349 \text{ kg/L}$;
- Temperatura de bulbo seco do ar do médio ambiente = $25 \text{ }^\circ\text{C}$;
- Umidade relativa do ar do médio ambiente = $70,0 \%$;
- Vazão de alimentação = $0,10 \text{ L/h}$;
- Vazão do ar de secagem = a calcular nesta etapa do trabalho;
- Temperatura de bulbo seco do ar de secagem = $100 \text{ }^\circ\text{C}$;
- Temperatura de bulbo seco do ar na saída = $47 \text{ }^\circ\text{C}$;
- Umidade estabelecida do produto final (micropartículas) = $5,0 \%$.

Para este calculo, primeiramente determinou-se a umidade absoluta do ar (W_f) a $10 \text{ }^\circ\text{C}$ acima da temperatura de saturação adiabática do ar. Para isto usou-se a carta psicrométrica. Na Figura 25 mostra-se a carta psicrométrica onde o ar está a $10 \text{ }^\circ\text{C}$ acima da temperatura de saturação adiabática do ar.

Figura 25- Carta psicrométrica onde o ar está 10 °C acima da temperatura de saturação adiabática do ar



1→2 (Aquecimento do ar); 2 → 3' (10 °C acima da saturação adiabática)

Na Figura 25, observou-se que a T.b.s de saturação adiabática do ar foi de 37 °C, sendo 47 °C o ponto escolhido para determinar a vazão do ar de secagem; a $W_f = 0,038$ kg vapor de água/kg ar seco. Usou-se a Equação 1, e os resultados mostram-se a continuação:

$$Ma.Xa = 0,1 \frac{L}{h} \cdot 1,349 \frac{kg}{L} \cdot 0,8 = 0,10792 \frac{kg\acute{a}gua}{h}$$

$$G.Wi = G \cdot 0,014 \frac{kgv.a}{kga.s}$$

$$Ma.Xs.Xf = 0,1349 \frac{Kg}{h} \cdot 0,2 \cdot 0,05 = 0,001349 \frac{kg\acute{a}gua}{h}$$

$$G \cdot Wf = G \cdot 0,038 \frac{kgv.\acute{a}gua}{kgar.sec o}$$

Finalmente:

$$0,10792 \frac{\text{kg água}}{\text{h}} + G \cdot 0,014 \frac{\text{kg v. a}}{\text{kg a. s}} = 0,001349 \frac{\text{kg água}}{\text{h}} + G \cdot W_f = G \cdot 0,038 \frac{\text{kg v. água}}{\text{kg a. s}}$$

$$G = 4,44 \frac{\text{kg a. s}}{\text{h}}$$

$$Q_a = 4,44 \frac{\text{kg a. s}}{\text{h}} \cdot \frac{(1 + 0,014) \frac{\text{kg a. úmido}}{\text{kg a. s}}}{1,12 \frac{\text{kg a. úmido}}{\text{m}^3}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}}$$

$$Q_a = 0,067 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$$

Usando a mesma sequência de cálculos da polpa diluída com 20% de goma arábica, elaborou-se a Tabela 8, que apresenta vazões do ar de secagem onde a T.b.s do ar na saída está 10 °C a mais do que a temperatura de saturação adiabática do ar .

Na Tabela 8 observa-se que com estas vazões, para todas as amostras as temperaturas de bulbo seco do ar na saída são baixas, pois entram a 100 °C e saem a 47 °C; ou entram a 120 °C e saem a 50 °C, sendo assim estas vazões seriam as recomendáveis para uso no microencapsulamento da polpa de araçá-boi por atomização. Mas a vazão do ar que trabalha o *mini* atomizador (Marca: Labmaq, Modelo: PS-1) é entre 0,63 m³/min e 2,0 m³/min, então não foi possível obter micropartículas com as vazões calculadas mostradas na Tabela 10, pois as vazões foram quase 10 vezes menores do que a vazão mínima do *mini* atomizador utilizado. Embora não sendo possível usar as vazões calculadas, esses cálculos permitiram determinar que a vazão do ar de secagem mais adequada a ser utilizada seja 0,63 m³/min, por ser este valor mais baixo que o atomizador funciona e, portanto o mais próximo às vazões ideais calculadas.

Tabela 8 - Vazões do ar de secagem onde a T.b.s do ar na saída está 10 °C acima da temperatura de saturação adiabática do ar

Amostra	Densidade kg/L	T.b.s inicial do ar (°C)	Vazão do ar ideal (m³/min)	W. inicial (kg v.ág./ kg ar sec.)	W. saída (kg v.ág./ kg ar sec.)	T.b.s do ar na saída (°C)
Polpa dil.-GA-20%	1,349	100	0,067	0,01400	0,0380	47,0
Polpa dil.-GA-20%	1,349	120	0,054	0,01400	0,0440	50,0
Polpa dil.-GA-10%	1,149	100	0,065	0,01400	0,0380	47,0
Polpa dil.-GA-10%	1,149	120	0,052	0,01400	0,0440	50,0
Polpa dil.-MD-20%	1,054	100	0,052	0,01400	0,0380	47,0
Polpa dil.-MD -20%	1,054	120	0,041	0,01400	0,0440	50,0
Polpa dil.-MD-10%	1,026	100	0,057	0,01400	0,0380	47,0
Polpa dil.-MD-10%	1,026	120	0,046	0,01400	0,0440	50,0

Polpa diluída-MD -10% = Polpa refinada e peneirada diluída misturada com 10 % de maltodextrina numa; Polpa diluída-MD -20% = Polpa refinada e peneirada diluída misturada com 20 % de maltodextrina; Polpa diluída-GA -10% = Polpa refinada e peneirada diluída misturada com 10 % de goma arábica; Polpa diluída-GA-20% = Polpa refinada e peneirada diluída misturada com 20 % de goma arábica; W. inicial = Umidade absoluta inicial do ar; W. saída = Umidade absoluta do ar na saída.

c) T.b.s do ar na saída, usando uma vazão do ar de secagem de $0,63 \text{ m}^3/\text{min}$

Para isto calculou-se a umidade absoluta do ar na saída (W_f) do mini atomizador, para isso usou-se a Equação 1:

$$M_a \cdot X_a = 0,1 \frac{\text{L}}{\text{h}} \cdot 1,349 \frac{\text{kg}}{\text{L}} \cdot 0,8 = 0,10792 \frac{\text{kg}\text{água}}{\text{h}}$$

$$G \cdot W_i = \frac{1,12 \frac{\text{kg}\text{a.u.}}{\text{m}^3} \cdot 0,63 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} \cdot \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}}}{(1 + 0,014) \frac{\text{kg}\text{a.u.}}{\text{kg}\text{a.s}}} \cdot 0,014 \frac{\text{kg}\text{v.a.}}{\text{kg}\text{a.s}} = 0,5845 \frac{\text{kg}\text{água}}{\text{h}}$$

$$M_a \cdot X_s \cdot X_f = 0,1349 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} \cdot 0,2 \cdot 0,05 = 0,001349 \frac{\text{kg}\text{água}}{\text{h}}$$

$$G \cdot W_f = 41,7515 \frac{\text{kg}\text{a. sec o}}{\text{h}} \cdot W_f$$

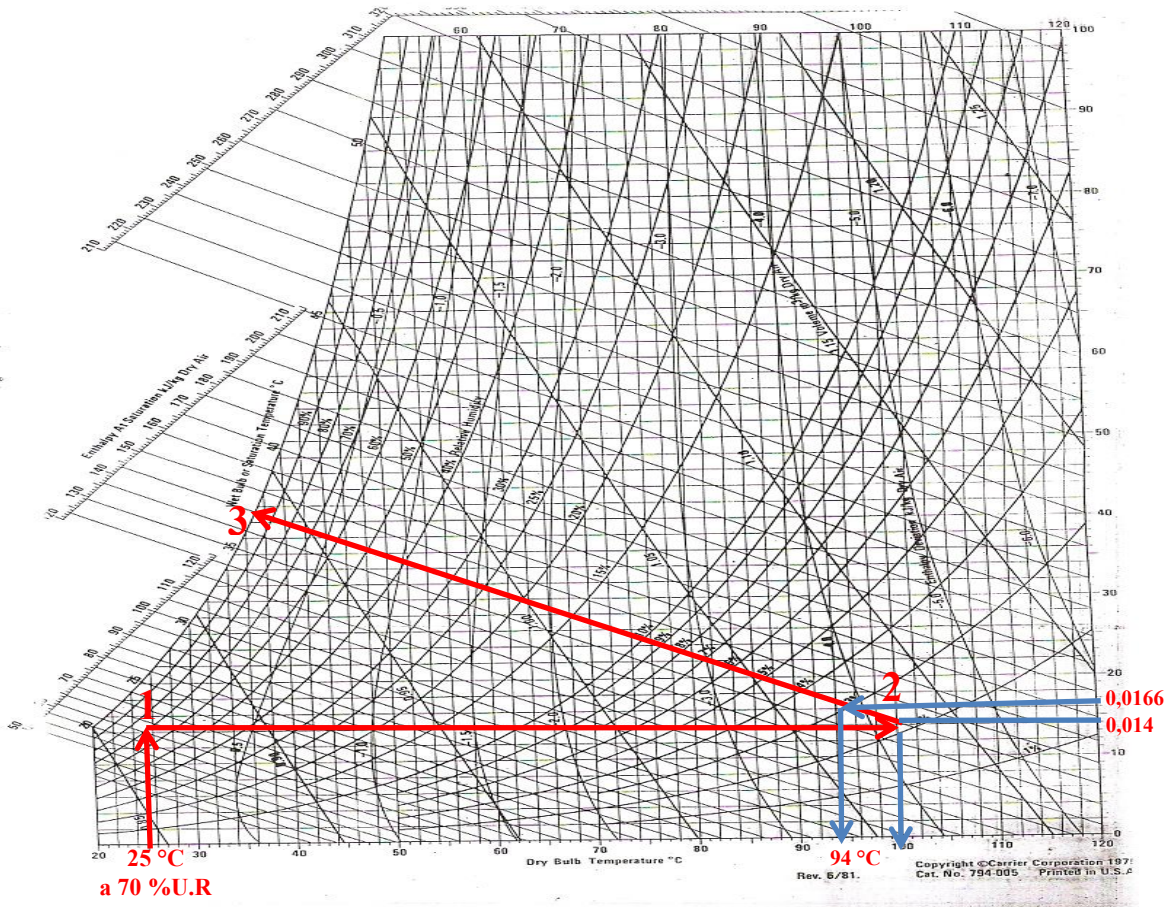
Finalmente:

$$0,10792 \frac{\text{kg}\text{água}}{\text{h}} + 0,5845 \frac{\text{kg}\text{água}}{\text{h}} = 0,001349 \frac{\text{kg}\text{água}}{\text{h}} + 41,7515 \frac{\text{kg}\text{a. sec o}}{\text{h}} \cdot W_f$$

$$W_f \approx 0,0166 \frac{\text{kg}\text{v. água}}{\text{kg}\text{ar. sec o}}$$

Com este valor W_f encontrado, determinou-se que a T.b.s do ar na saída, foi de 94°C , para isto usamos a carta psicrométrica. A Figura 26 mostra a carta psicrométrica com as linhas características de aquecimento do ar úmido do médio ambiente.

Figura 26- Carta psicrométrica com as linhas características de aquecimento do ar úmido, à vazão do ar de secagem usado no microencapsulamento da polpa de araçá-boi



1→2 (Aquecimento do ar); 2 → 3 (saturação adiabática)

Na Tabela 11 mostram-se os parâmetros iniciais e finais do ar, calculados para a vazão do ar de $0,63 \text{ m}^3/\text{min}$.

Finalmente, a melhor condição de trabalho de secagem por atomização para o microencapsulamento da polpa de araçá-boi por atomização foram:

- Vazão de alimentação = $0,10 \text{ L/h}$;
- Vazão de ar comprimido = $40,0 \text{ L/min}$;
- Vazão do ar de secagem = $0,63 \text{ m}^3/\text{min}$;
- T.b.s do ar de secagem = 100 °C e 120 °C ;
- Pressão do ar comprimido = 3 a 5 bar ;
- Diâmetro do bico atomizador = $1,0 \text{ mm}$

Tabela 9 – Parâmetros iniciais e finais do ar, calculados para a vazão do ar de 0,63 m³/min na secagem por atomização

Amostra	Densidade (kg/L)	T.b.s inicial do ar (°C)	Vazão do ar (m³/min)	W. inicial (kg v.ág./ kg ar sec.)	W. saída (kg v.ág./ kg ar sec.)	T.b.s do ar na saída (°C)
Polpa dil.-GA-20%	1,349	100	0,63	0,0140	0,0166	94,0
Polpa dil.-GA-20%	1,349	120	0,63	0,0140	0,0166	114,0
Polpa dil.-GA-10%	1,149	100	0,63	0,0140	0,0165	94,0
Polpa dil.-GA-10%	1,149	120	0,63	0,0140	0,0165	114,0
Polpa dil.-MD-20%	1,054	100	0,63	0,0140	0,0159	96,0
Polpa dil.-MD-20%	1,054	120	0,63	0,0140	0,0159	116,0
Polpa dil.-MD-10%	1,026	100	0,63	0,0140	0,0162	96,0
Polpa dil.-MD-10%	1,026	120	0,63	0,0140	0,0162	116,0

Polpa diluída-MD -10% = Polpa refinada e peneirada diluída misturada com 10 % de maltodextrina numa; Polpa diluída-MD -20% = Polpa refinada e peneirada diluída misturada com 20 % de maltodextrina; Polpa diluída-GA -10% = Polpa refinada e peneirada diluída misturada com 10 % de goma arábica; Polpa diluída-GA-20% = Polpa refinada e peneirada diluída misturada com 20 % de goma arábica; W. inicial = Umidade absoluta inicial do ar; W. saída = Umidade absoluta do ar na saída.

Para a goma arábica observou-se na Tabela 9 usando a vazão do ar de 0,63 m³/min (entram a 100 °C e saem a 94 °C; entram a 120 °C e saem a 114 °C) a T.b.s do ar na saída é 4,0 °C menor do que a vazão de 1,68 m³/min (entram a 100 °C e saem a 98 °C; entram a 120 °C e saem a 118 °C). Já para maltodextrina, com a vazão de 0,63 m³/min (entram a 100 °C e saem a 98 °C; entram a 120 °C e saem a 118 °C) a T.b.s do ar na saída é 2,0 °C menor que a vazão de 1,68 m³/min (entram a 100 °C e saem a 96 °C; entram a 120 °C e saem a 116 °C). Então a vazão do ar de secagem de 0,63 m³/min foi mais apropriada para usar nesta pesquisa, pois as T.b.s do ar na saída foram menores.

5.5 CARACTERIZAÇÃO DA BIOATIVIDADE DAS MICROPARTÍCULAS

Nesta etapa estudou-se a concentração de polifenóis totais e capacidade antioxidante das micropartículas obtidas do recipiente de produto e das micropartículas retidas na câmara de secagem do *mini* atomizador, mostrado na Figura 27. Além disso, para evitar a superestimação dos resultados quantificou-se a concentração de polifenóis totais e capacidade antioxidante do material de parede (maltodextrina e goma arábica). A Tabela 10 mostra a concentração de polifenóis totais e capacidade antioxidante da maltodextrina e goma arábica.

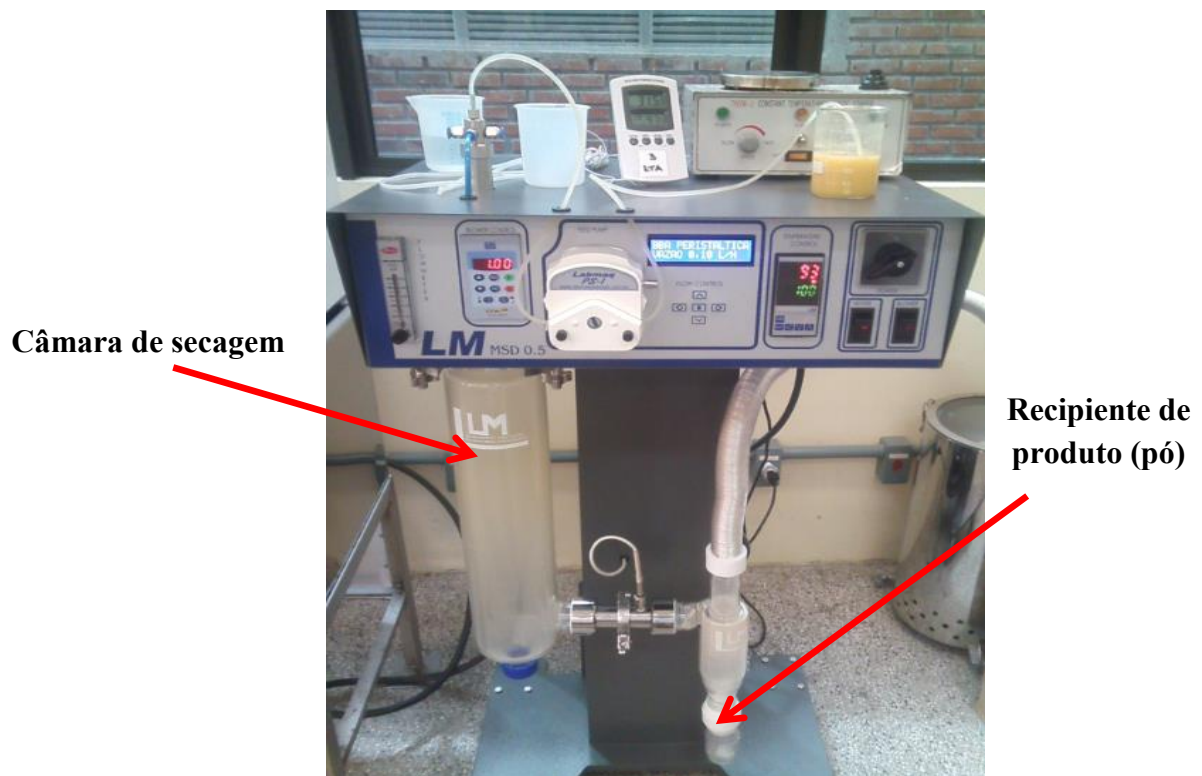
Tabela 10 – Concentração de polifenóis totais e capacidade antioxidante da maltodextrina (MA) e goma arábica (GA)

Antioxidante	Amostra	
	Goma arábica	Maltodextrina
Polifenóis totais (mg áci. gál./100 g)	96,82 ± 2,69	0,00 ± 0,00
FRAP (µmol FeSO ₄ /g)	9,43 ± 0,51	0,00 ± 0,00
ABTS (µmol Trolox/g)	1,01 ± 0,14	0,00 ± 0,00
DPPH (IC 50) (mg/ml)	752,38 ± 4,50	0,00 ± 0,00
DPPH (g amostra/g DPPH)	64173,91 ± 80,02	0,00 ± 0,00

FRAP = Capacidade antioxidante pela redução do ferro; ABTS = Capacidade antioxidante pela captura do radical livre ABTS^{•+}; DPPH = Capacidade antioxidante pela captura do radical livre DPPH.

Segundo dados da Tabela 10, foi comprovado que a maltodextrina é um material de parede que não tem compostos fenólicos e portanto não apresentou nenhuma atividade antioxidante, o que é afirmado por Fennema (2010) que diz que a maltodextrina consiste em um produto de pó branco obtido a partir da hidrólise ácida, enzimática, ou a junção de ambas, do amido. Isto pode explicar a ausência de compostos fenólicos e da capacidade antioxidante na maltodextrina, posto que o amido não é fonte de compostos fenólicos. Na mesma Tabela 10 pode ser observado que a goma arábica apresentou compostos fenólicos e capacidade antioxidante. A goma arábica, segundo Thevenet (1995) é o produto obtido a partir de troncos e galhos da árvore conhecida como acácia Senegal, proveniente de países da África sub-saariana, como a Nigéria, Senegal e Sudão. Segundo Hagerman, Zhao e Johnson (1997) mencionaram que os taninos são Polifenóis e representam aproximadamente a metade da matéria seca da casca de muitas árvores. Além disso, Pizzi (1983) mencionou que os taninos são encontrados em grandes quantidades nas diferentes partes das plantas, seja nas folhas, frutas e cascas. Diante disso pode-se confirmar a presença de compostos fenólicos e capacidade antioxidante apresentados na goma arábica.

Figura 27– Micropartículas avaliadas da polpa de araçá-boi, geradas no recipiente e na câmara de secagem do *mini* atomizador



Cabe destacar que nas pesquisas sobre microencapsulamento da polpa de frutas por atomização não são quantificados os polifenóis totais nem a capacidade antioxidante da goma arábica usada como material de parede. Nesse sentido, estas concentrações podem ser superestimadas no produto final. Em geral, não quantificar polifenóis totais ou capacidade antioxidante da goma arábica não é uma desvantagem, pois o produto final terá maior concentração de polifenóis e de atividade antioxidante. Mas se o objetivo for comparar a eficiência de microencapsulamento da goma arábica com outros materiais de parede, como foi nesta pesquisa, essa quantificação seria de muita importância.

Para corrigir a concentração de polifenóis totais e a capacidade antioxidante das micropartículas de araçá-boi obtidas no recipiente do produto e dos retidos na câmara de secagem foram usados os dados da Tabela 10.

A Tabela 11 mostra a quantidade de matéria seca da polpa de araçá-boi microencapsulada. A polpa a ser microencapsulada foi a polpa refinada, peneirada e diluída, que contem 3,28 % de matéria seca como se mostrou na Figura 11. Cabe ressaltar que 10 % m/m do material de parede equivale à proporção 1:3 (matéria seca: material de parede), e 20 % m/m do material de parede equivale à proporção 1:9.

Tabela 11 – Quantidade do material de parede misturado com a matéria seca da polpa de araçá-boi microencapsulada

Amostra	Matéria seca da polpa de araçá-boi microencapsulada (g)	Material de parede (g)
Polpa diluída- GA-20 % -100 °C	3,28	29,52
Polpa diluída- GA-20 % -120 °C	3,28	29,52
Polpa diluída- GA-10 % -120 °C	3,28	9,84
Polpa diluída- MD-10 % -120 °C	3,28	9,84
Polpa diluída- MD-20 % -120 °C	3,28	29,52
Polpa diluída- MD-20 % -100 °C	3,28	29,52

Polpa diluída-GA-20 %-100 °C= Polpa refinada e peneirada diluída misturada com goma arábica numa proporção (1:9) microencapsulada com T.b.s do ar de 100 °C; Polpa diluída-GA-20 %-120 °C= Polpa refinada e peneirada diluída misturada com goma arábica numa proporção (1:9) microencapsulada com T.b.s do ar de 120 °C; Polpa diluída-GA-10 %-100 °C= Polpa refinada e peneirada diluída misturada com goma arábica numa proporção (1:3) microencapsulada com T.b.s do ar de 120 °C; Polpa diluída-MD-10 %-120 °C= Polpa refinada e peneirada diluída misturada com maltodextrina numa proporção (1:3) microencapsulada com T.b.s do ar de 120 °C; Polpa diluída-MD-20 %-120 °C= Polpa refinada e peneirada diluída misturada com maltodextrina numa proporção (1:9) microencapsulada com T.b.s do ar de 120 °C; Polpa diluída-MD-20 %-100 °C= Polpa refinada e peneirada diluída misturada com maltodextrina numa proporção (1:9) microencapsulada com T.b.s do ar de 100 °C.

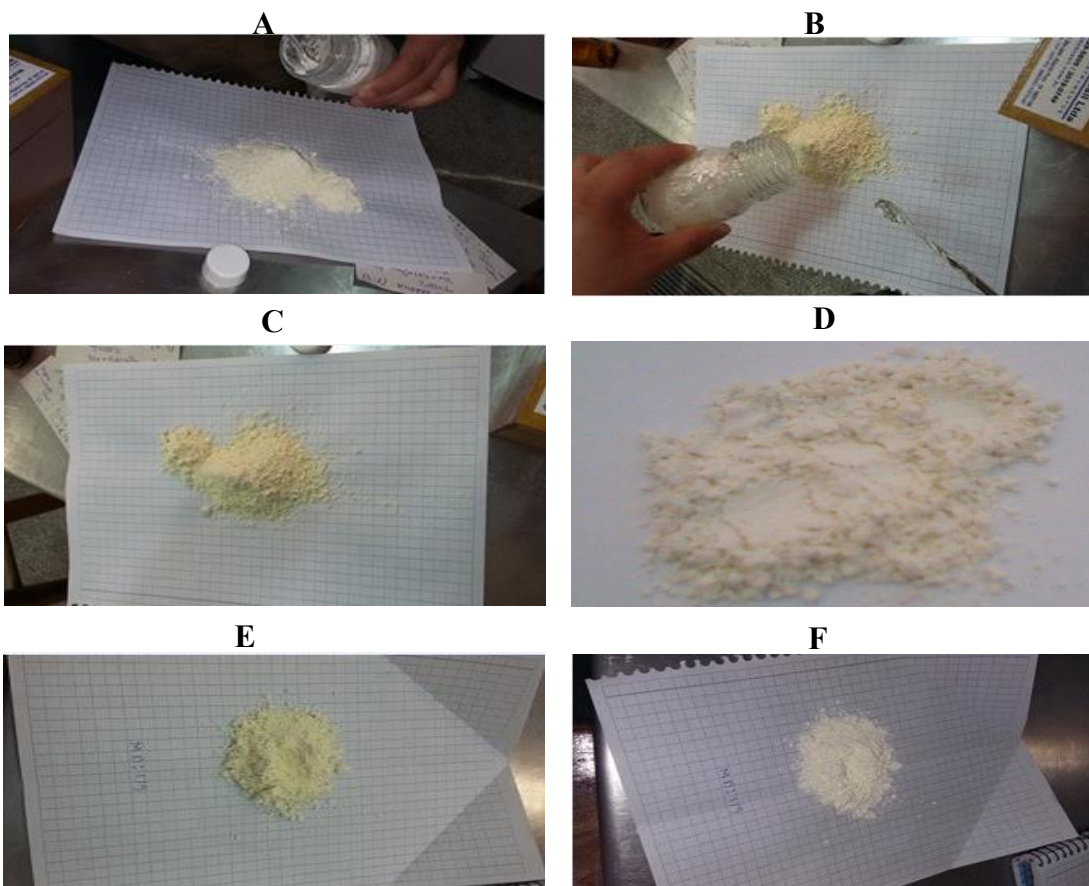
ZZ

Os dados da Tabela 11 foram usados para converter as unidades dos resultados de polifenóis totais e da capacidade antioxidante, expressos em matéria seca microencapsulada.

5.5.1 Concentração de polifenóis totais e capacidade antioxidante das micropartículas do recipiente de produto do *mini* atomizador

Na Tabela 12 mostra-se a concentração de polifenóis totais e a capacidade antioxidante das micropartículas da polpa de araçá-boi do recipiente de produto. Com o objetivo de comparar a concentração de Polifenóis Totais e a Capacidade antioxidante entre as diferentes amostras, os resultados foram expressos em função da massa de matéria seca da polpa de araçá-boi microencapsulada, além disso, conseguiu-se comparar a eficiência de microencapsulamento entre cada material de parede utilizado. Na Figura 28 observam-se as micropartículas da polpa de araçá-boi do recipiente de produto do *mini* atomizador.

Figura 28 – Micropartículas da polpa de araçá-boi do recipiente de produto



Onde: A= GA -10 %-120 °C; B = GA-20 %-120 °C; C= GA-20 %-100 °C, D= MD-10 %-120 °C, E =MD-20 %-120 °C, F = MD-20%-100 °C

Tabela 12 – Concentração de polifenóis totais e capacidade antioxidante das micropartículas da polpa de araçá-boi do recipiente do *mini* atomizador

Amostra	Polifenóis Totais (mg áci.gál./100g m.s.m)	ABTS (μmol Trolox/g m.s.m)	DPPH (IC 50) (mg m.s.m/mL)	DPPH (g m.s.m/g DPPH)	FRAP (μmol FeSO₄/g m.s.m)
GA-20 % -100 °C	1174,26 \pm 38,05 ^b	263,10 \pm 21,15 ^{a,c}	3,56 \pm 0,04 ^d	330,81 \pm 3,66 ^d	228,76 \pm 2,40 ^c
GA-20 % -120 °C	986,98 \pm 43,92 ^d	256,98 \pm 23,16 ^{a,b}	3,83 \pm 0,09 ^c	355,36 \pm 8,16 ^c	340,76 \pm 20,10 ^b
GA-10 % -120 °C	1373,56 \pm 26,16 ^c	300,91 \pm 6,86 ^a	5,09 \pm 0,18 ^a	472,48 \pm 16,59 ^a	402,69 \pm 24,59 ^a
MD-10 % -120 °C	1313,25 \pm 9,75 ^c	136,40 \pm 10,18 ^d	4,89 \pm 0,01 ^a	454,23 \pm 1,01 ^a	377,73 \pm 6,33 ^{a,b}
MD-20 % -120 °C	1184,39 \pm 30,24 ^b	256,72 \pm 15,58 ^{a,b}	4,29 \pm 0,06 ^b	398,44 \pm 5,31 ^b	408,96 \pm 7,80 ^a
MD-20 % -100 °C	2934,10 \pm 50,29 ^a	247,20 \pm 17,58 ^{b,c}	3,32 \pm 0,08 ^d	308,15 \pm 7,41 ^d	403,26 \pm 5,70 ^a

GA-20 %-100 °C= Micropartículas obtidas usando polpa refinada e peneirada diluída misturada com goma arábica numa proporção (1:9) com T.b.s do ar de 100 °C; GA-20 %-120 °C= Micropartículas obtidas usando polpa refinada e peneirada diluída misturada com goma arábica numa proporção (1:9) com T.b.s do ar de 120 °C; GA-10 %-120 °C= Micropartículas obtidas usando polpa refinada e peneirada diluída misturada com goma arábica numa proporção (1:3) com T.b.s do ar de 120 °C; MD-10 %-120 °C= Micropartículas obtidas usando polpa refinada e peneirada diluída misturada com maltodextrina numa proporção (1:3) com T.b.s do ar de 120 °C; MD-20 %-120 °C= Micropartículas obtidas usando polpa refinada e peneirada diluída misturada com maltodextrina numa proporção (1:9) com T.b.s do ar de 120 °C; MD-20 %-100 °C= Micropartículas obtidas usando polpa refinada e peneirada diluída misturada com maltodextrina numa proporção (1:9) com T.b.s do ar de 100 °C. FRAP = Capacidade antioxidante pela redução do ferro; ABTS = Capacidade antioxidante pela captura do radical livre ABTS⁺⁺; DPPH = Capacidade antioxidante pela captura do radical livre DPPH. m.s.m.: matéria seca da polpa de araçá-boi microencapsulada, letras diferentes na mesma coluna mostram diferenças estatisticamente significativas com 95 % de confiança de acordo com o teste Tukey (p<0,05).

Na Tabela 12 observa-se que a maior concentração de Polifenóis Totais ($2934,10 \pm 50,29$ mg ác.gál./100g m.s.m) foi obtida com 20 % de maltodextrina a 100 °C, sendo este valor estatisticamente diferente aos outros experimentos. Dentro dos experimentos com goma arábica, o de 10 % a 120 °C foi o que apresentou maior concentração de Polifenóis Totais ($1373,56 \pm 26,16$ mg ác.gál./100g m.s.m), este valor foi estatisticamente semelhante ao de 10 % de maltodextrina a 120 °C ($1313,25 \pm 9,75$ mg ác.gál./100g m.s.m). Observa-se também que a concentração de Polifenóis totais de 20 % de maltodextrina a 120 °C ($1184,39 \pm 30,24$ mg ác.gál./100g m.s.m) foi estatisticamente semelhante a de 20 % de goma arábica a 100 °C ($1174,26 \pm 38,05$ mg ác.gál./100g m.s.m). A menor concentração de Polifenóis Totais ($986,98 \pm 43,92$ mg ác.gál./100g m.s.m) obteve-se com 20 % de goma arábica a 120 °C.

A Tabela 12 mostra que a maior Capacidade antioxidante pelo método do radical livre ABTS foi usando 10 % de goma arábica a 120 °C ($300,91 \pm 6,86$ μ mol Trolox/g m.s.m). Este valor foi estatisticamente semelhante aos seguintes ensaios: de 20 % de goma arábica a 100 °C ($263,10 \pm 21,15$ μ mol Trolox/g m.s.m), de 20 % de goma arábica a 120 °C ($256,98 \pm 23,16$ μ mol Trolox/g m.s.m), e de 20 % de maltodextrina a 120 °C ($256,72 \pm 15,58$ μ mol Trolox/g m.s.m). Entre os experimentos com maltodextrina, o de 20 % a 120 °C foi o que apresentou maior capacidade antioxidante ($256,72 \pm 15,58$ μ mol Trolox/g m.s.m), este valor é estatisticamente semelhante ao de 20 % de maltodextrina a 100 °C ($247,20 \pm 17,58$ mg ác.gál./100g m.s.m). A menor Capacidade antioxidante ($136,40 \pm 10,18$ mg ác.gál./100g m.s.m) foi obtida com 10 % de maltodextrina a 120 °C.

Para a Capacidade antioxidante pelo método do radical livre DPPH reportado como IC-50, encontrou-se que dentro dos experimentos realizados a maior capacidade antioxidante ($3,32 \pm 0,08$ mg m.s.m/mL) foi com 20 % de maltodextrina a 100 °C, devido a que necessitou menos matéria seca para neutralizar o radical livre. Este valor foi estatisticamente semelhante ao de 20 % de goma arábica a 100 °C ($3,56 \pm 0,04$ mg m.s.m/mL). A menor capacidade antioxidante foi obtida com 10 % de goma arábica a 120 °C ($3,56 \pm 0,04$ mg m.s.m/mL), este valor foi estatisticamente semelhante ao de 10 % de maltodextrina a 120 °C ($4,89 \pm 0,01$ mg m.s.m/mL).

Referente à Capacidade antioxidante pelo método do radical livre DPPH expresso em massa de matéria seca necessária para neutralizar um grama do radical livre, observou-se que a maior capacidade antioxidante ($3,32 \pm 0,08$ mg m.s.m/mL) também foi com 20 % de maltodextrina a 100 °C, visto que necessitou menos matéria seca para neutralizar um grama de radical livre.

Na Tabela 12, a maior capacidade antioxidante pelo método FRAP foi encontrada em quatro ensaios, apresentando entre eles, valores estatisticamente semelhantes: com 20 % de maltodextrina a 100 °C ($403,26 \pm 5,70 \mu\text{mol FeSO}_4/\text{g m.s.m}$), com 20 % de maltodextrina a 120 °C ($408,96 \pm 7,80 \mu\text{mol FeSO}_4/\text{g m.s.m}$), com 10 % de goma arábica a 120 °C ($402,69 \pm 24,59 \mu\text{mol FeSO}_4/\text{g m.s.m}$), e com 10 % de maltodextrina a 120 °C ($377,73 \pm 6,33 \mu\text{mol FeSO}_4/\text{g m.s.m}$). A menor capacidade antioxidante por este método apresentou-se com 20 % de goma arábica a 100 °C ($228,76 \pm 2,40 \mu\text{mol FeSO}_4/\text{g m.s.m}$).

Na Tabela 13 observam-se os valores da eficiência do microencapsulamento da polpa de araçá-boi em função da conservação de polifenóis totais e da capacidade antioxidante das micropartículas do recipiente de produto. Esta Tabela foi elaborada usando a concentração de polifenóis totais e capacidade antioxidante da polpa seca de araçá-boi do extrato B da Tabela 6, e usando a concentração de polifenóis totais e a capacidade antioxidante das micropartículas da polpa de araçá-boi obtido no recipiente de produto da Tabela 12.

Tabela 13 – Eficiência do microencapsulamento da polpa de araçá-boi em função da conservação de Polifenóis Totais e da Capacidade antioxidante das micropartículas do recipiente de produto do *mini* atomizador

Amostra	Conservação de Polifenóis Totais (%)	Conservação da Cap. antiox. ABTS (%)	Diminuição da Cap. antiox. DPPH (IC-50) (%)	Diminuição da Cap. antiox. DPPH (%)	Conservação da Cap. antiox. FRAP (%)
GA-20 %-100 °C	53,99 ± 1,75 ^b	101,64 ± 8,17 ^{a,c}	21,13 ± 1,34 ^d	32,67 ± 1,47 ^d	54,50 ± 0,57 ^c
GA-20 %-120 °C	45,38 ± 2,02 ^f	99,27 ± 8,95 ^{a,b}	30,12 ± 2,99 ^c	42,52 ± 3,27 ^c	81,18 ± 4,79 ^b
GA-10 %-120 °C	63,15 ± 1,20 ^c	116,24 ± 2,65 ^a	73,01 ± 6,07 ^a	89,49 ± 6,65 ^a	95,93 ± 5,86 ^a
MD-10 %-120 °C	60,38 ± 0,45 ^c	52,69 ± 3,93 ^d	66,33 ± 0,37 ^a	82,17 ± 0,41 ^a	90,00 ± 1,51 ^{a,b}
MD-20 %-120 °C	54,46 ± 1,39 ^b	99,17 ± 6,02 ^{a,b}	45,90 ± 1,95 ^b	59,80 ± 2,13 ^b	97,43 ± 1,86 ^a
MD-20 %-100 °C	134,91 ± 2,31 ^a	95,00 ± 6,79 ^{b,c}	12,84 ± 2,72 ^e	25,06 ± 2,15 ^e	95,39 ± 0,96 ^a

GA-20 %-100 °C= Micropartículas obtidas usando polpa refinada e peneirada diluída misturada com goma arábica numa proporção (1:9) com T.b.s do ar de 100 °C; GA-20 %-120 °C= Micropartículas obtidas usando polpa refinada e peneirada diluída misturada com goma arábica numa proporção (1:9) com T.b.s do ar de 120 °C; GA-10 %-120 °C= Micropartículas obtidas usando polpa refinada e peneirada diluída misturada com goma arábica numa proporção (1:3) com T.b.s do ar de 120 °C; MD-10 %-120 °C= Micropartículas obtidas usando polpa refinada e peneirada diluída misturada com maltodextrina numa proporção (1:3) com T.b.s do ar de 120 °C; MD-20 %-120 °C= Micropartículas obtidas usando polpa refinada e peneirada diluída misturada com maltodextrina numa proporção (1:9) com T.b.s do ar de 120 °C; MD-20 %-100 °C= Micropartículas obtidas usando polpa refinada e peneirada diluída misturada com maltodextrina numa proporção (1:9) com T.b.s do ar de 100 °C. m.s.m.: matéria seca da polpa de araçá-boi microencapsulada, letras diferentes na mesma coluna mostram diferenças estatisticamente significativas com 95 % de confiança de acordo com o teste Tukey (p<0,05).

Na Tabela 14, o experimento que conseguiu maior eficiência de conservação de Polifenóis Totais ($134,91 \pm 2,31$ %) foi utilizando 20 % de Maltodextrina a 100 °C, esse valor foi calculado relacionando a concentração de Polifenóis Totais ($2934,10 \pm 50,29$ mg ác.gál./100 g m.s.m) mostrado na Tabela 14, com a concentração de Polifenóis Totais da polpa de araçá-boi ($2174,93 \pm 36,92$ mg ác.gál./100 g m.seca.), da Tabela 6.

A Capacidade antioxidante inicial da polpa de araçá-boi pelo método do radical livre ABTS foi de $258,86 \pm 19,35$ μ mol Trolox/g m.s, tendo como referência esse valor inicial, quase todos os ensaios apresentaram uma alta eficiência (95,00 a 116,24 %) de conservação, estando 20 % de maltodextrina a 100 °C dentro destes ensaios. O único experimento com baixa conservação da capacidade antioxidante ($52,69 \pm 3,93$ %) por este método foi com 10 % de maltodextrina a 120 °C, pois apresentou $136,40 \pm 10,18$ μ mol Trolox/g m.s.m. A capacidade antioxidante inicial da polpa de araçá-boi pelo método do radical livre DPPH expressado em IC-50 foi de $2,94 \pm 0,03$ mg m.s/mL. O experimento que conseguiu conservar melhor a capacidade antioxidante por este método foi com 20 % de maltodextrina a 100 °C, pois a eficiência de diminuição da capacidade antioxidante ($12,84 \pm 2,72$ %) foi menor e estatisticamente diferente aos outros ensaios, dado que a capacidade antioxidante foi de $3,32 \pm 0,08$ mg m.s/mL (Tabela 14). Sabe-se também que a capacidade antioxidante inicial da polpa de araçá-boi pelo método do radical livre DPPH expressado em g m.s/g DPPH foi de $249,34 \pm 2,63$ g m.s/g DPPH, com esse valor referencial, o experimento que conservou melhor a capacidade antioxidante foi também com 20 % de maltodextrina a 100 °C, pois a diminuição da capacidade antioxidante ($25,06 \pm 2,15$ %) foi menor e estatisticamente diferente aos outros ensaios, uma vez que apresentou $308,15 \pm 7,41$ g m.s.m/g DPPH.

Referente à capacidade antioxidante pelo método FRAP, sabe-se que inicialmente a polpa de araçá-boi apresentou $419,75 \pm 0,95$ μ mol FeSO₄/g m.s. Segundo os dados mostrado na Tabela 15, em quatro experimentos conseguiu-se conservar a capacidade antioxidante em mais de 90,00 %: com 10 % de goma arábica a 120 °C ($95,93 \pm 5,86$ %), com 10 % de maltodextrina a 120 °C ($90,00 \pm 1,51$ %), com 20 % de maltodextrina a 120 °C ($97,43 \pm 1,86$ %) e com 20 % de maltodextrina a 100 °C ($95,39 \pm 0,96$ %), estes valores são estatisticamente semelhantes. O experimento que conservou menos a capacidade antioxidante ($54,50 \pm 0,57$ %) por este método foi com 20 % de goma arábica a 100 °C, visto que apresentou $228,76 \pm 2,40$ μ mol FeSO₄/g m.s.m.

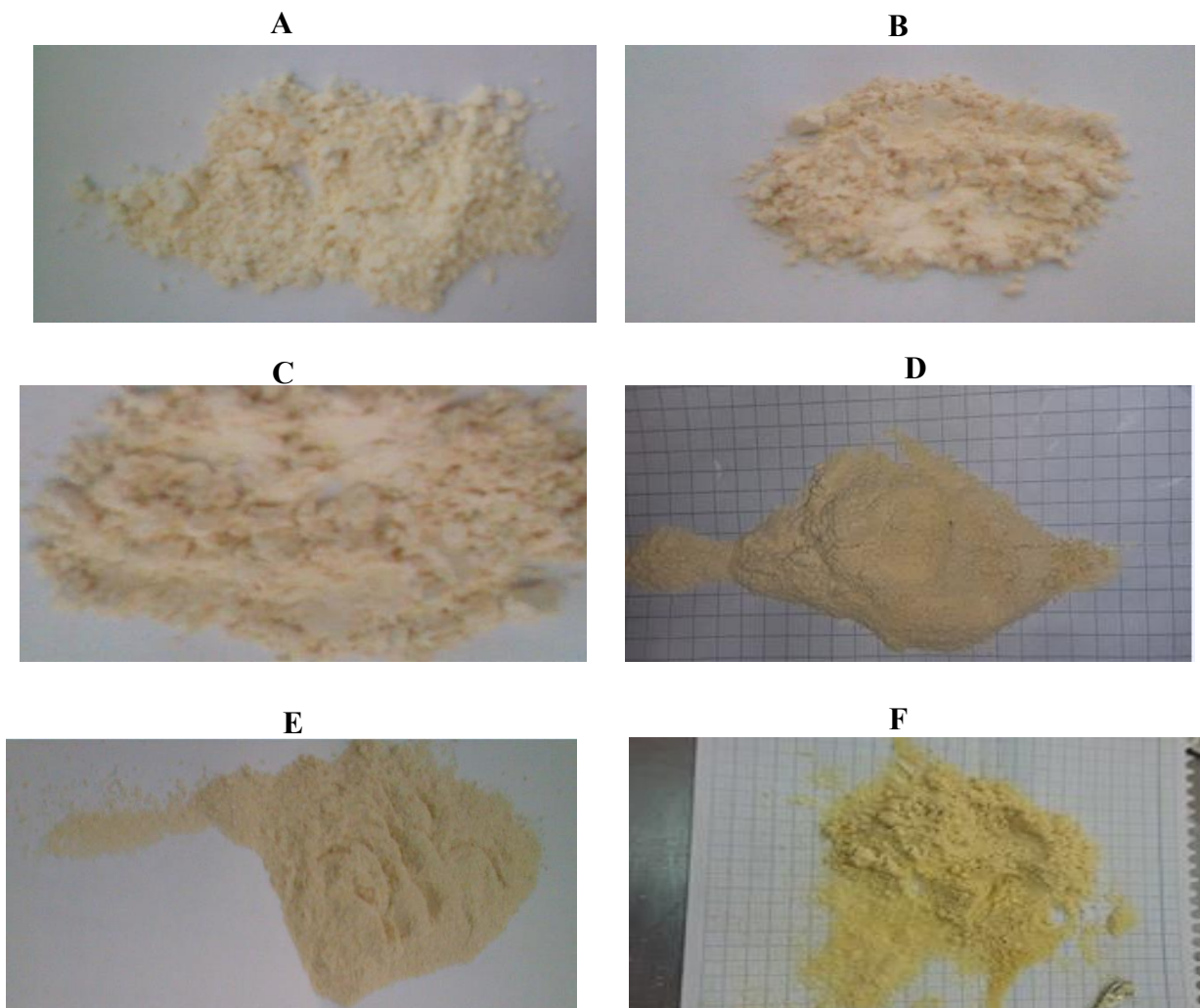
Finalmente após analisar a Tabela 12 e 13, pode-se afirmar que, utilizando 20 % de maltodextrina a 100 °C de temperatura de bulbo seco do ar de secagem, as micropartículas

do recipiente do *mini* atomizador conservaram melhor aos polifenóis totais e a capacidade antioxidante da polpa de araçá-boi.

5.5.2 Concentração de polifenóis totais e capacidade antioxidante das micropartículas retidas na câmara de secagem do *mini* atomizador

Na Figura 29 observam-se as micropartículas da polpa de araçá-boi retida na câmara de secagem.

Figura 29 - Micropartículas da polpa de araçá-boi retidas na câmara de secagem



Onde: A= GA -10 %-120 °C; B = GA-20 %-120 °C; C= GA-20 %-100 °C, D= MD-10 %-120 °C, E =MD-20 %-120 °C, F = MD-20%-100 °C

A Tabela 14 apresenta a concentração de polifenóis totais e a capacidade antioxidante das micropartículas da polpa de araçá-boi retidas na câmara de secagem. Cabe destacar que nas pesquisas sobre o microencapsulamento da polpa de frutas só são analisadas as micropartículas do recipiente de produto, já que nas pesquisas atuais o produto final é a mistura entre as micropartículas do recipiente com as micropartículas retidas na câmara de secagem, nesta pesquisa, as micropartículas retidas na câmara de secagem foram estudadas separadamente das micropartículas do recipiente.

Com os dados da Tabela 14 e 15 observa-se que os experimentos que tiveram maior concentração de Polifenóis Totais foram com 20 % de goma arábica a 100 °C ($1721,09 \pm 65,90$ mg áci.gál./100g m.s.m) e com 10 % de maltodextrina a 120 °C ($1669,36 \pm 19,50$ mg áci.gál./100g m.s.m), sendo estes valores estatisticamente semelhantes. A eficiência na conservação de Polifenóis foi calculada relacionando os dados da Tabela 16 com a concentração inicial de Polifenóis Totais da polpa de araçá-boi ($2174,93 \pm 36,92$ mg áci.gál./100 g m.s.m), e a maior eficiência foi com 20 % de goma arábica a 100 °C ($79,13 \pm 3,03$ %) e com 10 % de maltodextrina a 120 °C ($76,75 \pm 0,90$ %), sendo estes valores estatisticamente semelhantes.

Comparando os resultados da eficiência de conservação da capacidade antioxidante pelo método do radical livre ABTS e FRAP, pode-se observar que em todos os tratamentos existiu uma eficiência maior de 100 % comparado com a polpa de araçá-boi, sendo para ABTS até 238,50 % e para FRAP até 160,18 %. Este incremento acima dos 100 %, deve-se à presença de minerais da polpa nas micropartículas retidas na câmara de secagem, pois nesta área ficam as micropartículas mais pesadas, concentrando-se na parte inferior da câmara de secagem do *mini* atomizador. INIAP e SENACYT (2009) encontraram os seguintes minerais na polpa de araçá-boi expressos em base úmida: Ferro ($1,00 \pm 0,04$ µg/g) Cálcio ($100,00 \pm 2,25$ µg/g), Magnésio ($47,00 \pm 1,85$ µg/g), Potássio ($500,00 \pm 25$ µg/g), Fósforo ($100,00 \pm 3,5$ µg/g), Sódio ($9,00 \pm 1,27$ µg/g), Zinco ($2,00 \pm 0,15$ µg/kg), Selênio ($0,02$ µg/kg). A Tabela 15 apresenta a eficiência do microencapsulamento da polpa de araçá-boi em função da conservação de polifenóis totais e da capacidade antioxidante das micropartículas retidas na câmara de secagem do *mini* atomizador.

Tabela 14 - Concentração de polifenóis totais e capacidade antioxidante das micropartículas da polpa de araçá-boi retido na câmara de secagem

Amostra	Polifenóis Totais	ABTS	DPPH (IC 50)	DPPH	FRAP
	(mg áci.gál./100g m.s.m)	(μ mol Trolox/g m.s.m)	(mg m.s.m/mL)	(g m.s.m/g DPPH)	(μ mol FeSO ₄ /g m.s.m)
GA-20 % -100 °C	1721,09 \pm 65,90 ^a	457,42 \pm 23,18 ^{b,c}	3,76 \pm 0,02 ^c	541,32 \pm 2,77 ^c	385,06 \pm 10,50 ^f
GA-20 % -120 °C	1412,42 \pm 17,34 ^c	294,90 \pm 17,25 ^e	3,56 \pm 0,03 ^d	512,53 \pm 4,96 ^d	556,36 \pm 17,40 ^c
GA-10 % -120 °C	1102,84 \pm 11,26 ^d	617,39 \pm 15,22 ^a	3,79 \pm 0,07 ^c	544,59 \pm 9,75 ^c	449,49 \pm 9,25 ^e
MD-10 % -120 °C	1669,36 \pm 19,50 ^{a,b}	499,90 \pm 8,72 ^b	4,46 \pm 0,07 ^a	641,74 \pm 10,58 ^a	608,86 \pm 12,18 ^b
MD-20 % -120 °C	1616,76 \pm 45,26 ^b	350,37 \pm 7,05 ^d	4,01 \pm 0,02 ^b	576,69 \pm 3,14 ^b	672,36 \pm 6,09 ^a
MD-20 % -100 °C	1162,43 \pm 19,72 ^d	409,35 \pm 29,82 ^c	4,45 \pm 0,03 ^a	639,36 \pm 3,86 ^a	499,56 \pm 1,20 ^d

GA-20 %-100 °C= Micropartículas obtidas usando polpa refinada e peneirada diluída misturada com goma arábica numa proporção (1:9) com T.b.s do ar de 100 °C; GA-20 %-120 °C= Micropartículas obtidas usando polpa refinada e peneirada diluída misturada com goma arábica numa proporção (1:9) com T.b.s do ar de 120 °C; GA-10 %-120 °C= Micropartículas obtidas usando polpa refinada e peneirada diluída misturada com goma arábica numa proporção (1:3) com T.b.s do ar de 120 °C; MD-10 %-120 °C= Micropartículas obtidas usando polpa refinada e peneirada diluída misturada com maltodextrina numa proporção (1:3) com T.b.s do ar de 120 °C; MD-20 %-120 °C= Micropartículas obtidas usando polpa refinada e peneirada diluída misturada com maltodextrina numa proporção (1:9) com T.b.s do ar de 120 °C; MD-20 %-100 °C= Micropartículas obtidas usando polpa refinada e peneirada diluída misturada com maltodextrina numa proporção (1:9) com T.b.s do ar de 100 °C. FRAP = Capacidade antioxidante pela redução do ferro; ABTS = Capacidade antioxidante pela captura do radical livre ABTS⁺; DPPH = Capacidade antioxidante pela captura do radical livre DPPH. m.s.m.: matéria seca da polpa de araçá-boi microencapsulada, letras diferentes na mesma coluna mostram diferenças estatisticamente significativas com 95 % de confiança de acordo com o teste Tukey (p<0,05).

Tabela 15 - Eficiência do microencapsulamento da polpa de araçá-boi em função da conservação de polifenóis totais e da capacidade antioxidante das micropartículas retidas na câmara de secagem

Amostra	Conservação de Polifenóis Totais (%)	Conservação da Cap. antiox. ABTS (%)	Diminuição da Cap. antiox. DPPH (IC-50) (%)	Diminuição da Cap. antiox. DPPH (%)	Conservação da Cap. antiox. FRAP (%)
GA-20 %-100 °C	79,13 ± 3,03 ^a	176,71 ± 8,95 ^{b,c}	28,06 ± 0,65 ^c	117,10 ± 1,11 ^c	91,74 ± 2,50 ^f
GA-20 %-120 °C	64,94 ± 0,80 ^c	113,92 ± 6,67 ^e	21,25 ± 1,17 ^d	105,56 ± 1,99 ^d	132,55 ± 4,15 ^c
GA-10 %-120 °C	50,71 ± 0,52 ^d	238,50 ± 5,88 ^a	28,83 ± 2,31 ^c	118,41 ± 3,91 ^c	107,08 ± 2,20 ^e
MD-10 %-120 °C	76,75 ± 0,90 ^{a,b}	193,11 ± 3,37 ^b	51,82 ± 2,50 ^a	157,38 ± 4,24 ^a	145,05 ± 2,90 ^b
MD-20 %-120 °C	74,34 ± 2,08 ^b	135,35 ± 2,72 ^d	36,43 ± 0,74 ^b	131,29 ± 1,26 ^b	160,18 ± 1,45 ^a
MD-20 %-100 °C	53,45 ± 0,91 ^d	158,14 ± 11,52 ^c	51,25 ± 0,91 ^a	156,42 ± 1,55 ^a	119,01 ± 0,29 ^d

GA-20 %-100 °C= Micropartículas obtidas usando polpa refinada e peneirada diluída misturada com goma arábica numa proporção (1:9) com T.b.s do ar de 100 °C; GA-20 %-120 °C= Micropartículas obtidas usando polpa refinada e peneirada diluída misturada com goma arábica numa proporção (1:9) com T.b.s do ar de 120 °C; GA-10 %-120 °C= Micropartículas obtidas usando polpa refinada e peneirada diluída misturada com goma arábica numa proporção (1:3) com T.b.s do ar de 120 °C; MD-10 %-120 °C= Micropartículas obtidas usando polpa refinada e peneirada diluída misturada com maltodextrina numa proporção (1:3) com T.b.s do ar de 120 °C; MD-20 %-120 °C= Micropartículas obtidas usando polpa refinada e peneirada diluída misturada com maltodextrina numa proporção (1:9) com T.b.s do ar de 120 °C; MD-20 %-100 °C= Micropartículas obtidas usando polpa refinada e peneirada diluída misturada com maltodextrina numa proporção (1:9) com T.b.s do ar de 100 °C. m.s.m.: matéria seca da polpa de araçá-boi microencapsulada, letras diferentes na mesma coluna mostram diferenças estatisticamente significativas com 95 % de confiança de acordo com o teste Tukey (p<0,05).

Então, na quantificação da capacidade antioxidante por estes métodos, além dos compostos bioativos, também os minerais atuaram como doadores de elétrons e consequentemente os valores foram superestimados. Embora os valores estejam superestimados pode-se afirmar que a maior eficiência de conservação da capacidade antioxidante pelo método de ABTS foi com 10 % de goma arábica a 120 °C ($238,50 \pm 5,88$ %), e a maior eficiência de conservação da capacidade antioxidante pelo método FRAP foi com 20 % de maltodextrina a 120 °C ($160,18 \pm 1,45$ %).

Para a Capacidade antioxidante pelo método do radical livre DPPH expresso como g m.s.m/g DPPH, observou-se que todos os experimentos tiveram uma diminuição maior de 100 %. Todos os experimentos, quando comparados com a polpa inicial de araçá-boi, precisaram de mais do que o dobro de matéria seca para neutralizar um grama de radical livre. Mesmo assim afirma-se que de todos os experimentos, o com 20 % de goma arábica a 120 °C foi o que teve menor diminuição da capacidade antioxidante ($105,56 \pm 1,99$ %).

Finalmente após a caracterização da bioatividade das micropartículas em função da conservação dos polifenóis totais e da capacidade antioxidante, determinou-se que dentro das micropartículas do recipiente de produto, as obtidas com 20 % de maltodextrina a 100 °C apresentaram maior conservação dos polifenóis totais e da capacidade antioxidante. Já referente às micropartículas retidas na câmara de secagem, as obtidas com 10 % de maltodextrina a 120 °C e com 20 % de goma arábica a 100 °C apresentaram maior conservação dos Polifenóis Totais, de $79,13 \pm 3,03$ % e $76,75 \pm 0,90$ %, respectivamente, não sendo possível determinar um único experimento para a conservação da capacidade antioxidante pois os resultados para cada análise foram diferentes. Embora conseguiu-se conservar os polifenóis totais e a capacidade antioxidante da polpa de araçá-boi com os experimentos relatados, ainda não podem ser denominados como os melhores experimentos, a análises térmica e de microestrutura, assim como também a simulação gastrointestinal *in vitro* destas micropartículas serve para determinar os melhores experimentos .

5.6 ANÁLISE TÉRMICA E DETERMINAÇÃO DA ESTRUTURA DAS MICROPARTÍCULAS

Com a finalidade de caracterizar as micropartículas da polpa de araçá-boi obtidas por atomização realizaram-se a análise térmica e a determinação da microestrutura. A análise térmica foi utilizada para determinar a Tg (Temperatura de transição vítrea) de cada

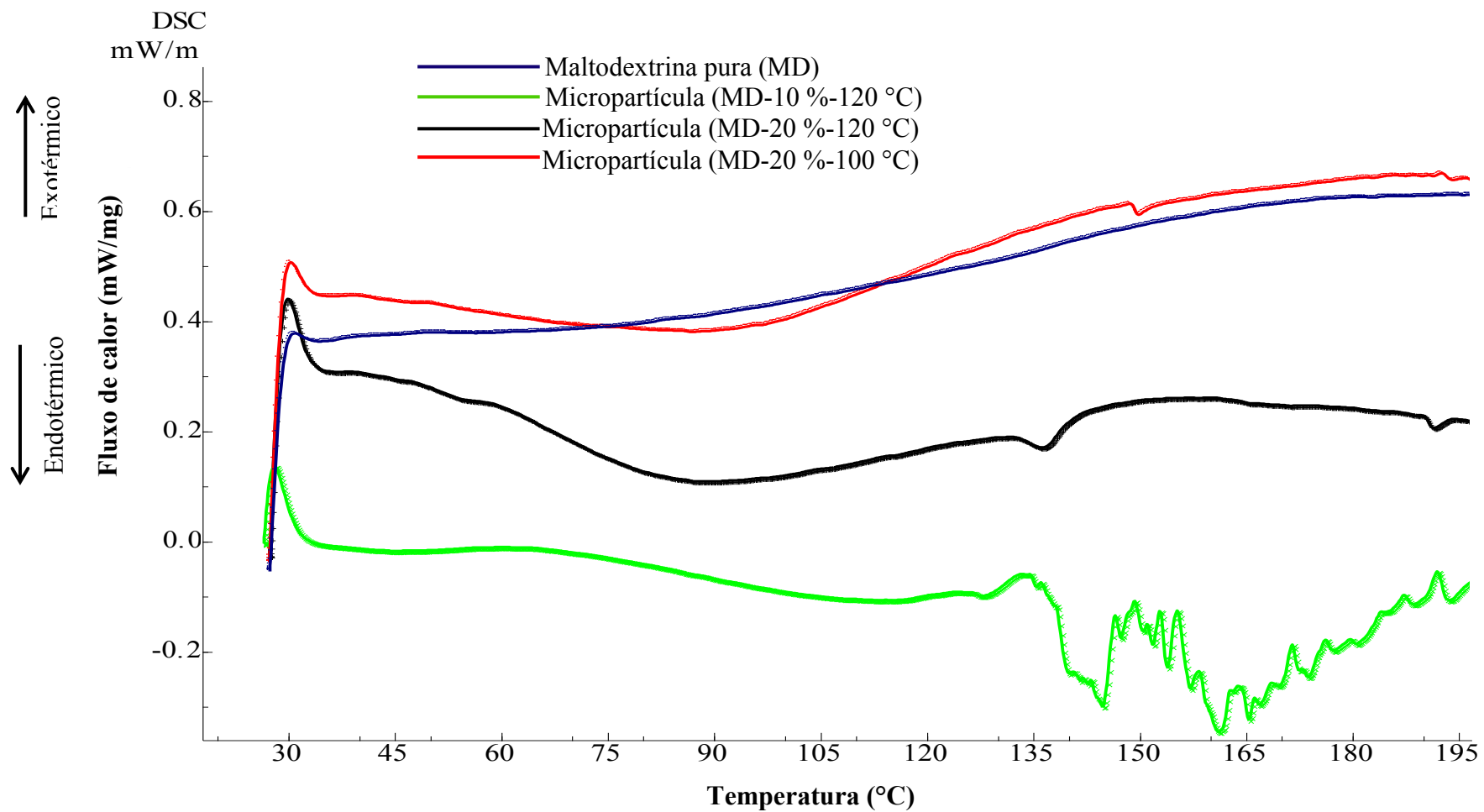
micropartícula, e a análise da microestrutura foi para determinar a morfologia e o tamanho característico de cada partícula.

5.6.1 Análise Térmica das micropartículas

Nesta pesquisa foi determinada a Tg das micropartículas, já que estudos sobre alimentos desidratados como os de Mestry, Mujumdar e Thorat, (2011) e de Yousefi, Emam-Djomech e Mousave, (2010) mostram a importância de determinar a Tg dos mesmos, uma vez que o conhecimento deste parâmetro serve como indicativo de estabilidade e qualidade dos produtos finais. Da mesma maneira, para as indústrias de alimentos que utilizam processos de conservação por desidratação, o conhecimento da Tg é um fator de grande interesse. Os produtos alimentícios em pó (micropartículas) que contém carboidratos amorfos podem passar por mudanças físicas, tais como: cristalização, pegajosidade e compactação durante o processamento, manipulação e armazenamento, e estas mudanças estão relacionadas com a Tg (ROOS, 2010). A determinação da Tg das micropartículas de araçá-boi serviu para definir a temperatura de armazenamento delas, pois segundo Juliano e Barbosa-Cánovas (2010), a Tg é considerada como uma temperatura de referência: abaixo da Tg, espera-se que o alimento seja estável; já acima desta temperatura o alimento é instável, visto que a diferença (T-Tg) dado pela temperatura de armazenamento (T) e a Tg é responsável por controlar a taxa das mudanças físicas, químicas e biológicas. A máxima temperatura de armazenamento pode-se considerar à temperatura de 10 °C acima da Tg, visto que segundo Fitzpatrick et al. (2010) a temperatura do ponto de pegajosidade é cerca de 10 °C acima da Tg.

Para determinar a Tg utilizou-se a Calorimetria exploratória diferencial DSC, considerando a Tg como o ponto médio de inflexão, que é causada pela descontinuidade do calor específico da amostra. A Figura 30 mostra a curva de análise térmica obtida por DSC da maltodextrina pura e das micropartículas com 10 e 20 % de maltodextrina a 120 °C e com 20 % de maltodextrina a 100 °C do recipiente do *mini* atomizador.

Figura 30 - Curva de análise térmica da maltodextrina (MD) e das micropartículas encapsuladas com MD do recipiente do *mini* atomizador



Na Figura 30 observou-se que a maltodextrina (MD) usada como material de parede foi estável termicamente na faixa entre 30 e 195 °C, visto que não apresentou nenhum pico endotérmico nem exotérmico nesta faixa de temperatura. Para as micropartículas obtidas com 10 % de maltodextrina a 120 °C observou-se que o ponto de inflexão começou aproximadamente a 33,44 °C e terminou a 66,56 °C; considerando a Tg como a média desta faixa de temperatura, a Tg destas micropartículas foi 50,0 °C. Para estas micropartículas observou-se que sua integridade foi até 135,50 °C, após dessa temperatura a estrutura ficou desintegrada.

Para as micropartículas obtidas com 20 % de maltodextrina a 120 °C, a Figura 30 mostrou que o ponto de inflexão começou aproximadamente a 41,20 °C e finalizou a 86,06 °C, apresentando então como Tg 63,63 °C; estas micropartículas apresentaram um pico endotérmico que começou a 133,57 °C, e terminou a 139,77 °C, a temperatura de pico foi 136,45 °C com 0,65 kJ/kg de entalpia. Após esse pico endotérmico as micropartículas ainda mantiveram-se compactas.

Segundo a Figura 30, nas micropartículas obtidas com 20 % de maltodextrina a 100 °C o ponto de inflexão começou aproximadamente a 40,64 °C e finalizou a 86,75 °C, sendo sua Tg de 63,69 °C e apresentaram um pico endotérmico que começou a 141,94 °C, e terminou a 150,41 °C, sua temperatura de pico foi 150,09 °C com 0,16 kJ/kg de entalpia. Após esse pico endotérmico as micropartículas também se mantiveram compactas. Estas micropartículas foram as que mostraram mais semelhança ao comportamento térmico de seu material de parede (maltodextrina). Isso mostrou que as micropartículas obtidas com 20 % de maltodextrina a 100 °C foram mais compactas e melhor protegidas pelo material de parede do que as outras amostras. Isto explica porque estas micropartículas foram as que conservaram melhor aos polifenóis totais e a capacidade antioxidante da polpa de araçá-boi mostrado anteriormente neste trabalho. Como estas micropartículas foram mais compactas que as outras, espera-se ter uma maior conservação de polifenóis totais e da capacidade antioxidante na simulação gastrointestinal *in vitro*.

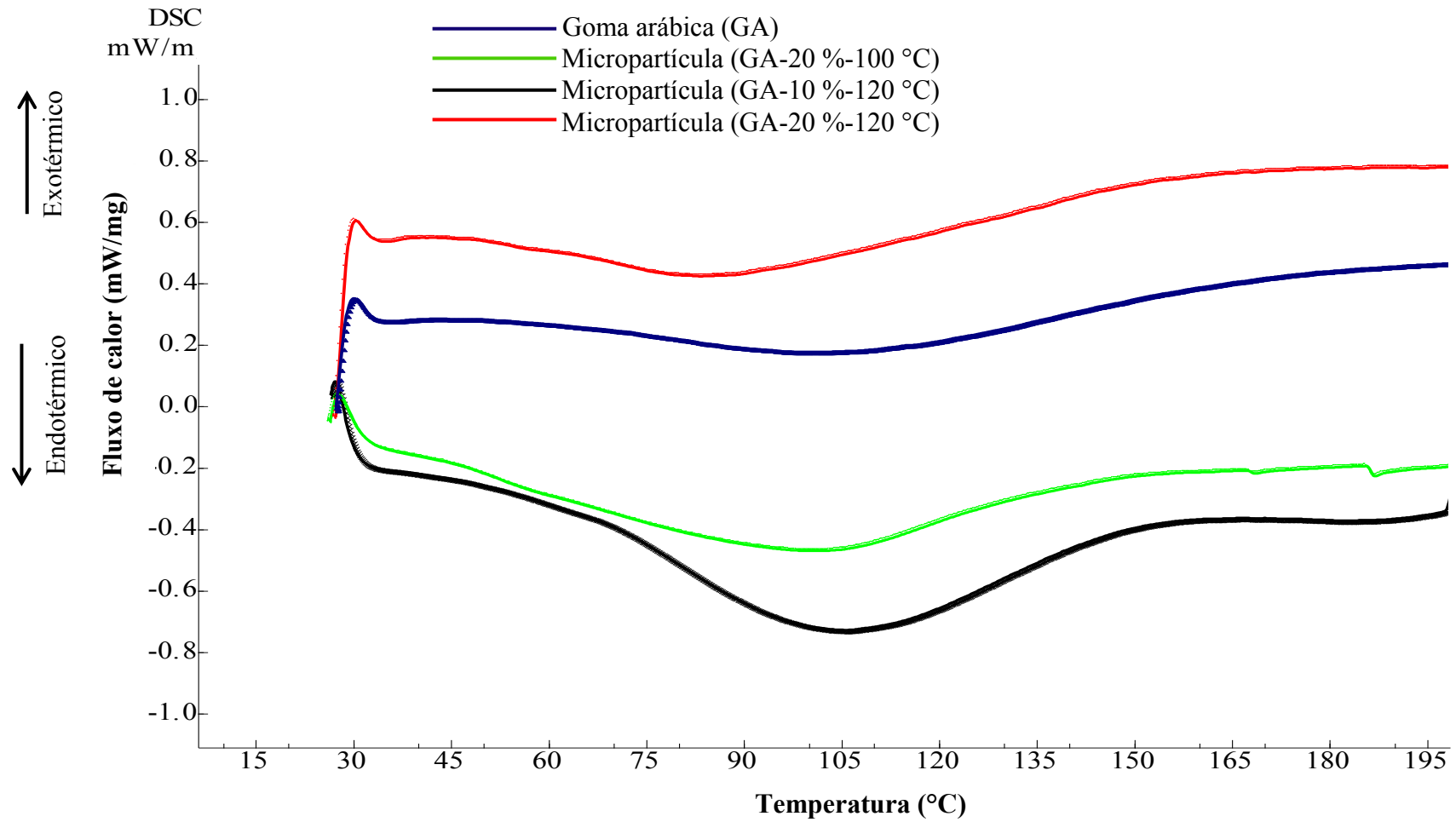
Observou-se também que as micropartículas obtidas com 10 % de maltodextrina a 120 °C mostraram menor Tg (50,0 °C) do que as micropartículas obtidas com 20 % de maltodextrina a 120 °C (Tg = 63,66 °C °C), e do que as obtidas com 20 % de maltodextrina a 100 °C (Tg = 63,69 °C °C). O aumento da Tg das micropartículas com o incremento da porcentagem de material de parede (maltodextrina) pode ser explicado porque o material de parede, além de proteger componentes sensíveis dos alimentos durante a secagem, pode

promover um aumento na Tg e reduzir a higroscopicidade dos pós (micropartículas) (PEIGHAMBARDOUST; GOLSHAN TAFTI; HESARI, 2011).

Embora as micropartículas com maior porcentagem de maltodextrina tenham maior Tg, os três tipos de micropartículas obtidas (com 10 % de maltodextrina a 120 °C, com 20 % de maltodextrina a 120 °C e com 20 % de maltodextrina a 100 °C) poderiam ser armazenadas à temperatura ambiente entre 20 e 35 °C sem ter problemas de pegajosidade, pois a temperatura onde ocorre a pegajosidade é 10 °C acima da Tg. Então para micropartículas com 10 % de maltodextrina a 120 °C a pegajosidade acontecerá aproximadamente a 60 °C (10 °C acima de 50 °C), nas micropartículas com 20 % de maltodextrina a 120 °C acontecerá aproximadamente a 73,66 °C (10 °C acima de 63,66 °C) e nas obtidas com 20 % de maltodextrina a 100 °C ocorrerão a 73,69 °C (10 °C acima de 63,69 °C).

Na Figura 31 mostra-se as curvas de análise térmica da goma arábica (GA) e das micropartículas com 10 e 20 % de goma arábica a 120 °C e com 20 % de goma arábica a 100 °C do recipiente do *mini* atomizador. Na Figura 31 observou-se que a goma arábica usada como material de parede foi estável termicamente na faixa entre 30 a 195 °C, dado que não apresentou nenhum pico endotérmico nem exotérmico nesta faixa de temperatura. Nas micropartículas obtidas com 10 % de goma arábica a 120 °C o ponto de inflexão começou aproximadamente a 34,60 °C e terminou a 70,88 °C; tendo uma Tg de 52,74 °C. Para as micropartículas obtidas com 20 % de goma arábica a 100 °C o ponto de inflexão começou aproximadamente a 34,43 °C e finalizou a 90,35 °C, sendo sua Tg de 62,39 °C.

Nas micropartículas obtidas com 20 % goma arábica a 120 °C o ponto de inflexão começou aproximadamente a 37,26 °C e finalizou a 81,78 °C, tendo como Tg 59,52 °C; estas micropartículas foram as que mostraram mais semelhança ao comportamento térmico de seu material de parede (goma arábica), mostrando que foram mais compactas do que as outras amostras, mas estas micropartículas não foram as que melhor protegeram aos polifenóis totais e a capacidade antioxidante da polpa de araçá-boi após a secagem por atomização comprovado na etapa anterior deste trabalho (o melhor foi com 10 % de goma arábica a 120 °C). A menor concentração de Polifenóis Totais destas micropartículas pode-se dever à influencia da temperatura alta (120 °C) usada.

Figura 31 - Curva de análise térmica da goma arábica (GA) e das micropartículas encapsuladas com GA do recipiente do *mini* atomizador

Da mesma maneira que as micropartículas obtidas com maltodextrina, as micropartículas do recipiente do *mini* atomizador obtidas usando goma arábica: com 10 % de goma arábica a 120 °C, com 20 % de goma arábica a 120 °C e com 20 % de goma arábica a 100 °C poderiam ser armazenadas a temperatura ambiente entre 20 e 35 °C sem ter problemas de pegajosidade, pois os três apresentaram uma temperatura de pegajosidade acima de 35 °C.

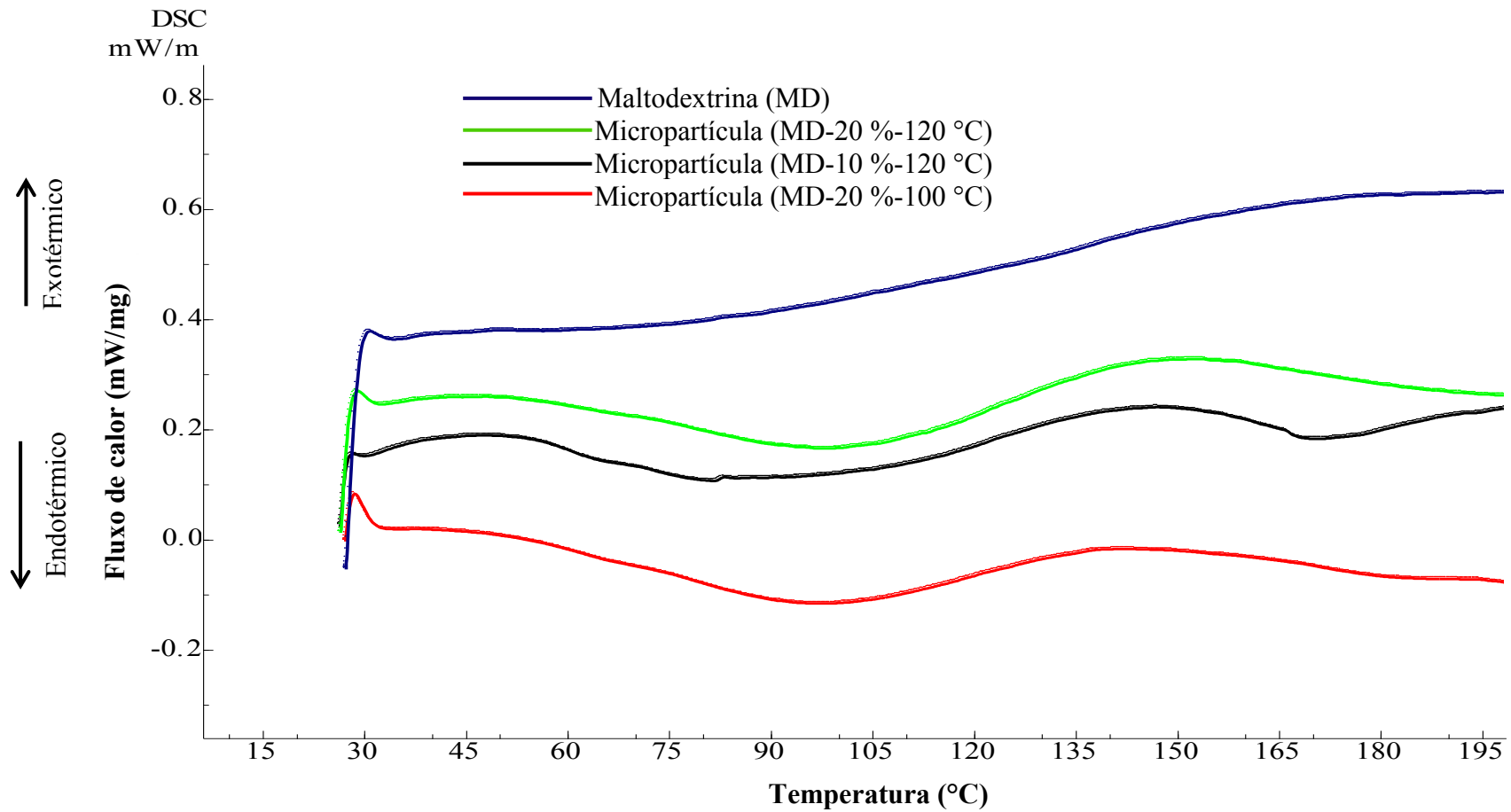
Na Figura 32 mostra-se a curva de análise térmica por DSC da maltodextrina (MD) e das micropartículas obtidas com 10 e 20 % de maltodextrina a 120 °C, e com 20 % de maltodextrina a 100 °C retidas na câmara de secagem do *mini* atomizador.

A Figura 32 mostrou que das micropartículas retidas na câmara de secagem, as com 10 % de maltodextrina a 120 °C apresentaram seu ponto de inflexão de 31,16 a 55,36 °C; tendo uma Tg de 43,26 °C. Para as micropartículas obtidas com 20 % de maltodextrina a 100 °C o ponto de inflexão começou aproximadamente a 33,57 e finalizou a 90,87 °C, sendo sua Tg de 62,22 °C. Nas micropartículas obtidas com 20 % de maltodextrina a 120 °C o ponto de inflexão começou aproximadamente a 45,71 e finalizou a 91,95 °C, tendo como Tg de 68,83 °C.

Também na Figura 32 pode-se observar que as micropartículas retidas na câmara de secagem, obtidas utilizando 10 % de maltodextrina a 120 °C foram mais estáveis termicamente do que as partículas obtidas com 20 % de maltodextrina a 100 °C; esta estabilidade fez com que as micropartículas com 10 % de maltodextrina a 120 °C conservassem mais polifenóis totais ($76,75 \pm 0,90$ %) do que com 20 % de maltodextrina a 100 °C, que conservaram $53,45 \pm 0,91$ % de polifenóis totais da polpa de araçá-boi.

Na Figura 32 também observou-se que as micropartículas retidas na câmara de secagem, obtidas com 20 % de maltodextrina a 100 °C não apresentaram semelhança ao comportamento térmico de seu material de parede (maltodextrina) e tiveram uma concentração de polifenóis totais de $1162,43 \pm 19,72$ mg ác.gál./100g m.s.m. Essa concentração de polifenóis totais foi menor comparando-se com as micropartículas do recipiente do *mini* atomizador também obtidas com 20 % de maltodextrina a 100 °C, já que essas obtiveram uma concentração de polifenóis totais de $2934,10 \pm 50,29$ mg ác.gál./100g m.s.m e apresentaram semelhança ao comportamento térmico de seu material de parede (maltodextrina) (Figura 30). Sendo assim, de acordo com os resultados desta pesquisa pode-se afirmar que quando as micropartículas tem semelhança com o comportamento térmico de seu material de parede, conseguem conservar mais compostos bioativos do material atomizado.

Figura 32- Curva de análise térmica da maltodextrina (MD) e das micropartículas encapsuladas com MD retidas na câmara de secagem do *mini* atomizador



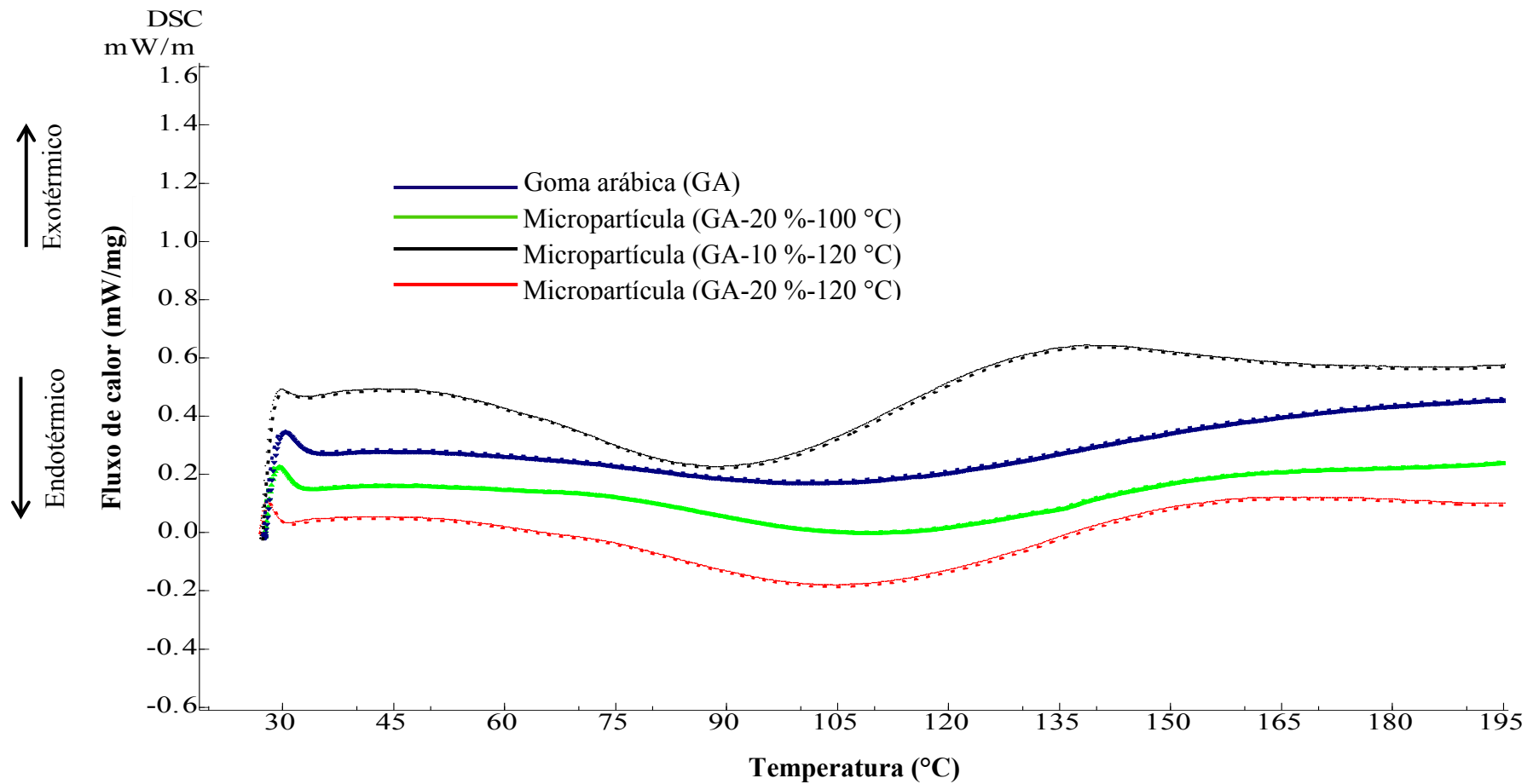
Mesmo que as micropartículas retidas na câmara de secagem obtidas com maltodextrina (MD) não sejam semelhantes termicamente ao seu material de parede, elas podem ser armazenadas à temperatura ambiente entre 20 e 35 °C sem indicar problemas de pegajosidade, visto que apresentaram uma temperatura de pegajosidade maior que a temperatura ambiente, para seu armazenamento.

Na Figura 33 observa-se a curva de análise térmica por DSC da goma arábica (GA) e das micropartículas retidas na câmara de secagem do *mini* atomizador, obtidas com 10 e 20 % de goma arábica a 120 °C, e com 20 % de goma arábica a 100 °C. A Figura 33 mostrou que, das micropartículas retidas na câmara de secagem obtidas com goma arábica, as com 10 % de goma arábica a 120 °C apresentaram seu ponto de inflexão de 35,88 a 80,58 °C; tendo uma Tg de 58,23 °C. Para as micropartículas obtidas com 20 % de goma arábica a 120 °C o ponto de inflexão começou em 54,79 e finalizou em 100,56 °C, sendo sua Tg de 77,68 °C. Nas micropartículas obtidas com 20 % de goma arábica a 120 °C o ponto de inflexão começou a 72,62 e finalizou a 104,92 °C, tendo como Tg de 91,30 °C.

Na Figura 33 pode-se observar que as micropartículas retidas na câmara de secagem obtidas utilizando 20 % de goma arábica a 100 °C foram mais estáveis termicamente do que as micropartículas com 10 % de goma arábica a 100 °C e das micropartículas com 20 % de goma arábica a 120 °C. Dado que estas micropartículas retidas na câmara apresentaram semelhança ao comportamento térmico de seu material de parede (goma arábica) e isso mostrou que foram mais compactas. Esse fato explica porque as micropartículas com 20 % de goma arábica a 100 °C conservaram mais polifenóis totais ($79,13 \pm 3,03$ %) do que com 10 % de goma arábica a 120 °C, que conservaram $50,71 \pm 0,52$ % e do que com 20 % de goma arábica a 120 °C, que conservaram $64,94 \pm 0,80$ % de polifenóis totais da polpa de araçá-boi. Após realizar a análise térmica pode-se afirmar que, as micropartículas retidas na câmara de secagem obtidas utilizando goma arábica podem ser armazenadas à temperatura ambiente entre 20 e 35 °C, sem indicar problemas de pegajosidade, visto que apresentaram uma temperatura de pegajosidade maior que essa faixa de temperatura para seu armazenamento.

Depois de realizar a análise térmica das micropartículas atomizadas, observou-se que as micropartículas com maior resistência térmica foram as que conservaram maior conteúdo de polifenóis totais e mais capacidade antioxidante.

Figura 33 - Curva de análise térmica da goma arábica (GA) e das micropartículas encapsuladas com GA retidas na câmara de secagem do *mini* atomizador



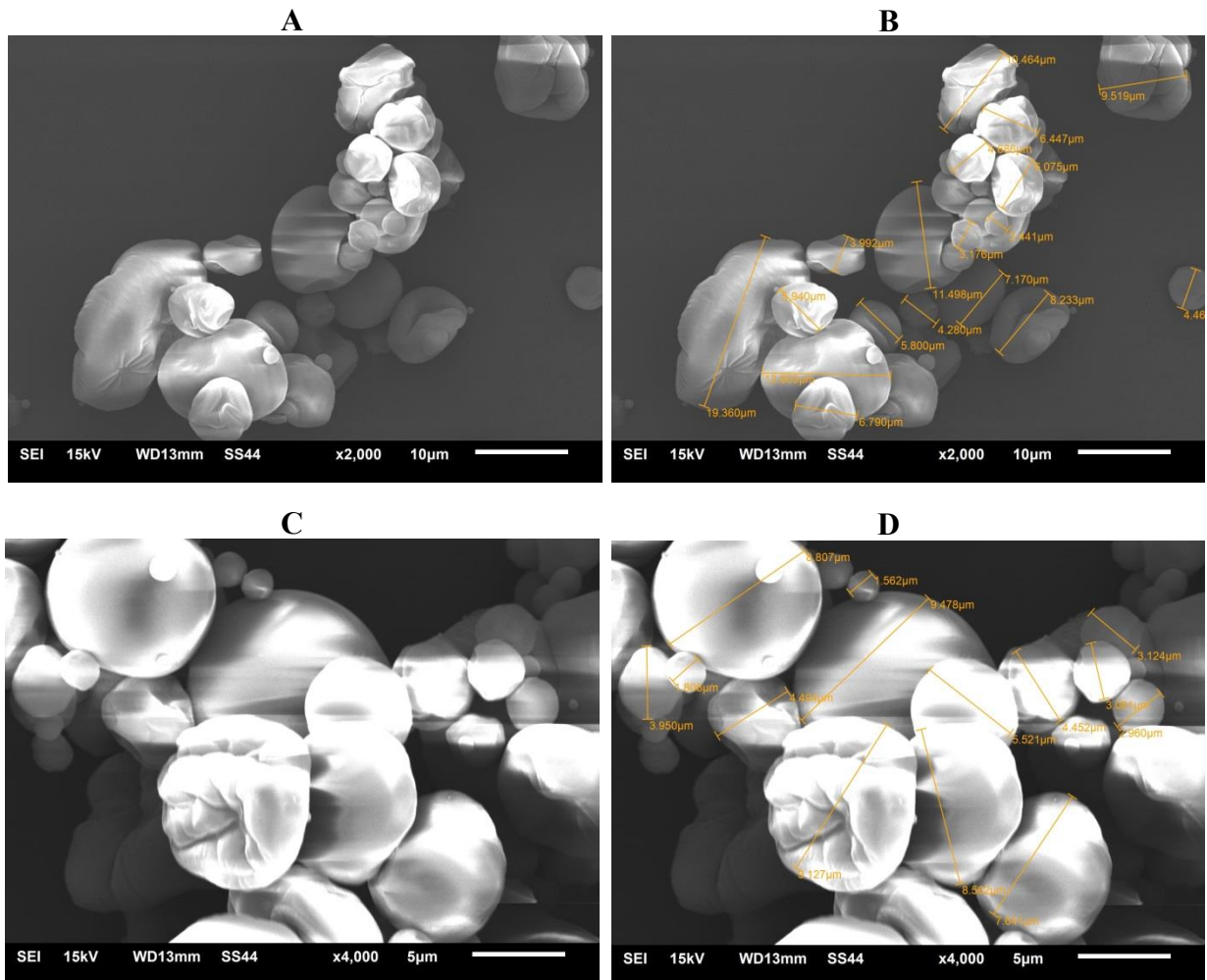
5.6.2 Estrutura das micropartículas

A estrutura das micropartículas obtidas foi analisada utilizando microscopia eletrônica de varredura (MEV) no Centro de Microscopia Eletrônica do Sul FURG.

5.6.2.1 Estrutura das micropartículas do recipiente do *mini* atomizador

Na Figura 34 mostra-se as micrografias das micropartículas do recipiente do *mini* atomizador obtidas com adição de 10 % de maltodextrina a 120 °C.

Figura 34- Micrografias das micropartículas do recipiente do *mini* atomizador obtidas com 10 % de maltodextrina a 120 °C.

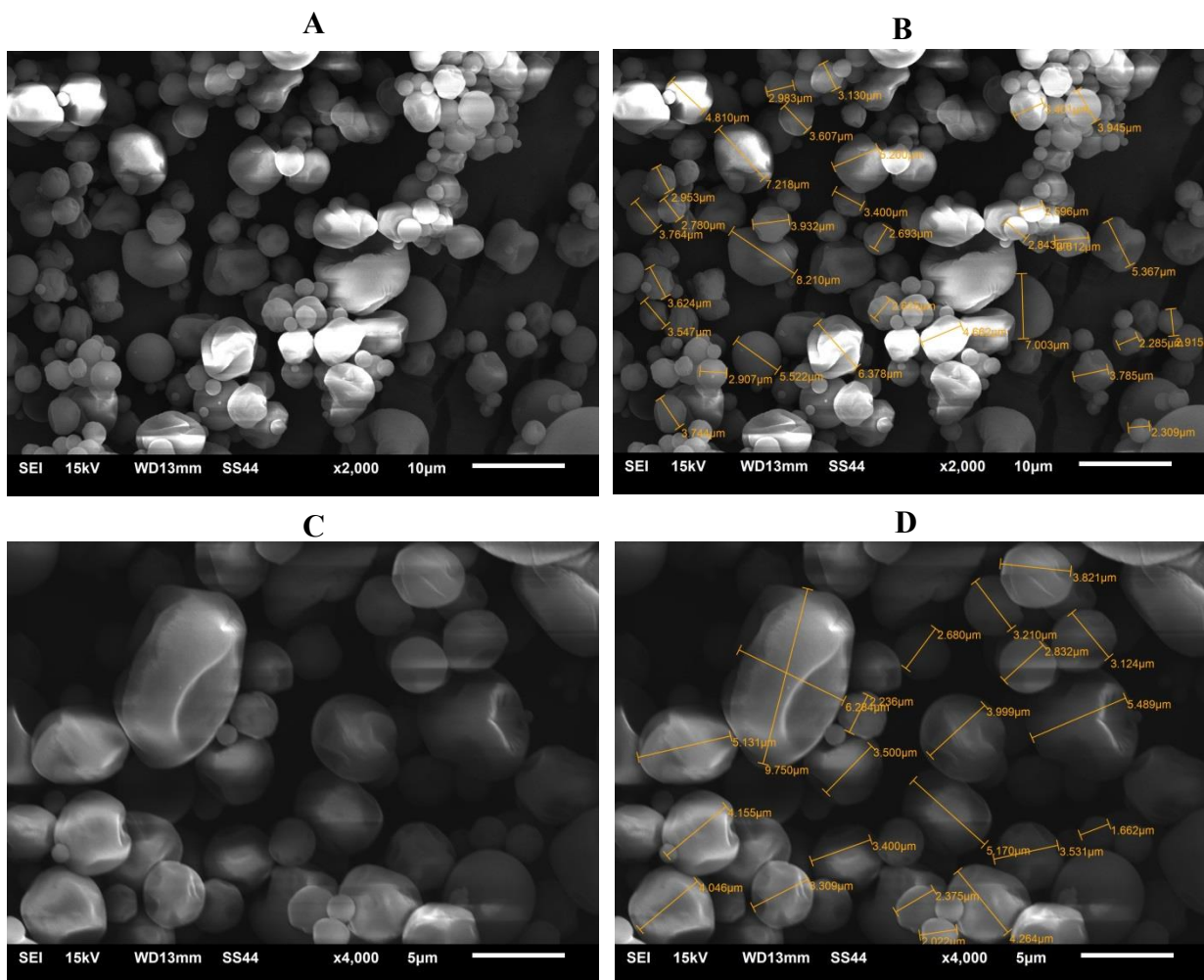


A= Aumento 2000 vezes; B= Tamanhos com aumento de 2000 vezes; C= Aumento 4000 vezes; D= Tamanhos com aumento de 4000 vezes.

De acordo como a Figura 34, essas micropartículas apresentaram formas diversas, com morfologia variada, entre esféricas e arredondadas com tamanhos heterogêneos. Com aumento de 2000 vezes estas micropartículas apresentaram um tamanho de $7,38 \pm 4,12 \mu\text{m}$ e um coeficiente de variação de 55,77 %. Com aumento de 4000 vezes apresentaram um tamanho de $5,33 \pm 2,84 \mu\text{m}$ e um coeficiente de variação de 53,38 %. Os valores altos de coeficiente de variação evidenciam a distribuição heterogênea dos tamanhos destas micropartículas.

Na Figura 35 indica-se as micrografias das micropartículas do recipiente do *mini* atomizador obtidas com 20 % de maltodextrina a 120 °C.

Figura 35- Micrografias das micropartículas do recipiente do *mini* atomizador obtidas com 20 % de maltodextrina a 120 °C.

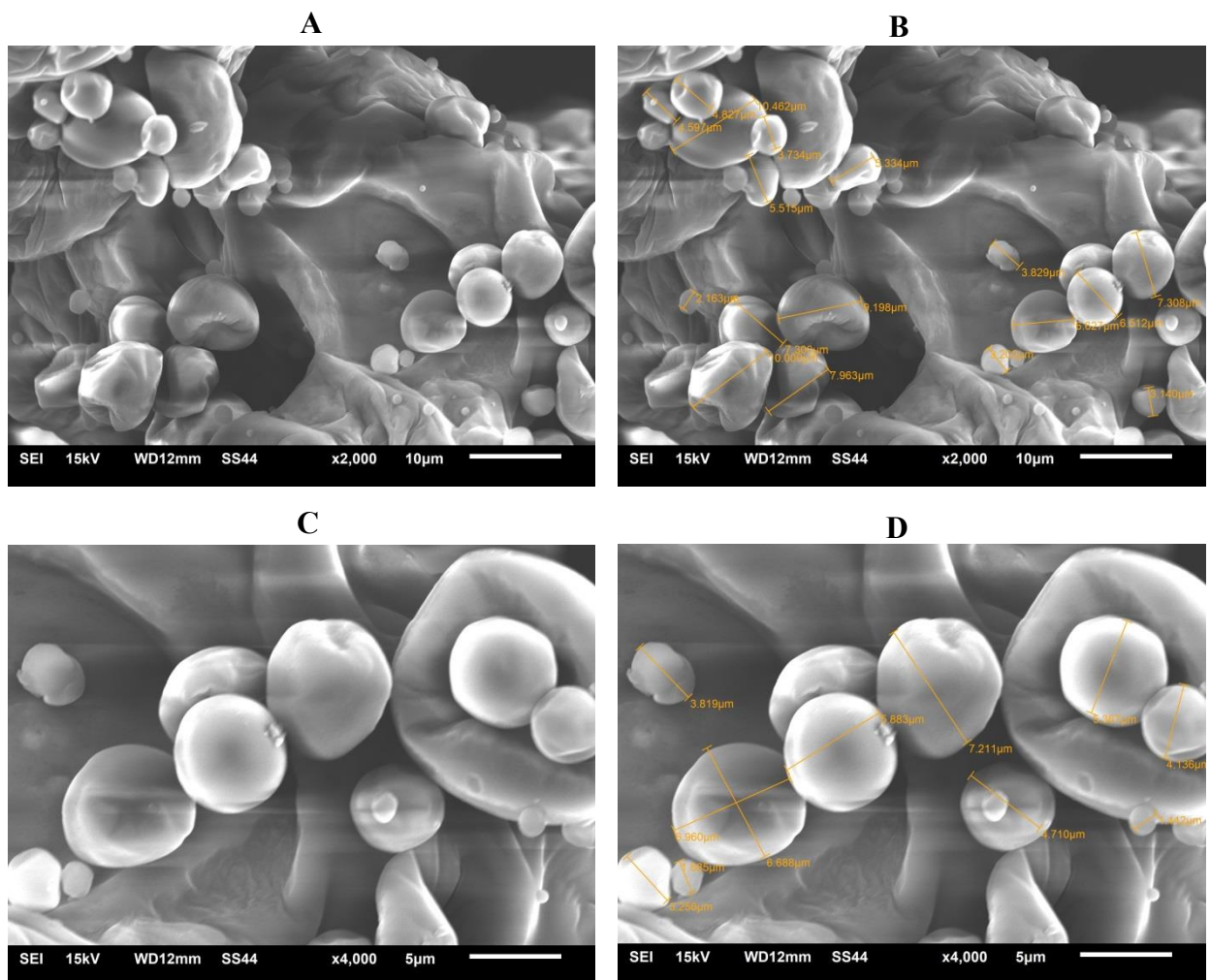


A= Aumento 2000 vezes; B= Tamanhos com aumento de 2000 vezes; C= Aumento 4000 vezes; D= Tamanhos com aumento de 4000 vezes.

De acordo como a Figura 35, as micropartículas obtidas com 20 % de maltodextrina a 120 °C apresentaram morfologia esférica-achatada com tamanhos heterogêneos. Com aumento de 2000 vezes apresentaram um diâmetro de $4,00 \pm 1,53 \mu\text{m}$ e um coeficiente de variação de 38,24 %. Já com aumento de 4000 vezes apresentaram um diâmetro de $3,90 \pm 1,75 \mu\text{m}$ e coeficiente de variação de 44,67 %. Estes valores altos de coeficiente de variação evidenciam a heterogeneidade do tamanho destas micropartículas.

Na Figura 36 apresenta-se as micrografias das micropartículas do recipiente do *mini* atomizador obtidas com 20 % de maltodextrina a 100 °C.

Figura 36- Micrografias das micropartículas do recipiente do *mini* atomizador obtidas com 20 % de maltodextrina a 100 °C



A= Aumento 2000 vezes; B= Tamanhos com aumento de 2000 vezes; C= Aumento 4000 vezes; D= Tamanhos com aumento de 4000 vezes.

Na Figura 36 observou-se que as micropartículas do recipiente do produto do *mini* atomizador obtidas com 20 % de maltodextrina a 120 °C apresentaram majoritariamente morfologia esférica com tamanhos diferentes. Com aumento de 2000 vezes as micropartículas apresentaram um tamanho de $5,98 \pm 2,48 \mu\text{m}$ e um coeficiente de variação de 41,50 %. Com aumento de 4000 vezes as micropartículas apresentaram um tamanho de $4,85 \pm 2,27 \mu\text{m}$ e um coeficiente de variação de 46,88 %. O alto valor do coeficiente de variação evidencia a distribuição heterogênea do tamanho destas micropartículas.

De acordo com os resultados da microestrutura das micropartículas do recipiente do *mini* atomizador obtidas com maltodextrina, destaca-se o seguinte:

- Do tamanho das micropartículas:

Os três experimentos, com 10 % a 120 °C; com 20 % a 120 °C e com 20 % a 100 °C apresentaram tamanhos característicos de micropartícula, visto que segundo Barros e Stringheta (2006) e Ré (1988) o tamanho característico de uma micropartícula encontra-se dentro do limite de 0,2 a 500 μm .

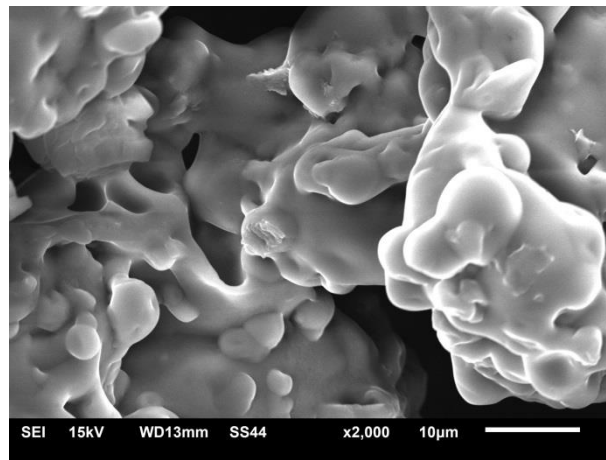
- Da morfologia das micropartículas:

O experimento com 10 % de maltodextrina a 120 °C apresentou morfologia esférica e arredondada; com 20 % a 120 °C apresentou morfologia esférica-achatada e com 20 % a 100 °C apresentou morfologia esférica. Nesta pesquisa encontrou-se que, as micropartículas com maior esfericidade (com 20 % de maltodextrina a 100 °C) apresentaram maior estabilidade termicamente (Figura 30) e, além disso, foram as micropartículas que apresentaram e conservaram maior concentração de Polifenóis Totais e da Capacidade antioxidante (Tabelas 14 e 15). Evidenciando-se que quando a micropartícula tem morfologia esférica ela apresenta maior estabilidade térmica e protege melhor o material ativo.

De acordo com Oliveira e Petrovick (2010) durante a secagem por atomização a formação de uma esfera ocorre após a evaporação do solvente. Então a tendência de apresentar morfologia esférica destas três micropartículas (com 10 % a 120 °C; com 20 % a 120 °C e com 20 % a 100 °C) pode ser atribuída à facilidade da evaporação de água dessa suspensão atomizada (polpa diluída de araçá-boi misturada com maltodextrina) com essa T.b.s do ar de secagem (100 °C e 120 °C), visto que na curva de análise térmica por DSC dessas suspensões, a evaporação de água, ocorreu aproximadamente de 100,4 até 118,5 °C (Figura 22 e Tabela 8).

Na Figura 37 observa-se a micrografia aumentada em 2000 vezes das micropartículas do recipiente do *mini* atomizador obtidas com 10 % de goma arábica a 120 °C.

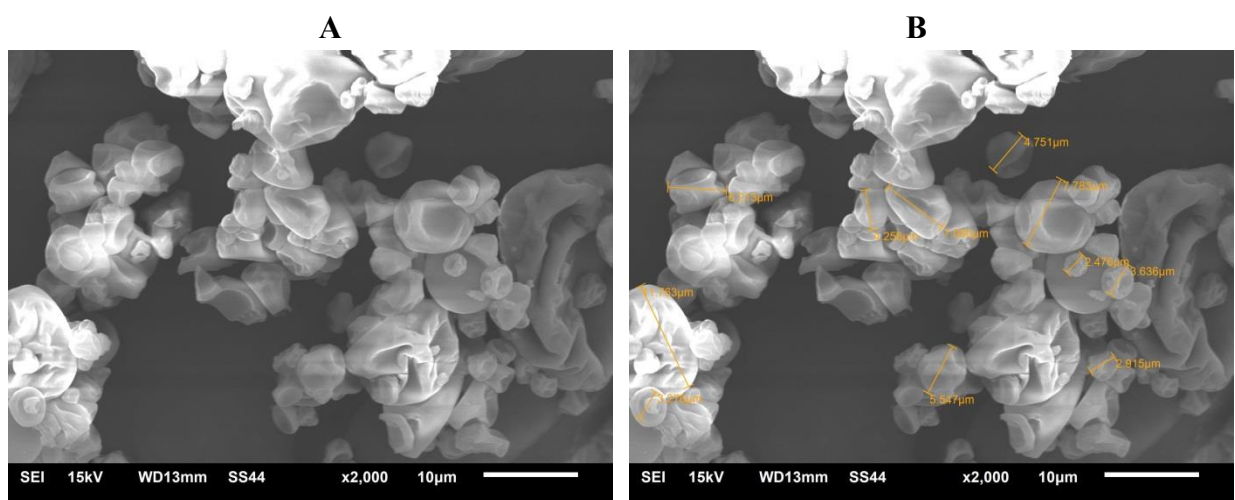
Figura 37 - Micrografia aumentada em 2000 vezes das micropartículas do recipiente do *mini* atomizador obtidas com 10 % de goma arábica a 120 °C



Observa-se que na Figura 37 as micropartículas ficaram aderidas entre elas, e não apresentaram partículas individuais, isto concorda com a análise térmica (Figura 31), pois estas micropartículas foram menos estáveis termicamente ao serem comparadas com seu material de parede (goma arábica).

Na Figura 38 mostra-se as micrografias das micropartículas do recipiente do *mini* atomizador obtidas com 20 % de goma arábica a 120 °C.

Figura 38 - Micrografias das micropartículas do recipiente do *mini* atomizador obtidas com 20 % de goma arábica a 120 °C



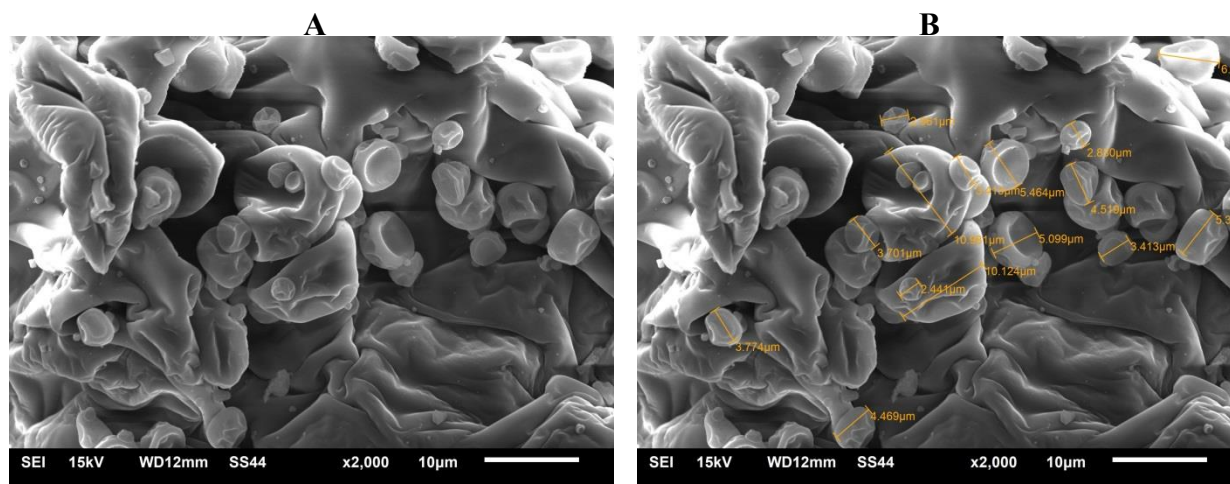
A= Aumento 2000 vezes; B= Tamanhos com aumento de 2000 vezes.

De acordo com a Figura 38, as micropartículas obtidas com 20 % de goma arábica a 120 °C apresentaram morfologia assimétrica achatadas com tamanhos diferentes. Com

aumento de 2000 vezes as micropartículas apresentaram um tamanho de $5,43 \pm 2,72 \mu\text{m}$ com distribuição heterogênea, dado que seu coeficiente de variação foi alto com valor de 50,05 %.

Na Figura 39 observa-se as micrografias das micropartículas do recipiente do produto do *mini* atomizador obtidas com 20 % de goma arábica a 100 °C.

Figura 39 - Micrografias das micropartículas do recipiente do produto do *mini* atomizador obtidas com 20 % de goma arábica a 100 °C



A= Aumento 2000 vezes; B= Tamanhos com aumento de 2000 vezes.

A Figura 39 mostrou que as micropartículas obtidas com 20 % de goma arábica a 100 °C também apresentaram morfologia assimétrica achatadas com tamanhos diversos. Com aumento de 2000 vezes as micropartículas apresentaram um tamanho de $5,04 \pm 2,61 \mu\text{m}$ e um coeficiente de variação de 51,75 %, evidenciando uma distribuição heterogênea do tamanho destas micropartículas.

De acordo com os resultados da microestrutura das micropartículas do recipiente do *mini* atomizador obtidas com goma arábica, evidenciou-se o seguinte:

- Do tamanho das micropartículas:

As micropartículas obtidas com 20 % de GA a 120 °C e com 20 % de GA a 100 °C apresentaram tamanhos semelhantes, característico de uma micropartícula, pelo fato de estarem entre 0,2 e 500 μm .

- Da morfologia das micropartículas:

O experimento com 10 % de GA a 120 °C não apresentou micropartículas individuais, sendo menos compactas. Já os experimentos com 20 % a 120 °C e com 20 % a 100 °C apresentaram morfologia assimétrica achatada, não existiram micropartículas esféricas nestes três experimentos. A ausência de micropartículas individuais no experimento com 10 % de goma arábica a 120 °C, pode explicar porque estas micropartículas foram menos

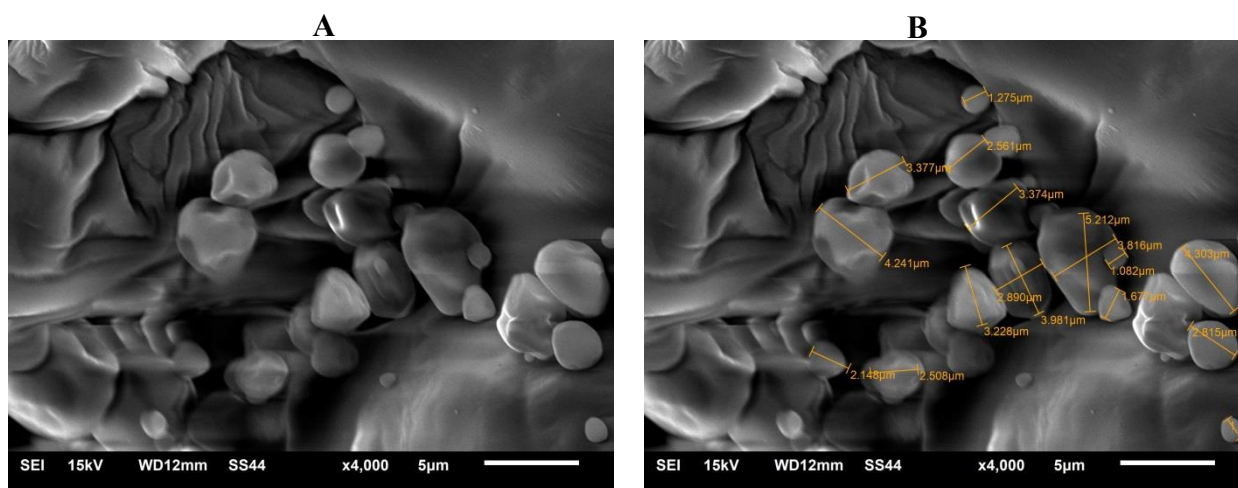
estáveis termicamente ao seu material de parede (goma arábica) (Figura 31) do que as micropartículas com 20 % a 120 °C e com 20 % a 100 °C.

A ausência da morfologia esférica destas micropartículas (com 10 % a 120 °C; com 20 % a 120 °C e com 20 % a 100 °C) pode ser atribuída à dificuldade da evaporação de água dessa suspensão atomizada (polpa diluída de araçá-boi misturada com goma arábica) usando uma T.b.s do ar de 100 °C e 120 °C, pois de acordo com a curva de análise térmica por DSC dessas suspensões, a evaporação de água ocorreu aproximadamente de 132,0 a 150,5 °C (Figura 23 e Tabela 8). Sendo então, 100 e 120 °C temperaturas não suficientes para conseguir a evaporação de água da matriz.

5.6.2.2 Estrutura das micropartículas retidas na câmara de secagem do *mini* atomizador

A Figura 40 apresenta as micrografias das micropartículas retidas na câmara de secagem do *mini* atomizador obtidas com 10 % de maltodextrina a 120 °C.

Figura 40 - Micrografias das micropartículas retidas na câmara de secagem do *mini* atomizador obtidas com 10 % de maltodextrina a 120 °C

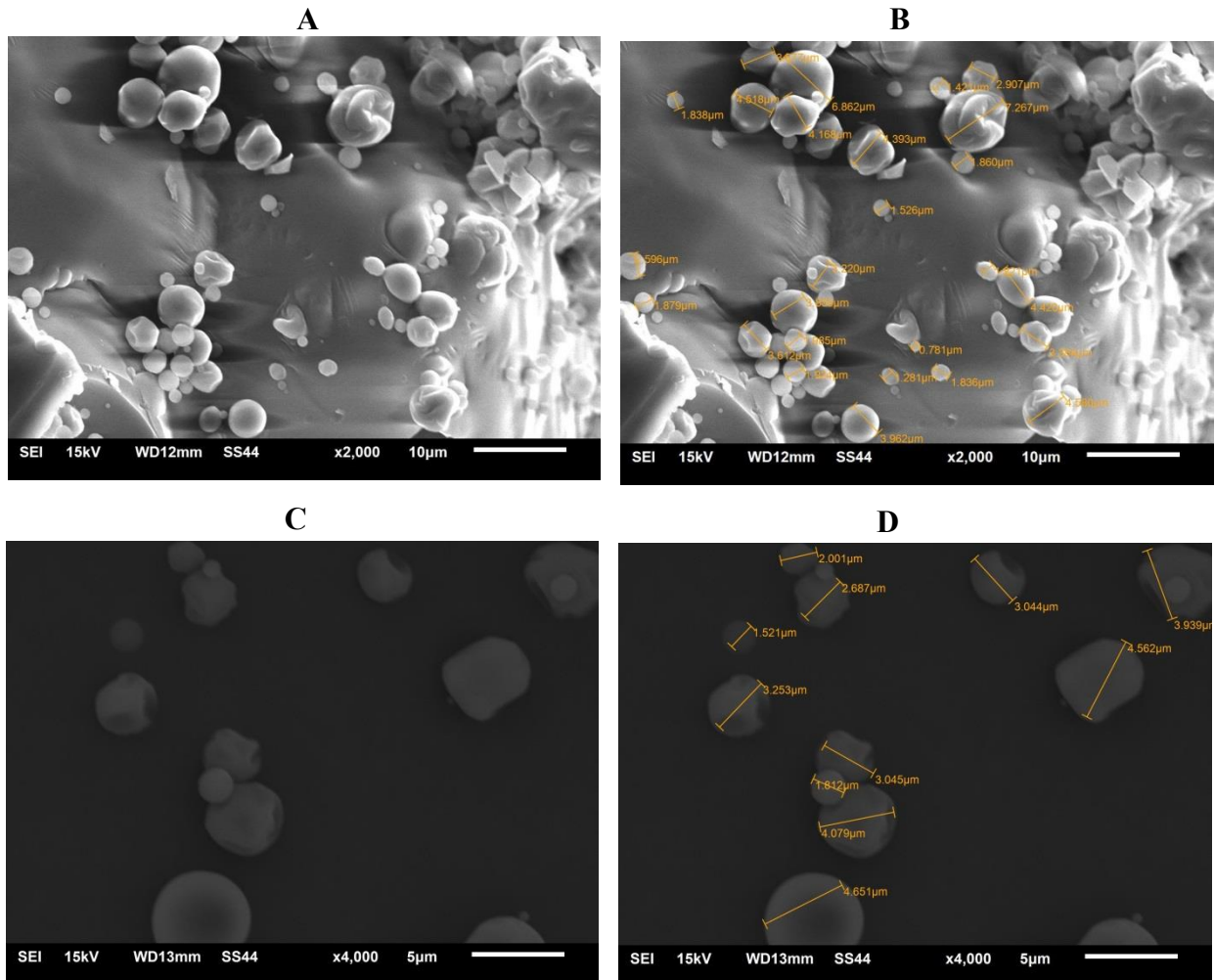


A= Aumento 2000 vezes; B= Tamanhos com aumentado de 2000 vezes.

De acordo como a Figura 40, as micropartículas retidas na câmara de secagem do *mini* atomizador obtidas com 10 % de maltodextrina a 120 °C apresentaram morfologia diversa, esférica e esférica-achatada de tamanhos diferentes. Com aumento de 4000 vezes, estas micropartículas apresentaram um tamanho de $2,92 \pm 1,19 \mu\text{m}$ com coeficiente de variação de 40,96 %, evidenciando sua distribuição heterogênea de tamanho.

A Figura 41 apresenta as micrografias das micropartículas retidas na câmara de secagem do *mini* atomizador obtidas com 20 % de maltodextrina a 120 °C.

Figura 41 - Micrografias das micropartículas retidas na câmara de secagem do *mini* atomizador obtidas com 20 % de maltodextrina a 120 °C.

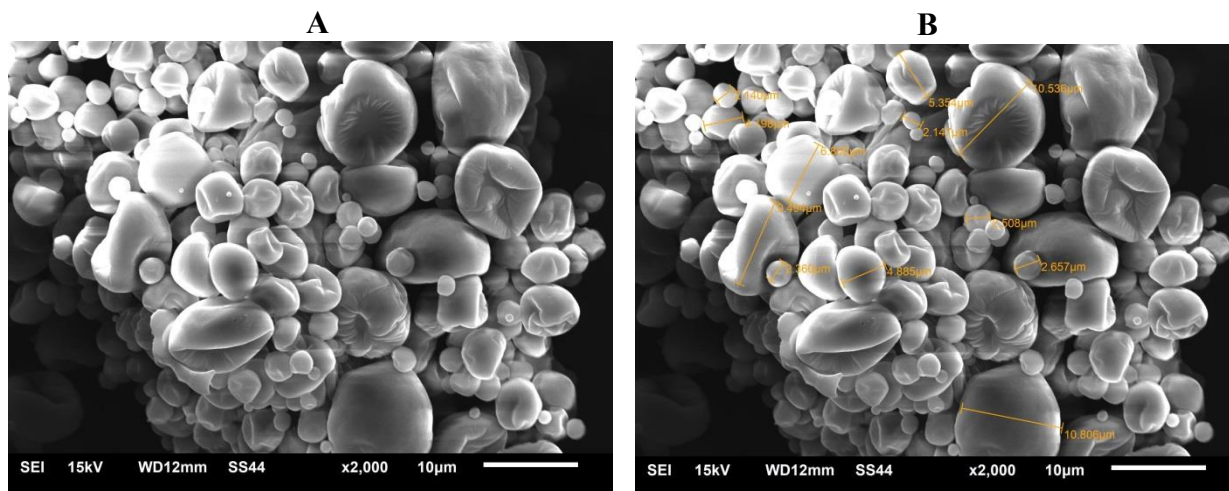


A= Aumento 2000 vezes; B= Tamanhos com aumento de 2000 vezes; C= Aumento 4000 vezes; D= Tamanhos com aumento de 4000 vezes.

Na Figura 41, observou-se que as micropartículas retidas na câmara de secagem do *mini* atomizador obtidas com 20 % de maltodextrina a 120 °C apresentaram morfologia esférica e esférica-achatada de diversos tamanhos. Com um aumento de 2000 vezes apresentaram tamanho de $3,24 \pm 1,75 \mu\text{m}$ e coeficiente de variação de 53,88 %. Já com aumento de 4000 vezes apresentaram um diâmetro de $3,14 \pm 1,08 \mu\text{m}$ e um coeficiente de variação de 34,46 %. Estes valores altos de coeficiente de variação evidenciaram a distribuição heterogênea de tamanho destas micropartículas.

Na Figura 42 mostra-se Micrografias das micropartículas retidas na câmara de secagem do *mini* atomizador obtidas com 20 % de maltodextrina a 100 °C.

Figura 42 - Micrografias das micropartículas retidas na câmara de secagem do *mini* atomizador obtidas com 20 % de maltodextrina a 100 °C



A= Aumento 2000 vezes; B= Tamanhos com aumento de 2000 vezes.

De acordo como a Figura 42, as micropartículas retidas na câmara de secagem do *mini* atomizador obtidas com 20 % de maltodextrina a 100 °C apresentaram morfologia arredondadas-achatadas de tamanhos diferentes. Com aumento de 2000 vezes as micropartículas apresentaram um tamanho de $5,32 \pm 3,19 \mu\text{m}$ com coeficiente de variação de 59,97 %.

De acordo com os resultados da microestrutura das micropartículas retidas na câmara de secagem do *mini* atomizador obtidas com maltodextrina, evidenciou-se o seguinte:

- Do tamanho das micropartículas:

Os três experimentos, com 10 % a 120 °C; com 20 % a 120 °C e com 20 % a 100 °C apresentaram tamanhos característicos de micropartícula.

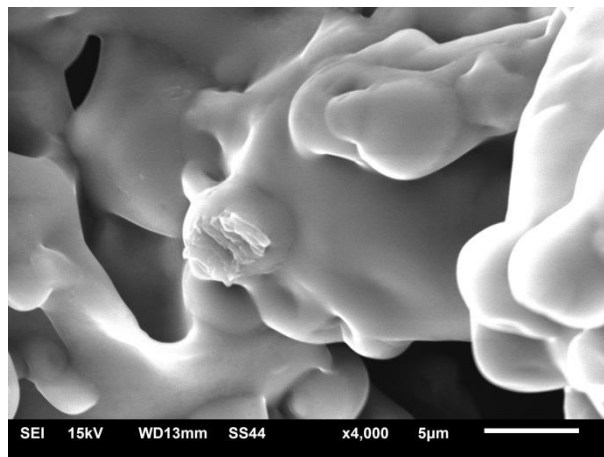
- Da morfologia das micropartículas:

Os experimentos com 10 % a 120 °C e com 20 % a 120 °C apresentaram a mesma morfologia (esféricas e esférica-achatadas), isto concorda com a conservação de polifenóis totais, pois os dois experimentos também conservaram estatisticamente a mesma concentração de Polifenóis Totais da polpa de araquá-boi (Tabela 17). Já as micropartículas com 20 % a 100 °C que apresentaram morfologia arredondadas-achatadas conservaram menor conteúdo de polifenóis do que os experimentos anteriores (10 % a 120 °C e com 20 % a 120 °C). Então

comprovou-se que as micropartículas com morfologia esférica, conseguem conservar maior conteúdo de compostos bioativos do material atomizado.

Na Figura 43 apresenta-se a Micrografia com aumento de 4000 vezes das micropartículas retidas na câmara de secagem do *mini* atomizador obtidas com 10 % de goma arábica a 120 °C.

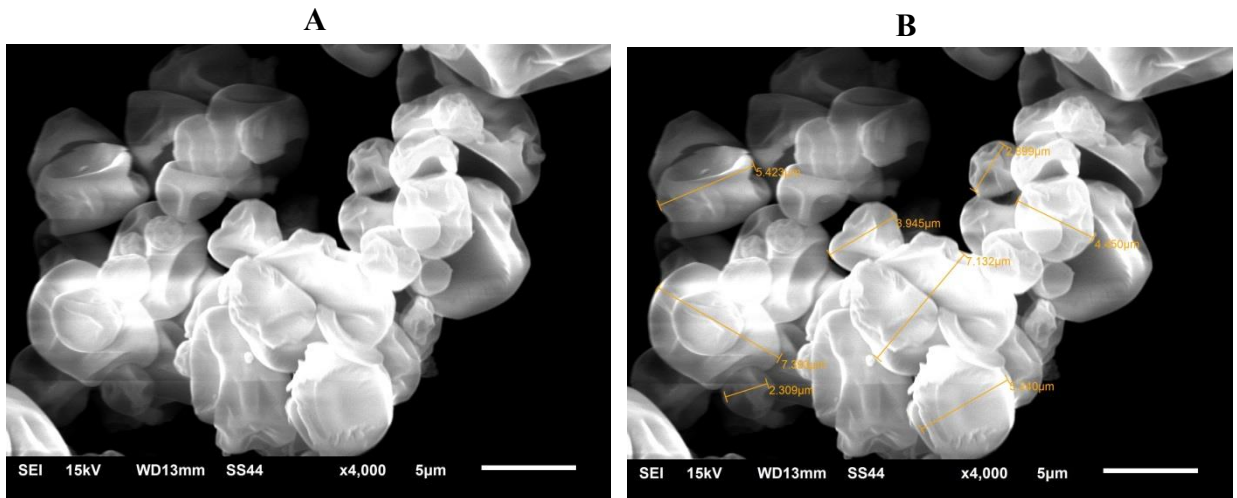
Figura 43 - Micrografia com aumento de 4000 vezes das micropartículas retidas na câmara de secagem do *mini* atomizador obtidas com 10 % de goma arábica a 120 °C



Observa-se na Figura 43 que estas micropartículas ficaram aderidas entre elas, e não apresentaram partículas individuais que protegessem os polifenóis da polpa de araçá-boi. Isto explicaria porque a instabilidade das micropartículas ao colapsar foram as que menos conservaram os polifenóis totais (Tabela 17). Isto também concordou com a análise térmica (Figura 33), pois estas micropartículas foram menos estáveis termicamente, quando comparadas com seu material de parede (goma arábica).

A Figura 44 mostra as micrografias das micropartículas retidas na câmara de secagem do *mini* atomizador obtidas com 20 % de goma arábica a 120 °C. A Figura 44 mostrou que as micropartículas obtidas com 20 % de goma arábica a 120 °C apresentaram morfologia assimétrica, achatadas e com tamanho diverso. Com um aumento de 4000 vezes, as micropartículas apresentaram tamanho de $4,85 \pm 1,83 \mu\text{m}$ e coeficiente de variação de 37,70 %, o que evidenciou uma distribuição heterogênea de tamanho destas micropartículas.

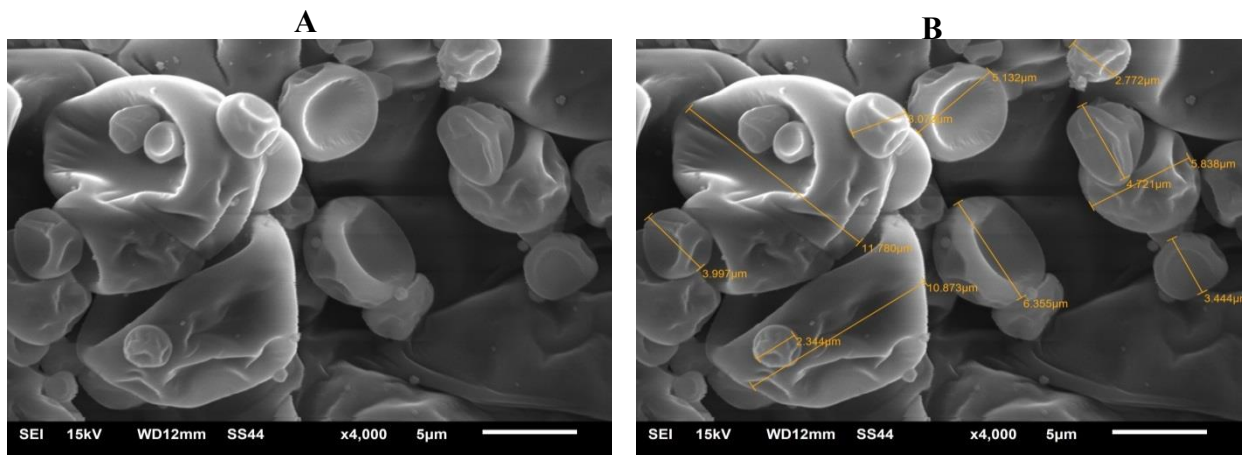
Figura 44 - Micrografias das micropartículas retidas na câmara de secagem do *mini* atomizador obtidas com 20 % de goma arábica a 120 °C



A= Aumento 4000 vezes; B= Tamanhos com aumento de 4000 vezes.

Na Figura 45 mostra-se as micrografias das micropartículas retidas na câmara de secagem do *mini* atomizador obtidas com 20 % de goma arábica a 100 °C.

Figura 45 - Micrografias das micropartículas retidas na câmara de secagem do *mini* atomizador obtidas com 20 % de goma arábica a 100 °C.



A= Aumento 4000 vezes; B= Tamanhos com aumento de 4000 vezes.

Observou-se na Figura 45 que as micropartículas obtidas com 20 % de goma arábica a 100 °C também apresentaram morfologia assimétrica achatadas com tamanhos diversos. Observadas com aumento de 4000 vezes as micropartículas apresentaram tamanho de $5,48 \pm 3,16 \mu\text{m}$ e coeficiente de variação de 57,56 %

De acordo com os resultados da microestrutura das micropartículas retidas na câmara de secagem do *mini* atomizador obtidas com goma arábica, pôde ser evidenciado o seguinte:

- Em relação ao tamanho das micropartículas:

Os três experimentos (10 % de GA a 120 °C; 20 % de GA a 120 °C, e 20 % de GA a 100 °C) apresentaram tamanhos característicos de micropartícula.

- Da morfologia das micropartículas:

O experimento com 10 % de GA a 120 °C não apresentou micropartículas individuais, sendo menos compactas. Já os experimentos com 20 % de GA a 120 °C e com 20 % de GA a 100 °C apresentaram morfologia assimétrica achatada, não se observando micropartículas esféricas características nos três experimentos.

Da mesma maneira do que as micropartículas do recipiente do produto obtidas com goma arábica, também as obtidas anteriormente na câmara de secagem apresentaram ausência da morfologia esférica (seja com 10 % a 120 °C; com 20 % a 120 °C ou com 20 % a 100 °C) que pode ser atribuída à dificuldade da evaporação de água dessa suspensão atomizada (polpa diluída de araçá-boi misturada com goma arábica seca com T.b.s do ar de 100 °C a 120 °C), pois de acordo com a curva de análise térmica por DSC dessas suspensões com goma arábica, a evaporação de água ocorreu aproximadamente entre 132,0 e 150,5 °C (Figura 23 e Tabela 8).

Na Tabela 16 mostra-se o resumo da análise de estrutura das micropartículas obtidas. Outras pesquisas sobre microencapsulamento de polpa de fruta por atomização, onde para determinar a T.b.s do ar de secagem usaram-se planejamento experimental, também reportaram tamanhos e morfologia semelhantes a esta pesquisa. Mas cabe destacar que nessas pesquisas foi utilizada energia desnecessária ao ser comparada com esta pesquisa. A seguir se aborda algumas comparações com este pesquisa.

No trabalho de Caleffi (2014) sobre microencapsulação de polpa de amora-preta por atomização, visando à conservação de antocianinas, se obteve micropartículas com morfologia esférica com tamanho mínimo de 3,50 e máximo de 9,50 µm. Ele usou maltodextrina (10 % m/m) com T.b.s do ar de secagem de 151 °C. Utilizando o resultado da análise térmica por DSC da polpa diluída de araçá-boi misturado com 10 % de MD, a forma esférica das micropartículas de amora-preta encontrada pelo autor pode ser prevista, pois segundo a análise térmica por DSC da Figura 22 reportada na Tabela 8, a evaporação de água da suspensão, que permite a formação de microesferas ocorre de 100,4 a 118,5 °C, sendo uma faixa de temperatura menor à temperatura de secagem utilizada pelo autor (151 °C). Cabe

Tabela 16 – Tamanho e morfologia das micropartículas obtidas mediante microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Micropartículas	Local do <i>mini</i> Atomizador	Aumento de 2000 vezes		Aumento de 4000 vezes		Morfologia
		Tamanho mínimo (µm)	Tamanho máximo (µm)	Tamanho mínimo (µm)	Tamanho máximo (µm)	
GA-20 %-100 °C	Recipiente de produto	2,43	7,65	-----	-----	Assimétrica achatada
GA-20 %-120 °C	Recipiente de produto	2,71	8,15	-----	-----	Assimétrica achatada
MD-10 %-120 °C	Recipiente de produto	3,26	11,50	2,49	8,17	Esférica e arredondada
MD-20 %-120 °C	Recipiente de produto	2,47	5,53	2,15	5,65	Esférica achatada
MD-20 %-100 °C	Recipiente de produto	3,5	8,46	2,58	7,12	Esférica
GA-20 %-100 °C	Câmara de secagem	-----	-----	2,32	8,64	Assimétrica achatada
GA-20 %-120 °C	Câmara de secagem	-----	-----	3,02	6,68	Assimétrica achatada
MD-10 %-120 °C	Câmara de secagem	-----	-----	1,73	4,11	Esférica e esférica-achatada
MD-20 %-120 °C	Câmara de secagem	1,49	4,99	2,06	4,22	Esférica e esférica-achatada
MD-20 %-100 °C	Câmara de secagem	2,13	8,51	-----	-----	Arredondada-achatada

GA-20 %-100 °C= Micropartículas obtidas usando polpa refinada e peneirada diluída misturada com goma arábica numa proporção (1:9) com T.b.s do ar de 100 °C;
GA-20 %-120 °C= Micropartículas obtidas usando polpa refinada e peneirada diluída misturada com goma arábica numa proporção (1:9) com T.b.s do ar de 120 °C;
MD-10 %-120 °C= Micropartículas obtidas usando polpa refinada e peneirada diluída misturada com maltodextrina numa proporção (1:3) com T.b.s do ar de 120 °C;
MD-20 %-120 °C= Micropartículas obtidas usando polpa refinada e peneirada diluída misturada com maltodextrina numa proporção (1:9) com T.b.s do ar de 120 °C;
MD-20 %-100 °C= Micropartículas obtidas usando polpa refinada e peneirada diluída misturada com maltodextrina numa proporção (1:9) com T.b.s do ar de 100 °C.

destacar que o autor conseguiu obter micropartículas esféricas com um gasto de energia maior que o necessário, visto que usou uma temperatura de secagem superior a 118,5 °C, sendo 32,5 °C a mais do que o necessário. Em consequência, para determinar a T.b.s do ar de secagem, torna-se melhor o uso da calorimetria exploratória diferencial (DSC) do que o planejamento experimental.

Moraes (2014) em trabalho sobre obtenção de polpa desidratada de caju amarelo (*Anacardium occidentale L.*) por atomização, visando à conservação dos compostos bioativos, encontrou micropartículas com morfologia assimétrica achatada com tamanho mínimo de 14,7 e máximo de 30,2 µm, o autor usou goma arábica (25 % m/m) com T.b.s do ar de secagem de 140 °C. Segundo o resultado da análise térmica por DSC da polpa diluída de araçá-boi misturado com 10 % de GA, a morfologia assimétrica achatada das micropartículas de caju encontrada pelo autor pode ser prevista, pois o autor usou uma T.b.s do ar de secagem de 140 °C que é capaz de evaporar a água de uma suspensão de 10 % de goma arábica e não de uma suspensão de 25 %. Posto que, segundo a análise térmica por DSC da Figura 23 e mostrada na Tabela 8, a evaporação de água da suspensão de 10 % de goma arábica ocorre de 132,0 a 150,5 °C, não sendo suficiente para evaporar a água de uma suspensão com 25 % de goma arábica.

Bernstein (2014) realizou a encapsulação de antocianinas de repolho roxo (*Brassica oleracea L. var. capitata L. f. rubra*) por atomização utilizando diferentes agentes encapsulantes. Usando 10 % de goma arábica com T.b.s do ar de secagem de 160 °C, o autor encontrou micropartículas esféricas com tamanho médio de 5,0 µm. Com o resultado da análise térmica por DSC da polpa diluída de araçá-boi misturado com 10 % de GA, a morfologia esférica das micropartículas obtidas pelo autor pode ser prevista, pois o autor usou uma T.b.s do ar de secagem de 160 °C que é capaz de evaporar a água de uma suspensão de 10 % de goma arábica. Dado que, segundo a análise térmica por DSC da Figura 23 e mostrada na Tabela 8, a evaporação de água da suspensão de 10 % de goma arábica ocorre de 132,0 a 150,5 °C. Diante disso ocorreu a formação de microesferas reportado pelo autor. Embora que o autor tenha obtido micropartículas esféricas que permitiram a maior conservação de antocianinas, foi gasta uma quantidade maior de energia do que o necessário. Visto que usou aproximadamente uma temperatura de secagem de 160 °C (maior que 150,5 °C).

Finalmente, após a análise da estrutura das micropartículas e sua comparação com outras pesquisas, pode-se afirmar que, através da Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) consegue-se determinar uma faixa exata da T.b.s do ar de secagem para obter micropartículas esféricas. Este descobrimento desta pesquisa é vantajoso posto que permite apenas usar a

T.b.s do ar de secagem exata, evitando o uso do planejamento experimental onde muitas vezes existe uma superestimação da T.b.s do ar de secagem. Então o uso da DSC no microencapsulamento de polpa de frutas, além de evitar o gasto desnecessário de energia, pode aumentar a conservação dos compostos bioativos, pois permite o uso de temperaturas de secagem exatas, sem superestimação.

5.7 SIMULAÇÃO DA DIGESTÃO GASTROINTESTINAL *IN VITRO* DAS MICROPARTÍCULAS

Em termos de bioatividade não é suficiente determinar apenas o conteúdo total de polifenóis e a capacidade antioxidante das micropartículas obtidas. Também é necessário conhecer a bioacessibilidade, ou seja, a quantidade que o organismo poderá absorver.

Nesse contexto realizou-se a simulação da digestão gastrointestinal *in vitro* das micropartículas, para poder avaliar a capacidade de proteção do material de parede das micropartículas atomizadas sobre os polifenóis totais e a capacidade antioxidante.

Inicialmente foi determinada a concentração de polifenóis totais e a capacidade antioxidante da goma arábica pura após da simulação da digestão gastrointestinal *in vitro*, encontrando-se para polifenóis totais $82,62 \pm 0,41$ mg ác.gál./100 g; para a capacidade antioxidante pelo método FRAP; a capacidade antioxidante pela captura do radical livre ABTS^{•+} e a capacidade antioxidante pela captura do radical livre DPPH, determinou-se $5,82 \pm 0,39$ $\mu\text{mol FeSO}_4/\text{g}$; $0,63 \pm 0,00$ $\mu\text{mol Trolox/g}$; 1103,3 mg/mL (IC-50) e 101009,96 g/g DPPH, respectivamente. Estes dados foram usados para corrigir os valores após da simulação a digestão gastrointestinal *in vitro*, da concentração de polifenóis totais e da capacidade antioxidante das micropartículas obtidas com goma arábica.

A Tabela 17 mostra a concentração de polifenóis totais e capacidade antioxidante presentes nas micropartículas atomizadas da polpa de araçá-boi do recipiente do *mini* atomizador após a simulação da digestão gastrointestinal *in vitro*. A Tabela 20 mostra a eficiência do microencapsulamento da polpa de araçá-boi, em função da preservação de Polifenóis Totais e da Capacidade antioxidante nas micropartículas do recipiente do *mini* atomizador após a simulação da digestão gastrointestinal *in vitro*.

Tabela 17 – Concentração de polifenóis totais e capacidade antioxidante das micropartículas atomizadas da polpa de araçá-boi do recipiente do *mini* atomizador após a simulação da digestão gastrointestinal *in vitro*

Amostra	Polifenóis Totais (mg áci.gál./100g m.s.m)	ABTS (μmol Trolox/g m.s.m)	DPPH (IC 50) (mg m.s.m/mL)	DPPH (g m.s.m/g DPPH)	FRAP (μmol FeSO₄/g m.s.m)
GA-20 % -100 °C	501,49 ± 18,72 ^e	447,98 ± 14,58 ^b	12,32 ± 0,00 ^a	1480,07 ± 0,00 ^a	73,85 ± 0,53 ^e
GA-20 % -120 °C	324,89 ± 7,71 ^f	358,53 ± 9,50 ^d	7,44 ± 0,05 ^d	894,12 ± 5,70 ^d	175,68 ± 9,50 ^c
GA-10 % -120 °C	575,55 ± 14,22 ^d	289,61 ± 4,44 ^e	11,91 ± 0,11 ^b	1430,60 ± 13,63 ^b	139,81 ± 3,91 ^d
MD-10 % -120 °C	751,55 ± 7,03 ^c	253,47 ± 4,83 ^f	10,15 ± 0,06 ^c	1219,20 ± 6,74 ^c	191,27 ± 2,11 ^b
MD-20 % -120 °C	864,35 ± 17,35 ^b	392,07 ± 4,16 ^c	7,55 ± 0,05 ^d	907,20 ± 6,17 ^d	145,28 ± 3,20 ^d
MD-20 % -100 °C	1317,53 ± 35,84 ^a	520,40 ± 19,00 ^a	6,80 ± 0,05 ^c	816,48 ± 5,80 ^e	356,88 ± 2,00 ^a

GA-20 %-100 °C= Micropartículas obtidas usando polpa refinada e peneirada diluída misturada com goma arábica numa proporção (1:9) com T.b.s do ar de 100 °C; GA-20 %-120 °C= Micropartículas obtidas usando polpa refinada e peneirada diluída misturada com goma arábica numa proporção (1:9) com T.b.s do ar de 120 °C; GA-10 %-120 °C= Micropartículas obtidas usando polpa refinada e peneirada diluída misturada com goma arábica numa proporção (1:3) com T.b.s do ar de 120 °C; MD-10 %-120 °C= Micropartículas obtidas usando polpa refinada e peneirada diluída misturada com maltodextrina numa proporção (1:3) com T.b.s do ar de 120 °C; MD-20 %-120 °C= Micropartículas obtidas usando polpa refinada e peneirada diluída misturada com maltodextrina numa proporção (1:9) com T.b.s do ar de 120 °C; MD-20 %-100 °C= Micropartículas obtidas usando polpa refinada e peneirada diluída misturada com maltodextrina numa proporção (1:9) com T.b.s do ar de 100 °C. FRAP = Capacidade antioxidante pela redução do ferro; ABTS = Capacidade antioxidante pela captura do radical livre ABTS^{•+}; DPPH = Capacidade antioxidante pela captura do radical livre DPPH. m.s.m.: matéria seca da polpa de araçá-boi microencapsulada, letras diferentes na mesma coluna mostram diferenças estatisticamente significativas com 95 % de confiança de acordo com o teste Tukey (p<0,05)..

Tabela 18 – Eficiência do microencapsulamento da polpa de araçá-boi, em função da preservação de polifenóis totais e da capacidade antioxidante nas micropartículas do recipiente do *mini* atomizador após a simulação da digestão gastrointestinal *in vitro*

Amostra	Preservação dos Polifenóis	Preservação da Cap. antiox.	Diminuição da Cap. antiox.	Diminuição da Cap. antiox.	Preservação da Cap. antiox.
	Totais	ABTS	DPPH (IC-50)	DPPH	FRAP
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
GA-20 %-100 °C	23,06 ± 0,86 ^e	173,06 ± 5,63 ^b	319,04 ± 0,00 ^a	493,59 ± 0,00 ^a	17,59 ± 0,13 ^e
GA-20 %-120 °C	14,94 ± 0,35 ^f	138,50 ± 3,67 ^d	153,14 ± 1,61 ^d	258,59 ± 2,28 ^d	41,85 ± 2,26 ^c
GA-10 %-120 °C	26,46 ± 0,65 ^d	111,88 ± 1,71 ^e	305,03 ± 3,86 ^b	473,76 ± 5,46 ^b	33,31 ± 0,93 ^d
MD-10 %-120 °C	34,55 ± 0,32 ^c	97,92 ± 1,87 ^f	245,15 ± 1,91 ^c	388,93 ± 2,70 ^c	45,57 ± 0,50 ^b
MD-20 %-120 °C	39,74 ± 0,80 ^b	151,46 ± 1,61 ^c	156,85 ± 1,75 ^d	263,84 ± 2,48 ^d	34,61 ± 0,76 ^d
MD-20 %-100 °C	60,58 ± 1,65 ^a	201,04 ± 7,34 ^a	131,16 ± 1,64 ^e	227,46 ± 2,32 ^e	85,02 ± 0,48 ^a

GA-20 %-100 °C= Micropartículas obtidas usando polpa refinada e peneirada diluída misturada com goma arábica numa proporção (1:9) com T.b.s do ar de 100 °C; GA-20 %-120 °C= Micropartículas obtidas usando polpa refinada e peneirada diluída misturada com goma arábica numa proporção (1:9) com T.b.s do ar de 120 °C; GA-10 %-120 °C= Micropartículas obtidas usando polpa refinada e peneirada diluída misturada com goma arábica numa proporção (1:3) com T.b.s do ar de 120 °C; MD-10 %-120 °C= Micropartículas obtidas usando polpa refinada e peneirada diluída misturada com maltodextrina numa proporção (1:3) com T.b.s do ar de 120 °C; MD-20 %-120 °C= Micropartículas obtidas usando polpa refinada e peneirada diluída misturada com maltodextrina numa proporção (1:9) com T.b.s do ar de 120 °C; MD-20 %-100 °C= Micropartículas obtidas usando polpa refinada e peneirada diluída misturada com maltodextrina numa proporção (1:9) com T.b.s do ar de 100 °C. m.s.m.: matéria seca da polpa de araçá-boi microencapsulada, letras diferentes na mesma coluna mostram diferenças estatisticamente significativas com 95 % de confiança de acordo com o teste Tukey (p < 0,05).

Da mesma forma, as micropartículas obtidas com 20 % de maltodextrina a 100 °C foram as que apresentaram maior capacidade antioxidante pelo método ABTS ($520,40 \pm 19,00 \mu\text{mol Trolox/g m.s.m}$) após a simulação da digestão gastrointestinal *in vitro*. Estas mesmas micropartículas foram as que necessitaram de uma menor quantidade de matéria seca da polpa de araçá-boi ($6,80 \pm 0,05 \text{ mg m.s.m/mL}$) para neutralizar 50 % da concentração do radical livre DPPH. Consequentemente, estas micropartículas usaram menos matéria seca da polpa de araçá-boi ($816,48 \pm 5,80 \text{ g m.s.m/gDPPH}$) para neutralizar um grama do radical livre DPPH. No cálculo da capacidade antioxidante pelo método FRAP, na Tabela 19 observou-se que a maior Capacidade antioxidante ($356,88 \pm 2,00 \mu\text{mol FeSO}_4/\text{g m.s.m}$) após a simulação da digestão gastrointestinal *in vitro*, foi obtida também com 20 % de maltodextrina a 100 °C, ressaltando que a Capacidade antioxidante inicial da polpa de araçá-boi pelo método FRAP foi de $419,75 \pm 0,95 \mu\text{mol FeSO}_4/\text{g m.s.m}$, a Tabela 20 mostrou que a maior preservação da Capacidade antioxidante por esse método ($85,02 \pm 0,48 \%$) após a simulação da digestão gastrointestinal *in vitro*, também foi apresentada pelas micropartículas obtidas com 20 % de maltodextrina a 100 °C.

Finalmente, após a simulação da digestão gastrointestinal *in vitro* das micropartículas do recipiente do *mini* atomizador, determinou-se que os melhores resultados foram obtidos com 20 % de maltodextrina a 100 °C, visto que essas micropartículas preservaram maior conteúdo de polifenóis totais e maior capacidade antioxidante da polpa de araçá-boi. Existem três razões para que as micropartículas (20 % de maltodextrina a 100 °C) obtidas sejam as melhores em termos de preservação da bioatividade da fruta após a simulação da digestão gastrointestinal *in vitro*, justificadas pelos resultados das etapas anteriores desta pesquisa:

Na secagem por atomização utilizou-se uma T.b.s do ar de secagem de 100 °C, e segundo o resultado da análise térmica por DSC da polpa diluída misturada com maltodextrina (Figura 22 e a Tabela 8) essa temperatura (100 °C) foi suficiente para a evaporação de água da suspensão. Na análise térmica das micropartículas (Figura 30), estas foram as que apresentaram maior estabilidade térmica, semelhante a seu material de parede. Na caracterização da microestrutura (Figura 36), estas micropartículas foram as que apresentaram forma esférica mais homogênea, sendo mais compactas e resistentes. A Tabela 19 mostra a Concentração de polifenóis totais e capacidade antioxidante presentes nas micropartículas da polpa de araçá-boi, retidas na câmara de secagem do *mini* atomizador após a simulação da digestão gastrointestinal *in vitro*.

Tabela 19 – Concentração de polifenóis totais e capacidade antioxidante presentes nas micropartículas atomizadas da polpa de araçá-boi retidas na câmara de secagem do *mini* atomizador após a simulação da digestão gastrointestinal *in vitro*

Amostra	polifenóis totais (mg áci.gál./100g m.s.m)	ABTS (μmol Trolox/g m.s.m)	DPPH (IC 50) (mg m.s.m/mL)	DPPH (g m.s.m/g DPPH)	FRAP (μmol FeSO₄/g m.s.m)
GA-20 % -100 °C	911,80 ± 22,72 ^f	406,39 ± 15,93 ^a	12,85 ± 0,00 ^b	1176,49 ± 0,00 ^b	181,10 ± 6,38 ^e
GA-20 % -120 °C	1089,86 ± 18,80 ^e	349,80 ± 11,25 ^b	13,06 ± 0,17 ^b	1195,79 ± 15,23 ^b	192,53 ± 3,06 ^d
GA-10 % -120 °C	1393,00 ± 14,83 ^b	413,46 ± 10,30 ^a	7,02 ± 0,15 ^d	642,64 ± 13,55 ^d	214,72 ± 3,53 ^c
MD-10 % -120 °C	1612,10 ± 15,14 ^a	403,61 ± 9,33 ^a	5,74 ± 0,14 ^e	525,37 ± 13,06 ^e	338,60 ± 3,11 ^a
MD-20 % -120 °C	1339,20 ± 17,42 ^c	278,80 ± 11,10 ^c	10,27 ± 0,08 ^c	940,24 ± 7,05 ^c	236,26 ± 3,08 ^b
MD-20 % -100 °C	1258,96 ± 8,34 ^d	299,40 ± 8,00 ^c	15,20 ± 0,18 ^a	1391,63 ± 16,74 ^a	141,28 ± 4,00 ^f

GA-20 %-100 °C= Micropartículas obtidas usando polpa refinada e peneirada diluída misturada com goma arábica numa proporção (1:9) com T.b.s do ar de 100 °C; GA-20 %-120 °C= Micropartículas obtidas usando polpa refinada e peneirada diluída misturada com goma arábica numa proporção (1:9) com T.b.s do ar de 120 °C; GA-10 %-120 °C= Micropartículas obtidas usando polpa refinada e peneirada diluída misturada com goma arábica numa proporção (1:3) com T.b.s do ar de 120 °C; MD-10 %-120 °C= Micropartículas obtidas usando polpa refinada e peneirada diluída misturada com maltodextrina numa proporção (1:3) com T.b.s do ar de 120 °C; MD-20 %-120 °C= Micropartículas obtidas usando polpa refinada e peneirada diluída misturada com maltodextrina numa proporção (1:9) com T.b.s do ar de 120 °C; MD-20 %-100 °C= Micropartículas obtidas usando polpa refinada e peneirada diluída misturada com maltodextrina numa proporção (1:9) com T.b.s do ar de 100 °C. FRAP = Capacidade antioxidante pela redução do ferro; ABTS = Capacidade antioxidante pela captura do radical livre ABTS^{•+}; DPPH = Capacidade antioxidante pela captura do radical livre DPPH. m.s.m.: matéria seca da polpa de araçá-boi microencapsulada, letras diferentes na mesma coluna mostram diferenças estatisticamente significativas com 95 % de confiança de acordo com o teste Tukey (p<0,05).

Tabela 20 – Eficiência do microencapsulamento da polpa de araçá-boi em função da preservação de polifenóis totais e da capacidade antioxidante das micropartículas retidas na câmara de secagem do *mini* atomizador após a simulação gastrointestinal *in vitro*

Amostra	Preservação dos	Conservação	Diminuição	Diminuição	Preservação da
	polifenóis	da Cap. antiox.	da cap. antiox.	da cap. antiox.	cap. antiox.
	Totais	ABTS	DPPH (IC-50)	DPPH	FRAP
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
GA-20 %-100 °C	41,92 ± 1,04 ^f	156,99 ± 6,15 ^a	337,07 ± 0,00 ^b	371,84 ± 0,00 ^b	43,15 ± 1,52 ^e
GA-20 %-120 °C	50,11 ± 0,86 ^e	135,13 ± 4,35 ^b	344,24 ± 5,66 ^b	379,58 ± 6,11 ^b	45,87 ± 0,73 ^d
GA-10 %-120 °C	64,05 ± 0,68 ^b	159,72 ± 3,98 ^a	138,74 ± 5,03 ^d	157,74 ± 5,43 ^d	51,15 ± 0,84 ^c
MD-10 %-120 °C	74,12 ± 0,70 ^a	155,92 ± 3,60 ^a	95,18 ± 4,85 ^e	110,70 ± 5,24 ^e	80,67 ± 0,74 ^a
MD-20 %-120 °C	61,57 ± 0,80 ^c	107,70 ± 4,29 ^c	249,30 ± 2,62 ^c	277,09 ± 2,83 ^c	56,29 ± 0,73 ^b
MD-20 %-100 °C	57,89 ± 0,38 ^d	115,66 ± 3,09 ^c	417,00 ± 6,22 ^a	458,13 ± 6,71 ^a	33,66 ± 0,95 ^f

GA-20 %-100 °C= Micropartículas obtidas usando polpa refinada e peneirada diluída misturada com goma arábica numa proporção (1:9) com T.b.s do ar de 100 °C; GA-20 %-120 °C= Micropartículas obtidas usando polpa refinada e peneirada diluída misturada com goma arábica numa proporção (1:9) com T.b.s do ar de 120 °C; GA-10 %-120 °C= Micropartículas obtidas usando polpa refinada e peneirada diluída misturada com goma arábica numa proporção (1:3) com T.b.s do ar de 120 °C; MD-10 %-120 °C= Micropartículas obtidas usando polpa refinada e peneirada diluída misturada com maltodextrina numa proporção (1:3) com T.b.s do ar de 120 °C; MD-20 %-120 °C= Micropartículas obtidas usando polpa refinada e peneirada diluída misturada com maltodextrina numa proporção (1:9) com T.b.s do ar de 120 °C; MD-20 %-100 °C= Micropartículas obtidas usando polpa refinada e peneirada diluída misturada com maltodextrina numa proporção (1:9) com T.b.s do ar de 100 °C. m.s.m.: matéria seca da polpa de araçá-boi microencapsulada, letras diferentes na mesma coluna mostram diferenças estatisticamente significativas com 95 % de confiança de acordo com o teste Tukey (p<0,05).

A Tabela 20 apresentou a eficiência do microencapsulamento da polpa de araçá-boi em função da preservação dos de polifenóis totais e da capacidade antioxidante das micropartículas atomizadas retidas na câmara de secagem do *mini* atomizador após a simulação da digestão gastrointestinal *in vitro*. A Tabela 20 demonstrou que a maior presença de polifenóis totais ($1612,10 \pm 15,14$ mg áci.gál./100g m.s.m) depois da simulação da digestão gastrointestinal *in vitro*, foi determinada nas micropartículas atomizadas com 10 % de maltodextrina a 120 °C. Também a Tabela 22 mostrou que estas microcápsulas preservam maior porcentagem de polifenóis totais ($74,12 \pm 0,70$ %) após a simulação da digestão gastrointestinal *in vitro*. Além disso, na Tabela 21 foram as micropartículas que apresentaram maior capacidade antioxidante pelo método ABTS ($403,61 \pm 9,33$ μ mol Trolox/g m.s.m) após a simulação da digestão gastrointestinal *in vitro*. Também foram as que usaram menor quantidade de matéria seca da polpa de araçá-boi ($5,74 \pm 0,14$ m.s.m/mL) para neutralizar 50 % da concentração do radical livre DPPH. Por isso, estas micropartículas foram as que necessitaram menor quantidade de matéria seca da polpa de araçá-boi ($525,37 \pm 13,06$ g m.s.m/gDPPH) para neutralizar um grama do radical livre DPPH.

Na capacidade antioxidante pelo método FRAP, na Tabela 21 observou-se que a maior capacidade antioxidante ($338,60 \pm 3,11$ μ mol FeSO₄/g m.s.m) após a simulação da digestão gastrointestinal *in vitro*, foi obtida também utilizando 10 % de maltodextrina a 120 °C. Assim mesmo, a Tabela 22 mostrou que a maior preservação da Capacidade antioxidante por esse método ($80,67 \pm 0,74$ %) após a simulação da digestão gastrointestinal *in vitro*, também foi apresentada por estas micropartículas.

Afirma-se que, depois da simulação da digestão gastrointestinal *in vitro* das micropartículas retidas na câmara de secagem do *mini* atomizador, o melhor resultado foi obtido com 10 % de maltodextrina a 120 °C, dado que essas micropartículas atomizadas preservaram maior conteúdo de Polifenóis Totais e de Capacidade antioxidante da polpa de araçá-boi. As razões para que estas micropartículas atomizadas sejam as melhores são: Na secagem por atomização utilizou-se uma T.b.s do ar de secagem de 120 °C, e segundo o resultado da análise térmica por DSC da polpa diluída misturada com maltodextrina (Figura 22 e a Tabela 8), essa temperatura (120 °C) foi suficiente para conseguir a evaporação de água da suspensão. Na análise térmica das micropartículas (Figura 32), estas foram as que apresentaram maior semelhança de estabilidade térmica com seu material de parede.

Na caracterização da microestrutura (Figura 41), estas micropartículas foram as que apresentaram forma esférica e esférica-achatada mais homogêneas, sendo mais compactas e resistentes que as outras micropartículas. Finalmente as micropartículas que preservaram o

maior conteúdo de polifenóis totais e a maior capacidade antioxidante da polpa de araçá-boi após a simulação da digestão *in vitro* foram as seguintes: No recipiente de produto do *mini* atomizador: as micropartículas atomizadas com 20 % de maltodextrina a 100 °C. Na câmara de secagem do *mini* atomizador: as micropartículas retidas com 10 % de maltodextrina a 120 °C.

Para proceder à mistura entre as micropartículas atomizadas localizadas no recipiente e as retidas na câmara de secagem, foi necessário antes comparar os resultados das melhores micropartículas após a simulação da digestão gastrointestinal *in vitro*, Para isso foi utilizado o valor médio da concentração dos polifenóis totais e da capacidade antioxidante das micropartículas do recipiente de produto e das retidas na câmara de secagem. A Tabela 21 apresenta os valores médios de concentração de polifenóis totais e da capacidade antioxidante da mistura de micropartículas (do recipiente e da câmara de secagem do *mini* atomizador) da polpa de araçá-boi após a simulação da digestão gastrointestinal *in vitro*.

Tabela 21 - Valores médios de concentração de polifenóis totais e da capacidade antioxidante das melhores micropartículas atomizadas da polpa de araçá-boi após a simulação da digestão gastrointestinal *in vitro*

Amostra	Polifenóis totais (mg áci.gál./ 100g m.s.m)	ABTS (μmol Trolox/ g m.s.m)	FRAP (μmol FeSO₄/ g m.s.m)
MD-10 % -120 °C	1181,83 \pm 11,09 ^b	328,54 \pm 14,16 ^b	264,94 \pm 2,61 ^a
MD-20 % -100 °C	1288,25 \pm 22,09 ^a	409,90 \pm 13,50 ^a	249,08 \pm 3,00 ^a

MD-10 %-120 °C= Micropartículas misturadas do recipiente e as retidas na câmara de secagem, obtidas usando polpa refinada e peneirada diluída misturada com maltodextrina numa proporção (1:3) com T.b.s do ar de 120 °C; MD-20 %-100 °C= Micropartículas misturadas do recipiente e as retidas na câmara de secagem, obtidas usando polpa refinada e peneirada diluída misturada com maltodextrina numa proporção (1:9) com T.b.s do ar de 100 °C. Letras diferentes na mesma coluna mostram diferença estatisticamente significativa com 95 % de confiança de acordo com o teste t-student.

Pelos resultados analisados da Tabela 21 foi definido que as micropartículas obtidas com 20 % de maltodextrina a 100 °C foram melhores na preservação da bioatividade do que as obtidas com 10 % de maltodextrina a 120 °C, dado que apresentaram maior concentração de polifenóis totais (1288,25 \pm 22,09 mg áci.gál./100g m.s.m), maior capacidade antioxidante (409,90 \pm 13,50 μ mol Trolox/g m.s.m) e apresentaram uma capacidade antioxidante pelo método FRAP (249,08 \pm 3,00 μ mol FeSO₄/g m.s.m) estatisticamente semelhante às micropartículas atomizadas com 10 % de maltodextrina a 120 °C. Consequentemente ao realizar a mistura (micropartículas do recipiente e as retidas na câmara de secagem) as micropartículas atomizadas obtidas com 20 % de maltodextrina a 100 °C

foram as que apresentaram maior concentração de polifenóis totais e maior capacidade antioxidante, para serem posteriormente absorvidos pelo organismo.

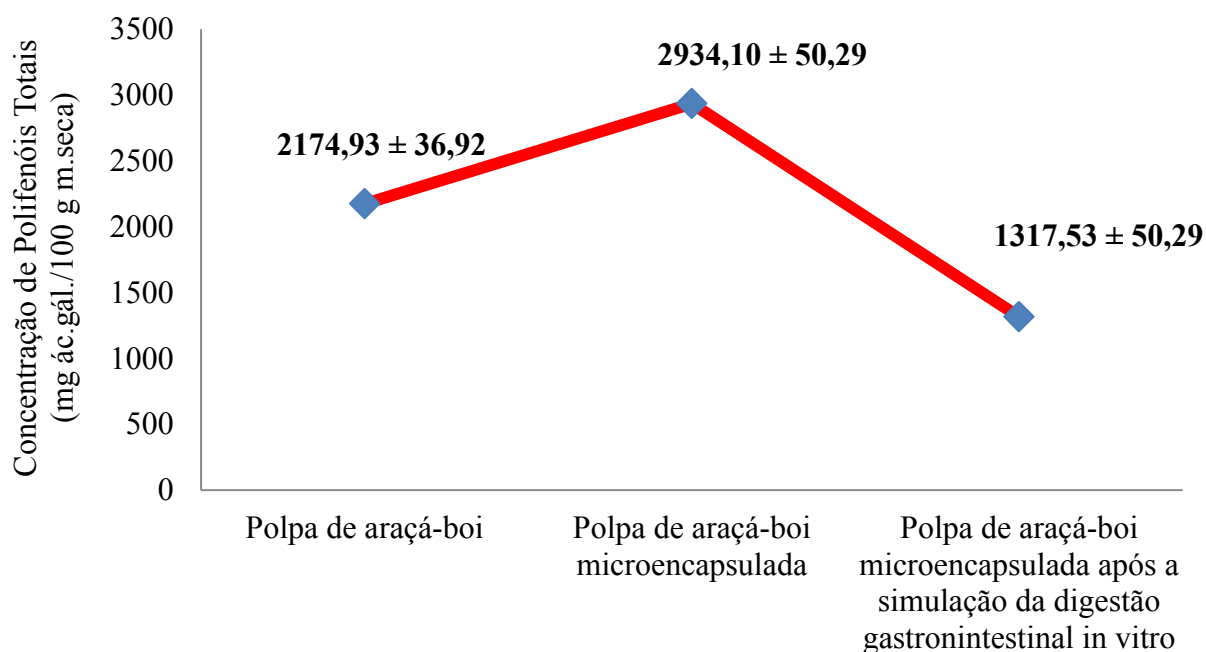
Algumas pesquisas que estudaram a preservação da bioatividade dos polifenóis totais de frutas *in natura* sem a utilização do microencapsulamento, encontraram que após a simulação da digestão gastrointestinal *in vitro*, uma grande parte desses compostos fenólicos foi sensível à digestão, não sendo aproveitados pelo organismo. Pereira (2014), que realizou a simulação da digestão gastrointestinal *in vitro* da maçã de variedade *Starking* (120 mg ác.gál./100g fruta) encontrou que, após a simulação da digestão gastrointestinal o 75 % dos polifenóis totais da fruta foram deteriorados e só um 25 % (30 mg ác. gál./100g fruta) ficaram disponíveis para serem posteriormente absorvidos pelo corpo. Também Pavan, Sancho-Soriano e Pastore (2014) estudaram o efeito da digestão gastrointestinal *in vitro* sobre o extrato hidroetanólico (70 % m/m) de mamão liofilizado (79,5 mg ác.gál./100 g fruta liofilizada). Esses autores determinaram que após a digestão gastrointestinal *in vitro* o 76,26 % dos polifenóis totais foram degradados, sendo só 23,74 % (28,6 mg ác.gál./100 g fruta liofilizada) disponível para serem absorvidos. Lima et al. (2014) realizaram a simulação da digestão gastrointestinal do suco de caju (338,6 mg ác. gál./100g suco), após a digestão o 61,43 % dos polifenóis totais foram eliminados, e um 38,57 % dos polifenóis totais (130,6 mg ác. gál./100g suco) foram conservados para ser aproveitados pelo organismo.

Finalmente, após analisar os resultados da simulação da digestão gastrointestinal *in vitro* das micropartículas deste trabalho, observou-se que, o microencapsulamento por atomização permitiu obter a preservação da bioatividade dos polifenóis totais após a digestão gastrointestinal, dado que as micropartículas atomizadas com 20 % de maltodextrina a 100 °C do recipiente do *mini* atomizador preservaram 60,58 % dos polifenóis totais da polpa de araçá-boi após a digestão, além disso, preservaram 85,02 % da capacidade de reduzir o Fe^{+3} a Fe^{+2} (Método FRAP), também estas micropartículas após a digestão gastrointestinal foram as que precisaram menos matéria seca para neutralizar um grama do radical livre DPPH. Isso demonstrou a capacidade do material de parede maltodextrina, para proteção dos polifenóis totais e da capacidade antioxidante presentes no araçá-boi.

5.8 COMPORTAMENTO DOS POLIFENÓIS TOTAIS E DA CAPACIDADE ANTIOXIDANTE DA POLPA DE ARAÇÁ-BOI E DAS MICROPARTICULAS ATOMIZADAS ANTES E APÓS A SIMULAÇÃO DA DIGESTÃO GASTROINTESTINAL *IN VITRO*

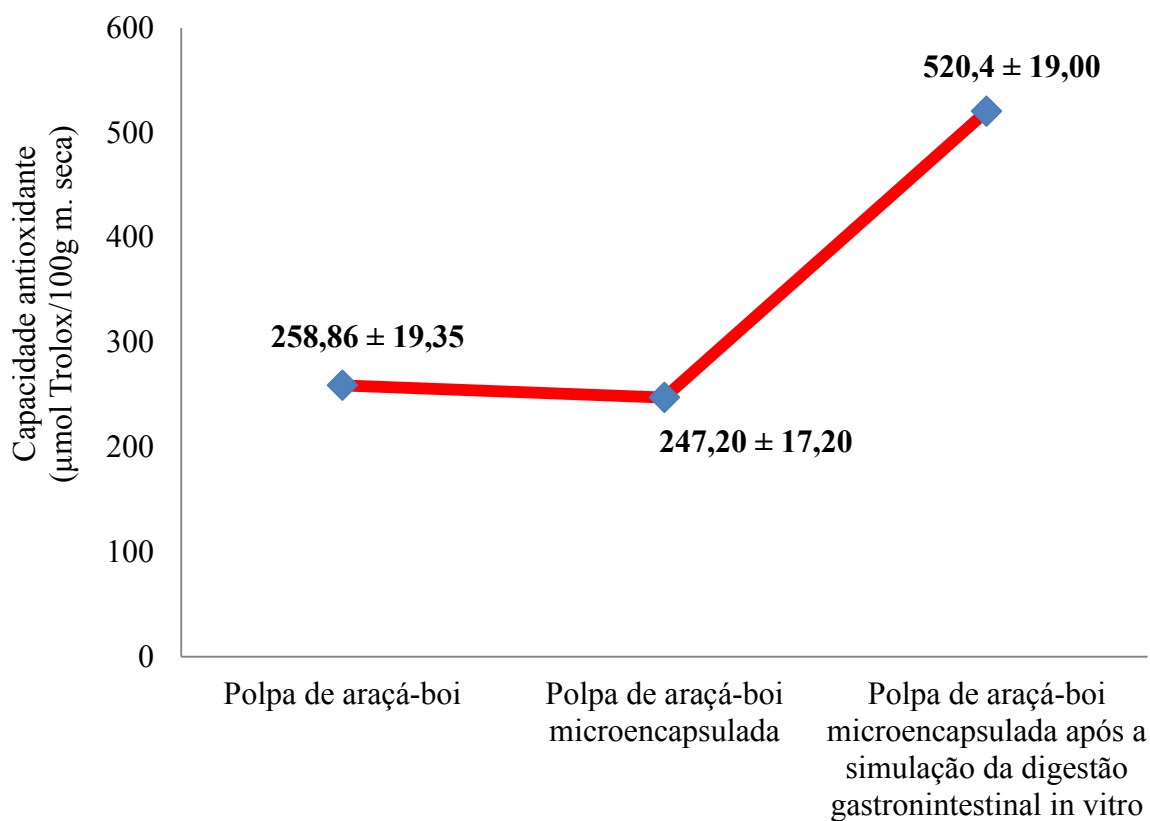
A Figura 46 mostra o comportamento das concentrações de Polifenóis Totais da polpa de araçá-boi, e das micropartículas obtidas com 20 % de maltodextrina a 100 °C antes e após a simulação da digestão gastrointestinal *in vitro*.

Figura 46 — Concentrações de Polifenóis Totais da polpa de araçá-boi, das micropartículas obtidas com 20 % de maltodextrina a 100 °C antes e após a simulação da digestão gastrointestinal *in vitro*



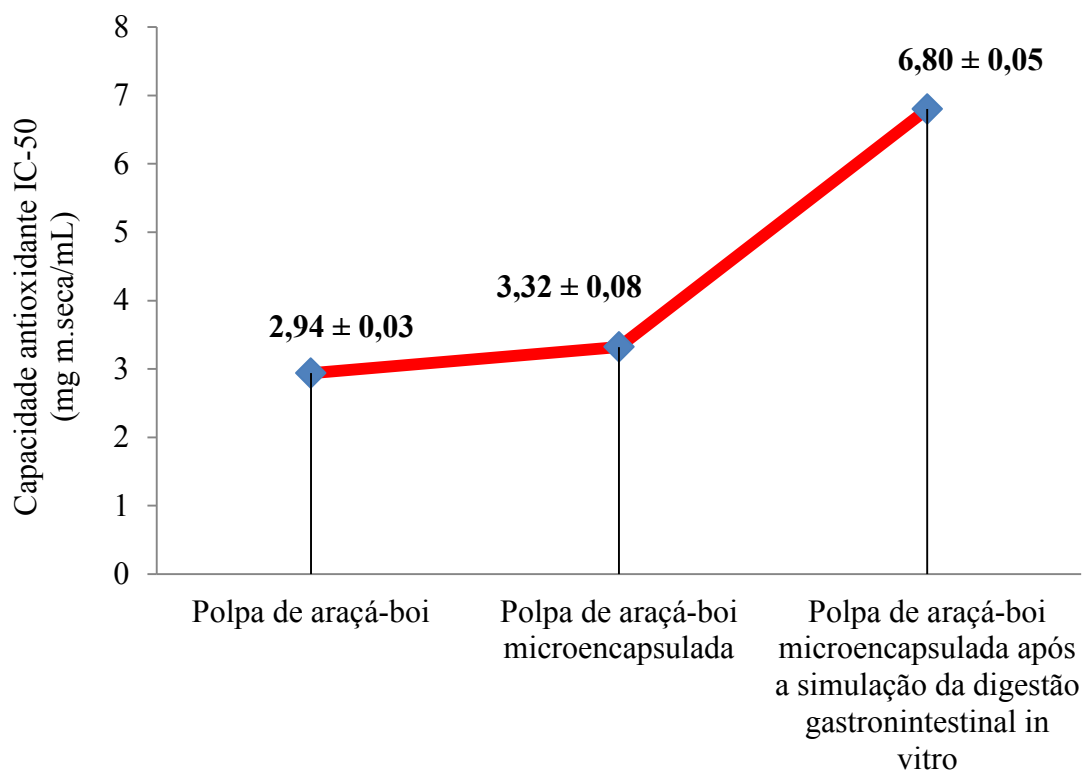
A Figura 47 mostra o comportamento da Capacidade antioxidante pela captura do radical livre ABTS^{•+} da polpa de araçá-boi, e das micropartículas obtidas com 20 % de maltodextrina a 100 °C antes e após a simulação da digestão gastrointestinal *in vitro*.

Figura 47 — Capacidade antioxidante pela captura do radical livre ABTS•+ da polpa de araçá-boi, e das micropartículas obtidas com 20 % de maltodextrina a 100 °C antes e após a simulação da digestão gastrointestinal *in vitro*



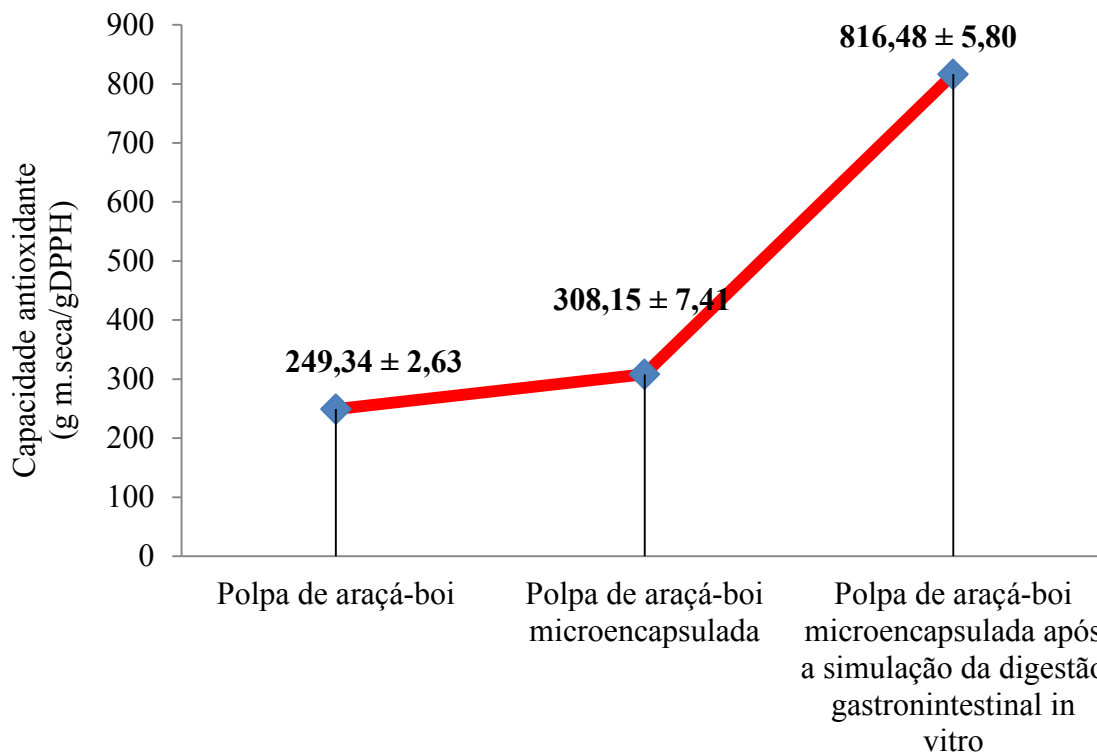
A Figura 48 mostra o comportamento da Capacidade antioxidante pela captura do radical livre DPPH expresso como IC-50 da polpa de araçá-boi, e das micropartículas obtidas com 20 % de maltodextrina a 100 °C antes e após a simulação da digestão gastrointestinal *in vitro*.

Figura 48 — Capacidade antioxidante pela captura do radical livre DPPH expresso como IC-50 da polpa de araçá-boi, e das micropartículas obtidas com 20 % de maltodextrina a 100 °C antes e após a simulação da digestão gastrointestinal *in vitro*



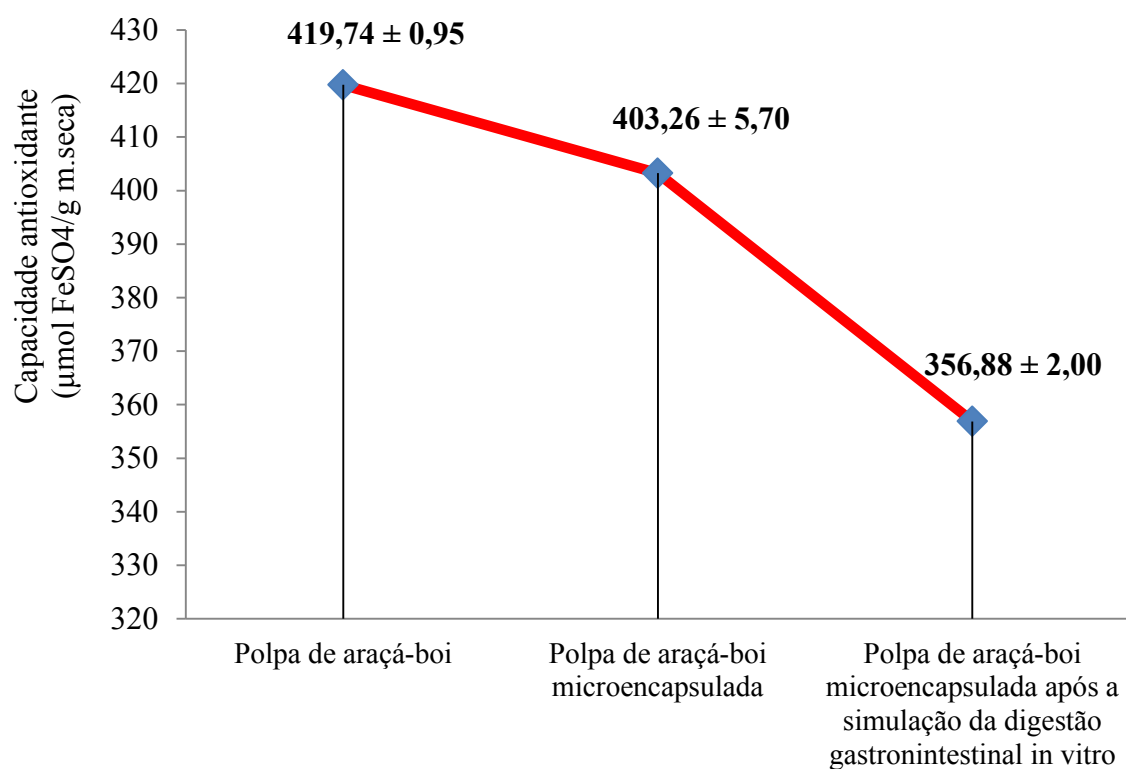
A Figura 49 mostra o comportamento da Capacidade antioxidante pela captura do radical livre DPPH expresso como g amostra/g DPPH da polpa de araçá-boi, e das micropartículas obtidas com 20 % de maltodextrina a 100 °C antes e após a simulação da digestão gastrointestinal *in vitro*.

Figura 49 — Capacidade antioxidante pela captura do radical livre DPPH expresso como g amostra/g DPPH da polpa de araçá-boi, e das micropartículas obtidas com 20 % de maltodextrina a 100 °C antes e após a simulação da digestão gastrointestinal *in vitro*



A Figura 50 mostra o comportamento da Capacidade antioxidante pela redução do ferro (FRAP) da polpa de araçá-boi, e das micropartículas obtidas com 20 % de maltodextrina a 100 °C antes e após a simulação da digestão gastrointestinal *in vitro*.

Figura 50 — Capacidade antioxidante pelo método FRAP da polpa de araçá-boi, e das micropartículas obtidas com 20 % de maltodextrina a 100 °C antes e após a simulação da digestão gastrointestinal *in vitro*



6 CONCLUSÃO

- A polpa de araçá-boi é uma fruta muito ácida que apresenta excelente bioatividade para ser aproveitada pelo organismo, por conter alta quantidade de polifenóis totais e interessante capacidade antioxidante.

- Usando os resultados de cada etapa do trabalho, como a caracterização físico-química, a Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC), e usando a psicrometria do ar úmido com a equação do balanço global da massa de água durante a secagem, foi possível estabelecer os parâmetros adequados para conseguir a preservação da bioatividade da polpa de araçá-boi através do microencapsulamento mediante secagem por atomização sem gasto de energia desnecessária, quando comparado com o microencapsulamento por atomização realizada com parâmetros encontrados por planejamento experimental ou ensaios preliminares de outros autores.

- As melhores micropartículas, do ponto de vista bioativo, foram às obtidas usando polpa refinada e peneirada diluída misturada com maltodextrina numa proporção (1:9) com T.b.s do ar de secagem de 100 °C. Estas micropartículas após a secagem por atomização e antes da simulação da digestão gastrointestinal *in vitro* conservaram o $134,91 \pm 2,31$ % dos polifenóis totais da polpa de araçá-boi.

Após a secagem estas micropartículas também conservaram a capacidade antioxidante da polpa de araçá-boi pelos três métodos estudados, destacando-se o $95,39 \pm 2,31$ % de conservação da capacidade antioxidante para reduzir o ferro (FRAP). Estas micropartículas apresentaram forma esférica com excelente estabilidade térmica, podendo ser armazenadas à temperatura ambiente de 20 °C até 35 °C sem ter problemas de pegajosidade.

Após a simulação da digestão gastrointestinal *in vitro* as micropartículas preservaram o $60,58 \pm 1,65$ % dos polifenóis totais da polpa de araçá-boi, e preservaram a capacidade antioxidante do araçá-boi pelos três métodos estudados, ressaltando-se o $85,02 \pm 0,48$ % de conservação da capacidade antioxidante para reduzir o ferro (FRAP). Diante disso, a polpa de araçá-boi microencapsulada apresentou resistência à digestão gastrointestinal *in vitro*, existindo aproveitamento da bioatividade quando a polpa for consumida em forma microencapsulada.

7 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

- Encontrar as melhores condições de secagem por atomização para microencapsular polpa de frutas, aplicando Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC), Termogravimetria (TGA) e a psicrometria do ar com balanço global de massa de água na secagem.

- Após determinar as melhores condições de secagem, realizar a secagem por atomização utilizando um atomizador com a T.b.s do ar de secagem acima de 120 °C e apresente uma vazão de ar de secagem menor que 0,63 m³/min, para que as melhores condições de secagem utilizando goma arábica possam ser aplicadas na prática.

- Quantificar e microencapsular os compostos bioativos da casca e semente da polpa de araçá-boi e de outras frutas semelhantes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACEVEDO E.; ARENAS C. Caracterización física y química del fruto arazá (*Eugenia stipitata*). **Ingenierías y Amazonía**, 6 (2); 2013.
- AJILA, C. M.; BHAT, S. G.; PRASADA RAO, U. J. S. Valuable components of raw and ripe peels from two Indian mango varieties. **Food Chemistry**, Washington, v. 102, n. 4, p. 1006-1011, 2007.
- ANANDARAMAN, S.; REINECCIUS, G.A. Stability of encapsulated orange peel oil. **Food Technology**, v.40, p.88-93, 1986
- ANJO, D. F. A. Alimentos funcionais em angiologia e cirurgia vascular. **Jornal Vascular Brasileiro**, v. 3, n. 2, p. 145-154, 2004.
- ARIZA, E.; Determinación del perfil de compuestos fenólicos en arazá (*Eugenia stipitata*). Universidad Nacional de Colombia, 2012.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - A.O.A.C. **Official Methods of Analysis**. 16 ed. Washington DC, EUA, 1993.
- BAGETTI, M.; FACCO, E.M.P.; PICCOLO, J.; HIRSCH, G.E.; RODRIGUEZ-AMAYA, D.; KOBORI, C.N.; VIZZOTTO, M.; EMANUELLI, T. Physicochemical characterization and antioxidant capacity of pitanga fruits (*Eugenia uniflora* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, 31(1): 147-154, jan.-mar. 2011.
- BARROS, F.A.R.; STRINGHETA, P.C. Microencapsulação de antocianinas. **Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento**, ano IX, p. 18-24, 2006.
- BERNSTEIN, A. **Estudo da cinética de branqueamento, do microencapsulamento por atomização e das propriedades termodinâmicas de sorção de repolho roxo (*Brassica oleracea* L. var. *capitata* L. f. *rubra*)**, Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, BR-RS, 2014.
- BHANDARI, B. R.; DATA, N.; HOWES, T. Problems associated with spray drying of sugar-rich foods. **Drying Technology**, Philadelphia, v. 15, n. 2, p. 671-684, 1997. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/07373939708917253>. Acesso em: 10 de agosto 2015.
- BIRCHAL, V. S.; PASSOS M. L. Modeling and simulation of milk emulsion drying in spray dryers. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, p. 293-302, jan. 2005
- BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. **Lebensmittel Wissenschaft Technology**. v. 22, p. 25-30, 1995.
- BRASIL. ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução nº 398, de 30 de abril de 1999. **Diretrizes básicas para análise e comprovação de propriedades funcionais e ou de saúde alegadas em rotulagem de alimentos**. Ministério da Saúde, Brasília, DF, Brasil, de 03/05/1999.

- BRIONES-LABARCA, V.; VENEGAS-CUBILLOS, G.; ORTIZ-PORTILLA, S.; CHACANA-OJEDA, M.; MAUREIRA, M., Effects of high hydrostatic pressure (HHP) on bioaccessibility, as well as antioxidant activity, mineral and starch contents in Granny Smith apple. **Food Chemistry**, 128 pp 520 - 529, 2011.
- CAETANO, A.C.S.; LIMA, V.L.; MACIEL, M.I.; ARAÚJO, C.R. Extraction of antioxidants from agro-industrial acerola waste. **Brazilian Journal of Food Technology**. Pernambuco, v. 12, n. 2, p. 155-160, abr./jun. 2009.
- CANUTO G., XAVIER A., NEVES L., BENASSI M. Caracterização físico-química de polpas de frutas da Amazonia e sua correlação a atividade anti-radical livre. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.32, n.4, p. 1196-1205; 2010.
- CALEFFI, T.S.L. **Microencapsulação de polpa de amora-preta por coacervação e spray drying**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Programa de Pós-graduação em Engenharia de Alimentos da Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2014.
- CALVO, C.; DURÁN, L. Propiedades Físicas II – Ópticas y Color. **Temas en Tecnología de Alimentos**. Cidade do México: Instituto Politécnico Nacional, v. 1, cap. 7, p. 261-288, 1997.
- CHAVES FLORES, W. B.; CLEMENTE, C. R. Considerações sobre o araçá-boi (*Eugenia stipitata*) na Amazônia Brasileira. **Congresso Brasileiro de Fruticultura**. Florianópolis, p. 167-177, 1984.
- CHUNG, Y. C.; CHIANG, B. H.; WEI, J. H.; WANG, C. K.; CHEN, P. C.; HSU, C. K. Effects of blanching, drying and extraction processes on the antioxidant activity of yam (*Dioscorea alata*). **International Journal of Food Science and Technology**, London, v. 43, n. 5, p. 859-864, 2008.
- COLLARES, F. P.; FINZER, J. R.; KIECKBUSCH, T. G. Glass transition control of the detachment of food pastes dried over glass plates. **Journal of Food Engineering**, v. 61, n.2, p. 261-267, 2004.
- DEYMONAZ, C.; HOBSON, M.; DIAZ, D.; GUIDINGER, N. **Spray drying**. Disponível em: http://www.wsu.edu/gmhyde/433_web_pages/drying-web-pages98/spray-dry/Spray-Drying-intro.htm. Acesso em: 03 setem. 2015.
- DIPLOCK, A. T.; CHARLEUX, J. L.; CROZIER-WILLI, G.; KOK, F. J.; RICE-EVANS, C.; ROBERFROID, M.; STAHL, W.; VIÑA-RIBES, J. Functional food science and defense against reactive oxidative species. **British Journal of Nutrition**, v. 80, supl. 1, p. S77-S12, 1998.
- DOLINSKY, A.; MALETSKAYA, K.; SNEZHKIN, Y. Fruit and vegetable powders production technology on the bases of spray and convective drying methods. **Drying Technology**, v. 18, n. 3, p. 747-758, 2000.
- DUBOIS, M.; GILLES, K. A.; HAMILTON, J. K.; REBERS, P. A.; SMITH, F. Colorimetric Method form Determination of Sugars and Related Substances. **Nature**, v. 28, n. 3, p. 350 — 356, 1956.

FALCÃO, M. A., GALVÃO, R. M., CLEMENT, C. R., FERREIRA, S. A., SAMPAIO, S. G. Fenologia e produtividade do araçá-boi (*Eugenia stipitata*) na Amazônia central. **Acta Amazônica**, 30 (1): 9-21; 2000.

FENNEMA, O.R. Química de Alimentos. Editora Artmed, 900 p. 2010.

FERRARI, C. C.; RIBEIRO, C. P.; AGUIRRE, J. M. Secagem por atomização de polpa de amora-preta usando maltodextrina como agente carreador. **Brazilian of Food Technology**, Campinas, v.15, n.2, p. 157-165, abr/jun.2012.

FERNANDES, J.G.; ABREU N.F.; COSTA, K.; KOBORI, C.N. Caracterização da polpa de Cagaita (*Eugenia dysenterica*) microencapsulada com diferentes materiais de parede e de seus sucos reconstituídos. **XXV Congresso Brasileiro de Ciencia e Tecnologia de Alimentos**. FAURGS-Gramado/RS. 2016

FERREIRA, S. A. N.; GENTIL, D. F. O. Arazá (*Eugenia stipitata*); cultivo y utilización (Manual Técnico). **Ministerio de Cooperación Técnica del Reino de los Países Bajos**. Tratado de Cooperación Amazónica – Secretaria Pro-Tempore, Venezuela, p. 92, 1999.

FITZPATRICK, J. J.; DESCAMPS, N.; O'MEARA, K.; JONES, C.; WALSH, D.; SPITERE, M. Comparing the caking behaviours of skim milk powder, amorphous maltodextrin and crystalline common salt. **Powder Technology**, v. 204, p. 131-137, 2010.

FONSECA, M.; SOUZA VIANA, E.; JESUS, J.; REIS, R.; SACRAMENTO, C. Caracterização físico-química e sensorial de geleia de mamão com araçá-boi. **Revista Brasileira de Fruticultura**. v.34, n.4, p. 1154-1164; 2012.

FRANÇA, R.C. **Caracterização físico-química e atividade antioxidante de pseudofrutos de caju e cajuí nativos do Tocantins**. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) –Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia da Universidade Federal de Tocantins. 2013.

GARCIA-CASAL, M. N.; LAYRISSE, M. Absorción del hierro de los alimentos: Papel de la vitamina A. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, Caracas, v. 48, n. 3, p. 191-195, sept. 1998.

GENTIL, D. F. O.; CLEMENT, C.R. The araza (*Eugenia stipitata*) **Interamerican Society for Tropical Horticulture Proceedings**. Curitiba, 1996, p. 83-89.

HAGERMAN, A. E; ZHAO, Y.; JOHNSON, S. Methods for determination of condensed and hydrolyzable tannins. **ACS Symposium Series**, Washington, v.662, p. 209-222, 1997.

HATAMIPOUR, M. S.; KAZEMI, H. H.; NOORALIVAND, A.; NOZARPOOR A. Drying Characteristics of Six Varieties of Sweet Potatoes in Different Dryers. **Food and Bioproducts Processing**, 85 (C3), p. 171-177, 2007.

HUR, S., LIM, B., DECKER, E., MCCLEMENTS, D. In vitro human digestion models for food applications. **Food Chemistry**, 125, 1-12; 2011.

INSTITUTO NACIONAL AUTÓNOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS (INIA); SECRETARIA NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA (SENACYT). Informe

del proyecto (PIC 05-2006-2-002): “Aprovechamiento del potencial nutritivo y funcionais de algunas frutas de la Amazonía Ecuatoriana”. INIA/SENACYT. Ecuador, Quito, p.8, 2009.

JAFARI, S.M.; ASSADPOOR, E.; HE, Y.; BHANDARI, B. Encapsulation efficiency of food flavors and oils during spray drying. **Drying Technology**, v.26, n.7, p.816-835, 2008.

JARDINI, F.A. **Atividade dos compostos fenólicos antioxidantes da romã (*Punica granatum*, L). Avaliação *in vivo* e em cultura de células**. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas da Universidade de São Paulo, Brasil, 2010.

JULIANO, P.; BARBOSA-CÁNOVAS, G.V. Food powders flowability characterization: Theory, Methods, and Applications. **Annual Review of Food Science and Technology**, v. 1, p. 211-239, 2010.

KUSKOSKI, E.M.; ASUERO, A.G.; TRONCOSO, A.M.; MANCINI-FILHO, J.; FETT, R. Aplicación de diversos métodos químicos para determinar capacidad antioxidante en pulpa de frutas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.25, n.4, p.726-732, 2005.

LABUZA, T.; ROE, K.; PAYNE, C.; PANDA, F.; LABUZA, P. S.; KRUSCH, L. Storage stability of dry food systems: Influence of state changes during drying and storage. In: International Drying Symposium IDS'2004, 14th, 2004, São Paulo, Brazil. **Proceedings**. São Paulo: Ourograf Gráfica e Editora, 2004. v. A, p.48-68.

LEE, S. J. UMANO, K.; SHIBAMOTO, T.; LEE, K. G. Identification of volatile components in basil (*Ocimum basilicum* L.) and thyme leaves (*Thymus vulgaris* L.) and their antioxidant properties. **Food Chemistry**, v. 91, n. 1, p. 137, 2005.

LIMA, A.C.S.; BRITO, S.A.; LINO, K.; SABINO DE SOUSA, L.B.; FIGUEIREDO, R.W.; SOUSA, P.H.M.; CAVALCANTE, C.L.S.; OLIVEIRA, L.M.L.; SANTOS, S.E.B. Comparação do teor total de compostos fenólicos totais em suco integral de caju com seu percentual bioacessível após digestão gastrointestinal simulada. **Congresso Brasileiro de Química N° LIV**. Natal- Rio Grande do Norte, 2014

MANELA-AZULAY, M.; LACERDA, C. A. M.; PEREZ, M. A.; FILGUEIRA, A. L.; CUZZI, T. Vitamina C. **Anais Brasileiros de Dermatologia**, Rio de Janeiro, v. 78, n. 3, p. 265-274, 2003.

Mc NAMEE, B.F.; O'RIORDAN, E.D.; O'SULLIVAN, M. Emulsification and microencapsulation properties of gum arabic. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v.46, p.4551-4555,1998.

NERI-NUMA, I.A., CARVALHO-SILVA, L.B., MORALES, J.P., MALTA, L.G., MURAMOTO, M.T., FERREIRA, J.E.M., DE CARVALHO, J.E., RUIZ, A.L.T.G., MARÓSTICA JUNIOR, M.R.; PASTORE, G.M.,. Evaluation of the antioxidant, antiproliferative and antimutagenic potential of aracá-boi fruit (*Eugenia stipitata*) of the Brazilian Amazon Forest. **Food Research International** , v. 50, p.70–76, 2013.

MAXCHEIX, J. J.; FLEURIET, A.; BILLOT, J. The main phenolics of fruits. In Fruit Phenolics; **CRC Press**: Boca Raton, FL, 1990; p. 1-98.

MESTRY, A.P.; MUJUMDAR, A. S; THORAT, B.N. Optimization of Spray Drying of an innovative functional food: Fermented mixed juice of carrot and watermelon. **Drying Technology**, v. online, p. 1-11, 2011.

MORAES, F.P. **Polpa desidratada de caju amarelo (*Anacardium occidentale L.*) por atomização em *spray dryer*: Caracterização físico-química, bioativa e estudo da vida de prateleira do produto**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Química da Universidade do Rio Grande do Norte, Natal, 65-84. 2014.

MOREIRA AVB, MANCINI-FILHO J. Influência dos compostos fenólicos de especiarias sobre a lipoperoxidação e o perfil lipídico de tecidos de ratos. **Revista de Nutrição**. v.17 (4):p. 411-24, 2004.

NACZK, M.; SHAHIDI, F. Extraction and analysis of phenolics in food. **Journal of Chromatography A**, Amsterdam, v. 1054, n. 1-2, p. 95-111, 2004.

OBANDA, M.; OWUOR, P.O. Flavanol Composition and Caffeine Content of Green Leaf as Quality Potential Indicators of Kenyan Black Teas. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v.74, p.209-215, 1997.

OLIVEIRA, M. I. S.; TONON, R. V.; CABRAL, L. M. C. Estabilidade da polpa de morango atomizada utilizando diferentes agentes carreadores. **Brazilian of food technology**, Campinas, v. 16, n. 4, p. 310-318, out./dez. 2013.

OLIVEIRA, O.; PETROVICK, P.R. Secagem por aspersão (*spray drying*) de extratos vegetais: bases e aplicações. **Revista Brasileira de Farmacognosia**. v. 20, n.4, p. 641-650, 2010.

PAVAN, V.; SANCHO-SORIANO, R.A.; PASTORE, G. M. The effect of in vitro digestion on the antioxidant activity of fruit extracts (*Carica papaya*, *Artocarpus heterophyllus* and *Annona marcgravii*). **Food Science and Technology**. 59 (2014) 1247-1251, 2014.

PESCHEL, W.; SÁNCHEZ-RABANEDA, F.; DIEKMANN, W.; PLESCHER, A.; GARTZIA, I.; JIMÉNEZ, D.; LAMUELARAVENTÓS, R.; BUXADERAS, S.; CODINA, C. An industrial approach in the search of natural antioxidants from vegetable and fruit wastes. **Food Chemistry**, Washington, v. 97, n. 1, p. 137-150, 2006.

PEIGHAMBARDOUST, S.H.; GOLSHAN TAFTI, A. E.; HESARI, J. Application of spray drying for preservation of lactic acid starter cultures: a review. **Trends in Food Science and Technology**, p. 1-10, 2011.

PEREIRA, A.S.G. **Avaliação da bioacessibilidade de compostos antioxidantes em variedades de maçã produzidas em Portugal**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia e segurança Alimentar) - Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa. 2014.

PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; ARRANZ, S.; TABERNERO, M.; DÍAZ RUBIO, M. E.; SERRANO, J.; GONI, I.; SAURA-CALIXTO, F. Updated methodology to determine antioxidant capacity

in plant, food, oils and beverages: extraction, measurement and expression of results. **Food Research International**, Toronto, v. 41, n. 3, p. 274-285, 2008.

PIZZI, A. Wood adhesives: chemistry and technology. **New York**: Marcell Dekker, p 364.1983.

POLLONIO, M. A. R. Alimentos funcionais: As recentes tendências e os envoltos no consumo. **Higiene Alimentar**, v. 14, p. 26-31, 2000.

PORCU, O.M.; XAVIER, D. Prospecção de substâncias bioativas em polpa de goiaba microencapsulada. **Congresso Brasileiro de Engenharia Química N° XX**. Florianópolis/SC.2014.

PULIDO, R.; BRAVO, L.; SAURA-CALIXTO, F. Antioxidant activity of dietary as determined by a modified ferric reducing/antioxidant power assay. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v. 48, p. 3396-3402, 2000.

QI, Z.H.; XU, A. Starch-based ingredients for flavor encapsulation. **Cereal Foods World**, v.44, n.7, p.460- 465, 1999.

RANDALL, R.C.; PHILLIPS, G.O.; WILLIAMS, P.A. The role of the proteinaceous component on the emulsifying properties of gum arabic. **Food Hydrocolloids**, v.2, n.2, p.131-140, 1988.

RASTEIRO, E.M.N. **Avaliação das propriedades antioxidantes e antimutagénicas de diferentes cultivares de *Vaccinium spp*, do grupo “Southern Highbush”, produzidas em Portugal**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia e Segurança Alimentar) - Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Portugal, 2012.

RÉ, M. I. Microencapsulation by spray drying. **Drying Technology**, v. 16, p. 1195-1236, 1998.

RECORD, I., LANE, J. Simulated intestinal digestion of green and black teas. **Food Chemistry**, v. 73, p.481-486; 2001.

RIZZON, L. A.; LINK, M. Composição do suco de uva caseiro de diferentes cultivares. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 2, p. 689-692, 2006.

RODRÍGUEZ, E., BASTIDAS, P. Evaluación del proceso de cocción para obtener confite duro a partir de pulpa de arazá (*Eugenia Stipitata*). **Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal**. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia; 2009.

ROOS, Y.H. Glass transition temperature and its relevance in food processing. **Annual Review of Food Science and Techology**, v.1, p. 469-496, 2010.

ROOS, Y.H. Glass transition related physicochemical changes in foods. **Food Technology**, v. 49, n. 10, p. 97-102, 1995

RUFINO, M.; ALVES, R.; BRITO, E.; MORAIS, S.; SAMPAIO, C.; JIMÉNEZ, J.; CALIXTO, F. Metodologias Científicas: Determinação da Atividade Antioxidante Total em Frutas pela Captura do Radical Livre ABTS+, DPPH e FRAP. **Comunicado Técnico**. SSN 1679-6535. Fortaleza, CE. Julho, Brasil 2007.

SACRAMENTO C. K., BARRETO W.S., FARIA J. C. Araçá-boi, uma alternativa para agroindústria. **Revista Bahia Agrícola**. v.8, n.2, ISSN 1414 - 2368; 2008.

SILVA, M.S.; ALVES, R.E; COÊLHO, M.A. Polifenóis extraíveis totais e atividade antioxidante de uvas ‘brs’ clara e ‘brs’ morena produzidas no Ceará. **III Simpósio Brasileiro De Poscolheita** – SPC- 2011.

SILVA, R.S.; VENDRUSCOLO, J.L.; TOLLARES, R.P.; Avaliação da capacidade antioxidante em frutas produzidas na região sul do RS. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.17, n.3-4, p.392-400, jul-set, 2011.

SOARES, E. **Caracterização de aditivos para secagem de araçá-boi (*Eugenia stipitata*) em leite de espuma**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Programa de Pós- Graduação em Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB, Itapetinga- Bahia-Brasil, 2009.

SOUZA, S.P.M.C. **Determinação do teor de cálcio através da termogravimetria em medicamentos utilizados no tratamento da osteoporose: um estudo comparativo**. Dissertação (Mestrado em Química) – Programa de Pós-graduação em Química da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 114. 2011

TEIXEIRA T.; OLIVEIRA A.; RAMOS A. Efeitos da temperatura e concentração nas propriedades físicas da polpa de araçá-boi. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, Curitiba, v. 31, n, p. 275-284; 2013.

TIVERON, A.P. **Atividade antioxidante e composição fenólica de legumes e verduras consumidos no brasil**. Dissertação de mestrado apresentada à Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura "Luis de Queiroz". Piracicaba.Brasil.102.p, 2010

THEVENET, F. **Acacia gums: natural encapsulation agent for food ingredients**. In: RISCH, S.J.; REINECCIUS, G.A. Encapsulation and controlled release of food ingredients. Washington, DC: ACS, 1995. p.51-90.

TONON, R.V; BRABER, C.; HUBINGER, M.D. Aplicação da secagem por atomização para a obtenção de produtos funcionais com alto valor agregado a partir do açaí. **Revista Brasileira de Inclusão Social**. v. 6 n. 2, p.70-76, jan./jun. 2009 - UNICAMP-SP.

VAREA, S.; GARCÍA-VALLEJO, M. C.; CADAHÍA, E. e SIMÓN, B. F. d. Polyphenols susceptible to migrate from cork stoppers to wine. **European Food Research and Technology**. v.213, p. 56–61, 2001.

VASCO, C., RUALES, J., KAMAL-ELDIN, A. Total phenolic compounds and antioxidant capacities of major fruits from Ecuador. **Food Chemistry**.v. 111, p. 816–823, 2008.

VILA JATO, J.L. **Tecnología Farmacéutica**. v. 1. Síntesis. S.A., Madrid. Capítulo 10, 1997.

VILSTRUP, P. **Microencapsulation of Food Ingredients**. Leatherhead International Limited, Surrey, UK, p. 1-47, 2004.

VOLPE, A.C.; SHOFFELE, R.; BARBOSA, J.C. Influencia da soma térmica e da chuva durante o desenvolvimento de laranjas “Valencia” e “Natal” na relação entre sólidos solúveis e acidez e no índice tecnológico do suco. **Revista Brasileira de Fruticultura**. v.24, p.436-441, ago.2002

WAGNER, L.A.; WARTHESEN, J.J. Stability of spraydried encapsulated carrot carotenes. **Journal of Food Science**. v.60, n.5, p.1048-1053, 1995.

XU, B.J.; CHANG, S.K.C. A comparative study on phenolic profiles and antioxidant activities of legumes as affected by extraction solvents. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 72, n. 2, p. 159-166, 2007.

YOUSEFI, S.; EMAM-DJOMEH, Z.; MOUSAVI, S. M. Effect of carrier type and spray drying on the physicochemical properties of powdered and reconstituted pomegranate juice (*Punica Granatum L.*). **Journal of Food Science and Technology**, v. online, p. 1-8, 2010.

APÊNDICE

Tabela 22 — Dados obtidos na elaboração da curva padrão de ácido gálico para quantificar os polifenóis totais

N	Volume da solução padrão (µL)	Volume de água (µL)	Concentração de Ácido gálico (µg/mL)	Absorbâncias (Branco = 0,003)		
				R1	R2	R3
1	0,000	1000,0	0,0	0,001	0,003	0,004
2	166,7	833,3	10,0	0,156	0,151	0,144
4	500,0	500,0	30,0	0,524	0,529	0,499
5	666,7	333,3	40,0	0,689	0,680	0,705
6	833,3	166,7	50,0	0,875	0,886	0,850
7	1000,0	0,00	60,0	0,998	1,021	1,036

Tabela 23 — Dados obtidos na elaboração da curva padrão de sulfato ferroso para quantificar a capacidade antioxidante pelo método FRAP

N	Volume da solução padrão (µL)	Volume de água (µL)	Concentração de Sulfato ferroso (µM)	Absorbâncias (Branco = 0,0565)		
				R1	R2	R3
1	125	875	250	0,115	0,091	0,103
2	375	625	750	0,366	0,362	0,364
3	500	500	1000	0,464	0,493	0,479
4	750	250	1500	0,727	0,757	0,742
5	1000	0,00	2000	1,050	1,027	1,039

Tabela 24 — Dados obtidos na elaboração da curva padrão de Trolox para quantificar a capacidade antioxidante pelo método ABTS

N	Volume da solução padrão (µL)	Volume de etanol (µL)	Concentração do Trolox (µM)	Absorbância Original			Absorbância média corrigida (ATBS inicial = 0,614)
				R1	R2	R3	
1	50	950	100	0,600	0,575	0,592	0,025
2	100	900	200	0,580	0,556	0,578	0,043
3	400	600	800	0,450	0,423	0,463	0,169
4	600	400	1200	0,382	0,379	0,355	0,242
5	1000	0,00	2000	0,195	0,199	0,229	0,406

Tabela 25 — Dados obtidos na elaboração da curva padrão de DPPH para quantificar a capacidade antioxidante pelo método DPPH

N	Volume da solução padrão (µL)	Volume de metanol (µL)	Concentração do DPPH (µM)	Absorbâncias		
				R1	R2	R3
1	0,00	5000	0	0,000	0,000	0,000
2	833	4167	10	0,093	0,094	0,090
3	1667	3333	20	0,209	0,197	0,217
4	2500	2500	30	0,308	0,323	0,325
5	3333	1667	40	0,427	0,435	0,417
6	4167	833	50	0,542	0,532	0,532
7	5000	0,00	60	0,647	0,636	0,658

Tabela 26 — Absorbâncias na quantificação de polifenóis totais da polpa de araçá-boi usando como solvente solução de etanol 80 % v/v em água

N	FD	Volume do extrato (μL)	Volume de água (μL)	Absorbâncias		
				R1	R2	R3
1	8,0	125	875	0,467	0,557	0,552
2	10,0	100	900	0,420	0,416	0,466
3	20,0	50,0	950	0,239	0,220	0,237

FD = Fator de diluição

Tabela 27 — Absorbâncias na quantificação de polifenóis totais da polpa de araçá-boi usando como solvente a solução composta de uma proporção (50:50) de metanol (50 % v/v em água) e acetona (70 % v/v em água)

N	FD	Volume do extrato (μL)	Volume de água (μL)	Absorbâncias		
				R1	R2	R3
1	8,0	125	875	0,682	0,673	0,675
2	10,0	100	900	0,528	0,579	0,554
3	20,0	50,0	950	0,288	0,323	0,305

FD = Fator de diluição

Tabela 28 — Absorbâncias na quantificação da capacidade antioxidante pelo método FRAP da polpa de araçá-boi usando como solvente solução de etanol 80 % v/v em água

N	FD	Volume de extrato (μL)	Volume de água (μL)	Absorbâncias		
				R1	R2	R3
1	10,0	100	900	0,200	0,197	0,199
2	5,0	200	800	0,419	0,397	0,408
3	2,0	500	500	0,840	0,879	0,860

FD = Fator de diluição

Tabela 29 — Absorbâncias na quantificação da capacidade antioxidante pelo método FRAP da polpa de araçá-boi usando como solvente a solução composta de uma proporção (50:50) de metanol (50 % v/v em água) e acetona (70 % v/v em água)

N	FD	Volume do extrato (μL)	Volume de água (μL)	Absorbância		
				R1	R2	R3
1	10,0	100	900	0,283	0,257	0,270
2	5,0	200	800	0,591	0,562	0,577
3	2,0	500	500	1,260	1,276	1,268

FD = Fator de diluição

Tabela 30 — Absorbâncias na quantificação da capacidade antioxidante pelo método ABTS da polpa de araçá-boi usando como solvente solução de etanol 80 % v/v em água

N	FD	Volume do extrato (μL)	Volume de etanol (μL)	Absorbância original			Absorbância média corrigida (ABTS inicial = 0,614)
				R1	R2	R3	
1	10,0	100	900	0,596	0,580	0,567	0,025
2	5,0	200	800	0,538	0,571	0,526	0,043
3	3,3	300	700	0,510	0,498	0,509	0,169
4	2,5	400	600	0,469	0,435	0,479	0,242
5	2,0	500	500	0,437	0,430	0,449	0,406

FD = Fator de diluição

Tabela 31 — Absorbâncias na quantificação da capacidade antioxidante pelo método ABTS da polpa de araçá-boi usando como solvente a solução composta de uma proporção (50:50) de metanol (50 % v/v em água) e acetona (70 % v/v em água)

N	FD	Volume do extrato (μL)	Volume de etanol (μL)	Absorbância original			Absorbância média corrigida (ABTS inicial = 0,614)
				R1	R2	R3	
1	10,0	100	900	0,557	0,514	0,554	0,0723
2	5,0	200	800	0,452	0,446	0,465	0,1597
3	3,3	300	700	0,373	0,351	0,351	0,2557
4	2,5	400	600	0,312	0,306	0,311	0,3043
5	2,0	500	500	0,228	0,243	0,230	0,3803

FD = Fator de diluição

Tabela 32 — Absorbâncias na quantificação da capacidade antioxidante pelo método DPPH da polpa de araçá-boi usando como solvente solução de etanol 80 % v/v em água

N	FD	Volume do extrato (mL)	Volume de metanol (mL)	Absorbância original (DPPH inicial = 0,635)		
				R1	R2	R3
1	2,0	2,5	2,5	0,190	0,171	0,159
2	8,0	0,6	4,4	0,476	0,441	0,470
3	16,0	0,3	4,7	0,527	0,524	0,526

FD = Fator de diluição

Tabela 33 — Absorbâncias na quantificação da capacidade antioxidante pelo método DPPH da polpa de araçá-boi usando como solvente a solução composta de uma proporção (50:50) de metanol (50 % v/v em água) e acetona (70 % v/v em água)

N	FD	Volume do extrato (mL)	Volume de metanol (mL)	Absorbância original (DPPH inicial = 0,635)		
				R1	R2	R3
1	2,0	2,5	2,5	0,027	0,043	0,032
2	10,0	0,5	4,5	0,395	0,395	0,404
3	16,0	0,3	4,7	0,464	0,468	0,456

FD = Fator de diluição

Tabela 34 — Absorbâncias na quantificação de polifenóis totais das micropartículas da polpa de araçá-boi do recipiente do *mini* atomizador, e da Goma arábica

Amostra	Massa (g)	Volume da diluição (mL)	FD	Absorbâncias		
				R1	R2	R3
GA-20 % -100°C	1,00	30,0	2,0	0,593	0,588	0,572
GA-20 % -120°C	1,00	30,0	2,0	0,535	0,516	0,540
GA-10 % -120°C	0,50	30,0	2,0	0,580	0,585	0,598
MD-10 % -120°C	0,50	30,0	2,0	0,459	0,459	0,465
MD- 20 % -120°C	1,00	30,0	2,0	0,330	0,346	0,332
MD- 20 % -100°C	1,00	30,0	2,0	0,826	0,855	0,841
Goma arábica (GA)	1,00	30,0	2,0	0,276	0,265	0,280

Tabela 35 — Absorbâncias na quantificação de polifenóis totais das micropartículas da polpa de araçá-boi retidas da câmara de secagem do *mini* atomizador, e da Maltodextrina

Amostra	Massa (g)	Volume da diluição (mL)	FD	Absorbâncias		
				R1	R2	R3
GA- 20 % - 100 °C	1,00	30,0	2,0	0,742	0,761	0,723
GA- 20 % -120 °C	1,00	30,0	2,0	0,653	0,648	0,658
GA- 10 % - 120 °C	0,25	30,0	2,0	0,241	0,245	0,243
MD-10 % - 120 °C	0,25	30,0	2,0	0,293	0,293	0,287
MD- 20 % - 120°C	1,00	30,0	2,0	0,462	0,447	0,473
MD- 20 % - 100 °C	1,00	30,0	2,0	0,325	0,336	0,328
Maltodextrina (MD)	1,00	30,0	2,0	0,000	0,000	0,000

Tabela 36 — Absorbâncias na quantificação da capacidade antioxidante pelo método FRAP das micropartículas da polpa de araçá-boi do recipiente do *mini* atomizador, e da Goma arábica

Amostra	Massa (g)	Volume da diluição (mL)	Absorbâncias		
			R1	R2	R3
GA- 20 % - 100 °C	1,00	30,0	0,484	0,488	0,480
GA- 20 % - 120 °C	1,00	30,0	0,637	0,671	0,704
GA- 10 % - 120 °C	0,50	30,0	0,848	0,797	0,898
MD-10 % - 120 °C	0,50	30,0	0,737	0,750	0,724
MD- 20 % - 120 °C	1,00	30,0	0,630	0,656	0,643
MD- 20 % -100 °C	1,00	30,0	0,634	0,624	0,643
Goma arábica (GA)	1,00	30,0	0,119	0,110	0,127

Tabela 37 — Absorbâncias na quantificação da capacidade antioxidante pelo método FRAP das micropartículas das micropartículas da polpa de araçá-boi retidas da câmara de secagem do *mini* atomizador.

Amostra	Massa (g)	Volume da diluição (mL)	Absorbâncias		
			R1	R2	R3
GA- 20 % - 100 °C	1,00	30,0	0,745	0,727	0,762
GA- 20 % - 120 °C	1,00	30,0	1,059	1,030	1,001
GA- 10 % - 120 °C	0,25	30,0	0,443	0,462	0,453
MD- 10 % - 120 °C	0,25	30,0	0,574	0,599	0,587
MD- 20 % - 120 °C	1,00	30,0	1,093	1,080	1,073
MD- 20 % - 100 °C	1,00	30,0	0,792	0,794	0,796

Tabela 38 — Absorbâncias na quantificação da capacidade antioxidante pelo método ABTS das micropartículas da polpa de araçá-boi do recipiente do *mini* atomizador, e da Goma arábica

Amostra	Massa (g)	Volume da diluição (mL)	Absorbância original			Absorbância corrigida (ABTS inicial = 0,617; 0,562*)		
			R1	R2	R3	A1	A2	A3
GA- 20 % - 100 °C	0,92	25,0	0,427	0,414	0,396	0,190	0,203	0,221
GA- 20 % - 120 °C	0,95	25,0	0,430	0,396	0,405	0,187	0,221	0,212
GA- 10 % - 120 °C	0,26	25,0	0,458	0,461	0,454	0,160	0,156	0,163
MD- 10 % - 120 °C	0,47	25,0	0,495	0,485	0,476	0,122	0,132	0,141
MD- 20 % - 120 °C	0,90	25,0	0,440	0,421	0,420	0,177	0,196	0,197
MD- 20 % - 100 °C	1,02	25,0	0,427	0,405	0,400	0,190	0,212	0,217
Goma arábica* (GA)	0,50	25,0	0,553	0,554	0,554	0,005	0,008	0,008

Tabela 39 — Absorbâncias na quantificação da capacidade antioxidante pelo método ABTS das micropartículas das micropartículas das micropartículas da polpa de araçá-boi retidas da câmara de secagem do *mini* atomizador

Amostra	Massa (g)	Volume da diluição (mL)	Absorbância original			Absorbância corrigida (ABTS inicial = 0,620)		
			R1	R2	R3	A1	A2	A3
GA- 20 % - 100 °C	0,51	25,0	0,425	0,434	0,415	0,196	0,186	0,205
GA- 20 % - 120 °C	0,73	25,0	0,449	0,437	0,429	0,171	0,183	0,191
GA- 10 % - 120 °C	0,10	25,0	0,494	0,497	0,491	0,126	0,123	0,129
MD- 10 % - 120 °C	0,12	25,0	0,501	0,499	0,503	0,119	0,121	0,117
MD- 20 % - 120 °C	0,71	25,0	0,417	0,413	0,421	0,203	0,207	0,199
MD- 20 % - 100 °C	0,51	25,0	0,454	0,459	0,436	0,166	0,161	0,184

Tabela 40 — Absorbâncias na quantificação da capacidade antioxidante pelo método DPPH da polpa de araçá-boi do recipiente do *mini* atomizador, e da Goma arábica

Amostra	Massa (g)	Volume da diluição (mL)	Concentração do extrato (mg pó/mL água)	Absorbâncias (DPPH inicial = 0,579; 0,632*)		
				R1	R2	R3
GA- 20 % - 100 °C	0,50	30,0	16,67	0,445	0,444	0,442
GA- 20 % - 120 °C	0,50	30,0	16,67	0,450	0,454	0,455
GA- 10 % - 120 °C	0,37	30,0	12,18	0,414	0,402	0,408
MD- 10 % - 120 °C	0,46	30,0	15,39	0,355	0,355	0,354
MD- 20 % - 120 °C	0,50	30,0	16,67	0,467	0,468	0,465
MD- 20 % - 100 °C	0,50	30,0	16,67	0,437	0,434	0,430
Goma arábica* (GA)	1,00	30,0	33,33	0,618	0,618	0,618

Tabela 41 — Absorbâncias na quantificação da capacidade antioxidante pelo método DPPH das micropartículas das micropartículas das micropartículas da polpa de araçá-boi retidas da câmara de secagem do *mini* atomizador

Amostra	Massa (g)	Volume da diluição (mL)	Concentração do extrato (mg pó/mL água)	Absorbâncias (DPPH inicial = 0,368)		
				R1	R2	R3
GA- 20%-100°C	0,50	25,0	20,00	0,271	0,271	0,270
GA- 20%-120°C	0,50	25,0	20,00	0,265	0,266	0,264
GA- 10%-120°C	0,17	25,0	7,00	0,285	0,286	0,283
MD-10%-120°C	0,30	25,0	11,93	0,247	0,249	0,245
MD-20%-120°C	0,50	25,0	20,00	0,277	0,276	0,277
MD-20%-100°C	0,50	25,0	20,00	0,286	0,286	0,285

Tabela 42 — Absorbâncias na quantificação de polifenóis totais das micropartículas da polpa de araçá-boi do recipiente do *mini* atomizador, e da Goma arábica, após a simulação da digestão gastrointestinal *in vitro*

Amostra	Massa (g)	Volume do filtrado (mL)	FD	Absorbâncias		
				R1	R2	R3
GA- 20 % - 100 °C	1,00	53,0	1,0	0,406	0,414	0,418
GA- 20 % - 120 °C	1,00	38,0	1,0	0,494	0,497	0,501
GA- 10 % - 120 °C	0,37	32,0	1,0	0,400	0,412	0,400
MD- 10 % - 120 °C	0,57	34,0	1,0	0,527	0,537	0,533
MD-20 % - 120 °C	1,00	40,0	1,0	0,376	0,361	0,368
MD- 20 % - 100 °C	1,00	40,0	1,0	0,553	0,582	0,558
Goma arábica (GA)	1,00	47,0	1,0	0,312	0,310	0,312

Tabela 43 — Absorbâncias na quantificação de polifenóis totais das micropartículas da polpa de araçá-boi retidas na câmara de secagem do *mini* atomizador, e da Goma arábica, após a simulação da digestão gastrointestinal *in vitro*

Amostra	Massa (g)	Volume do filtrado (mL)	FD	Absorbâncias		
				R1	R2	R3
GA- 20 % -100 °C	1,00	49,0	1,0	0,600	0,581	0,588
GA- 20 % - 120 °C	1,00	50,0	1,0	0,648	0,632	0,638
GA- 10 % - 120 °C	0,27	39,0	1,0	0,477	0,482	0,481
MD- 10 % - 120 °C	0,16	30,0	1,0	0,372	0,365	0,362
MD- 20 % -120 °C	1,00	37,0	1,0	0,630	0,614	0,612
MD- 20 % -100 °C	1,00	40,0	1,0	0,535	0,537	0,539

Tabela 44 — Absorbâncias na quantificação da capacidade antioxidante pelo método FRAP das micropartículas da polpa de araçá-boi do recipiente do *mini* atomizador, e da Goma arábica, após a simulação da digestão gastrointestinal *in vitro*

Amostra	Massa (g)	Volume do filtrado (mL)	Absorbâncias		
			R1	R2	R3
GA- 20 % - 100 °C	1,00	53,0	0,081	0,080	0,081
GA- 20 % - 120 °C	1,00	38,0	0,274	0,262	0,249
GA- 10 % - 120 °C	0,37	32,0	0,183	0,178	0,189
MD- 10 % - 120 °C	0,57	34,0	0,352	0,360	0,359
MD- 20 % - 120 °C	1,00	40,0	0,139	0,147	0,143
MD- 20 % - 100 °C	1,00	40,0	0,408	0,405	0,410
Goma arábica (GA)	1,00	47,0	0,020	0,028	0,022

Tabela 45 — Absorbâncias na quantificação da capacidade antioxidante pelo método FRAP das micropartículas da polpa de araçá-boi retidas na câmara de secagem do *mini* atomizador, e da Goma arábica, após a simulação da digestão gastrointestinal *in vitro*

Amostra	Massa (g)	Volume do filtrado (mL)	Absorbâncias		
			R1	R2	R3
GA- 20 % - 100 °C	1,00	49,0	0,206	0,200	0,193
GA- 20 % - 120°C	1,00	50,0	0,209	0,207	0,203
GA- 10 % - 120 °C	0,27	39,0	0,156	0,162	0,159
MD- 10 % - 120 °C	0,16	30,0	0,190	0,186	0,189
MD- 20 % - 120 °C	1,00	37,0	0,276	0,282	0,284
MD- 20 % - 100 °C	1,00	40,0	0,133	0,138	0,143

Tabela 46 — Absorbâncias na quantificação da capacidade antioxidante pelo método ABTS das micropartículas da polpa de araçá-boi do recipiente do *mini* atomizador, e da Goma arábica, após a simulação da digestão gastrointestinal *in vitro*

Amostra	Massa (g)	Volume do filtrado (mL)	Absorbância original			Absorbância corrigida (ABTS inicial = 0,615; 0,562*)		
			R1	R2	R3	A1	A2	A3
GA- 20 % - 100 °C	1,00	53,0	0,445	0,440	0,434	0,170	0,176	0,181
GA- 20 % - 120 °C	1,00	38,0	0,424	0,419	0,414	0,191	0,196	0,201
GA- 10 % - 120 °C	0,37	32,0	0,449	0,444	0,447	0,166	0,171	0,169
MD- 10 % - 120 °C	0,57	34,0	0,401	0,405	0,397	0,214	0,210	0,218
MD- 20 % - 120 °C	1,00	40,0	0,414	0,413	0,417	0,201	0,202	0,198
MD- 20 % - 100 °C	1,00	40,0	0,351	0,360	0,341	0,265	0,255	0,274
Goma arábica* (GA)	1,00	47,0	0,555	0,555	0,555	0,007	0,007	0,007

Tabela 47 — Absorbâncias na quantificação da capacidade antioxidante pelo método ABTS das micropartículas da polpa de araçá-boi retidas na câmara de secagem do *mini* atomizador, e da Goma arábica, após a simulação da digestão gastrointestinal *in vitro*

Amostra	Massa (g)	Volume do filtrado (mL)	Absorbância original			Absorbância corrigida (ABTS inicial = 0,615)		
			R1	R2	R3	A1	A2	A3
GA- 20 % - 100 °C	1,00	49,0	0,443	0,449	0,436	0,173	0,166	0,179
GA- 20 % - 120 °C	1,00	50,0	0,469	0,473	0,464	0,147	0,142	0,151
GA- 10 % - 120 °C	0,27	39,0	0,470	0,473	0,466	0,146	0,142	0,149
MD- 10 % - 120 °C	0,16	30,0	0,505	0,500	0,503	0,110	0,115	0,113
MD- 20 % - 120 °C	1,00	37,0	0,466	0,454	0,460	0,149	0,161	0,155
MD- 20 % - 100 °C	1,00	40,0	0,461	0,457	0,465	0,154	0,158	0,150

Tabela 48 — Absorbâncias na quantificação da capacidade antioxidante pelo método DPPH das micropartículas da polpa de araçá-boi do recipiente do *mini* atomizador, e da Goma arábica, após a simulação da digestão gastrointestinal *in vitro*

Amostra	Massa (g)	Volume do filtrado (mL)	Concentração do extrato (mg pó/mL água)	Absorbâncias (DPPH inicial = 0,444; 0,588*)		
				R1	R2	R3
GA- 20 % - 100 °C	1,00	53,0	18,87	0,410	0,410	0,410
GA- 20 % - 120 °C	1,00	38,0	26,32	0,366	0,366	0,365
GA- 10 % - 120 °C	0,37	32,0	11,43	0,392	0,391	0,392
GA- 10 % - 120 °C	0,57	34,0	16,79	0,354	0,353	0,354
GA- 20 % - 120 °C	1,00	40,0	25,00	0,371	0,370	0,371
GA- 20 % - 100 °C	1,00	40,0	25,00	0,362	0,363	0,362
Goma arábica* (GA)	1,00	47,0	21,28	0,583	0,582	0,582

Tabela 49 — Absorbâncias na quantificação da capacidade antioxidante pelo método DPPH das micropartículas da polpa de araçá-boi retidas na câmara de secagem do *mini* atomizador, e da Goma arábica, após a simulação da digestão gastrointestinal *in vitro*

Amostra	Amostra (g)	Volume filtrado (mL)	Concentração do extrato (mg pó/mL água)	Absorbâncias (DPPH inicial = 0,588)		
				R1	R2	R3
GA- 20 % - 100 °C	1,00	49,00	20,41	0,541	0,541	0,541
GA- 20 % - 120 °C	1,00	50,0	20,00	0,543	0,542	0,543
GA- 10 % - 120 °C	0,27	39,0	6,90	0,515	0,517	0,518
MD- 10 % - 120 °C	0,16	30,0	5,44	0,520	0,520	0,517
MD- 20 % - 120 °C	1,00	37,0	27,03	0,511	0,510	0,510
MD- 20 % - 100 °C	1,00	40,0	25,00	0,539	0,540	0,539

