



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

**TAMNA JOANAN FARIAS LIMA GUEDES**

**CARACTERIZAÇÃO BIOATIVA E ATIVIDADE  
ANTIOXIDANTE DE FRUTOS E SUBPRODUTOS  
DE ACEROLA VERDE: INFLUÊNCIA DE MATRIZES  
ENCAPSULANTES E DOS PARÂMETROS DE PROCESSO**

**São Cristóvão/SE**

**2018**



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

**TAMNA JOANAN FARIAS LIMA GUEDES**

**CARACTERIZAÇÃO BIOATIVA E ATIVIDADE  
ANTIOXIDANTE DE FRUTOS E SUBPRODUTOS  
DE ACEROLA VERDE: INFLUÊNCIA DE MATRIZES  
ENCAPSULANTES E DOS PARÂMETROS DE PROCESSO**

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

Orientador: Prof. Dr. Narendra Narain

SÃO CRISTOVÃO/SE

2018

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**

G924c Guedes, Tamna Joanan Farias Lima.  
Caracterização bioativa e atividade antioxidante de frutos e subprodutos de acerola verde: influência de matrizes encapsulantes e dos parâmetros de processo através da secagem por spray dryer / Tamna Joanan Farias Lima Guedes; orientador Narendra Narain . – São Cristóvão, 2018.  
115 f.; il.

Dissertação (mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos)– Universidade Federal de Sergipe, 2018.

1. Acerola. 2. Compostos bioativos. 3. Antioxidantes. I. Narain, Narendra, orient. II. Título.

CDU 634.674

**TAMNA JOANAN FARIAS LIMA GUEDES**

**CARACTERIZAÇÃO BIOATIVA E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE  
DE FRUTOS E SUBPRODUTOS DE ACEROLA VERDE:  
INFLUÊNCIA DE MATRIZES ENCAPSULANTES E DOS  
PARÂMETROS DE PROCESSO ATRAVES DA SECAGEM POR  
SPRAY DRYER**

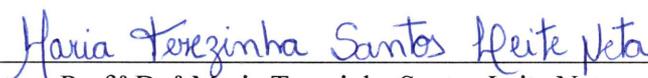
Dissertação de mestrado aprovada no  
Programa de Pós-graduação em Ciência  
e Tecnologia de Alimentos em 30 de  
Julho de 2018.

**BANCA EXAMINADORA**



---

Prof. Dr. Narendra Narain  
Orientador / PROCTA - UFS



---

Prof.ª Dr.ª Maria Terezinha Santos Leite Neta  
1º. Examinador/PROCTA - UFS



---

Prof. Dr. João Antônio Belmino dos Santos  
2º. Examinador / DTA - UFS

São Cristóvão - SE  
2018

*A Deus, sem Ele nada seria possível.*

*Aos meus pais e irmão.*

*Ao meu esposo, Ricardo.*

## AGRADECIMENTOS

Esta dissertação não é apenas mérito meu. Nestas linhas posso mencionar os outros responsáveis, cada um com seu papel e importância para a materialização deste trabalho.

A Deus, por me dar força de vontade de correr atrás daquilo que sempre acredito.

Ao meu orientador, Professor Dr. Narendra Narain, que mesmo não conhecendo me aceitou, dando oportunidade para a concretização deste trabalho. Muito obrigada.

A Niagro Nicherei, pela ajuda na aquisição da matéria-prima.

A Técnica do LC e amiga Paula, pela troca de ideias, pelas sugestões, companheirismo, dividindo comigo momentos difíceis e felizes.

As Técnicas do GC, Juliete e Airla pela colaboração na realização das análises.

A Hannah, por toda ajuda na execução dos ensaios no Spray Dryer.

A Ubatã, pela ajuda na captura das imagens no microscópio óptico.

A Ester e Taciani, alunas de Iniciação Científica, pela ajuda e companheirismo.

A Elisabete, que dividimos momentos de incertezas e inquietações, mas de muita risada também. Obrigada amiga pela parceria.

Ao Pós-doutorando Murugan Rajan, apesar do pouco tempo de convívio, agradeço pelas sugestões e as descontrações no laboratório.

A minha querida turma, especialmente Helisvanhah, Débora e Magnólia, pelo companheirismo e apoio.

Aos amigos do LAF: Terezinha, Raquel, Marina, aRomy, Julianna, Yara, Tais, Mônica, Nayjara, Júnior, Christian Alley, Afram, Rafael, Christean, Thiga, Ramon, Rafaela, Geovane, Katiuscia, Cecília, Augusto, Iago, Marinuzia e Dona Sonia. A cada um, muito obrigada.

À UFS e ao LAF pela oportunidade concedida e por fornecerem os recursos necessários para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Departamento de Engenharia de Materiais, pela realização das análises de microscopia eletrônica de Varredura.

À CAPES, pela concessão da bolsa e auxílio financeiro.

Aos professores do PROCTA.

Aos membros da banca examinadora pelas contribuições.

E a todos que de forma direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho e para que eu me tornasse uma pessoa melhor tanto profissional como ser humano.

A todos vocês, minha eterna gratidão!

GUEDES, T. J. F. L. Caracterização bioativa e atividade antioxidante de frutos e subprodutos de acerola verde: influência de matrizes encapsulantes e dos parâmetros de processo [Dissertação]. São Cristóvão: Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Sergipe; 2018.

## RESUMO

A acerola é uma fruta reconhecida mundialmente por ser uma excelente fonte de ácido ascórbico. Diversas pesquisas têm apresentado seu elevado potencial para outros importantes compostos bioativos, tais como antocianinas, flavonóides e carotenóides, os quais estão associados ao possível controle de doenças com efeitos promissores a saúde humana. O resíduo de acerola verde possui teores de compostos fenólicos que não foram totalmente extraídos durante o processo. Há uma tendência crescente para o aproveitamento e adição de valor a esses resíduos. No entanto, o uso destas substâncias naturais acaba sendo limitado, uma vez que grande parte dos constituintes responsáveis pelas propriedades biológicas é altamente instável. Desta forma, os objetivos deste trabalho foram: caracterizar, extrair e microencapsular diferentes extratos de resíduo de acerola verde obtido do processo de produção de suco concentrado utilizando diferentes encapsulantes e temperaturas, avaliar o efeito do processo de secagem por atomização em spray dryer sobre os diferentes parâmetros de processo, morfologia e compostos bioativos das micropartículas obtidas. Para atingir tais objetivos foram realizadas análises físico-químicas nos diferentes resíduos *in natura* e desidratados, posteriormente foi realizada a obtenção dos extratos avaliando os métodos (ultrassom e maceração) e variando diferentes concentrações de etanol. Com a determinação da melhor extração foi realizada a encapsulação através da atomização por spray dryer, utilizando maltodextrina, goma arábica e a combinação de maltodextrina e goma arábica (1:1) como agentes encapsulantes, sendo submetidos a diferentes temperaturas de entrada do ar de secagem (140 °C e 160 °C). Para a avaliação das micropartículas foram realizadas análises de caracterização (umidade, atividade de água, rendimento, eficiência de encapsulação, solubilidade, higroscopicidade, densidade) morfologia (MEV e tamanho de partículas), além da avaliação do conteúdo de fenólicos, flavonóides e atividade antioxidante por diferentes métodos. Conforme os resultados, os resíduos apresentaram elevado conteúdo de fenólicos totais, flavonóides e atividade antioxidante, sendo que o resíduo da polpa apresentou os maiores valores. Quanto aos diferentes ensaios realizados para a otimização do processo de encapsulação, a utilização da maltodextrina e a combinação da mesma com a goma arábica, submetidos à temperatura de 140 °C apresentaram micropartículas com boas características, com formas esféricas e superfícies lisas para os diferentes extratos de resíduo agroindustrial da acerola verde. Esses dados demonstra a efetiva contribuição desta pesquisa para os processos de obtenção de pós dos variados resíduos agroindustriais obtidos da produção de suco concentrado de acerola verde com propriedades funcionais associados aos diferentes compostos bioativos.

**Palavras-chave:** Microencapsulação. Compostos bioativos. *Malpighia emarginata* D.C.

GUEDES, T. J. F. L. Bioactive characterization and antioxidant activity of fruits and by-products of green acerola: influence of encapsulants matrices and process parameters [Dissertation]. São Cristóvão: Program Postgraduate Food Science and Technology, Federal University of Sergipe; 2018.

## ABSTRACT

Acerola is a fruit recognized worldwide for being an excellent source of ascorbic acid. Several researches have presented their high potential for other important bioactive compounds, such as anthocyanins, flavonoids and carotenoids, which are associated to the possible control of diseases with promising effects on human health. The green acerola residue has phenolic compound contents that were not fully extracted during the process. There is a growing trend towards the use and addition of value to such waste. However, the use of these natural substances ends up being limited, since much of the constituents responsible for the biological properties is highly unstable. Thus, the objectives of this work were: to characterize, extract and microencapsulate different extracts of green acerola residue obtained from the juice production process using different encapsulants and temperatures, to evaluate the effect of the drying process by spray drying on the different process parameters, morphology and bioactive compounds of the microparticles obtained. In order to reach these objectives, physical and chemical analyzes were performed on the different in natura and dehydrated residues, subsequently to obtain the liquid extracts, were then evaluated by the methods (ultrasound and maceration) and varying different concentrations of ethanol. With the determination of the best extraction, the encapsulation was carried out by spray dryer atomization, using maltodextrin, gum arabic and the combination of maltodextrin and gum arabic (1: 1) as encapsulating agents, being submitted to different drying air inlet temperatures (140 ° C and 160 ° C). In order to evaluate the microparticles, characterization analyzes (moisture, water activity, yield, encapsulation efficiency, solubility, hygroscopicity, density) morphology (SEM and particle size) were carried out, as well as the evaluation of phenolic, flavonoid and antioxidant activity by different methods. According to the results, the residues presented high contents of total phenolics, flavonoids and antioxidant activity, and the residue had the highest values. As for the different tests performed to optimize the encapsulation process, the use of maltodextrin and its combination with gum arabic, submitted to a temperature of 140 ° C, presented microparticles with good characteristics, with spherical shapes and smooth surfaces for the different extracts of agroindustrial residue of the green acerola. These data demonstrate the effective contribution of this research to the processes of obtaining powders of the various agroindustrial residues obtained from the production of concentrated juice of green acerola with functional properties associated to the different bioactive compounds.

**Keywords:** Microencapsulation. Bioactive compounds. *Malpighia emarginata* D.C

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Classificação dos compostos bioativos, com ênfase aos compostos fenólicos presentes na acerola e derivados. ....	21
<b>Figura 2</b> - Estrutura química dos flavonóides. ....	22
<b>Figura 3</b> - Exemplo de estruturas químicas dos ácidos hidroxibenzóico e hidroxicinâmico .....	23
<b>Figura 4</b> - Esquema simplificado da produção de microcápsulas por spray dryer. ....	27
<b>Figura 5</b> - Rendimento teórico dos produtos e subprodutos da obtenção de suco de acerola verde concentrado, a partir de 100 kg da fruta. ....	36
<b>Figura 6</b> - Resíduo de acerola verde: A) polpa do decanter; B) sementes. ....	36
<b>Figura 7</b> - Acerola verde: A) Costa Rica; B) Junko e C) Flor Branca. ....	37
<b>Figura 8</b> - Esquema das atividades que foram realizadas na pesquisa. ....	38
<b>Figura 9</b> - Fluxograma de desenvolvimento das atividades da 1º Etapa. ....	39
<b>Figura 10</b> - Esquema das atividades da 2º Etapa (Microencapsulação por spray dryer). ....	47
<b>Figura 11</b> - Firmeza e índice de maturação em diferentes variedades de acerola. ....	56
<b>Figura 12</b> - Paleta de cores dos frutos inteiros das diferentes cultivares de acerola. ....	58
<b>Figura 13</b> - Teor de fenólicos totais (FT) utilizando diferentes concentrações de etanol e método de extração. ....	61
<b>Figura 14</b> - Teor de flavonóides totais utilizando diferentes concentrações de etanol e método de extração. ....	63
<b>Figura 15</b> - Teor de flavonóides totais utilizando diferentes concentrações de etanol e método de extração. ....	64
<b>Figura 16</b> - A) Extrato líquido do resíduo da polpa de acerola verde e (B) Extrato líquido do resíduo da semente de acerola verde. ....	65
<b>Figura 17</b> - Pós dos extratos da polpa do decanter obtidas através da microencapsulação por spray dryer utilizando diferentes agentes encapsulantes. ....	83
<b>Figura 18</b> - Pós dos extratos da semente obtidas através da microencapsulação por spray dryer utilizando diferentes agentes encapsulantes. ....	83
<b>Figura 19</b> - Resultados para o teor de fenólicos e flavonóides totais nas microcápsulas de resíduo da polpa e semente em diferentes temperaturas e encapsulantes. ....	87
<b>Figura 20</b> - Resultados da atividade antioxidante medida por DPPH, FRAP, ORAC e ABTS nas microcápsulas da polpa e semente em diferentes temperaturas e encapsulantes. ....	89
<b>Figura 21</b> - Distribuição do tamanho das micropartículas com extrato do resíduo da polpa e semente com diferentes encapsulante submetidas a temperatura de 140 °C e 160 °C. ....	91
<b>Figura 22</b> - Morfologia das microcápsulas de pós provenientes do extrato de resíduo de polpa de acerola verde. Tratamento (PT1E1). ....	94

<b>Figura 23</b> – Morfologia das microcápsulas de pós provenientes do extrato de resíduo de polpa de acerola verde. Tratamento (PT1E3). .....	94
<b>Figura 24</b> – Morfologia do extrato de resíduo de polpa de acerola verde atomizado (amostra controle). Tratamento (PT1C1). .....	95
<b>Figura 25</b> – Morfologia das microcápsulas de pós provenientes do extrato de resíduo de semente de acerola verde. Tratamento (ST1E1). .....	95
<b>Figura 26</b> – Morfologia das microcápsulas de pós provenientes do extrato de resíduo da semente de acerola verde. Tratamento (ST1E3). .....	96
<b>Figura 27</b> – Morfologia do extrato de resíduo da semente de acerola verde atomizado (amostra controle). Tratamento (ST1C1). .....	96

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1 (Continua)</b> - Estudos de microencapsulação por spray dryer de extratos e produtos de acerola. ....	29
<b>Tabela 2</b> - Condições experimentais para atomização por spray dryer. ....	48
<b>Tabela 3</b> – Resultados da caracterização físico-química dos resíduos agroindustriais de acerola verde. ....	53
<b>Tabela 4</b> – Valores dos parâmetros de cor no epicarpo de diferentes cultivares de acerola verde. ....	57
<b>Tabela 5</b> - Características físico-químicas das variedades de polpa de acerola verde. ....	58
<b>Tabela 6</b> – Compostos fenólicos, flavonóides e atividade antioxidante de polpa das diferentes variedades de acerola. ....	66
<b>Tabela 7</b> - Resultado da análise de correlação de Pearson entre os compostos bioativos e a atividade antioxidante das diferentes variedades de acerola verde. ....	69
<b>Tabela 8</b> – Rendimento de secagem por spray dryer dos extratos do resíduo de polpa e semente de acerola verde. ....	71
<b>Tabela 9</b> – Eficiência de encapsulação dos extratos do resíduo de polpa e semente de acerola verde. ....	73
<b>Tabela 10</b> – Conteúdo de atividade de água dos extratos do resíduo de polpa e semente de acerola verde microencapsulado. ....	74
<b>Tabela 11</b> – Teor de umidade dos extratos do resíduo de polpa e semente de acerola verde microencapsulado. ....	75
<b>Tabela 12</b> – Solubilidade das micropartículas dos extratos dos resíduos de polpa e semente obtidos por spray dryer. ....	76
<b>Tabela 13</b> – Higroscopicidade das micropartículas dos extratos do resíduo de polpa e semente de acerola verde microencapsulado. ....	77
<b>Tabela 14</b> – Valores da densidade aparente e densidade aparente compactada das micropartículas dos extratos do resíduo de polpa e semente de acerola verde microencapsulado. ....	79
<b>Tabela 15</b> - Valores da análise de cor das micropartículas dos extratos do resíduo de polpa e semente de acerola verde microencapsulado. ....	81
<b>Tabela 16</b> – Conteúdo de fenólicos, flavonóides totais e da atividade antioxidante pelos métodos DPPH, ABTS, FRAP e ORAC das microcápsulas do extrato de resíduo de polpa e semente. ....	85
<b>Tabela 17</b> – Diâmetro médio das micropartículas dos extratos do resíduo de polpa e semente de acerola verde microencapsulado e das amostras controle. ....	92

## ABREVIATURAS E SIGLAS

AAPH - dicloreto de 2,2 –Azobis (2-amidinopropano)

ABTS - 2,2-azino-bis (3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico)

ALCL<sub>3</sub> - Cloreto de Alumínio

ANOVA – Análise de Variância

DPPH - 1,1-difenil-2-picrilidrazil

EAG - Equivalente de ácido gálico (do inglês, *gallic acid equivalente*)

FRAP - Capacidade de redução do íon férrico (do inglês, *Ferric Reducing Antioxidant power*)

MEV - Microscopia Eletrônica de Varredura

min- minutos

nm - nanômetros

ORAC - Capacidade de absorção do radical oxigênio (do inglês, *Oxygenen Radical Absorbance Capacity*)

pH - Potencial Hidrogeniônico

rpm - rotação por minuto

TROLOX - Ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetra-metilcromo-2-carboxílico

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	16
<b>2.1 Importância da acerola e produção</b> .....	16
<b>2.1.1 Variedade Junko</b> .....	17
<b>2.1.2 Variedade Costa Rica</b> .....	18
<b>2.1.3 Variedade Flor Branca</b> .....	18
<b>2.3 Metabolitos secundários</b> .....	19
<b>2.4 Compostos Fenólicos</b> .....	20
<b>2.4.1 Flavonóides</b> .....	21
<b>2.4.2 Não Flavonóides</b> .....	22
<b>2.4 Extração</b> .....	24
<b>2.5 Microencapsulação</b> .....	26
<b>3 OBJETIVOS</b> .....	34
<b>3.1 Objetivo Geral</b> .....	34
<b>3.2 Objetivos Específicos</b> .....	34
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	35
<b>4.1 Padrões e Reagentes</b> .....	35
<b>4.2 Matéria-prima</b> .....	35
<b>4.3 Etapas do trabalho</b> .....	37
<b>4.4 Procedimento experimental</b> .....	39
<b>4.4.1 Etapa 1: Determinação dos compostos bioativos dos resíduos agroindustriais e dos frutos de acerola verde e obtenção dos extratos fenólicos</b> .....	39
<b>4.4.1.1.1 Fracionamento dos frutos</b> .....	40
<b>4.4.1.1.2 Análises físico-químicas das matérias-primas</b> .....	41
<b>4.4.1.1.2.1 Umidade</b> .....	41
<b>4.4.1.1.2.2 Atividade de água (<math>a_w</math>)</b> .....	41
<b>4.4.1.1.2.3 Acidez titulável</b> .....	41
<b>4.4.1.1.2.4 Potencial Hidrogeniônico (pH)</b> .....	41
<b>4.4.1.1.2.5 Sólidos Solúveis Totais</b> .....	42
<b>4.4.1.1.2.6 Ácido Ascórbico</b> .....	42
<b>4.4.1.1.2.7 Determinação de carotenoides e clorofila</b> .....	42
<b>4.4.1.1.2.8 Análise de cor</b> .....	42
<b>4.4.1.1.2.9 Análise de perfil de textura (TPA)</b> .....	43
<b>4.4.1.3 Obtenção dos extratos fenólicos dos resíduos desidratados da acerola verde</b> .....	43
<b>4.4.1.4 Análises espectrofotométricas</b> .....	44

4.4.1.4.1	<i>Determinação de fenólicos totais</i> .....	44
4.4.1.4.3	<i>Atividade de sequestro do radical DPPH</i> .....	45
4.4.1.4.4	<i>Atividade de captura do radical livre ABTS</i> .....	45
4.4.1.4.5	<i>Atividade antioxidante pelo método de redução do ferro – FRAP</i> .....	46
4.4.1.4.6	<i>Capacidade de absorção do radical oxigênio (ORAC)</i> .....	46
4.4.1.6	<i>Determinação do extrato seco (rendimento de extração)</i> .....	46
4.4.2	<i>Etapa 2: Obtenção das micropartículas pela técnica de atomização por Spray Dryer</i> .....	47
4.4.2.1	<i>Microencapsulação por spray dryer</i> .....	48
4.4.2.1.1	<i>Elaboração das micropartículas</i> .....	48
4.4.2.1.2	<i>Processo de microencapsulação</i> .....	48
4.4.2.2	<i>Caracterização das micropartículas</i> .....	49
4.4.2.2.1	<i>Rendimento</i> .....	49
4.4.2.2.2	<i>Higroscopicidade</i> .....	49
4.4.2.2.3	<i>Solubilidade</i> .....	49
4.4.2.3	<i>Análises morfológicas nas microcápsulas</i> .....	51
4.4.2.3.1	<i>Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)</i> .....	51
4.4.2.3.2	<i>Análise do tamanho de partículas</i> .....	51
4.4.2.3.3	<i>Análises químicas nas micropartículas</i> .....	51
4.4.2.3	<i>Planejamento experimental</i> .....	52
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>53</b>
<b>5.1</b>	<b>Caracterizações físico-químicas dos resíduos e das diferentes cultivares de acerola</b> .....	<b>53</b>
<b>5.2</b>	<b>Obtenção dos extratos – Estudo preliminar na extração dos compostos fenólicos</b> .....	<b>60</b>
<b>5.3</b>	<b>Avaliação dos conteúdos fenólicos e flavonóides e atividade antioxidante das diferentes cultivares de acerola verde</b> .....	<b>66</b>
<b>5.4.1</b>	<b>Caracterização das micropartículas</b> .....	<b>70</b>
5.4.1.1	<i>Rendimento do processo de produção das micropartículas</i> .....	71
5.4.1.2	<i>Eficiência de encapsulação</i> .....	72
<b>5.4.2</b>	<b>Avaliação dos compostos bioativos e da atividade antioxidante nas micropartículas</b> .....	<b>84</b>
<b>5.4.3</b>	<b>Distribuição de tamanho de partículas</b> .....	<b>90</b>
<b>5.4.4</b>	<b>Caracterização morfológica das micropartículas</b> .....	<b>93</b>
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>97</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>99</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um país que apresenta um território extenso com mais de oito milhões de quilômetros quadrados (IBGE, 2016). Constituído por diferentes regiões e por sua vez, conhecido pela sua diversidade climática e a capacidade de ter uma rica variedade de recursos naturais, tornam o Brasil um dos principais produtores de frutos tropicais e subtropicais do mundo (BARROS et al., 2014).

A fruticultura é um dos setores que vem se destacando no país, sendo o terceiro maior produtor mundial, atrás da China e Índia, o que mostra a grande relevância do setor para a economia brasileira (SEBRAE, 2015). De acordo com o Anuário Brasileiro de Fruticultura (2017) aproximadamente 97% da produção de frutas in natura é destinado para o mercado interno. No entanto, é através do setor agroindustrial que produtos derivados de frutas vêm se destacando com maior valor agregado na cadeia produtiva no âmbito das exportações.

Dentre a diversidade de frutas cultivadas no Brasil, a acerola pertencente à família da Malpighiaceae, têm se destacado, por ser reconhecida mundialmente por apresentar uma excelente fonte de ácido ascórbico (MALEGORI et al., 2017).

Diversas pesquisas também têm apresentado seu elevado potencial para outros importantes compostos bioativos, tais como antocianinas, flavonóides, carotenóides, além de apresentar excelente atividade antioxidante (REZENDE; NOGUEIRA; NARAIN, 2017; PAZ et al., 2015), os quais estão associados a possíveis implicações na preservação de doenças com efeitos promissores a saúde humana (DIAS et al., 2014; MARQUES et al., 2016).

A fruta pode ser consumida fresca, no entanto é para o setor agroindustrial que a maior parte da produção é destinada, sendo utilizado na formulação de diversos produtos (FREITAS et al., 2014). Como consequência do processo industrial, elevadas quantidades de subprodutos agroindustriais são gerados, principalmente do processamento de suco (MARQUES et al., 2013). De acordo com Nunes et al. (2011), o bagaço oriundo da acerola apresenta elevados teores de compostos bioativos, tanto no estágio maduro como no imaturo, assim sendo há uma tendência crescente para o aproveitamento e adição de valor a esses resíduos, devido à presença de altas concentrações de substâncias promissoras que favorece a sua utilização quanto às suas funções bioativas (OLIVEIRA et al., 2009; ALVAREZ-SUAREZ et al., 2017).

O uso destes compostos naturais é restringido, em função de sua estabilidade e das condições que são impostas na aplicação prática durante o processamento e armazenamento (ROBERT et al., 2015).

O encapsulamento é uma técnica que proporciona estabilidade, além do controle da liberação dos compostos sobre condições específicas (RUTZ et al., 2017), através da utilização de um agente encapsulante, com o intuito de tornar possível sua aplicação sem que ocorram perdas ou alterações, como também proteger e prolongar a sua funcionalidade (DIAS et al., 2017).

Os produtos microencapsulados têm sido amplamente utilizados em diferentes setores industriais como nas formulações cosmética e farmacêutica, onde a maior parte dos extratos ricos em polifenóis é utilizada, assim como na indústria alimentícia como aditivos alimentares ou como suplementos nutricionais (MUNIN e EDWARDS-LÉVY, 2011).

Diversos estudos envolvendo a encapsulação de produtos e subprodutos de acerola têm sido feito, com o principal foco na preservação do ácido ascórbico, além do interesse na utilização de técnicas de processamento para prolongar a vida pós-colheita, por ser um fruto extremamente perecível.

No entanto, poucas investigações mencionam avaliação dos compostos fenólicos em resíduo de processamento de acerola e não há trabalhos cujo foco tenha sido a extração e a concentração desses compostos pelo processo de atomização por spray dryer de resíduos de acerola verde, com ênfase na avaliação dos parâmetros de processo sob os diferentes tipos de encapsulantes e temperaturas, em razão disso, com o aumento da procura de produtos mais saudáveis e com maior qualidade, desafia a constante investigação e desenvolvimento de processos e formulações que procuram responder às necessidades e desejos dos consumidores, atendendo assim suas expectativas.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 Importância da acerola e produção

A acerola, também conhecida como Cereja das Antilhas, cujo nome científico apresenta algumas controvérsias, quanto aos nomes *Malpighia glabra* L e *Malpighia punicifolia* L, mas de acordo com Silva, Guimarães e Gasparetto (2005) são sinônimos e o nome correto da acerola em cultivo é *Malpighia emarginata* D.C.

Originária do mar das Antilhas, norte da América do Sul e América Central, pertencente à família Malpighiaceae do gênero *Malpighia* foi inicialmente introduzida no Nordeste do Brasil na década de 50 pela Universidade Federal Rural de Pernambuco por meio da variedade B-17, procedente de Porto Rico (CARVALHO et al., 2000).

A fruta pode ser consumida fresca, porém é mais utilizada na formulação de diversos produtos como sucos, geleias, doces, conservas, assim como, fortificador de ácido ascórbico em outros sucos de frutas e suplementos nutracêutico (MOHAMMED; CAMPUS, 2011).

Embora exiba um alto valor nutricional, o potencial de comercialização da fruta fresca é baixo, porém o processamento e conservação de sua polpa na produção do seu suco são mais viáveis, pois a qualidade da fruta diminui rapidamente após a colheita. Para a exportação o mercado internacional se interessa basicamente pela polpa, o qual é utilizado nas preparações para sorvetes, refrigerantes, geleias, compotas, entre muitos outros produtos (CARVALHO, 2000).

Dentre os mercados mais importantes para produtos da acerola, o Japão está em primeiro lugar e, em seguida, Estados Unidos e a Europa. Em locais como Alemanha, França e Hungria, os frutos são processados para obtenção de sucos, enquanto os Estados Unidos direciona para a utilização em suplementos e indústria farmacêutica (DELVA; SCHNEIDER, 2013).

Devido à alta demanda do mercado o Brasil vem se destacando como o maior produtor, consumidor e exportador mundial de acerola (BELWAL et al., 2018) competindo principalmente no setor de mercado de produtos naturais (CALGARO; BRAGA, 2012; BICAS et al., 2011). A região Nordeste é responsável por grande parte da produção nacional exibe um crescimento com aproximadamente 64% do total produzido, sendo assim, a maior produtora com área cultivada de aproximadamente 3.100 ha e com uma produtividade em torno de 150 mil ton.ano<sup>-1</sup>. Dentre os estados produtores de acerola, Pernambuco apresenta a maior produção com 23,11%, seguido pelo Ceará com 14,32%, São Paulo com 11,39% e Bahia com 10,48% (CALGARO; BRAGA, 2012).

A região do Submédio do Vale São Francisco (VSF), representado pelo município de Petrolina (Pernambuco) e Juazeiro (Bahia) tem se destacado por apresentarem condições de clima e solo favoráveis, ocupando aproximadamente 1200 ha de área plantada, com uma produção que pode chegar até oito safras anuais (SOUZA et al., 2013).

Os frutos da aceroleira variam muito entre as diferentes cultivares, quanto ao tamanho, formas e peso, mas de maneira geral é uma baga drupácea que apresenta formato ovoide, diâmetro que varia de 1 a 3 centímetros, possui epicarpo fino, polpa macia e succulenta, apresenta três sementes pequenas, proporcionais ao tamanho do fruto e pode pesar de 2 a 10 gramas, o epicarpo da acerola é inicialmente verde alterando para amarelo-alaranjado, seguindo pelo vermelho e dependendo da cultivar podendo ficar roxo quando maduros, transformação essa devido à degradação da clorofila e síntese de antocianinas (RITZINGER; RITZINGER, 2011). A cor da casca tem sido bastante utilizada como um índice de amadurecimento, por ser uma forma mais prática, principalmente em situações de campo, onde não são possíveis análises laboratoriais (DELVA; SCHNEIDER, 2013).

O gênero *Malpighia* abrange 30 espécies de arbustos e pequenas árvores, que fornecem flores e frutas em diferentes estágios (SPEIRS; BRADY, 1991). Atualmente, são conhecidos aproximadamente 25 clones, porém, apenas 14 cultivares está registrada no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), dentre essas, as cultivares mais difundidas no VSF destacam-se: Flor Branca, Junko, Costa Rica, BRS Sertaneja, Okinawa, Nikki, Coopama N°1 e BRS Cabocla (SOUZA et al., 2013), sendo que, neste estudo será dado destaque as três primeiras cultivares citada anteriormente.

### **2.1.1 Variedade Junko**

A cultivar Junko foi desenvolvida pela Nichirei, empresa do grupo Niagro (Nichirei Agrícola do Brasil), indústria que processa acerola para obtenção de suco concentrado. Os frutos apresentam tamanho médio, cor púrpura, com epicarpo levemente irregular. A polpa é bastante firme, o que é uma característica importante em relação ao manuseio e transporte durante a pós-colheita. O sabor é bastante ácido por causa do alto teor de vitamina C (SOUZA et al., 2013).

No estudo de Costa et al. (2011), a cultivar apresentou o maior teor de ácido ascórbico para os dois estados de maturação, verde e maduro, variando de 1430,08 a 970,06 mg.100 mL<sup>-1</sup> quando comparados com outras variedades analisadas, o que a caracteriza como sendo uma excelente opção para o processamento. Esta variedade apresenta elevada acidez, além

disso, os frutos dessa cultivar possuem aroma agradável e peculiar, o que os tornam bastante apreciados para o preparo de sucos (SOUZA et al., 2013).

### **2.1.2 Variedade Costa Rica**

Bastante cultivada no Submédio do VSF (Vale do São Francisco), porém não se sabe a origem da cultivar. Os frutos apresentam tamanho médio, formato cônico e quando imaturos, apresentam coloração verde com manchas amarronzadas. Quando maduros, os frutos tornam-se completamente vermelhos, a polpa é relativamente consistente, com sabor e aroma agradáveis e peculiares. O teor de vitamina C geralmente é maior a  $1.500 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$  de polpa (SOUZA et al., 2013).

### **2.1.3 Variedade Flor Branca**

A partir de programas de reprodução entre diferentes instituições de pesquisa, originou-se essa variedade adaptada para região nordeste do País, sendo recomendada para plantação comercial (SOUZA et al., 2014).

Originária da seleção realizada no Estado do Pará foi uma das primeiras a serem introduzidas no Submédio do VSF, sendo difundida pela Niquisa, que atualmente tem mantido seu registro nacional de cultivares do MAPA. Devido à floração abundante com flores brancas, originou-se assim o nome da cultivar. Os frutos são pequenos com aproximadamente 5g e apresentam coloração vermelha, quando maduros. A polpa apresenta uma consistência muito frágil, o que favorece um curto período de conservação pós-colheita. Esta variedade apresenta um elevado teor de ácido ascórbico que pode ultrapassar  $1.500 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$  de polpa nos frutos maduros e por isso sua produção é destinada a indústria (SOUZA et al., 2013).

## **2.2 Resíduo agroindustrial de acerola**

Durante o processamento de frutas, elevadas quantidades de resíduos agroindustriais são gerados (MARQUES et al., 2013). O bagaço de acerola proveniente do processo de fabricação representa 40% do volume da produção, os quais são desprezados, enquanto poderiam ser utilizados como fonte alternativa de nutrientes (MARQUES; PRADO; FREIRE, 2009).

Diversos estudos têm sido realizados quanto ao resíduo oriundo da acerola, sendo comprovada a presença de elevados teores de compostos bioativos, tanto no estágio maduro como imaturo (NUNES et al., 2011). Esses resíduos agroindustriais destacam-se pela

presença de diversos compostos como, carotenoides e ácido ascórbico, com valores que se aproximam das quantidades encontradas em alimentos que são considerados fontes destes nutrientes (SOUSA et al., 2011). No entanto, os resíduos gerados do processamento (cascas, sementes e talos) não são aproveitados (SILVA; JORGE, 2014).

Existe uma inquietação de âmbito mundial no aproveitamento destes resíduos, com intuito de diminuir a geração desses, pelas indústrias processadoras, fato que causa grave danos ambientais, além do aproveitamento desses subprodutos como novas fontes de matéria-prima de baixo custo (SILVA; JORGE, 2014; MELO et al., 2011; JORGE; SILVA; MALACRIDA, 2015). Por esta razão, pesquisadores tem apresentado interesse em buscar alternativas de aproveitamento.

A valorização dos resíduos se inicia com o conhecimento quanto a sua caracterização para posteriormente propor alternativas para o melhor aproveitamento possível desse subproduto. Marques et al. (2016) analisando extrato metanólico da farinha de bagaço de acerola identificaram alguns compostos fenólicos como ácido gálico, catequina, epigallocatequina galato, ácido *p*-cumárico, quercetina, epicatequina e ácido siríngico, além do extrato ter sido capaz de inibir enzimas digestivas *in vitro* devido a presença dos compostos fenólicos.

Em outro estudo Souza et al. (2011) avaliando diferentes resíduos de polpas de frutas relataram quantidades superiores para antocianinas, carotenóides e compostos fenólicos totais no resíduo de acerola, sugerindo o desenvolvimento de novos produtos alimentícios com base nesses resíduos, agregando valor nutricional, antioxidante e diminuindo a contaminação ambiental gerada pelas industriais.

Pesquisas sobre o papel dos nutrientes, associados com um melhor estilo de vida e prevenção de doenças ganharam muita atenção nos últimos anos. Dentre as quais, as fontes naturais das plantas por apresentar inúmeros compostos bioativos como, os compostos fenólicos que são metabolitos secundários, amplamente relatados como potentes antioxidantes (RAZALI et al., 2015).

### **2.3 Metabolitos secundários**

Diferentemente da maioria dos animais, as plantas por ser um ser vivo imóvel, ao longo dos anos evolutivos foram capazes de desenvolver estratégias quando submetidas a situações desfavoráveis ou estressantes. A produção de substâncias capazes de superar esses desafios são os metabolitos secundários (SANTOS, 2015).

O metabolismo representa o conjunto de reações químicas que ocorrem em cada célula. Os compostos químicos que são formados, degradados ou transformados recebem o nome de metabólitos, podendo ser primários e secundários (WAKSMUNDZKA-HAJNOS; SHERMA; KOWALSKA, 2008).

O metabolismo primário é caracterizado por um conjunto de processos metabólicos que desempenham funções essenciais para os vegetais, como fotossíntese, respiração e transporte de solutos; processos que se encontram envolvidas na manutenção fundamental da sobrevivência e do desenvolvimento celular (DIXON, 2001).

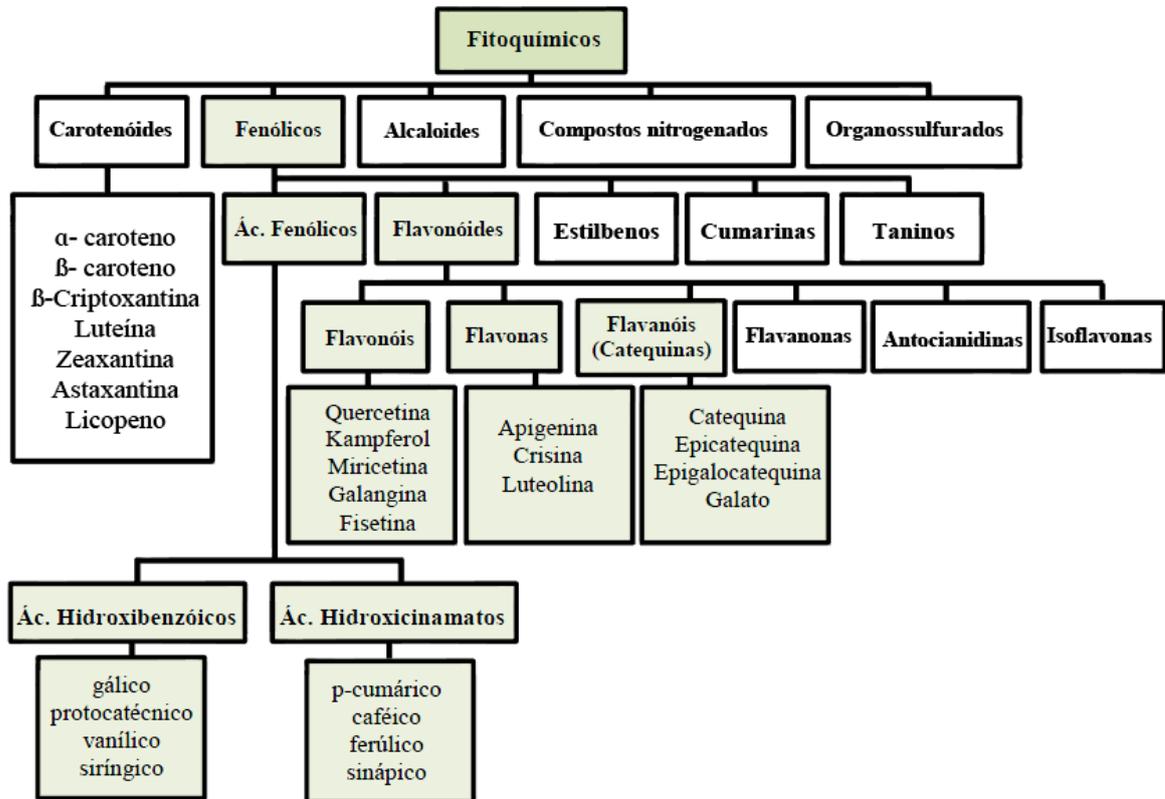
Já os metabólitos secundários são respostas do metabolismo vegetal a interação com o meio ambiente o qual as plantas se encontram, sendo restritos a uma espécie vegetal ou a um grupo de espécies relacionadas. Como resultado há a produção de diferentes compostos que em geral propicia proteção à planta, cujos produtos, embora não necessariamente essenciais para o organismo produtor, mas garantem vantagens para sua sobrevivência e para a perpetuação da espécie em seu habitat (TAIZ; ZEIGER, 2004). Esses metabólitos secundários são fonte útil de moléculas bioativas e por esta razão o estudo de extratos de plantas como agentes terapêuticos estão se tornando cada vez mais atual nos últimos anos (RAFFA et al., 2017).

Sabe-se que existem mais de 200.000 metabólitos secundários conhecidos, sendo encontrados principalmente em plantas, microrganismos e podendo também estar presente em outros animais (HARTMANN, 2007). Existem três grandes grupos de metabólitos secundários que são os compostos fenólicos, terpenos e alcaloides, sendo esses, sintetizados, a partir de quatro vias metabólicas principais (AHARONI; GALILI, 2011). Dentre os diversos metabólitos secundários, neste estudo será dado destaque aos compostos fenólicos.

## **2.4 Compostos Fenólicos**

Os compostos fenólicos ou polifenóis, em particular, são caracterizados por possuírem uma grande diversidade molecular, (Figura 1) sendo classificados de acordo com o número de átomos de carbono e estrutura que possuem. Contudo, também podem ser distinguidos em função da rota bioquímica da qual são originados, sendo a rota do ácido chiquímico participante na biossíntese da maioria dos fenóis vegetais. Estas substâncias são responsáveis pelo desempenho das funções estruturais e de proteção em plantas, além de contribuírem para a cor, sabor, adstringência e amargor nos alimentos (SOTO et al., 2011).

**Figura 1** - Classificação dos compostos bioativos, com ênfase aos compostos fenólicos presentes na acerola e derivados.



Fonte: Adaptado de Liu et al. (2004, 3480S).

Os compostos fenólicos incluem substâncias que apresentam desde moléculas simples, até moléculas com alto grau de polimerização, podendo estar presentes nos vegetais na forma livre ou ligados a proteínas e açúcares (ANGELO; JORGE, 2007). Os compostos fenólicos podem ser classificados em várias classes de acordo com o tipo e número de anéis fenólicos e em subclasses de acordo com as substituições específicas na estrutura básica, sendo constituído de pelo menos um anel aromático com um ou mais substituintes hidroxílicos, incluindo seus grupos funcionais (MOTILVA et al., 2013).

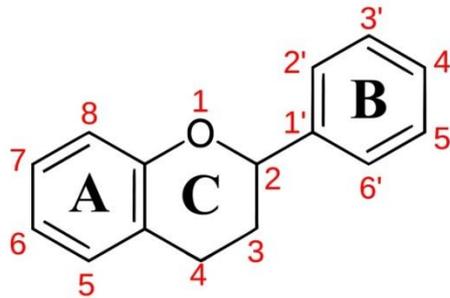
De acordo com sua estrutura química podem ser classificados em dois grandes grupos, os flavonóides e os não flavonóides.

#### 2.4.1 Flavonóides

Os flavonóides são um grupo de variados compostos polifenólicos amplamente distribuídos no reino vegetal, podendo ser encontrado em frutas e vegetais. Esta classe de compostos apresentam em sua estrutura básica dois anéis aromáticos (anéis A e B), unidos por três carbonos, na forma de anel heterocíclico oxigenado (anel C); pode ser dividida em

importantes subclasses de flavonóides resultantes das variações nos substituintes do anel C, Figura 2 (HUBER; RODRIGUEZ-AMAYA, 2008).

**Figura 2** - Estrutura química dos flavonóides.



Fonte: Adaptado de Angelo; Jorge, (2007, p. 3).

Mais de 6.000 flavonóides de plantas foram descritos e classificados em pelo menos 10 grupos químicos de acordo com seus padrões estruturais. Porém, estudos laboratoriais e epidemiológicos se concentraram em seis subgrupos de flavonóides, a saber: flavonas, flavonóis, flavan-3-ols (catequinas), procianidinas, flavanonas e isoflavonas (DHIMAN; NANDA; AHMAD, 2016).

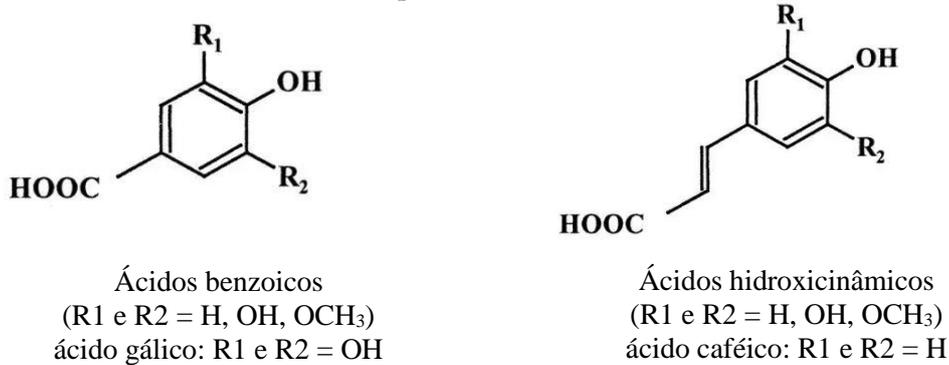
Presentes em uma variedade de frutas, legumes, cereais, bebidas como, chás e vinhos, tem despertado interesse ao longo dos anos, quanto aos seus efeitos promissores para a saúde (NONES et al., 2010). Por possuir um espectro notável de atividades bioquímicas e farmacológicas, uma ampla gama de pesquisas tem relatado atividades anti-inflamatórias, anticarcinogênica, gastroprotetora, cardioprotetora, antibiótica, antiprotozoária, inseticida, antileishmania, anticolinérgica, quimiopreventiva, antimicrobiana entre outros a partir dos flavonóides (PRASAD et al., 2010; DHIMAN; NANDA; AHMAD, 2016) o que contribui ainda mais o interesse em estudar essa classe de moléculas.

#### 2.4.2 Não Flavonóides

Assim como os flavonóides, a classe de compostos dos não flavonóides estão presentes em diversas frutas e vegetais, os quais não apresentam uma estrutura básica em comum, sendo uma classe muito heterogênea, composto por moléculas simples como os ácidos fenólicos, sendo subdivididos em ácidos hidroxibenzoicos (ácidos gálico, elágico, vanílico, siríngico e protocatecuico) e ácidos hidroxicinâmicos (ácidos caféico, ferúlico e *p*-cumárico) com base em esqueletos C1-C6 e C3-C6, respectivamente, (Figura 3) e os estilbenos (*trans*-resveratrol, *cis*-resveratrol e *trans*-resveratrol-glucosídeo), mas também

incluem moléculas complexas derivadas deles como os oligômeros de estilbeno, galotanins, ellagitaninas e ligninas (CHEYNIER, 2005; ANGELO; JORGE, 2007).

**Figura 3** - Exemplo de estruturas químicas dos ácidos hidroxibenzoico e hidroxicinâmico de polifenóis não flavonóides.



Fonte: Cheynier, (2005, p. 224S).

Devido à presença de quantidades significativas de compostos fenólicos, diversos trabalhos têm sido publicados com frutos da aceroleira. Em um trabalho recente Alvarez-Suarez et al. (2017) analisaram acerolas da região central de Cuba e enfatizaram que extrato de acerola demonstrou ser capaz de proteger a funcionalidade mitocondrial contra danos oxidativos em fibroblastos dérmicos humanos, além de relatar que os frutos são importantes fonte de compostos bioativos, sendo identificado duas antocianinas (cianidina 3- O-rhamnosídeo e pelargonidina 3- O-rhamnosídeo), entre outros 18 compostos como, flavonóis e ácidos fenólicos, sendo os principais flavonóides encontrados a quercetina e kaempferol nas formas glicosiladas.

No estudo de Bataglioni et al. (2015), os autores também relataram a presença de altas concentrações desses flavonóides, além da presença de ácido caféico, *p*-cumárico, ácido ferúlico e luteolina. Em um dos estudos proposto por Hanamura et al. (2008) os autores avaliaram a influência da maturidade quanto a composição química do fruto, relatando que extratos das acerolas imaturas eram ricas em ácido ascórbico e proantocianidinas. No entanto, com o amadurecimento as concentrações desses compostos diminuiriam prevalecendo o conteúdo de antocianinas tornando assim os principais polifenóis da acerola.

Em uma pesquisa realizada por Nunes et al. (2011) os autores analisaram acerolas imaturas e maduras e observaram que o extrato de acerola verde induziu maior proteção do DNA contra danos causados por H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, o que pode estar relacionado com a alta concentração de ácido ascórbico.

Dentre os compostos já identificados em extratos de acerola, destacam-se substâncias que apresentam grande interesse na prevenção de doenças, os quais apresentam elevado potencial antioxidante *in vitro*, como a quercetina, a qual é considerada um poderoso sequestrador de espécies reativas de oxigênio (MILTONPRABU et al., 2017), bem como a rutina por apresentar variadas funções biológicas, incluindo efeitos promissores pelo seu potencial antioxidantes, anti-inflamatórios e anticancerígenos (WU et al., 2011; LEFFA et al., 2014; RAFFA et al., 2017).

Determinar a concentração de flavonóides nos alimentos é muito importante. Apesar de existir dados na literatura sobre a composição de compostos fenólicos em acerolas, ainda assim, mais estudos são necessários, visto que a composição química varia de acordo com região, clima, grau de maturação, processamento, variedade entre outros fatores (AHERNE; O'BRIEN, 2002).

## **2.4 Extração**

Com o intuito de recuperar os compostos bioativos oriundos de diferentes matrizes vegetais, como resíduos agrícolas ou industriais, a técnica de extração é uma etapa fundamental (CASTRO-LÓPEZ et al., 2017). Caracterizada como um processo de preparação de amostra, as razões mais comuns que afetam os processos de extração são as características da matriz da planta, solvente, temperatura, pressão, tempo, relação sólido/líquido, tamanho de partículas, além da polaridade do solvente, pois exerce forte influencia na extração seletiva das diferentes famílias de flavonóides (AZMIR et al., 2013; NACZK; SHAHIDI, 2004).

Dentre as diversas técnicas relatadas, a extração a partir de matrizes vegetais é feita principalmente pelo processo de extração sólido-líquido, métodos como maceração, banho-maria, Soxhlet e percolação apresentam algumas desvantagens, pois levam muito tempo operacional e grande volume de solventes entre outros fatores. Alguns estudos com polpa e subprodutos de acerola relatam a extração sob agitação, Soxhlet (VIERA et al., 2010; RUFINO et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2009).

Contudo, há uma busca crescente por novos métodos não-convencionais para superar as lacunas associadas aos métodos de extração convencionais como por exemplo, extração assistida por ultrassom, sendo considerado um método econômico e eficiente (AZMIR et al., 2013; CHEN; ZHAO; YU, 2015).

No método de extração por ultrassom o processo utiliza a energia das ondas sonoras (mecânicas) que são transmitidas em frequência superior à da capacidade auditiva humana. As ondas sonoras se propagam na matéria, em frequências de 20 - 2000 kHz, criando no meio

que se propagam ciclos de expansão e compressão, aumentando o contato superficial entre solvente e amostra e permeabilidade das paredes celulares (AZWANIDA, 2015), facilitando a dilatação e hidratação do material através do aumento do tamanho dos poros da parede celular e assim melhorando o processo de difusão e de transferência de massa. No entanto, o efeito do ultrassom no processo de extração depende da frequência e da potência do aparelho (YANG; ZHANG, 2008).

Recentemente, Rezende, Nogueira e Narain (2017) em um estudo preliminar avaliaram três métodos na extração de compostos bioativos em resíduo agroindustrial (shaker, ultrassom e repouso sob agitação) e relataram que a extração assistida por ultrassom obteve os melhores resultados quanto aos compostos analisados e atividade antioxidante, sendo posteriormente, avaliado a concentração de etanol (0-99,5 %), proporção solvente:resíduo (1:1-10:1) e tempo de extração (10-60 min), onde a melhor condição otimizada foi utilizando etanol a 46,49%, relação etanol: resíduo 8,66 mL.g<sup>-1</sup> por 49 minutos.

Além dos métodos utilizados estudos relatam que a preparação da amostra é crucial na extração de compostos fenólicos como a desidratação, pois as amostras secas são preferidas, haja vista que, é menos susceptíveis a deterioração do que as amostras frescas, além de que, de acordo com González-Centeno et al. (2010) a presença elevada do teor de umidade na amostra compromete a sua aplicação e por isso deve ser reduzido este conteúdo de água principalmente para a extração de compostos, pois a secagem causa ruptura e destruição das paredes celulares permitindo que as substâncias presentes sejam facilmente extraídas (DROSOU et al., 2015).

Altas temperaturas causam degradação de compostos bioativos e por isso diversos autores relatam a utilização de temperaturas abaixo de 70 °C para garantir a integridade destes compostos (DUZZIONI et al., 2013). No entanto, Nobrega et al. (2014) ao avaliarem o efeito da secagem ao ar quente quanto aos compostos bioativos e atividade antioxidante em resíduo agroindustrial de acerola enfatizaram que as diferentes temperaturas avaliadas (60, 70 e 80 °C) não influenciaram na concentração dos compostos fenólicos apresentando valores próximos entre as amostras.

Quanto à utilização de solvente, usualmente são utilizados metanol, etanol, acetona, água, acetato de etila, propanol e suas combinações entre outros, para a extração de compostos fenólicos (NACZK; SHAHIDI, 2004), porém, o etanol tem sido o mais apropriado por ser considerado seguro na aplicação na área de alimentos (CHEN; ZHAO; YU, 2015).

Vieira et al. (2009), ao avaliarem polpa comercial de acerola, relataram que a extração aquosa apresentaram maior teor de fenólicos totais e atividade antioxidante por DPPH

expressa em EC<sub>50</sub>, enquanto pelo método ABTS, o extrato com etanol a 20% foi maior. Já Sousa et al. (2011) ao estudarem resíduo de polpa de acerola em base úmida, relataram que a extração com etanol a 20% apresentou maior teor de fenólicos totais e atividade antioxidante por ABTS, enquanto para DPPH expressa em EC<sub>50</sub> o extrato aquoso foi maior.

Vale salientar que o tamanho das partículas também interfere na extração, pois a trituração resulta em amostras desuniformes, enquanto as amostras em pó têm uma partícula mais homogênea e menor, levando a um melhor contato superficial entre a amostra e o solvente. Para uma boa extração o tamanho de partícula deve ser menor que 0,5 mm, pois é considerado o ideal para uma extração eficiente (AZWANIDA, 2015).

Diferentes métodos têm sido utilizados para a extração de compostos fenólicos em frutos e subprodutos de acerola. Muitos estudos procuram definir um melhor método de extração, no entanto, cada matriz tem suas particularidades em termos de propriedades bioativas, sendo estritamente importante o estudo do melhor método de extração para a obtenção de resultados promissores para posterior utilização.

## **2.5 Microencapsulação**

Diversos métodos de proteção têm sido estudados e a aplicação da tecnologia de encapsulação tem apresentado resultados satisfatórios na conservação dos compostos bioativos, prolongando a sua vida de prateleira e permitindo o desenvolvimento de um produto com características diferenciadas (COMUNIAN; FAVARO-TRINDADE, 2016).

O processo de microencapsulação foi desenvolvido para aprisionar materiais sólidos, líquidos ou gasosos em pequenas cápsulas contendo um ou mais combinações de polímeros, também conhecido como materiais de parede, tendo como finalidade a proteção do material ativo contra as condições adversas, estender a vida útil, além de melhorar as propriedades de liberação do seu conteúdo (PEANPARKDEE et al., 2016).

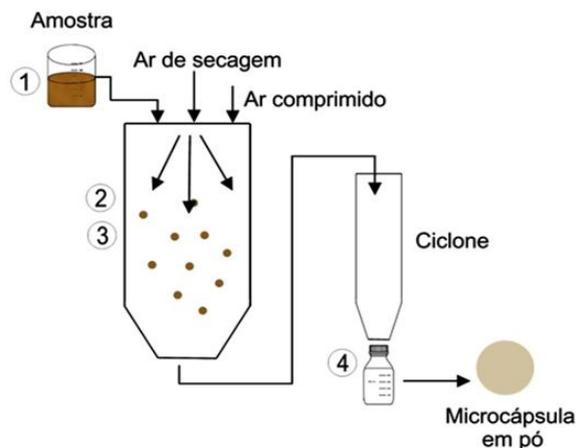
Por isso, a indústria tem usado a microencapsulação, pois os materiais encapsulados podem ser protegidos do calor, umidade, oxidação, reações químicas ou de outras condições extremas, aumentando a sua estabilidade e mantendo a viabilidade (SILVA et al., 2014).

Existem diversas técnicas de microencapsulação, as quais são divididas em métodos físicos, químicos e físico-químicos e dependendo da natureza física da substância do material a ser encapsulada e do agente encapsulante, a aplicação e finalidade, o tamanho, textura e forma das microcápsulas, bem como o mecanismo de liberação do material a ser encapsulada a técnica utilizada deverá ser variada (JYOTHI et al., 2010; BANSODE et al., 2010).

Dentre os diferentes métodos, a secagem por atomização spray dryer, caracterizado como um método físico é a técnica mais comum de encapsulação de ingredientes alimentícios, além de ser um método prático, econômico e mais comum para a obtenção de produtos em pó, com custo de processamento menor, quando comparado a outros métodos (SILVA et al., 2014).

A encapsulação por atomização é uma operação unitária usada para transformar emulsões líquidas em pós, (Figura 4) através da qual a substância a ser encapsulada é solubilizada ou dispersa em uma solução contendo o agente encapsulante, o que é posteriormente pulverizada, contribuindo para o aumento da área de superfície numa corrente de ar quente para obter um pó, instantaneamente. Habitualmente, é mais utilizado o ar ou, mais raramente, um gás inerte como o nitrogênio. Cada gota é originada uma partícula sólida, a qual é protegida pelo material encapsulante e que depois são recolhidas no ciclone (MUNOZ-IBANEZ, 2015).

**Figura 4** - Esquema simplificado da produção de microcápsulas por spray dryer.



Fonte: Adaptado de Comunian; Favaro-Trindade, (2016, p. 62).

(1) Emulsão é pulverizada em uma corrente de ar quente; (2) Formação de gotículas em esferas sólidas; (3) Revestimento da superfície externa com uma camada protetora (encapsulante); (4) Liberação do produto em pó.

De maneira geral, os compostos bioativos microencapsulados são avaliados através do coeficiente de retenção, que é o percentual em base seca, da massa da substância de interesse no produto final frente ao total presente antes da secagem, o qual pode ser influenciado pelo agente encapsulante como também pelos parâmetros de processo utilizado. De acordo com Sansone et al. (2011) os agentes encapsulantes afetam o rendimento e o coeficiente de retenção. Cai e Corke (2000) ao estudarem a influência da temperatura no processo de secagem por spray dryer sobre a retenção e estabilidade de betacianinas de amaranthus, os autores sugeriram que os processos sejam conduzidos com temperaturas inferiores a 180°C.

No estudo de Marques et al. (2014), os autores avaliaram os efeitos de concentrações de maltodextrina e da temperatura do ar de entrada sobre as propriedades físicas do extrato de milho verde seco por spray dryer e relataram que a combinação de uma temperatura do ar de secagem de 163°C e uma concentração de maltodextrina de 2,67% (m/m) apresentou melhores respostas aos parâmetros avaliados como, rendimento, umidade, atividade da água, solubilidade entre outros parâmetros de processo.

Como pode ser observado, as características finais do produto são influenciados por diversos fatores, os quais compromete a estabilidade, além do coeficiente de retenção como outras características químicas e morfológicas (OLIVEIRA; PETROVICK, 2010).

Com o passar dos anos, a área de encapsulação têm progredido e a tecnologia de microencapsulação por spray dryer tem se destacado com êxito na área de alimentos e diversos trabalhos têm usado essa tecnologia para obter ingredientes estáveis, com menor higroscopicidade, maior solubilidade entre outros fatores (COMUNIAN; FAVARO-TRINDADE et al., 2016).

A encapsulação de extratos naturais ricos em compostos fenólicos ou de compostos isolados tem sido extremamente estudada (RIBEIRO et al., 2015; ALVIM et al., 2016) e nos últimos anos pesquisas têm dado ênfase ao encapsulamento de compostos bioativos extraídos de diferentes fontes (TULINI et al., 2016; ŠAPONJAC et al., 2016; CALVO et al., 2017), por causa da facilidade e as diversas vantagens que a encapsulação oferece, tanto na preservação dos compostos bioativos, quanto a incorporação nos diversos sistemas alimentares (ÇAM et al., 2014; RIBEIRO et al., 2015; PATEL, 2017).

Dessa forma, a microencapsulação deixa de ser somente um método de agregar substâncias a uma formulação alimentar, para tornar-se uma fonte de ingredientes totalmente novos e com propriedades únicas (ANEKELLA; ORSAT, 2013).

Devido ao potencial interesse da acerola, quanto à concentração de ácido ascórbico presente no fruto, diversos trabalhos existentes na literatura reportam a utilização do suco ou polpa para a produção de produtos mais estáveis empregando o processo de microencapsulação. Na Tabela 1 é apresentado um resumo de alguns estudos na encapsulação de extratos e produtos oriundos da acerola através da técnica por spray dryer.

**Tabela 1 (Continua)** - Estudos de microencapsulação por spray dryer de extratos e produtos de acerola.

<b>Amostra</b>	<b>Parâmetros de processo</b>	<b>Material encapsulante</b>	<b>Composto bioativo</b>	<b>Resultados</b>	<b>Autores</b>
Suco de acerola	<b>Temperatura de secagem:</b> 220 °C	Maltodextrina DE 20 (15%) + Goma arábica (5%) Capsul*	Ácido ascórbico	O capsul foi utilizado apenas nos testes preliminares, sendo descartado, porque alterou o sabor e aroma do suco. Essa proporção forneceu maior proteção ao ácido ascórbico.	Figueiredo, (1998)
Suco concentrado de acerola verde e ác. Ascórbico sintético	<b>Temperatura de secagem:</b> 120°C <b>Bico atomizador:</b> 1 mm <b>Pressão de ar:</b> 5kgf/cm <sup>2</sup> <b>Vazão de alimentação:</b> 3,2 mL/min	Combinação de Maltodextrina DE 20 (15%) + Goma arábica (5%) e suco concentrado (80%)	Ácido ascórbico natural e sintético	A goma arábica foi mais eficaz do que a maltodextrina na retenção do ácido ascórbico durante a secagem. A avaliação da estabilidade na proporção dos encapsulantes foi eficiente na proteção contra a degradação da vitamina C, sendo mais eficaz do que para o sintético, principalmente nas temperaturas de armazenamento de 35 e 45 ° C.	Righetto e Neto, (2006)
Suco de acerola verde clarificado concentrado orgânico	<b>Temperatura de secagem:</b> 180 °C <b>Bico atomizador:</b> 1 mm <b>Vazão de alimentação:</b> 320 kg suco/hora	Maltodextrina orgânica	Ácido ascórbico	Verificou-se que a perda do ácido ascórbico do início ao fim do processo foi de 80,65%. A microencapsulação apresentou maior estabilidade quando comparado ao produto liofilizado.	Tanaka et al. (2007)

**Tabela 1 (Continuando)** - Estudos de microencapsulação por spray dryer de extratos e produtos de acerola.

<b>Amostra</b>	<b>Parâmetros de processo</b>	<b>Material encapsulante</b>	<b>Composto bioativo</b>	<b>Resultados</b>	<b>Autores</b>
Extrato aquoso de resíduo de acerola madura	<b>Temperatura de secagem:</b> 185°C <b>Bico atomizador:</b> 0,7 mm <b>Vazão do ar comprimido:</b> 1,23 kg.h <sup>-1</sup> <b>Vazão do ar de secagem:</b> 5,51x 10 <sup>4</sup> kg.h <sup>-1</sup> <b>Vazão de alimentação:</b> 0,49 kg.h <sup>-1</sup>	Maltodextrina DE 10 (50%) e goma de cajueiro (50%) Proporção de encapsulante/sólido: 5:1	Efeito da temperatura sob parâmetros de processo	Proporção apresentou condições ótimas para uma menor higroscopicidade e maior fluidez.	Moreira et al. (2009)
Extrato aquoso de resíduo de acerola madura	<b>Temperatura de secagem:</b> 170°C <b>Bico atomizador:</b> 0,7 mm <b>Vazão do ar comprimido:</b> 8,4x 10 <sup>-4</sup> m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> <b>Vazão do ar de secagem:</b> 37,5 m <sup>3</sup> . h <sup>-1</sup> <b>Vazão de alimentação:</b> 4,9x 10 <sup>-4</sup>	Maltodextrina DE10 e goma de cajueiro Concentrações de substituição percentual de maltodextrina (20, 50, 79,8 e 100%)	Antocianinas e ácido ascórbico	Para as condições ótimas foram temperatura a 170 °C na proporção de encapsulante/sólido:5:1.A maltodextrina pode ou não ser substituída (total ou parcial), haja vista que a goma de cajueiro, não apresentou alterações significativas na retenção dos compostos estudados.	Moreira et al. (2010)
Suco de acerola	<b>Temperatura de secagem:</b> 180°C <b>Pressão de atomização:</b> 7 bar <b>Vazão de ar de secagem:</b> 700 L.h <sup>-1</sup> <b>Vazão de alimentação:</b> 34 mL.min <sup>-1</sup>	Maltodextrina (10%) + Capsul (10%); maltodextrina(10%) + concentrado proteico (10%) e maltodextrina(6,7%) + Capsul (6,7%) + concentrado proteico (6,7%)	Antocianinas, ácido ascórbico e carotenóides	A formulação com amido modificado e maltodextrina apresentou maior retenção dos compostos estudados, no entanto o concentrado proteico e maltodextrina apresentou melhores resultados para a estabilidade de antocianinas totais e carotenóides.	Pagani et al. (2011)

**Tabela 1 (Conclusão)** - Estudos de microencapsulação por spray dryer de extratos e produtos de acerola.

<b>Amostra</b>	<b>Parâmetros de processo</b>	<b>Material encapsulante</b>	<b>Composto bioativo</b>	<b>Resultados</b>	<b>Autores</b>
Polpa comercial de acerola	<b>Temperatura de secagem:</b> 112 a 168 °C <b>Vazão de alimentação:</b> 0,5 L.h <sup>-1</sup> <b>Vazão do ar de secagem:</b> 3,5 L.s <sup>-1</sup> <b>Vazão de ar comprimido:</b> 30 L.min <sup>-1</sup>	Maltodextrina DE20 (Concentrações que variaram de 4,9 a 19,1%)	Ácido ascórbico	A concentração de 17,13% de encapsulante e a temperatura de 154 °C foram às condições ótimas para a obtenção de um pó com características físico-química desejável.	Ribeiro et al. (2014)
Suco de acerola verde	<b>Temperatura de secagem:</b> 165 e 175 °C <b>Bico atomizador:</b> 0,7mm; <b>Vazão do ar de secagem:</b> 35 m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> <b>Vazão de alimentação:</b> 9 e 15 mL.min <sup>-1</sup> <b>Fluxo de ar comprimido:</b> 473 e 670 L.h <sup>-1</sup> <b>Taxa de aspiração:</b> 25, 30 e 35 m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup>	Maltodextrina DE 10 e 20 (Concentrações de 10, 15 e 20%)	Ácido ascórbico	De acordo com os resultados os parâmetros ótimos foram: temperatura de 165°C, utilizando maltodextrina com dextrose equivalente de 20 % a uma concentração de 20% com vazão de alimentação de 9 mL.min <sup>-1</sup> , fluxo de ar de 670 L.h <sup>-1</sup> e taxa de aspiração de 35 m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> . Nestas condições obteve maiores rendimento e teor de ácido ascórbico. Dando continuidade ao estudo para a elaboração de sorvete enriquecido com Vitamina C.	Santos, (2014)
Polpa de acerola comercial	<b>Temperatura de secagem:</b> 120 °C <b>Bico atomizador:</b> 2,0 mm <b>Vazão de alimentação:</b> 20 mL.min <sup>-1</sup>	Maltodextrina DE 12 (Concentração de 5%)	Ácido ascórbico	O pó apresentou atividade antioxidante e alta concentração de vitamina C, quanto ao estudo de estabilidade, houve maior degradação da vitamina armazenada a 40 °C por 30 dias. Posteriormente o extrato seco foi incorporado em filmes de desintegração oral para administração de vitamina C.	Garcia, (2016)

Fonte: Próprio autor.

\*Não informado.

Mediante aos trabalhos existentes na literatura, o principal foco envolvendo a encapsulação de produtos e subprodutos de acerola estão relacionados com a preservação do ácido ascórbico, além do interesse na utilização de técnicas de processamento para prolongar a vida pós-colheita, por ser um fruto extremamente perecível. No entanto, poucas investigações mencionam avaliação dos compostos bioativos em resíduo de processamento de acerola e não há trabalhos cujo foco tenha sido a extração e encapsulação de diferentes resíduos agroindústrias oriundos de acerola verde e a influência do processo de secagem sobre as características das micropartículas obtidas.

### **2.5.1 Material encapsulante**

Compostos naturais como sabores, aromas, vitaminas, minerais, carotenóides, óleos essenciais, são encapsulados por diversos fins. Uma das principais razões é a proteção dos componentes ativos que são sensíveis ao oxigênio, pressão, calor, luz e água, além das alterações físicas como mudança de calor, pressão ou pH durante o processamento do produto. Por isso, a escolha dos materiais encapsulantes precisa ser realizada dando maior ênfase aos que possuem as características de mascarar o gosto, aroma e sabor, assim como alteração de cor, forma de dissolução e liberação controlada (VASISHT, 2014).

Dentre os diferentes tipos de encapsulantes comercializados a goma arábica, o alginato, a quitosana, a carragena, carboidratos, o amido, a maltodextrina dentre outros tem sido utilizados para aplicação como material encapsulante (JACKSON; LEE, 1991).

E diversos estudos nos últimos anos tem dado ênfase em avaliar a utilização de diferentes encapsulantes, com o objetivo de apresentar materiais de parede com características desejáveis, além de fornecer bons resultados sobre o produto final (MAHDAVI et al., 2016; OUTUKI et al., 2016; WANG et al., 2017).

Dentre os principais encapsulantes utilizados a maltodextrina e goma arábica tem se destacado por apresentar alta solubilidade e baixa viscosidade, que são condições importantes para o processo de secagem por pulverização e a combinação entre esses materiais tem se mostrado mais eficiente do que utilizados separadamente (FAZAELI et al., 2012).

É de suma importância à escolha do material encapsulante na técnica por spray dryer, em virtude que é ele que objetiva manter a estabilidade e a qualidade dos produtos finais, além de ser capaz de reduzir a higroscopicidade dos pós facilitando o processo de secagem (OLIVEIRA; PETROVICK, 2010).

As maltodextrinas são um polímero sacarídeo nutritivo, não doce, de cor branca, constituída por unidades D-glicose ligadas por cadeia  $\alpha$ 1-4, sendo as mais adequadas para

encapsulação de ácidos fenólicos e antocianinas. As maltodextrinas com grau de equivalência (DE) entre 10 e 20 garantem maior estabilidade física a matriz da parede, pois são menos higroscópicas evitando a aglomeração das partículas (BAKOWSKA-BARCZAK; KOLODZIEJCZYK, 2001).

Quanto à goma arábica também conhecida como goma acácia é constituída por um arranjo altamente ramificado de galactose, arabinose, ramnose e ácido glucurônico, contendo ainda cerca de 2% de um componente protéico ligado covalentemente a esse arranjo molecular, exercendo um papel fundamental na determinação das propriedades emulsificantes da goma (RANDALL; PHILLIPS; WILLIAMS, 1988).

Tem sido bastante empregada como material encapsulante por diversos fatores como, baixa viscosidade, solubilidade, boas propriedades emulsificantes, sabor suave, e por essa razão é muito utilizada pelas indústrias alimentícias (RIBEIRO; SERAVALLI, 2004). No entanto, tem um custo elevado e problemas de disponibilidade, já que é produzida em regiões sujeitas a variações climáticas. Assim, a busca por substitutos totais ou parciais para a goma arábica tem sido incentivada (McNAMEE; O'RIORDAN; O'SULLIVAN, 1998; GHARSALLAOUI et al., 2007).

### 3 OBJETIVOS

#### 3.1 Objetivo Geral

Caracterizar a polpa dos frutos de diferentes cultivares de acerola verde e os resíduos resultantes do processamento industrial de suco concentrado de acerola verde, obter extrato da farinha do resíduo, bem como caracterizar e encapsular pela secagem por spray dryer utilizando diferentes encapsulantes comerciais e temperaturas do ar de entrada de secagem.

#### 3.2 Objetivos Específicos

- Realizar a caracterização físico-química das polpas de três variedades de acerola verde a partir das frutas *in natura* e dos diferentes resíduos agroindustriais provenientes da obtenção do suco concentrado;
- Obter o extrato líquido das farinhas dos resíduos agroindustriais;
- Avaliar a atividade antioxidante *in vitro* dos extratos e das diferentes variedades de acerola pelos métodos de DPPH, ABTS, FRAP e ORAC;
- Determinar o conteúdo de fenólico e flavonóides totais dos extratos e das diferentes polpas de acerolas verdes;
- Microencapsular por secagem em spray dryer os extratos obtidos avaliando a influência da temperatura de secagem e o tipo de encapsulante sobre o teor dos compostos fenólicos e flavonóides;
- Obter as melhores condições de atomização quanto à caracterização das micropartículas e os parâmetros de processo (rendimento, eficiência de encapsulação, atividade de água, umidade, medição de cor, solubilidade, higroscopicidade, densidade aparente e densidade compacta), morfologia (MEV e tamanho de partícula) e conteúdo de compostos fenólicos, flavonóides totais e o potencial antioxidante;
- Selecionar as melhores condições de atomização do extrato líquido dos diferentes resíduos de acerola verde, visando à obtenção de um produto rico em compostos fenólicos.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Flavor e Análises Cromatográficas (LAF), pertencente ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos (PROCTA) e nos Departamentos de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Sergipe – UFS, Brasil.

### 4.1 Padrões e Reagentes

Trolox (6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromo-2- ácido carboxílico), ABTS (ácido 2,20-azino-bis (3-etilbenzotiazolina-6- ácido sulfônico), DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazila), AAPH (dicloreto de 2,2 –Azobis (2-amidinopropano), fluoresceína, reagente FRAP, sulfato ferroso, Folin-Ciocalteu, carbonato de sódio, cloreto de alumínio, DNS (Ácido 3,5-Dinitrosalicílico), metanol, álcool etílico (PA) foram obtidos da Sigma-Aldrich e Fluka Analytica (St Louis, Missouri, USA). Ácido oxálico, 2,6-diclorofenol indofenol (DCPIP) obtidos da Vetec Química Fina Ltda (Duque de Caxias, Rio de Janeiro, Brazil). Acetona adquirido da Synth (Diadema, São Paulo, Brasil) e carbonato de cálcio da Cromoline Química Fina (Diadema, São Paulo, Brasil).

Como materiais encapsulantes foram utilizados maltodextrina DE 20 (Loba Chemie, Mumbai, India) e goma arábica PA da Dinâmica Química (São Paulo, Brasil).

Água ultrapura foi obtida de um sistema Milli-Q (Millipore, Direct- Q 3 UV, Darmstádio, Alemanha).

### 4.2 Matéria-prima

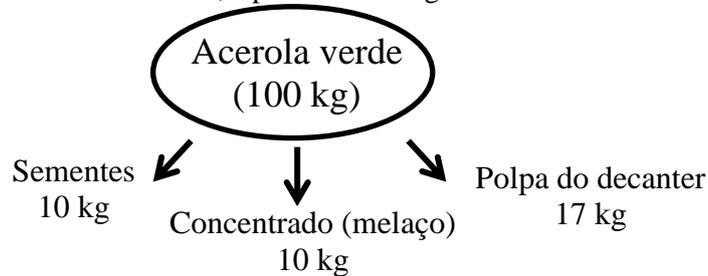
O processo de obtenção do suco concentrado de acerola verde consiste de uma série de etapas industriais em grande escala que geram, além do suco, outros subprodutos do processo.

A Figura 5 ilustra o rendimento teórico de produtos e subprodutos obtidos a partir de 100 kg de acerolas, de acordo com a empresa. Para a realização dos experimentos foi utilizado os resíduos obtidos do processo de concentração de suco de acerola verde pela empresa Niagro - Nichirei do Brasil Agrícola Ltda., localizado no distrito industrial de Petrolina, no estado de Pernambuco, Brasil.

Foram coletadas amostras de dois tipos de resíduos (sementes e decanter), obtidos em diferentes etapas do processo. O resíduo era composto de diferentes variedades de acerola verde, conforme adotadas na indústria: Flor Blanca, Costa Rica e Junko, proveniente de 230

produtores da região do Vale do Submédio São Francisco. Esses resíduos selecionados provinham de acerolas que foram colhidas entre os meses de abril e maio de 2017.

**Figura 5** - Rendimento teórico dos produtos e subprodutos da obtenção de suco de acerola verde concentrado, a partir de 100 kg da fruta.



Fonte: Próprio autor

O resíduo da acerola constituído por sementes foi recolhido após o despulpamento dos frutos, através de uma despulpadeira mecânica utilizando uma peneira com mesh de 2 mm e posteriormente foi coletado o resíduo do decanter, como o próprio nome já diz, resultante da etapa de decanter. Os resíduos foram acondicionados em sacos de polipropileno em porções de 1 kg, totalizando 8 kg para cada amostra, em seguida foram congelados a  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  e posteriormente foram armazenados em caixas de poliestireno expandido (isopor) contendo gelo reutilizável rígido e transportados para o LAF. Os resíduos permaneceram congelados a  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , até o preparo dos extratos e análises, Figura 6.

**Figura 6** - Resíduo de acerola verde: A) decanter; B) sementes.

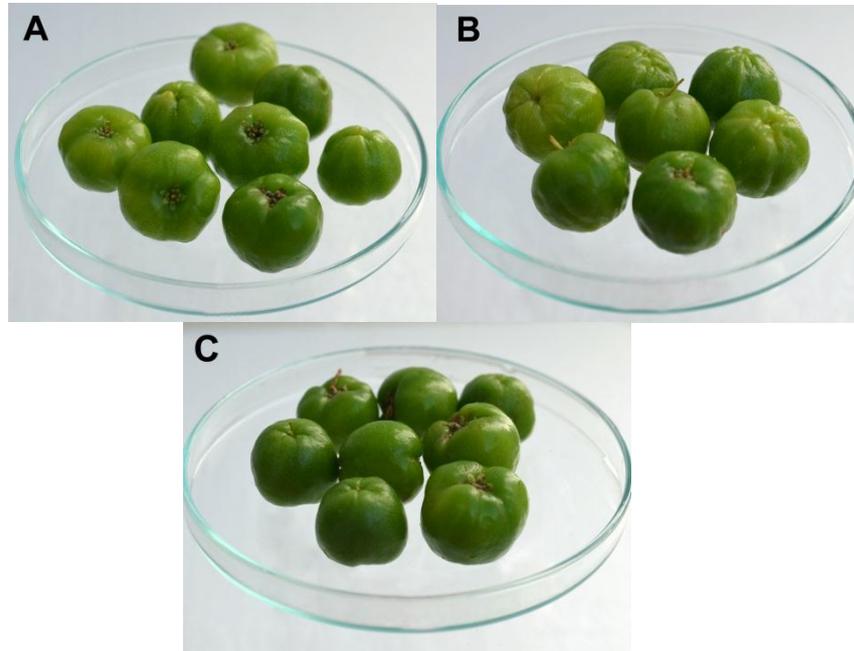


Fonte: Próprio autor.

Foram cedidas também diferentes variedades de acerola (Figura 7) na maturidade fisiológica verde com mais de 75% da casca com coloração verde (CARVALHO; MANICA, 1994), as quais são utilizadas no processo para a obtenção do suco de acerola verde concentrado. Os frutos foram acondicionados em sacos de polipropileno em porções de 2 kg para cada variedade, sendo submetidos às mesmas condições dos resíduos, exceto o

congelamento, pois os frutos permaneceram apenas em temperatura de resfriamento até o momento das análises físicas.

**Figura 7** - Acerola verde: A) Costa Rica; B) Junko e C) Flor Branca.

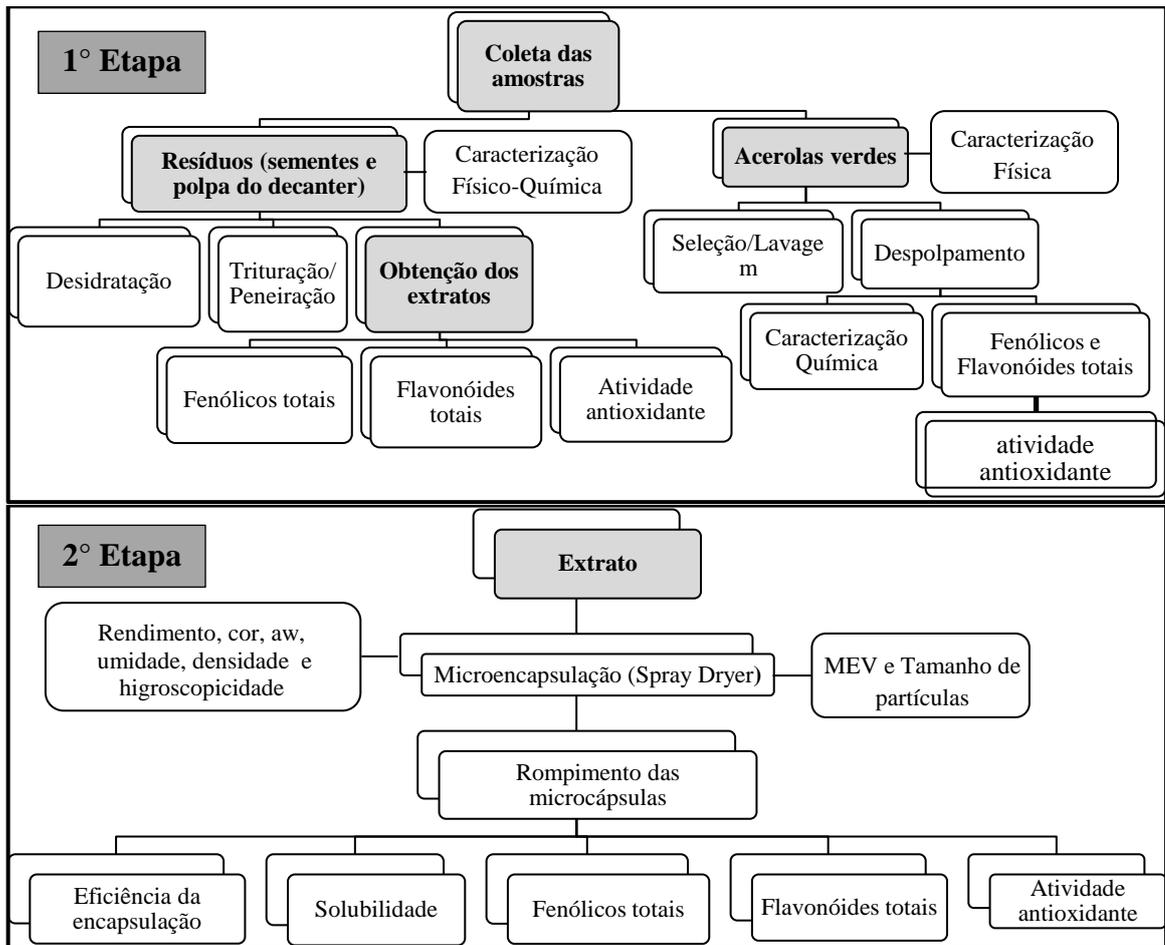


Fonte: Próprio autor.

### 4.3 Etapas do trabalho

O objetivo desse tópico é descrever as etapas que foram realizadas durante a execução dos experimentos, a fim de facilitar a apresentação e compreensão no cumprimento das tarefas. O experimento foi desenvolvido em duas etapas distintas, apresentadas na Figura 8 e descritas abaixo:

**Figura 8** - Esquema das atividades que foram realizadas na pesquisa.



Fonte: Próprio autor.

A 1º etapa teve como finalidade avaliar as características físico-químicas dos resíduos agroindustriais (*in natura* e desidratado) e as polpas das diferentes variedades de acerola verde. Posteriormente, com a obtenção dos extratos dos resíduos desidratados, foram avaliados os compostos bioativos e o potencial antioxidante. Foram utilizados três lotes diferentes de cada resíduo. As condições de extração otimizada utilizada nos resíduos também foram empregadas para os frutos.

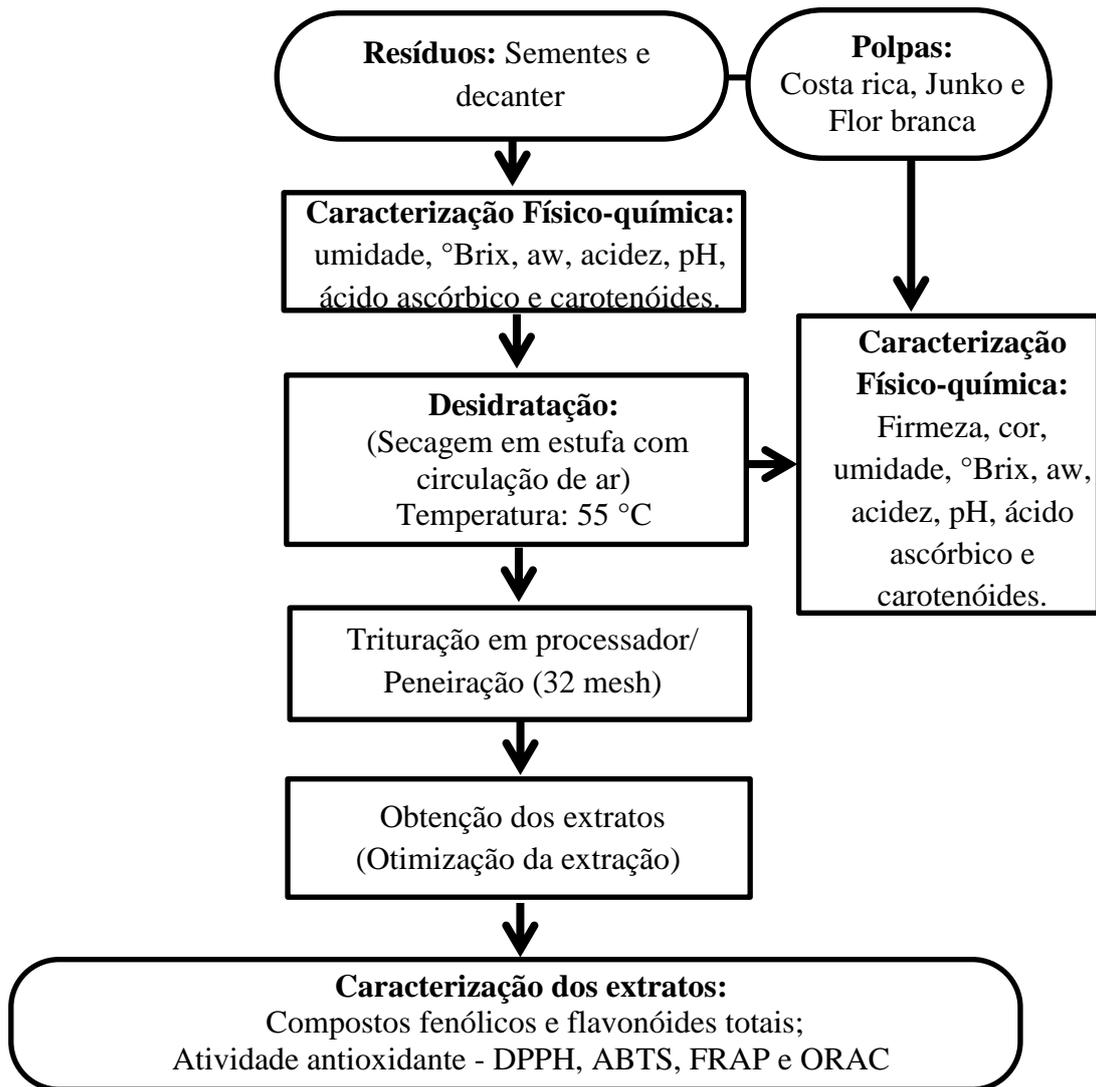
Na 2º etapa teve como objetivo elaborar as microcápsulas provenientes dos extratos líquidos dos diferentes resíduos estudados e posteriormente avaliar as microcápsulas obtidas através das análises de caracterização física, química e morfológica.

#### 4.4 Procedimento experimental

##### 4.4.1 Etapa 1: Determinação dos compostos bioativos dos resíduos agroindustriais e dos frutos de acerola verde e obtenção dos extratos fenólicos

Como citado anteriormente será detalhado cada experimento, como pode ser observado na Figura 9, a seguir.

**Figura 9** - Fluxograma de desenvolvimento das atividades da 1º Etapa.



Fonte: Próprio autor.

#### *4.4.1.1 Preparo das amostras*

##### *4.4.1.1.1 Fracionamento dos frutos*

Os frutos foram selecionados manualmente, com base em ausência de danos mecânicos, sanidade e uniformidade de cor. Posteriormente foram higienizados por imersão em solução clorada (hipoclorito de sódio) a 30 ppm, enxaguados em água corrente e distribuídos sobre uma bancada para secagem natural.

Inicialmente os frutos foram analisados quanto à compressão (texturômetro) e análise de cor para a determinação da maturidade. Para dar continuidade à realização dos procedimentos analíticos nas diferentes variedades de acerolas, cada unidade experimental foi composta por 30 frutos escolhidos de forma aleatória. Foram despulpados para a separação da parte comestível (polpa e casca) e semente de forma manual. Após o despulpamento as amostras foram trituradas em um processador (modelo Mixer Grinder Divo, marca Morphy Richards, Índia) e armazenadas em pequenas porções e congeladas a -18 °C até o momento das análises físico-químicas.

##### *4.4.1.1.2 Resíduos de acerola verde*

Os resíduos de acerola verde foram removidos do congelador e colocados para descongelar sob refrigeração antes da secagem. Foi separada uma parte de cada resíduo para a determinação de algumas análises físico-químicas, os quais foram armazenados em pequenas porções em embalagens de polietileno e congelados até o momento das análises. As amostras foram desidratadas separadamente em estufa com circulação e renovação de ar (Marconi, modelo MA 035/5, São Paulo, Brasil). Onde os resíduos das sementes e decanter foram dispostos em bandejas e desidratados a 55 °C. Para o acompanhamento da perda do teor de água durante o processo de desidratação, foram realizadas pesagens das amostras com peso inicial de 10 g no início e posteriormente em intervalos regulares, até a obtenção da massa constante.

Após a desidratação as amostras foram trituradas separadamente em um processador (modelo Mixer Grinder Divo, marca Morphy Richards, Índia) e peneiradas para obtenção de um pó, com um diâmetro médio de partícula de 500 µm, o qual foi determinado na utilização de peneira de aço inox (Bertel, São Paulo, Brasil). Posteriormente foram embaladas e armazenadas ao abrigo da luz até o momento da obtenção dos extratos líquidos e análises físico-químicas

#### 4.4.1.2 Análises físico-químicas das matérias-primas

Os resíduos agroindustriais *in natura* (semente e decanter), bem como nos resíduos desidratados e as três variedades de acerola verde foram avaliados de acordo com as análises propostas no fluxograma da 1ª etapa, bem como a determinação dos compostos bioativos, conforme as metodologias a seguir.

Para a realização das análises de umidade, potencial hidrogeniônico (pH), acidez titulável e sólidos solúveis totais foram realizadas conforme as Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008).

##### 4.4.1.2.1 Umidade

Aproximadamente 5g da amostra foi seca pelo método de secagem direta em estufa a 105 °C. O resultado foi expresso em porcentagem de umidade da amostra.

##### 4.4.1.2.2 Atividade de água ( $a_w$ )

A atividade de água foi obtida através de leitura direta em medidor eletrônico da AQUA LAB (4 TEV, USA), de acordo com as especificações do equipamento.

##### 4.4.1.2.3 Acidez titulável

A acidez titulável foi determinada por titulação. Aproximadamente 5 g de amostra foram diluídas em 50 mL de água destilada, em seguida, foi transferido para um erlenmeyer de 125 mL e adicionado três gotas de solução de fenolftaleína a 1%. A titulação foi realizada utilizando solução de NaOH 0.1 M e fator de correção de 0.1, sob agitação constante. O teor da acidez foi expresso em porcentagem de ácido málico por grama de amostra.

##### 4.4.1.2.4 Potencial Hidrogeniônico (pH)

Para determinação do potencial hidrogeniônico (pH) foi utilizado um potenciômetro digital de bancada da marca Hanna Instruments, modelo HI 2221 (São Paulo, Brasil). Aproximadamente 5 g da amostra foram adicionadas a 50 mL de água destilada e posteriormente homogeneizada por 10 minutos em agitador magnético. Após esta etapa foi realizada a leitura do pH. O potenciômetro estava previamente calibrado com as soluções tampões pH 7,0 e pH 4,0.

#### *4.4.1.2.5 Sólidos Solúveis Totais*

Os sólidos solúveis foram determinados por medição direta em refratômetro digital de bancada modelo DAS E-SCAN (Estados Unidos). O resultado foi expresso em °Brix.

#### *4.4.1.2.6 Ácido Ascórbico*

O ácido ascórbico foi determinado de acordo com a metodologia descrita pela AOAC (1984) modificado por Benassi e Antunes (1988). Para a determinação foi utilizado 5g de amostra diluída em 50 mL de ácido oxálico a 2% e posteriormente foi retirado uma alíquota de 7 mL e titulado em solução de DFI (2,6 dicloro-fenol-indofenol), previamente padronizada. O resultado foi expresso em mg de ácido ascórbico/100 grama de amostra.

#### *4.4.1.2.7 Determinação de carotenoides e clorofila*

A determinação do teor de carotenoides e clorofila foi realizada de acordo com a metodologia proposta por Lichtenthaler (1987). Aproximadamente 2g de amostra foi homogeneizada com carbonato de cálcio em 7 mL de acetona a 80%. O extrato foi filtrado e lavado por mais duas vezes com acetona a 80% até completar o volume para 25 mL. Todo o procedimento foi realizado no escuro. As absorvâncias do extrato foram lidas no comprimento de ondas de 646,8 e 663,2 para a determinação do conteúdo de clorofila a (Ca) e clorofila b (Cb) e 470 nm para carotenoides, sendo utilizada acetona 80% como branco. As concentrações foram determinadas de acordo com as equações proposta pelo método e os resultados expressos em µg por grama de amostra.

#### *4.4.1.2.8 Análise de cor*

Para a determinação do grau de coloração das cascas das acerolas verdes foi realizada análise da cor através do colorímetro (CHOMA METER, modelo CR 400, Konica Minolta Inseng, Japão) O iluminante escolhido foi o D65, recomendado pela CIE (Comissão Internacional de Iluminação), por representar a luz média do dia. O equipamento foi calibrado antes das leituras.

Foi utilizada a escala de cor CIELAB que definem a cor em um espaço tridimensional, onde foram medidos os parâmetros L\*, a\* e b\*, no qual L representa uma medida aproximada de luminosidade, a qual cada cor pode ser considerada como equivalente a um membro da escala de cinza, entre preto e branco, levando valores dentro da faixa de 0 a 100. A

coordenada  $a^*$  possui valores positivos para cores avermelhadas e valores negativos para os esverdeados, enquanto que  $b^*$  possui valores positivos para cores amareladas e valores negativos para os azulados. Foi obtido também as coordenadas esféricas do ângulo Hue e Choma por meio das equações 1 e 2 :

$$\text{HUE} = \arctg(b^* / a^*) \quad (\text{Eq.1})$$

$$\text{CHOMA} = \sqrt{(a^*{}^2 + b^*{}^2)} \quad (\text{Eq.2})$$

#### 4.4.1.2.9 *Análise de perfil de textura (TPA)*

A firmeza das acerolas verdes foi analisada por teste de penetração utilizando um analisador de textura digital (modelo CT3, Brookfield Engineering Laboratories, USA). Os frutos foram colocados em uma plataforma de forma central, equipado com uma célula de carga de 25 kg e uma sonda cilíndrica (TA3/100) para simular a força exercida, a qual foi programada para penetrar 7 mm na amostra a uma velocidade de 1,5 mm/s, sendo selecionado o teste TPA (Texture Profile Analyses), onde é possível medir a resistência da polpa a penetração com ruptura. Para a obtenção dos dados o analisador de textura era conectado a um software (TexturePro CT3 V1.2 Build 9), sendo gravados para posterior tratamento dos dados. Todas as medidas foram realizadas em triplicata e os valores foram expressos em Newton (N), considerando a média das leituras.

#### 4.4.1.3 *Obtenção dos extratos fenólicos dos resíduos desidratados da acerola verde*

Após a obtenção dos resíduos desidratados foram realizados ensaios preliminares para definir concentração de etanol e método de extração, devido à escassez de informação sobre extrato de acerola verde como dos resíduos. Portanto, as condições foram baseadas conforme dados citados na literatura e a melhor condição foi determinada através das análises e comparação dos resultados das variáveis dependentes (compostos fenólicos e flavonóides). Definindo assim a extração que apresentar melhor resultados.

Para obtenção dos extratos dos resíduos foi preparado etanol aquoso a 50 e 70% (v/v) através da diluição de etanol absoluto a 99,5% com água destilada obtida através de um sistema Milli-Q. Foram obtidos extratos utilizando-se a proporção de sólido com quantidades exatamente conhecida e solvente na proporção de 1:10 (massa em gramas dos resíduos

desidratados : volume em mL da solução extratora). Os sólidos e os solventes foram colocados em contato em erlenmeyer devidamente vedados para evitar perdas por evaporação.

Os métodos utilizados foram por extração assistida por ultrassom (modelo, USC-1400A, Unique, São Paulo, Brasil) com frequência ultrassônica de 40 khz, a 40 °C, enquanto para a realização da extração por maceração as amostras foram mantidas em banho-maria utilizando uma chapa aquecedora (modelo, SL-140/D, Solab, Piracicaba, São Paulo, Brasil) a 50 °C com agitações ocasionais. Sendo fixado o tempo de extração de 60 minutos. A temperatura foi monitorada através de um termômetro digital.

Afim de comparação foi realizado também uma extração com hidrólise ácida, de acordo com a metodologia proposta por Rezende, Nogueira e Narain (2017), sendo preparado etanol aquoso a 46,49% (v/v) e a proporção de sólido: solvente na proporção de 1: 8,66. Foi utilizado ultrassom (modelo, USC-1400A, Unique, São Paulo, Brasil) com frequência ultrassônica de 40 khz, a 30 °C por 30 minutos.

Os experimentos foram realizados em triplicata. Após a extração, as amostras de cada tratamento foram centrifugadas através de uma centrífuga (modelo, 5810R, Eppendorf AG, Hamburgo, Alemanha) a 6000 g a 20°C por 10 minutos. O sobrenadante (extrato) foi coletado e acondicionado em frasco âmbar devidamente identificado e armazenado em freezer a -18 °C até o momento da realização das análises químicas.

#### *4.4.1.4 Análises espectrofotométricas*

Para a realização das análises espectrofotométricas os extratos líquidos da semente e decanter desidratados foram diluídos conforme a faixa do analito de cada análise. As leituras foram realizadas em um espectrofotômetro de microplaca com 96 poços (SpectraMax M2, Molecular Devices). O total de três poços foi utilizado por amostras, de modo que cada medida era uma média de três repetições. Foram realizadas também análises da polpa das três variedades de acerola verde, com base na extração otimizada.

##### *4.4.1.4.1 Determinação de fenólicos totais*

A concentração de fenólicos totais foi determinada pelo método espectrofotométrico com Folin-Ciocalteu, de acordo com a metodologia de Singletto e Rossi (1965). O conteúdo total de fenólicos foi determinado a 765 nm depois de reagir com o reagente Folin-Ciocalteu.

O ácido gálico foi usado como padrão e as concentrações fenólicas nas amostras foram expressas como miligrama equivalente de ácido gálico (EAG) por grama de amostra em base seca.

#### *4.4.1.4.2 Determinação de flavonóides totais*

A concentração de flavonóides foi determinada segundo a metodologia de González – Aguilar et al. (2007). O conteúdo total de flavonóides foi determinado a 415 nm, zerado com branco dos reagentes sem adição de amostra. Os resultados foram calculados de acordo com a equação referente à curva de calibração que foi construída com concentrações de quercetina variando de 0 a 300 mg.mL<sup>-1</sup> e os resultados foram expressos por miligrama de quercetina por grama de amostra em base seca

#### *4.4.1.4.3 Atividade de sequestro do radical DPPH*

A atividade antioxidante foi determinada pelo método direto de sequestro de radicais livres (DPPH - 2,2 difenil-1-picrilhidrazil) de acordo com Kim et al. (2002). A leitura foi realizada a 517 nm após 30 minutos utilizando etanol P.A. como branco. O padrão analítico Trolox foi utilizado para a construção da curva analítica nas concentrações de 1,0 a 2,5 µM.mL<sup>-1</sup> e os resultados foram expressos como µmol equivalente de Trolox por grama de amostra em base seca.

#### *4.4.1.4.4 Atividade de captura do radical livre ABTS*

A determinação da atividade antioxidante pelo o método ABTS (2,2-azino-bis-(3-etil-benzotiazolina-6-ácido sulfônico) foi utilizada conforme metodologia descrita por Re et al. (1999).

O radical catiônico (ABTS•) foi produzido através da reação de 5 mL de radical ABTS (7 mM) com 5 mL de persulfato de potássio (1,40 mM). A mistura foi mantida no escuro à temperatura ambiente durante 16 horas previamente às análises. Para este ensaio, a solução ABTS foi diluída com etanol para ajuste da absorbância inicial de 0,700 a 734 nm. A atividade de eliminação radical ABTS das amostras foram determinadas através da taxa de decaimento na absorbância a 734 nm, determinado no tempo t = 0 min e no tempo t = 6 min após a adição de amostras. Para o cálculo da quantificação foi utilizada a equação da reta da curva padrão que será construída com diferentes concentrações de Trolox contendo 0, a 100 mM.mL<sup>-1</sup>. Os resultados foram expressos como µmol equivalente Trolox por grama de amostra em base seca.

#### 4.4.1.4.5 Atividade antioxidante pelo método de redução do ferro – FRAP

A determinação da atividade antioxidante pelo o método FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power) foi determinada de acordo com a metodologia proposta por Thaipong et al. (2006).

Para a realização da análise, o reagente FRAP foi preparado no momento da análise, através da mistura de 25 mL de tampão acetato (pH 3,6) com 2,5mL de solução TPTZ (10 mM ) e 2,5 mL de cloreto férrico hexa-hidratado (20 mM), logo após a solução foi aquecida a 37 °C antes da utilização nas análises. A absorbância foi lida a 593 nm após 30 minutos em repouso no escuro e o espectrofotômetro foi zerado com a solução FRAP.

O potencial antioxidante foi determinado com base na curva de calibração utilizando Trolox em concentrações que variaram entre 0 e 150 mg.mL<sup>-1</sup>. Os resultados foram expressos em µmol equivalente ao Trolox por grama de amostra em base seca.

#### 4.4.1.4.6 Capacidade de absorção do radical oxigênio (ORAC)

Para a realização da análise pelo método ORAC (*Oxygen Radical Absorbance Capacity*) foi utilizado a metodologia proposta por Albarici et al. (2009).

No ensaio foi utilizado um tampão fosfato 75 mM (pH 7,4) para preparar amostras e soluções Trolox. Foi adicionado em cada tubo 1,50 mL de solução de trabalho de fluoresceína (63 mmol/L) e 0,75 mL da amostra previamente diluída e encubada a 37° C por 15 minutos.

Depois foram adicionados 0,75 mL de solução de AAPH. A diminuição da fluorescência foi monitorada cineticamente a cada 10 minuto por 24 horas, através do programa do equipamento do espectro fluorímetro utilizado. O pico de absorção da fluoresceína foi dado nos comprimentos de onda 485 nm para excitação e 520 nm o de emissão. A atividade antioxidante foi expressa como área sob a curva de fluorescência integrada ao longo do tempo. O resultado foi interpolado ao gráfico do padrão Trolox nas concentrações contendo de 2,5 a 100 µM e os resultados foi expresso como µM equivalentes ao Trolox por grama de amostra em base seca.

#### 4.4.1.6 Determinação do extrato seco (rendimento de extração)

O teor de extrato seco foi determinado de acordo com a metodologia proposta pela AOAC (2005). Alíquota de 5 mL de cada extrato líquido foram exatamente medido e transferido para cápsulas de porcelana previamente taradas. Posteriormente foram colocados em banho-maria, etapa de evaporação do solvente, até que as amostras ficassem com

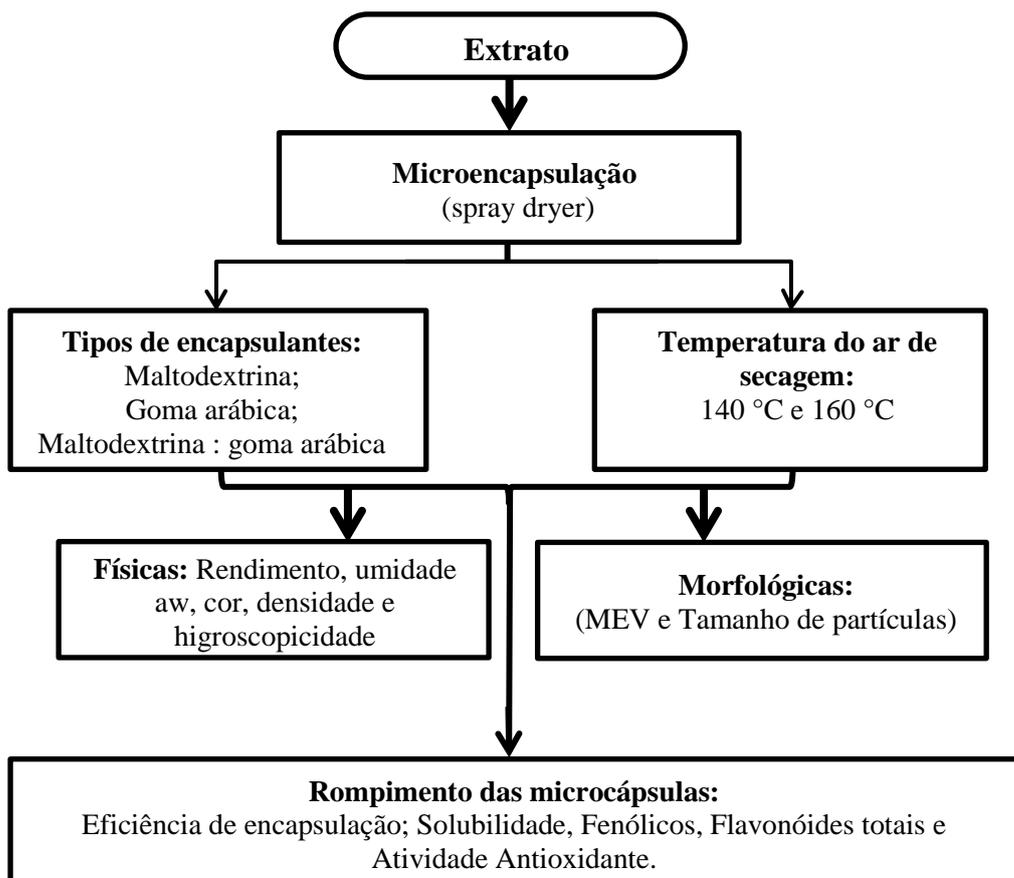
aparência seca, em seguida, foram levadas para estufa à 105 °C, até peso constante. As cápsulas foram novamente pesadas e calculadas o teor de sólidos. Os resultados foram expressos em % de matéria seca, de acordo com a Equação 3.

$$\text{Extrato seco \%} = \frac{\text{Massa final} - \text{Massa inicial}}{\text{Massa final}} \times 10 \quad (\text{Eq. 3})$$

#### 4.4.2 Etapa 2: Obtenção das micropartículas pela técnica de atomização por Spray Dryer

Com base nos resultados da etapa anterior, foi dada sequência ao trabalho com o objetivo de determinar as condições ótimas de microencapsulação, como pode ser observado no esquema da Figura 10.

**Figura 10** - Esquema das atividades da 2ª Etapa (Microencapsulação por spray dryer).



Fonte: Próprio autor

#### 4.4.2.1 Microencapsulação por spray dryer

##### 4.4.2.1.1 Elaboração das micropartículas

Para obtenção das soluções os encapsulantes foram dissolvidos no próprio extrato, sendo combinada a concentração de encapsulante sobre o volume total de extrato utilizado (100 mL), exceto para amostra controle, a qual foi preparada sob as mesmas condições experimentais, mas sem encapsulante. Para uma melhor solubilização a mistura foi submetida à agitação em incubadora shaker (SL 222/Solab) com rotação de 200 rpm a 35°C por 10 minutos para uma completa homogeneização. Durante o processo de secagem a solução foi mantida sobre agitação à temperatura ambiente.

##### 4.4.2.1.2 Processo de microencapsulação

O processo de microencapsulação foi realizado utilizando a técnica de atomização com secagem em spray dryer (modelo LM MSD 1.0 – Labmaq, Brasil) com câmara de secagem de 500 mm de diâmetro e 1800 mm de altura com capacidade de secagem de 1,0 L de água por hora. Foi utilizado o bico de pulverização de 1,0 mm de diâmetro.

A otimização do processo foi realizada para os parâmetros de temperatura e tipos de encapsulantes. Os ensaios foram conduzidos para temperatura do ar de secagem (140 e 160 °C), encapsulantes (maltodextrina, goma arábica e a combinação de maltodextrina: goma arábica), sendo a combinação dos encapsulantes na proporção de 1:1(m/m). A concentração dos encapsulantes foi fixada em 10% (m/v) sobre o volume total de extrato utilizado. Foi mantido constante o fluxo do ar de secagem de 25 m.s<sup>-1</sup>, o fluxo de ar comprimido de 35 L.s<sup>-1</sup> e vazão de alimentação de amostra a 0,20 L.h<sup>-1</sup> através de uma bomba peristáltica. Essas condições de secagem foram tomadas como bases em estudos bibliográficos. A matriz dos experimentos é apresentada na Tabela 2, a seguir.

**Tabela 2** - Condições experimentais para atomização por spray dryer.

Ensaio	Tratamento	Ensaio	Tratamento	Encapsulantes	Temp(°C)
1	PT1E1	9	ST1E1	Maltodextrina	140
2	PT2E1	10	ST2E1	Maltodextrina	160
3	PT1E2	11	ST1E2	Goma arábica	140
4	PT2E2	12	ST2E2	Goma arábica	160
5	PT1E3	13	ST1E3	Maltodextrina + goma arábica	140
6	PT2E3	14	ST2E3	Maltodextrina + goma arábica	160
7	PT1CI	15	ST1CI	Controle	140
8	PT2C2	16	ST2C2	Controle	160

P – Polpa; S – Semente; T – Temperatura; E – encapsulante; C – Controle. Fonte: Próprio autor.

Após o procedimento de atomização as micropartículas obtidas foram acondicionadas em frascos de vidros âmbar devidamente identificados e mantidos a -18 °C até serem analisados. Os experimentos foram realizados de forma aleatória, sendo oito ensaios para cada resíduo (semente e polpa do decanter), totalizando 16 ensaios.

#### 4.4.2.2 Caracterização das micropartículas

Para a caracterização das micropartículas, quanto aos parâmetros de processo foram realizadas análises de umidade (item 4.4.1.2.2), atividade de água (item 4.4.1.2.2), cor (item 4.4.1.2.8), rendimento, higroscopicidade, solubilidade, densidade (aparente e aparente compactada), as quais serão descritas a seguir.

##### 4.4.2.2.1 Rendimento

O rendimento de encapsulação foi determinado de acordo com Fang e Bhandari (2011). Para a verificação do rendimento final do processo por spray dryer foi calculada a razão de massa (g) obtida no final do processo de secagem (pó coletado) em relação à massa (g) da matéria seca total contida inicialmente no extrato líquido do resíduo de acerola verde (material de parede + material ativo) x 100. O cálculo será de acordo com a equação 4.

$$\text{Rendimento \%} = \frac{\text{massa da microcápsula (pó coletado) (g)}}{\text{total da massa de matéria-prima inicial(g)}} \times 100 \quad \text{Eq. (4)}$$

##### 4.4.2.2.2 Higroscopicidade

A análise de higroscopicidade foi realizada de acordo com os procedimentos descritos por Cai e Corke (2000) com algumas modificações. Cerca de 0,2 g de amostra de cada pó foram colocadas em um dessecador contendo uma solução saturada de NaCl com umidade relativa de 75% a 25 °C. As amostras foram pesadas todos os dias, durante uma semana. A higroscopicidade foi determinada como a massa, em gramas, da umidade adsorvida por 100 g de matéria seca (%).

##### 4.4.2.2.3 Solubilidade

O índice de solubilidade foi determinado conforme o método de Cano-Chauca et al. (2005), com modificações. Foram pesados 1 g das amostras de pó e agitou-se em 100 mL de água destilada durante 30 minutos utilizando uma placa aquecedora. Posteriormente, a

solução foi submetida à centrifugação a 3000 rpm por 5 minutos. Uma alíquota de 25 mL do sobrenadante foi transferida para uma placa de petri de peso conhecido e secas em estufa de circulação de ar (Marconi MA035/2) a 105 °C durante 5 h. A solubilidade foi calculada como sendo a percentagem de sobrenadante seco em relação à quantidade de massa de pó inicialmente adicionado.

#### *4.4.2.2.4 Densidade*

O método proposto por Fernandes et al. (2014), com algumas modificações, foi usado para determinar a densidade aparente ( $\rho_B$ ) e aparente compactada ( $\rho_T$ ) das micropartículas obtidas no estudo. Uma proveta de 50 mL foi tarada e adicionado o pó até certo volume e pesada novamente. A densidade foi calculada pela razão entre a massa de pó na proveta e o volume que ela ocupava.

Para a realização da densidade aparente compactada foi realizado o mesmo procedimento citado anteriormente, onde após a adição do pó na proveta, foram realizadas batidas consecutivas em uma superfície sólida por aproximadamente 50 vezes para compactação e medido seu peso e volume ocupado. A densidade aparente compactada foi calculada pela razão entre a massa de pó e o volume ocupado após as batidas.

#### *4.4.2.2.5 Eficiência de Encapsulação*

Para a medição da eficiência de encapsulamento dos compostos fenólicos nas micropartículas foi feita de acordo com Çam et al. (2014). Para realizar a quantificação é necessária à realização de duas etapas distintas.

Primeiro foi realizado a extração dos compostos na superfície das microcápsulas, utilizando etanol, em seguida realizou-se a agitação em vortex por alguns segundos e centrifugou-se a 4 000 g durante 5 minutos, sendo posteriormente recolhida a fração de etanol. Para a quantificação do total de compostos presentes dentro e fora das micropartículas, utilizou a extração atomizada (solução de etanol a 46,5% acidificada com ácido clorídrico) para propiciar o rompimento das partículas. Ambas as frações recolhidas foram avaliadas quanto ao seu teor total de compostos fenólicos pelo método de Folin-Ciocalteu descrita no item 4.4.1.4.1.

O resultado foi expresso em percentual do total de compostos fenólicos encapsulados, sendo o cálculo realizado através da equação 5. O total de compostos fenólicos e os

compostos fenólicos da superfície foram calculados e expressos em mg EAG. g<sup>-1</sup> de amostra em base seca.

$$(EE \%) = \frac{\text{Total de composto fenólico} - \text{compostos fenólico na superfície}}{\text{Total de compostos fenólicos}} \times 100 \quad (\text{Eq. 5})$$

#### 4.4.2.3 Análises morfológicas nas microcápsulas

##### 4.4.2.3.1 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A caracterização morfológica das micropartículas foi realizada com o auxílio de um microscópio eletrônico de varredura JEOL (modelo JSM-6510 LV, Jeol, Japão). As amostras foram fixadas em um suporte metálico (stub) com auxílio de uma fita dupla-face de carbono e recobertas com deposição de prata sob vácuo com a ajuda de um dispositivo de revestimento por pulverização catódica Kurt J. Lesker (modelo Compani 108, Supply 110). Para tal, foram selecionados aleatoriamente campos das imagens, sendo realizada as visualizações em magnificações de 50, 500 e 3000 vezes, com uma voltagem de excitação de 15 a 20 kV.

##### 4.4.2.3.2 Análise do tamanho de partículas

Para a avaliação do tamanho de partículas a aquisição das imagens para as medições foram obtidas utilizando um microscópio óptico Zeiss Scope A.1 AXIO acoplado com uma câmera digital (Axio Cam ERC5s, Carl Zeiss, Germany). Foram medidos individualmente 150 micropartículas de cada ensaio utilizando um programa computacional image J® programa computacional disponibilizado gratuitamente pelo National Institute of Health, USA.

##### 4.4.2.3.3 Análises químicas nas micropartículas

Para avaliação química, primeiramente foi feito a ruptura das micropartículas de acordo com os procedimentos de cada análise, utilizando os parâmetros otimizados da extração determinada no item 5.1. Foi realizada a análise dos compostos fenólicos totais (item 4.4.1.4.1), flavonóides (4.4.1.4.2) e atividade antioxidante (item 4.4.1.4.3 a 4.4.1.4.6).

#### *4.4.2.3 Planejamento experimental*

Para definição da melhor condição de encapsulamento o experimento foi conduzido em esquema fatorial 3 x 2, onde foram avaliados três tipos de encapsulante (maltodextrina, goma arábica e a combinação da maltodextrina e goma arábica) empregando duas temperaturas de entrada do ar de secagem (140 e 160 °C).

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de (ANOVA) e comparados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

### **4.5 Análises Estatísticas**

Os resultados foram expressos como média  $\pm$  desvio-padrão. As diferenças entre os teores de compostos bioativos dos extratos obtidos foram avaliadas por ANOVA seguido pelo teste de Tukey, sendo consideradas significativas diferenças com  $p < 0,05$ . A correlação entre os teores de compostos bioativos e sua atividade antioxidante nos frutos foi avaliada por correlação de Pearson. O planejamento de experimentos foi realizado utilizando o software SPSS 20 para o sistema Windows (IBM, USA).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Caracterizações físico-químicas dos resíduos e das diferentes cultivares de acerola

Inicialmente todas as amostras, incluindo os resíduos *in natura* e desidratados provenientes de processo industrial e as polpas de acerola verde, foram submetidas a uma caracterização geral.

#### 5.1.1 Resíduos agroindustriais

Para uma melhor observação da influência da secagem, quanto aos parâmetros físico-químicos, será apresentado os resultados para os resíduos *in natura* da polpa do decanter e das sementes, bem como das farinhas obtidas, as quais podem ser observadas na Tabela 3.

**Tabela 3** – Resultados da caracterização físico-química dos resíduos agroindustriais de acerola verde.

Parâmetros	Polpa decanter		Sementes	
	In natura	Desidratado	In natura	Desidratado
Umidade (g.100 g <sup>-1</sup> )	87,26 ± 0,16 <sup>a</sup>	9,83 ± 0,18 <sup>c</sup>	77,83 ± 0,19 <sup>b</sup>	8,88 ± 0,11 <sup>d</sup>
Atividade de água	0,995 ± 0,00 <sup>a</sup>	0,49 ± 0,00 <sup>c</sup>	0,992 ± 0,00 <sup>b</sup>	0,47 ± 0,00 <sup>d</sup>
Sólidos Solúveis (°Brix)	3,10 ± 0,10 <sup>c</sup>	33,42 ± 0,39 <sup>a</sup>	2,33 ± 0,25 <sup>d</sup>	28,00 ± 0,21 <sup>b</sup>
pH	3,18 ± 0,02 <sup>b</sup>	3,20 ± 0,01 <sup>b</sup>	3,25 ± 0,00 <sup>a</sup>	3,24 ± 0,01 <sup>a</sup>
Acidez titulável (AT)	0,64 ± 0,01 <sup>c</sup>	2,35 ± 0,00 <sup>a</sup>	0,52 ± 0,01 <sup>d</sup>	1,51 ± 0,01 <sup>b</sup>
Vitamina C (AA)	969,39 ± 3,33 <sup>c</sup>	2.835,79 ± 9,48 <sup>a</sup>	29,37 ± 1,55 <sup>d</sup>	1.619,89 ± 9,46 <sup>b</sup>
Carotenóides Totais	30,50 ± 1,74 <sup>c</sup>	141,87 ± 1,30 <sup>a</sup>	5,37 ± 0,51 <sup>d</sup>	154,91 ± 2,32 <sup>a</sup>
Clorofila Total	64,62 ± 3,08 <sup>c</sup>	295,78 ± 2,21 <sup>a</sup>	10,61 ± 0,85 <sup>d</sup>	151,16 ± 3,83 <sup>b</sup>

<sup>abcd</sup> Médias seguidas de letras iguais sobrescritas na mesma linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Valores médios ± desvio padrão de determinações em triplicata. AT – expresso como g.100 g<sup>-1</sup> de ácido málico; AA - expresso como mg.100 g<sup>-1</sup> de ácido ascórbico; Carotenóides – expresso como µg.g<sup>-1</sup> de β-caroteno; Clorofila Total - µg.g<sup>-1</sup> de amostra.

Analisando os dados (Tabela 3), pode-se observar que os teores de umidade e atividade de água dos resíduos *in natura* foram elevados, no entanto após a secagem os valores obtidos reduziram para aproximadamente 10%, em relação à umidade em base úmida, apresentando 8,88% e 9,83% para as farinhas de semente e polpa, respectivamente, sendo esse nível de umidade condizente com a legislação brasileira em vigor para as farinhas de origem vegetal, a qual esta abaixo dos 15% preconizado (BRASIL, 1978). Para a atividade de água os

valores caíram cerca de 50% nas farinhas obtidas, sendo encontrados 0,47 para sementes e 0,49 para a polpa desidratada, aumentando assim a sua viabilidade, levando em consideração que às reações de deterioração ocorrem em valores acima de 0,65 para diversos produtos alimentícios (DAMODARAN, PARKIN e FENNEMA, 2009).

A secagem também proporciona a obtenção de um produto com maior concentração de nutrientes, como pode ser observado em relação aos teores de sólidos solúveis e acidez titulável, que devido à desidratação houve um acúmulo desses constituintes de 3,10 °Brix para 33,42 °Brix para a polpa do decanter e 2,33 °Brix para 28,00 °Brix para as sementes, valores esses superiores ao relatado no trabalho de Storck et al. (2015), que obtiveram uma média de 1,15 °Brix em resíduo de produção de suco de acerola e inferiores ao encontrado por Aquino et al. (2010) que relataram 47,50 °Brix em farinha de resíduos de acerolas semimaduras e maduras. O teor médio de acidez (expresso em g de ác. málico.100 g<sup>-1</sup>), encontra-se para os resíduos in natura de 0,64 para polpa do decanter e 0,52 para sementes, enquanto para as amostras desidratadas verifica-se um aumento com valores de 2,35 e 1,51. Em estudo com pó de acerola verde obtido por diferentes tipos de secagem, Menezes et al. (2009) relataram o teor de acidez de 7,68% do pó seco em estufa, sendo esse expressado em percentagem de ácido cítrico. No estudo de Costa et al. (2011), os autores encontraram valores de 0,25 e 0,84 nos dois tipos de resíduos in natura estudados neste trabalho. Essa diferença entre os valores encontrados pode ser atribuída aos diferentes locais de obtenção do fruto, estágio da maturação de frutos e as condições impostas durante o processamento industrial.

Quanto aos resultados observados para o parâmetro de pH, verifica-se que para ambos os resíduos podem ser classificados como ácidos, os quais expressaram semelhança nos valores obtidos, que variaram de 3,18 a 3,25, embora estatisticamente apresentaram diferença significativa ( $p < 0,05$ ), sendo o maior valor de pH para o resíduo composto por sementes com 3,25 e 3,24, enquanto a polpa apresentou uma média de 3,18 e 3,20, ambos para as amostras *in natura* e desidratadas, respectivamente, estando esses valores próximos ao encontrado em outros estudos (AQUINO et al., 2010; ABUD e NARAIN, 2012). De acordo com Freitas et al. (2014), esse parâmetro em acerolas apresenta baixa variação mesmo em seu completo estágio de maturação.

Os teores obtidos para a vitamina C variaram de 29,37 a 2.835,79 mg de ácido ascórbico em 100 g de amostra. Em relação aos resíduos analisados, a polpa do decanter apresentou maior valor (969,39 e 2.835,79 mg.100 g<sup>-1</sup>), quando comparado aos resíduos de sementes (29,37 e 1.619,89 mg.100 g<sup>-1</sup>) para ambos os tratamentos, *in natura* e desidratado, respectivamente. Sendo esses valores já esperados, tendo em vista que esse constituinte

químico se encontra mais na polpa (SCHERER, RYBKA e GODOY, 2008). Sousa et al. (2011) apresentaram resultado inferior (89,35 mg AA.100 g<sup>-1</sup>) em resíduo industrial de acerola, enquanto resultados superiores foram encontrados por Marques et al. (2013), os quais verificaram valor médio de 457,32 e 10,282.45 mg AA.100 g<sup>-1</sup> para farinha de resíduo de semente e bagaço de acerola em base seca, respectivamente. Moreira et al. (2010), reportaram 1.057,48 mg.100 g<sup>-1</sup> para resíduo de acerola maduro em base úmida. Fato este que pode estar relacionado às condições de processamento, pois os resíduos obtidos nesse estudo são provenientes da obtenção do suco de acerola concentrado que tem como finalidade a exportação do produto com elevado teor de vitamina C. De acordo com Podsedek (2007), a vitamina C é extremamente sensível quando imposta a altas temperaturas, sendo considerado um indicador de qualidade em alimentos processados, o que demonstra que a temperatura de secagem utilizada nesse estudo apresenta-se viável, uma vez que o teor de ácido ascórbico foi superior nas amostras desidratadas.

Os teores de carotenóides determinados neste estudo variaram de 5,37 (semente *in natura*) a 154,91 (semente desidratada) µg de β-caroteno em cada grama de amostras, resultados esse superior ao apresentado por Sousa et al. (2011) e Aquino et al. (2010) de 8,81 e 8,09 µg.g<sup>-1</sup> em resíduo de acerola madura, respectivamente. Os carotenóides são um importante antioxidante com diversas ações preventivas comprovadas (JÁUREGUI, CARRILLO e ROMO, 2011). Quanto à avaliação da clorofila total os resultados variaram de 10,61 a 295,78 µg.g<sup>-1</sup>. Os resultados encontrados apresentaram estatisticamente diferença significativa entre os resíduos *in natura* e desidratado, sendo que o resíduo da polpa do decanter contém maiores concentrações. Assim como os carotenóides, pesquisas com clorofila tem demonstrado efeitos benéficos à saúde, devido a propriedades antimutagênicas e antígenotóxicas já relatados (VOLP, RENHE e STRINGUETA, 2009).

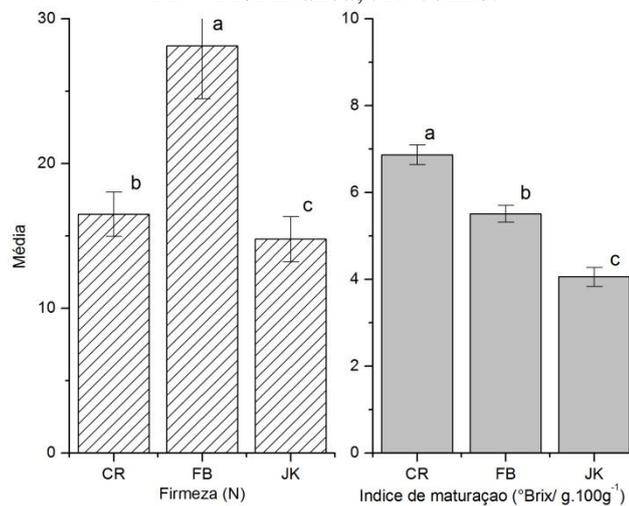
### **5.1.2 cultivares de acerola verde**

Durante o estudo também foi realizado a caracterização das diferentes variedades de acerola, as quais são utilizadas para a obtenção do suco concentrado de acerola verde e assim gerados os resíduos estudados nesse trabalho.

Inicialmente, as cultivares foram analisadas quanto à cor da casca e firmeza, considerando-se como avaliações essenciais e por serem mensuráveis de forma mais simples, são atributos usualmente utilizados na determinação da maturação, assim como na aceitação durante o processo de comercialização.

Os dados da firmeza, Figura 11, revelaram que os frutos da variedade Flor Branca, apresentaram maior resistência à penetração (28,12N), em relação às demais cultivares. Fato este que pode estar relacionado ao tamanho do fruto, tendo em vista que as acerolas da variedade Flor Branca apresentam tamanhos menores o que pode ter influenciado na rigidez a penetração. As acerolas das variedades Costa Rica e Junko também apresentaram ser firmes com média (16,49N e 14,77N), respectivamente. Freitas e Souza (2015), ao avaliarem a firmeza no momento da colheita de diferentes genótipos de acerolas verdes os autores relataram valores médios de 78 a 25N. No trabalho de Figueiredo Neto et al. (2014) ao estudarem diversas variedades de acerola em diferentes estádios de maturação, os autores verificaram que a firmeza se apresentou decrescente com a continuação do processo de maturação, encontrando valores que variaram de 38,69N a 22,33N para acerolas verdes e 10,49N a 8,54N para os frutos maduros. Sabe-se que durante a maturação fisiológica diversas transformações químicas acontecem as quais estão fortemente correlacionadas à firmeza do fruto e assim os dados encontrados por outros autores corroboram com os valores encontrados nesse trabalho. Quanto à relação entre o índice de maturação (sólidos solúveis/Acidez) e a firmeza pode-se ser observado na Figura 11.

**Figura 11** - Firmeza e índice de maturação em diferentes variedades de acerola. CR – Costa Rica; FB – Flor Branca; JK- Junko.



Os dados são as médias  $\pm$  desvio padrão de determinações em triplicata. As barras representam os valores médios e os desvios padrão estão indicados pelas barras de erro.

Fonte: Próprio autor.

O índice de maturação representado é um dos parâmetros que permite avaliar a qualidade sensorial, assim como o grau de maturação da fruta, quanto maior esse índice mais elevada à doçura (SILVA et al., 2015). De acordo com o gráfico, é possível observar que as cultivares Flor Branca e Junko apresentaram valores baixos para o índice de maturação em

torno de 5,5 e 4,0 °Brix/g.100g-1 e apresentando uma maior resistência a compressão, já a Costa Rica apresentou uma menor firmeza com um índice de maturação mais elevado próximo de 7 °Brix/g.100g-1. Isto caracteriza uma relação direta entre as duas propriedades para as diferentes variedades estudadas, resultado semelhante foi observado em estudos com diferentes variedades de maçãs (GUINÉ et al., 2011).

Outro importante fator de qualidade é a cor e de acordo com Souza (2007), a coloração das frutas é resultante de pigmentos naturais, sendo a clorofila, os carotenóides e as antocianinas, os mais predominantes nos vegetais. Na Tabela 4, podem ser observados os valores médios para as análises colorimétricas.

**Tabela 4** – Valores dos parâmetros de cor no epicarpo de diferentes cultivares de acerola verde.

Parâmetros	Cultivares		
	Costa Rica	Flor Branca	Junko
L*	45,67 <sup>a</sup> ± 4,56	40,70 <sup>a</sup> ± 0,91	44,38 <sup>a</sup> ± 2,38
a*	-7,59 <sup>a</sup> ± 0,39	-7,14 <sup>a</sup> ± 1,08	-8,61 <sup>a</sup> ± 0,45
b*	26,41 <sup>a</sup> ± 1,65	21,78 <sup>a</sup> ± 1,23	25,28 <sup>a</sup> ± 2,60
Chroma	27,49 <sup>a</sup> ± 1,48	22,93 <sup>a</sup> ± 1,51	26,71 <sup>a</sup> ± 2,61
Hue (°)	91,29 <sup>a</sup> ± 0,03	91,25 <sup>a</sup> ± 0,02	91,24 <sup>a</sup> ± 0,01

<sup>a</sup> Letras diferentes sobrescritas na mesma linha indicam diferença significativa pelo teste Tukey (p<0,05).

L (luminosidade): 0 = preto a 100 = branco; a\*: +a\*= grau da cor vermelha; - a\*= grau da cor verde; b\*: + b\* = grau da cor amarela; - b\*= grau da cor azul. Fonte: Próprio autor.

A coloração do epicarpo (casca) das diferentes cultivares não apresentou diferença significativa (p<0,05) quanto aos parâmetros avaliados. Embora, os resultados para a luminosidade indicaram uma coloração mais clara para a acerola Costa Rica (45,67) e Junko (44,38) quando comparado à variedade Flor Branca (40,70). Para a coordenada a\*, os resultados obtidos foram negativos o que indicam a intensidade da cor verde. Esse parâmetro esta diretamente relacionada ao amadurecimento dos frutos o que pode ser atribuído à presença de clorofila na coloração das cascas, uma vez que os frutos apresentavam-se no estágio de maturação verde. Os valores para a coordenada b\* indicaram tendência à cor amarelada, principalmente as cultivares Costa Rica (26,41) e Junko (25,28) apresentando maior valor do que a Flor Branca (21,78).

O valor para cromaticidade foi menor para a variedade Flor Branca (22,93), o que significa que a casca desta variedade é menos brilhante quando associado à coordenada b\* que também apresentou um menor valor. Para o ângulo hue as acerolas apresentaram tonalidades com média de 91 para todas as variedades o que denota que as cultivares

estudadas era mais amarelado. De uma forma geral, os resultados obtidos indicaram que as superfícies das acerolas eram mais verdes e brilhantes, quando comparadas aos valores reportados por Vendramini e Trugo (2000), ao analisarem acerolas imaturas, relatando menores valores para as coordenadas L (27,92) e b\*(11,37).

Para uma melhor compreensão e visualização dos resultados aqui discutidos, na Figura 12, esta representada as cores capturadas das diferentes cascas das variedades de acerolas verdes estudadas no presente trabalho.

**Figura 12** - Paleta de cores dos frutos inteiros das diferentes cultivares de acerola.



Fonte: Próprio autor.

Os demais resultados da caracterização físico-química das acerolas verde expressos em matéria fresca estão apresentados na Tabela 5.

**Tabela 5** - Características físico-químicas das variedades de polpa de acerola verde.

Parâmetros	Cultivares		
	Costa Rica	Flor Branca	Junko
Umidade (g.100g <sup>-1</sup> )	90,53 ± 0,11 <sup>c</sup>	92,36 ± 0,21 <sup>a</sup>	91,18 ± 0,06 <sup>b</sup>
Atividade água	0,996 ± 0,00 <sup>a</sup>	0,995 ± 0,00 <sup>a</sup>	0,993 ± 0,00 <sup>a</sup>
Sólidos Solúveis (°Brix)	6,01 ± 0,06 <sup>a</sup>	4,03 ± 0,05 <sup>c</sup>	5,09 ± 0,30 <sup>b</sup>
pH	3,74 ± 0,03 <sup>a</sup>	3,68 ± 0,02 <sup>b</sup>	3,50 ± 0,02 <sup>c</sup>
Acidez Titulável (AT)	0,88 ± 0,02 <sup>b</sup>	0,73 ± 0,03 <sup>c</sup>	1,25 ± 0,02 <sup>a</sup>
Vitamina C (AA)	1.562,20 ± 18,59 <sup>c</sup>	2.216,62 ± 28,61 <sup>a</sup>	1.673,33 ± 10,81 <sup>b</sup>
Carotenóides Totais	11,86 ± 0,77 <sup>c</sup>	22,55 ± 2,21 <sup>b</sup>	29,50 ± 0,64 <sup>a</sup>
Clorofila Total	21,54 ± 1,41 <sup>c</sup>	36,97 ± 3,96 <sup>b</sup>	50,34 ± 1,72 <sup>a</sup>

<sup>abc</sup> Médias seguidas de letras iguais sobrescritas na mesma linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Valores médios ± desvio padrão de determinações em triplicata. AT – expresso como g.100 g<sup>-1</sup> de ácido málico; AA - expresso como mg.100 g<sup>-1</sup> de ácido ascórbico; Carotenóides – expresso como µg.g<sup>-1</sup> de β-caroteno; Clorofila Total - µg.g<sup>-1</sup> de amostra. Fonte: Próprio autor.

Entre as diferentes cultivares estudadas o teor de umidade variou em torno de 90,53 a 92,36%, sendo que a variedade Flor Branca apresentou ligeiramente o maior valor, quanto ao estado de energia da água, todas as amostras apresentaram 0,99 de atividade de água o que

indica serem de alta perecibilidade, uma vez que existe meio propício para a realização de reações de diversas naturezas.

O teor de sólidos solúveis revelou uma variação de 4,03 a 6,01 °Brix, com destaque para a cultivar Costa Rica que apresentou o maior resultado, enquanto a cultivar Flor Branca expressou a menor média, sendo inferior ao verificado por Figueiredo Neto et al. (2014) com 9,11 °Brix. Os sólidos solúveis incluem importantes compostos como açúcares e ácidos orgânicos, sendo esses de grande importância na caracterização da qualidade, assim como indicador de maturidade.

A acerola apresenta grande quantidade de ácidos orgânicos, principalmente ácido málico, o que pode ser observado na variedade Junko, cuja acidez apresentou significativamente mais elevada com 1,25 g eq. ácido málico.100g em relação às outras cultivares estudadas neste trabalho, fato este também reportado no estudo de Costa et al. (2011) para esta variedade.

Para o pH, os resultados encontrados foram de 3,50 a 3,74, valores esses superiores ao encontrado por Mamede et al. (2009), os autores enfatizam que quanto mais elevado o pH, mais baixo é o conteúdo da acidez, o que condiz com os valores observados na Tabela. Vale salientar que o pH da acerola mantém-se estável mesmo nos diferentes estádios de maturação quando comparados a outras variedades cultivadas em diferentes regiões do Brasil (VENDRAMINI e TRUGO, 2000; MACIEL et al., 2010; SANTOS et al., 2012; CARVALHO MARIANO-NASSER et al., 2017).

A concentração de vitamina C variou de 1.562,20 a 2.216,62 mg de ácido ascórbico em 100 g de amostra, sendo observado diferenças significativas entre os tratamentos. A variedade Flor Branca apresentou maior concentração, seguido das acerolas Junko e Costa Rica. Diversos estudos também tem apresentado variação do teor de AA de acordo com as variedades de acerola, Andrade Neto et al. (2017) relataram valores de 883,31 a 2.123,87 mg AA.100g. Carvalho Mariano-Nasser et al (2017) também observaram diferenças entre as acerolas estudadas variando de 824,60 a 2.331,60 mg AA.100g. De acordo com a concentração de vitamina C estabelecida na Tabela Brasileira de Composição Centesimal dos Alimentos (TACO, 2011) para frutos de acerola in natura é em torno de 941,90 mg AA.100g. No entanto, valores superiores foram encontrados nesse estudo que pode ser atribuídos ao estágio de maturação, além das condições edafoclimáticas da região de cultivo, concordando com os valores acima de 1.500 mg AA/100g, reportados por Souza et al. (2013) para os frutos de aceroleiras provenientes do Vale do São Francisco.

O conteúdo de carotenóides totais avaliado variou em torno de 11,86 (Costa Rica) a 29,50 (Junko) com média de 21,30  $\mu\text{g}$  de  $\beta$ -caroteno por grama de amostra. Enquanto a clorofila total, os resultados variaram de 21,54 a 50,34  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , sendo que a variedade Junko apresentou a maior média. Considerando que os frutos apresentavam-se imaturo a presença da clorofila é marcante, sombreando o aparecimento dos carotenóides, à medida que o fruto amadurece ocorre à degradação da clorofila e conseqüentemente a o aumento da síntese de carotenóides. Azevedo-Meleiro e Rodriguez-Amaya (2004) ao determinarem a composição dos carotenoides em acerolas por cromatografia líquida identificaram sete carotenóides com predominância do  $\beta$ -caroteno. O conteúdo desse composto nas acerolas é maior quando comparados a outras polpas de fruta como mamão e cereja (SILVA et al., 2014). A concentração e os tipos de carotenóides nos diversos vegetais dependem de vários fatores relacionados à pré e pós-colheita, genótipo, tempo de maturação, método de cultivo e condições climáticas e processamento (SAINI et al., 2015).

## **5.2 Obtenção dos extratos – Estudo preliminar na extração dos compostos fenólicos**

Sabe-se que devido às características da amostra e das condições impostas para a extração podem influenciar na eficiência da remoção dos compostos de interesse. Por isso alguns procedimentos são importantes e devem ser estudados a fim de garantir uma melhor extração das substâncias fenólicas.

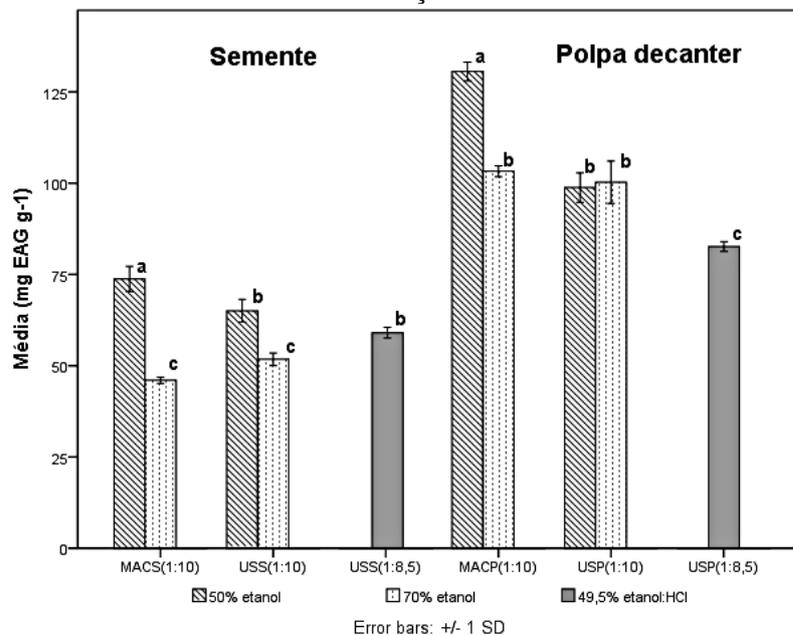
Inicialmente, os resíduos foram desidratados a uma temperatura de 55 °C, parâmetro esse escolhido de acordo com os resultados relatado no estudo de Duzzioni et al. (2013), onde os autores avaliando o conteúdo de compostos fenólicos e flavonóides totais em resíduos de acerola após a secagem em diferentes temperaturas encontraram os maiores valores a 50 °C e 60 °C, respectivamente, quando comparados as amostras em base úmida. O que pode ser explicado, devido à secagem causar ruptura e destruição dos constituintes das paredes celulares permitindo que as substâncias presentes sejam facilmente extraídas (DROSOU et al., 2015). Vale salientar que altas temperaturas causam degradação de compostos fenólicos e por isso diversos autores relatam a utilização de temperaturas abaixo de 70 °C para garantir a integridade destes compostos (GONZÁLEZ-CENTENO et al., 2010; KHANAL et al., 2010).

Outros fatores são cruciais para a obtenção de fitoquímicos, como a etapa de extração, a qual é composta por diversos parâmetros que influenciam na recuperação desses compostos.

Para todos os ensaios foram utilizados soluções hidroalcoólicas, por serem mais eficientes na extração de polifenóis, devido à polaridade dessas misturas, serem parecidas com as dos compostos fenólicos (MACHADO et al. 2015).

A Figura 13 e 14 mostram os teores de fenólicos e flavonóides totais dos extratos dos diferentes resíduos de acerola verde ao variar diferentes concentrações de etanol aquoso (50% e 70%) e o método de extração (maceração e ultrassom), devido as fortes interações de alguns compostos na matriz das paredes celulares foi analisada também uma extração por via hidrólise ácida utilizando ácido clorídrico, com o objetivo de definir as melhores condições a serem utilizadas nas extrações.

**Figura 13** - Teor de fenólicos totais (FT) utilizando diferentes concentrações de etanol e método de extração.



FT- expresso como mg equivalentes ao ácido gálico (EAG) por grama de resíduo seco. MACS – maceração semente; USS – ultrassom semente; MACP – maceração polpa; USP – ultrassom polpa.

Fonte: Própria autor.

De acordo com os dados apresentados na Figura 13, é possível observar que os fatores avaliados apresentaram influência para a extração dos compostos fenólicos, os quais variaram de 46,01 a 73,76 mg EAG. g de resíduo de semente e 82,64 a 130,59 mg EAG por grama de resíduo da polpa do canter, sendo este último o resíduo que apresentou os maiores teores.

Vale salientar que o ensaio espectrofotométrico de Folin-Ciocalteu apenas estima o valor total do conteúdo, além de não ser específico para compostos fenólicos, pois a presença de outras substâncias, como o ácido ascórbico e carboidratos podem superestimar o valor real na amostra (GRANATO et al. 2016), o que pode justificar a alta concentração de fenóis,

principalmente no resíduo de polpa do decanter, por apresentar uma elevada concentração de ácido ascórbico.

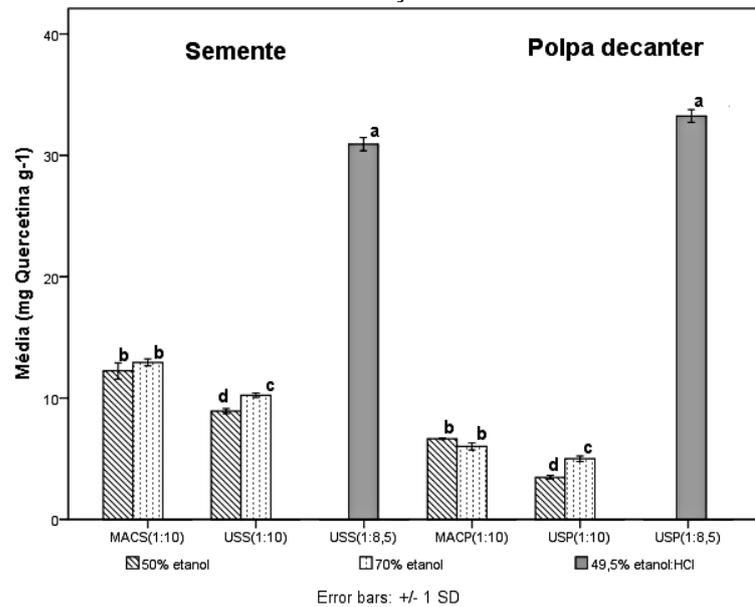
Quanto às diferenças encontradas das concentrações fenólicas entre os extratos dos resíduos corroboram com estudo realizado por Marques et al. (2013), os quais apresentaram valores de 47,3 mg GAE. g para farinha de resíduo de semente de acerola e maior quantidade para o bagaço 108,20 mg GAE. g de resíduo. Neste estudo a melhor extração para os dois tipos de métodos utilizados, foram obtidos por maceração utilizando etanol a 50%. O que pode ser justificado pelo aumento da temperatura utilizada (50 °C), a qual proporcionou maior solubilização do soluto e conseqüentemente um maior rendimento de extração de compostos.

Fato este também observado no estudo de Bucic-Kojic et al. (2013) ao avaliarem os compostos fenólicos em extratos de semente de uva com etanol a 50%.

Com o aumento da concentração do solvente, houve um decréscimo do teor de fenólicos totais independente do método empregado para ambos os resíduos, exceto para a amostra da polpa quando foi utilizado o ultrassom, apresentando uma rápida elevação no resultado, no entanto não diferindo estatisticamente quando comparado à extração por maceração. Resultado este esperado, levando em consideração que a variação da concentração do etanol provoca uma mudança de polaridade do solvente, corroborando satisfatoriamente com as observações de Bosso, Guaita e Petrozziello (2016) ao avaliarem a eficácia da extração utilizando alguns solventes, apresentou uma tendência de diminuição de compostos quanto ao aumento da concentração de etanol de 50 para 100% em água. Foo et al. (2015) em seu estudo também observaram que a extração utilizando etanol a 70% obteve baixo rendimento de extração, quando comparado com solução aquosa, os autores enfatizaram que isso é devido a água apresentar uma maior polaridade e menor cadeia do que o etanol.

Quanto ao conteúdo de flavonóides totais (Figura 14), as diferentes concentrações de etanol e os métodos de extração também influenciaram na concentração final; os resultados nos diferentes resíduos variaram de 8,92 a 30,92 e 3,46 a 33,24 mg de quercetina por grama de resíduo seco de semente e polpa do decanter, respectivamente. Os dados demonstram que os maiores níveis de flavonóides não foram extraíveis apenas utilizando soluções aquosas de etanol, mas liberado após a utilização da hidrólise ácida.

**Figura 14** - Teor de flavonóides totais utilizando diferentes concentrações de etanol e método de extração.



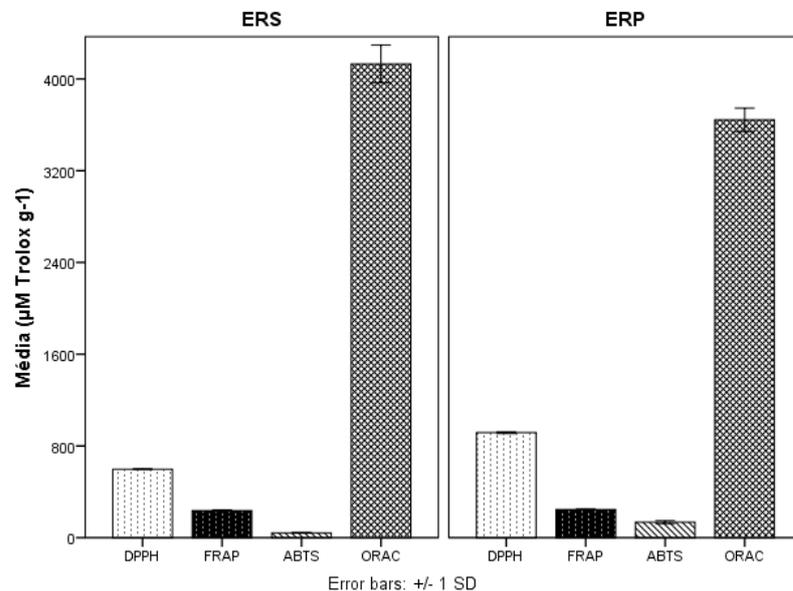
MACS – maceração semente; USS – ultrassom semente; MACP – maceração polpa; USP – ultrassom polpa.  
Fonte: Próprio autor.

Analisando os resultados obtidos, percebe-se que as condições em que ocorreu uma maior eficiência da extração de flavonóides foram à combinação entre a extração assistida por ultrassom e etanol a 49,5% acidificado como solvente. De acordo com Gonzales et al. (2014) relatam em seu estudo que a combinação de hidrólise alcalina e a extração por ultrassom liberaram mais polifenóis quando comparado aos efeitos desses fatores avaliados individualmente. Portanto, tanto a hidrólise ácida quanto a alcalina contribui para um maior rendimento de compostos polifenólicos. Porém, essas condições não foram adequadas para uma boa extração dos compostos fenólicos, embora, mesmo assim o teor desses constituintes tanto para semente (30,92 mg EAG.g<sup>-1</sup>), quanto para a polpa do decanter (74,89 mg EAG.g<sup>-1</sup>) apresentaram resultados superiores aos encontrado por Oliveira et al.(2009), onde os autores utilizaram o sistema Soxhlet com metanol relatando 6,81 mg EAG.g<sup>-1</sup> de farinha de resíduo constituído de polpa e casca de acerola. Sousa et al. (2011) encontraram valores de 2,79 e 2,47 mg EAG.g<sup>-1</sup> para extratos hidroalcoólico e aquoso em resíduo úmido de acerola, respectivamente. Já Ribeiro da Silva. (2014) relataram teor de 72,65 mg EAG.g<sup>-1</sup>.

Assim, para a obtenção de um extrato mais rico possível em compostos bioativos e utilizando um método relativamente simples e viável com um curto período de extração e temperatura, o método assistido por ultrassom utilizando solução aquosa de etanol e água acidificada foi selecionado para a otimização da extração de fitoquímicos em resíduo de acerola verde. Posteriormente a próxima etapa do estudo foi avaliar a atividade antioxidante.

A capacidade antioxidante é definida como a quantidade de radical que é degradada após uma determinada concentração de antioxidante (ROHN e KROH, 2005). E a determinação em extratos vegetais deve ser feita utilizando diferentes métodos, a fim de ter um conhecimento mais amplo do material estudado (INFANTE et al., 2016). Por isso, a capacidade dos extratos de resíduo da semente (ERS) e polpa do decanter (ERP) foi avaliada usando diferentes mecanismos de ação, sendo determinadas pelos métodos DPPH, FRAP, ABTS e ORAC como podem ser observados na Figura 15.

**Figura 15** – Resultados da atividade antioxidante medida por DPPH, FRAP, ABTS e ORAC nos extratos líquidos do resíduo da polpa e semente de acerola verde.



ERS = Extrato Resíduo de Semente; ERP = Extrato Resíduo de Polpa

Fonte: Próprio autor

Através da análise da figura 15, os resultados obtidos da capacidade antioxidante nos extratos etanólicos dos diferentes resíduos variaram de 596,61 a 916,21 para o método DPPH, 236,29 a 246,20 para o método de FRAP, 42,34 a 136,01 para ABTS e 4130,93 a 3643,98  $\mu\text{M Trolox g}^{-1}$  usando o método ORAC para semente e polpa, respectivamente. É possível observar que os valores são distintos nos quatro ensaios utilizados, o que era esperado tendo em vista que o mecanismo de ação varia entre os diferentes métodos (ALAM, BRISTI e RAFIQUZZAMAN, 2013).

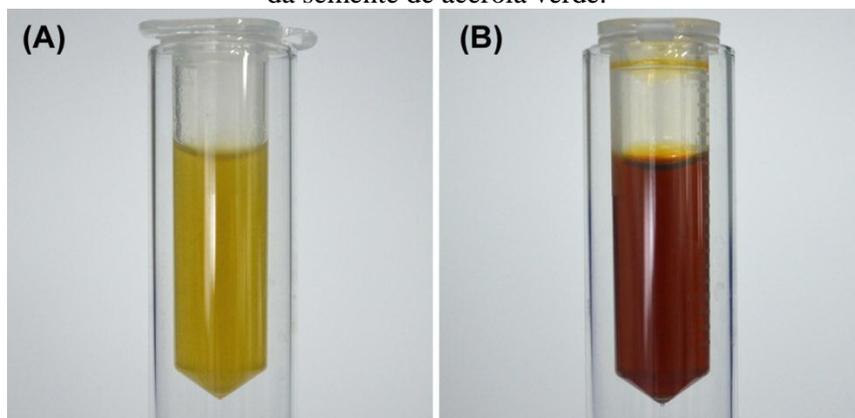
Dentre as análises realizadas, o extrato etanólico do resíduo da polpa foi o que apresentou maior capacidade antioxidante, exceto para o ensaio ORAC, o qual apresentou melhor atividade para o extrato do resíduo de semente, sendo esses resultados provavelmente

conferidos aos teores de compostos bioativos presentes nos extratos mencionados anteriormente.

Alguns trabalhos mensuraram a atividade antioxidante em resíduo de acerola. Rezende, Juliete e Narain (2017) ao estudarem a otimização de extração de compostos bioativos em resíduo de acerola verificaram que o melhor método utilizado foi à extração assistida por ultrassom com valores que variaram de 179,8  $\mu\text{M Trolox.g}^{-1}$  para ABTS, 155 e 334  $\mu\text{M Trolox.g}^{-1}$  para os ensaios DPPH e FRAP, respectivamente. Sousa et al. (2011) avaliando resíduo de polpas de frutas tropicais constataram que os valores da atividade antioxidante para a acerola pelo método ABTS (518 e 743  $\mu\text{M Trolox.g}^{-1}$ ) nos extratos aquoso e hidroalcolólico (etanol a 20%), respectivamente, foram superiores aos obtidos pelo método DPPH. Diferentemente a esse estudo, onde a capacidade antioxidante foi maior para o ensaio DPPH, seguido pelos métodos FRAP e ABTS, essas diferenças podem ser atribuídas em relação ao processamento para a obtenção das farinhas, solvente de extração, assim como as metodologias utilizadas para a determinação da atividade antioxidante.

De acordo com diversos estudos, os compostos fenólicos e especialmente os flavonóides tem sido responsáveis pela capacidade antioxidante de diferentes frutos e conseqüentemente tem sido associada ao possível controle de doenças com efeitos promissores a saúde humana. Com a obtenção dos extratos dos diferentes resíduos de acerola verde na condição escolhida, Figura 16, evidencia-se que este subproduto detém de quantidades relevantes de compostos bioativos, sendo de grande valia a continuação de estudos, com intuito de aumentar a valorização dessa matéria-prima, tendo em vista que os extratos apresentaram potencial para posteriores utilizações, mas que ainda não são aproveitados.

**Figura 16** - A) Extrato líquido do resíduo da polpa de acerola verde e (B) Extrato líquido do resíduo da semente de acerola verde.



Fonte: Próprio autor.

### 5.3 Avaliação dos conteúdos fenólicos e flavonóides e atividade antioxidante das diferentes cultivares de acerola verde

A fim de obter um melhor conhecimento quanto à matéria-prima, a qual obtém os resíduos de interesse nesse estudo, também foi realizada análises nas diferentes polpas de acerola verde, sendo submetidas à determinação dos teores de fenólicos, flavonóides totais e atividade antioxidante *in vitro* utilizando quatro métodos. Os resultados podem ser observados na Tabela 6.

**Tabela 6** – Compostos fenólicos, flavonóides e atividade antioxidante das diferentes variedades de acerola verde.

	Cultivares		
	Costa Rica	Flor Branca	Junko
Flavonóides (mg QE.g <sup>-1</sup> )	29,03 ± 2,24 <sup>a</sup>	33,07 ± 2,35 <sup>a</sup>	33,81 ± 1,81 <sup>a</sup>
Fenólicos (mg EAG.g <sup>-1</sup> )	140,08 ± 2,58 <sup>a</sup>	103,32 ± 4,09 <sup>c</sup>	119,26 ± 2,41 <sup>b</sup>
Atividade Antioxidante (AA)			
DPPH (µm Trolox. g <sup>-1</sup> )	1773,24 ± 33,18 <sup>c</sup>	1910,87 ± 42,76 <sup>b</sup>	2154,93 ± 60,89 <sup>a</sup>
ABTS (µm Trolox. g <sup>-1</sup> )	7526,80 ± 51,87 <sup>b</sup>	8613,54 ± 59,63 <sup>a</sup>	7475,86 ± 42,73 <sup>b</sup>
FRAP (µm Trolox. g <sup>-1</sup> )	824,23 ± 12,24 <sup>c</sup>	1166,09 ± 10,92 <sup>b</sup>	1447,97 ± 20,47 <sup>a</sup>
ORAC (µm Trolox. g <sup>-1</sup> )	2172,53 ± 49,13 <sup>b</sup>	2454,42 ± 30,35 <sup>a</sup>	1950,10 ± 42,16 <sup>b</sup>

Os valores foram expressos em médias ± desvio padrão (triplicata). <sup>abc</sup> Médias seguidas de letras iguais, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. AA – expressa como µm Trolox.g<sup>-1</sup> de amostra seca; QE – expresso como quercetina e GAE – expresso como ácido gálico.

Fonte: Próprio autor.

Analisando os resultados obtidos verificou-se que os teores de flavonóides nas diferentes polpas de acerola não apresentaram diferença significativa ( $p < 0,05$ ), variando em torno de 29,03 a 33,81 mg equivalentes a quercetina por grama de amostra, sendo esses valores superiores aos encontrados em outros estudos como, 3,56 a 12,34 mg EAG. g<sup>-1</sup> (Carvalho Mariano-Nasser et al., 2017), 9,6 mg EAG. g<sup>-1</sup> (Rufino et al., 2010) e 0,085 a 0,28 mg EAG. g<sup>-1</sup> para polpa de acerola verde imatura e 0,062 a 0,22 mg EAG. g<sup>-1</sup> de polpa de acerola verde madura (base úmida) (Oliveira et al., 2012) enquanto no trabalho de Ribeiro da Silva et al. (2014) os autores não identificaram conteúdo de flavonóides em polpa de acerola.

De acordo com a tabela 6 as diferentes variedades de acerola também apresentaram quantidades expressivas de compostos fenólicos, sendo significativamente diferente ( $p < 0,05$ ) entre as variedades estudadas. Os teores variaram de 103,32 a 140,08 mg EAG. g<sup>-1</sup> de peso seco.

O maior valor foi expresso pela variedade Costa Rica (140,08 mg EAG. g<sup>-1</sup>), seguido pela variedade Junko (119,26 mg EAG. g<sup>-1</sup>).

Conforme os dados apresentados na literatura, é possível verificar essa variação entre diferentes cultivares de acerola, como apresentado por Carvalho Mariano-Nasser et al. (2017) que ao avaliar o teor de compostos fenólicos de oito variedades de acerola constataram níveis variando de 9,14 a 24,28 mg EAG. g<sup>-1</sup> de polpa em base úmida.

Lima et al. (2005) avaliaram 12 diferentes genótipos de frutos de aceroleira e reportaram valores em torno de 20,02 a 45,24 mg EAG. g<sup>-1</sup> para diferentes genótipos de acerola verde colhido em estação seca e 19,45 a 39,54 mg EAG. g<sup>-1</sup> para os frutos colhidos em estação chuvosa. Os autores também enfatizam no estudo que a concentração dos compostos fenólicos diminui durante a maturação (5,36 a 37,03 e 7,22 a 22,06 mg EAG.g<sup>-1</sup>) para acerolas meio maduras e (8,96 a 18,88 e 7,37 a 16,53 mg EAG.g<sup>-1</sup>) para frutos maduros, colhidos em estações seca e chuvosa, respectivamente.

De acordo com os resultados obtidos, o teor de compostos fenólicos encontrado neste estudo apresenta valores superiores ao encontrado por Alves et al. (2008) que mostrou que o teor de fenólicos variaram de 10,55 mg EAG. g<sup>-1</sup> para polpa fresca e 9 mg EAG.g<sup>-1</sup> para polpa seca de frutos de acerola madura. Freire et al. (2013) quantificando a concentração fenólica indicaram 10,79 e 14,89 mg EAG.g<sup>-1</sup> para o fruto e polpa congelada, respectivamente. Em estudo recente Rezende, Nogueira e Narain (2018), mostraram que o teor de fenólicos em polpa comercial de acerola foi de 10,19 mg EAG.g<sup>-1</sup>. Segundo Oliveira et al. (2012) ao avaliar o teor de fenólicos quanto ao estágio de maturação, os autores verificaram um maior conteúdo em acerolas imaturas relatando ser o estágio mais adequado para o aproveitamento desses constituintes, o que pode justificar a elevada concentração dessas substâncias no presente estudo.

Valem salientar que a concentração e o perfil dos fitoquímicos variam em função de diversos fatores como grau de maturação, genótipo, manejo de cultivo, condições climáticas, sendo o estágio de maturação um dos principais fatores que intervém nessa composição, devido às diversas modificações bioquímicas e fisiológicas que ocorrem durante o amadurecimento dos frutos (MENICHINI et al., 2009).

No que se refere à atividade antioxidante, verifica-se que todas as variedades de acerola verde apresentaram diferentes quantidades do potencial com relação aos variados métodos determinado, observação essa também mencionado por Alves et al. (2008) ao avaliar polpa de acerola madura por diferentes ensaios antioxidantes.

Quanto à capacidade em sequestrar o radical estável DPPH os valores oscilaram entre 1773,24 a 2154,93 µM Trolox. g<sup>-1</sup>. A variedade Junko destacou-se, por apresentar o maior

potencial (2154,93  $\mu\text{M Trolox. g}^{-1}$ ), seguido da amostra Flor Branca (1910,87  $\mu\text{M Trolox.g}^{-1}$ ) e Costa Rica (1773,24  $\mu\text{M Trolox.g}^{-1}$ ).

Nascimento et al. (2017) reportaram que a polpa de acerola verde apresentou maior capacidade de eliminação de radicais livres do DPPH quando comparado com os frutos em estágio de maturação intermediário e maduro.

Para os valores obtidos da atividade antioxidante pelo método de captura do radical ABTS, observa-se que o maior valor está representado pela variedade Flor Branca com 8613,54  $\mu\text{M Trolox. g}^{-1}$ , enquanto as cultivares Costa Rica e Junko apresentaram valores de (7526,80 e 7475,86  $\mu\text{M Trolox.g}^{-1}$ ), respectivamente; entretanto, de acordo com o teste Tukey não apresentaram diferença significativa. Assim sendo esses valores foram superiores ao verificado por Oliveira et al. (2012) que ao analisarem a atividade antioxidante pelo método, encontraram valores de 111,42 a 160,46  $\mu\text{M Trolox.g}^{-1}$  para polpa de acerola verde imatura e 87,13 a 124,60  $\mu\text{M Trolox.g}^{-1}$  de polpa de acerola verde madura (base úmida).

Os dados obtidos com relação ao potencial de redução de ferro (FRAP) apresentaram comportamento parecido com a atividade pelo método de DPPH, onde a variedade Junko demonstrou maior poder antioxidante (1447,97  $\mu\text{M Trolox. g}^{-1}$ ), seguido das amostras Flor branca e Costa Rica (1166,09 e 824,23  $\mu\text{M Trolox.g}^{-1}$ ), respectivamente.

Quanto à capacidade de absorção do radical oxigênio, a variedade Flor Branca apresentou maior atividade antioxidante (2454,42  $\mu\text{M Trolox. g}^{-1}$ ) quando comparado com as demais variedades Junko e Costa Rica (1950,10 e 2172,53  $\mu\text{M Trolox. g}^{-1}$ ), respectivamente, as quais não diferiram estatisticamente ( $p < 0,05$ ). Mezdari et al. (2008) ao determinar a atividade antioxidante em extratos aquosos de três polpas de acerolas maduras espremidas e esmagadas, respectivamente, relataram que entre os tratamentos aplicado o teor de atividade antioxidante com relação a captura dos radicais DPPH e ABTS demonstraram que os resultados variaram de 91,80 a 112,28 e 82,33 a 125,66  $\mu\text{M Trolox. g}^{-1}$ , 74,30 a 85,21 e 81,50 a 91,76  $\mu\text{M Trolox.g}^{-1}$ , enquanto pelo método ORAC as amostras apresentaram uma menor capacidade antioxidante apresentando 50,57 a 83,03 e 76,71 a 85,39  $\mu\text{M Trolox.g}^{-1}$ , respectivamente.

Para uma melhor observação dos dados, haja vista que o mecanismo utilizado para medir a capacidade antioxidante é diferente para cada ensaio, foi realizada análise de correlação de Pearson, sendo determinado entre as variáveis (Fenólicos, flavonóides, ácido ascórbico, carotenóides, clorofila, DPPH, ABTS, FRAP e ORAC).

Os dados dos coeficientes de correlação de Pearson obtidos entre os compostos bioativos e a atividade antioxidante estão apresentados na Tabela 7.

**Tabela 7-** Resultado da análise de correlação de Pearson entre os compostos bioativos e a atividade antioxidante das diferentes variedades de acerola verde.

Variáveis	Fenólicos	Flavonóides	AA	CA	CF	DPPH	ABTS	FRAP	ORAC
Fenólicos	1								
Flavonóides	-0,57 <sup>ns</sup>	1							
AA	-0,89 <sup>**</sup>	0,39 <sup>ns</sup>	1						
CA	-0,66 <sup>ns</sup>	0,72 <sup>*</sup>	0,28 <sup>ns</sup>	1					
CF	-0,59 <sup>ns</sup>	0,68 <sup>*</sup>	0,20 <sup>ns</sup>	0,99 <sup>**</sup>	1				
DPPH	-0,40 <sup>ns</sup>	0,59 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	0,91 <sup>**</sup>	0,92 <sup>**</sup>	1			
ABTS	-0,79 <sup>*</sup>	0,27 <sup>ns</sup>	0,98 <sup>**</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	-0,19 <sup>ns</sup>	1		
FRAP	-0,60 <sup>ns</sup>	0,73 <sup>*</sup>	0,21 <sup>ns</sup>	0,98 <sup>**</sup>	0,98 <sup>**</sup>	0,94 <sup>**</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	1	
ORAC	-0,49 <sup>ns</sup>	-0,06 <sup>ns</sup>	0,81 <sup>**</sup>	-0,31 <sup>ns</sup>	-0,39 <sup>ns</sup>	-0,57 <sup>ns</sup>	0,89 <sup>**</sup>	-0,38	1

\* Correlações significativas a 5% de probabilidade de erro ( $p < 0,05$ ).

\*\*Correlações significativas a 1% de probabilidade de erro ( $p < 0,01$ ).

ns - correlação não significativa a  $p \leq 0,05$ ; AA - ác. ascórbico; CA – carotenóides; CF - clorofila

Fonte: Próprio autor.

Pela correlação de Pearson (Tabela 7), observa-se que para o DPPH os compostos que apresentaram correlação positiva ( $p < 0,05$ ) foram os carotenóides ( $r = 0,91$ ) e clorofila ( $r = 0,92$ ). Para o ABTS o ácido ascórbico ( $r = 0,98$ ) apresentou uma forte correlação positiva ( $p < 0,05$ ), enquanto para fenólicos a correlação se apresentou negativa (-0,79); neste caso indica que o aumento da capacidade antioxidante esta ligado a uma baixa concentração dos compostos fenólicos. Já para o método FRAP os compostos que apresentaram correlação foram os flavonóides ( $r = 0,73$ ), carotenóides ( $r = 0,98$ ) e clorofila ( $r = 0,98$ ), apresentando também forte correlação positiva ( $r = 0,94$ ) com DPPH. O método ORAC apresentou correlação positiva para o ácido ascórbico ( $R = 0,81$ ) e pelo ensaio ABTS (0,89).

Estes resultados indicam que a presença de ácido ascórbico, flavonóides, carotenóides e clorofila, são os principais contribuintes com correlação positiva aos métodos de atividade antioxidantes aqui mensurados. Estes resultados também concordam com as observações apresentadas para frutos kiwis (TAVARINI et al., 2008).

De modo geral, entre as cultivares avaliadas, as variedades Flor Branca e Junko apresentaram melhor ação como antioxidante para todos os ensaios realizados, esses efeitos podem ser atribuídos às substâncias que reduzem radicais livres e que possuem atividades antioxidantes, principalmente ácido ascórbico, flavonóides, carotenoides e derivados fenólicos

(Singh et al., 2012). Este fato corrobora com os resultados apresentados neste estudo, pois estas variedades também apresentaram os maiores teores para as análises de vitamina C, flavonóides, carotenóides e clorofila. Além disso, o genótipo Costa Rica, que tinha os valores mais baixos para esses constituintes, também apresentaram menores capacidade antioxidante, principalmente pelos métodos DPPH e FRAP.

Devido ao grande interesse na busca de fontes de antioxidantes naturais, os quais podem ser utilizados como adjuvantes no tratamento de diversas patologias e a escassez de trabalhos quanto à mensuração da capacidade antioxidante em diferentes variedades de acerola, principalmente no estágio de maturação verde utilizando diversos métodos, esses resultados contribuem de forma positiva com a leitura existente sobre os variados genótipos/variedades dessa espécie vegetal.

#### **5.4 Encapsulação dos extratos líquidos dos resíduos de acerola verde por spray dryer**

Com base nos resultados anteriores, foi determinado que os resíduos de acerola verde contém concentrações significativas de importantes fitoquímicos como, ácido ascórbico, flavonóides, fenólicos, carotenoides e clorofila, o que torna esta matéria-prima como uma alternativa para extração e encapsulamento dessas substâncias.

Em vista disso, percebe-se a necessidade de preservar estes constituintes, por ser altamente instáveis, sendo estabelecida a utilização da secagem por atomização em spray dryer para aumentar a estabilidade desse material, dando assim sequência à outra etapa do trabalho com o objetivo de determinar as condições ótimas de microencapsulação.

O tempo de duração das secagens foi em média de 40 minutos. A produção das micropartículas foi realizada de acordo com a metodologia descrita no item (4.4.2.1) e foram caracterizadas quanto aos parâmetros de processo em relação ao rendimento, eficiência de encapsulação, atividade de água, umidade, cor, solubilidade, higroscopicidade e densidade.

Além disso, as micropartículas também foram avaliadas quanto à sua morfologia (MEV, tamanho de partículas), sendo realizado também a avaliação dos compostos fenólicos, flavonóides e atividade antioxidante.

##### **5.4.1 Caracterização das micropartículas**

Os ensaios realizados no spray dryer tiveram como objetivo selecionar o melhor encapsulante e temperatura do ar de entrada de secagem para a obtenção de micropartículas

rica em compostos bioativos dos diferentes resíduos de acerola verde. Os resultados obtidos para todas as análises foram processados separadamente por cada resíduo para uma melhor visualização e compreensão dos resultados, os quais serão expostos a seguir.

#### 5.4.1.1 Rendimento do processo de produção das micropartículas

Os resultados obtidos para o rendimento do processo de encapsulamento estão apresentados na Tabela 8.

**Tabela 8** – Rendimento de secagem por spray dryer dos extratos do resíduo de polpa e semente de acerola verde.

Amostra	Encapsulante	Temperatura (°C)	Rendimento (%)*
<b>Polpa decanter</b>			
PT1E1	Maltodextrina	140	57,63
PT2E1		160	54,52
PT1E2	Goma arábica	140	48,20
PT2E2		160	50,85
PT1E3	Maltodextrina : Goma arábica	140	45,22
PT2E1		160	35,06
PT1C1	Controle	140	12,20
PT2C1		160	9,59
<b>Semente</b>			
ST1E1	Maltodextrina	140	33,19
ST2E1		160	41,95
ST1E2	Goma arábica	140	38,30
ST2E2		160	38,44
ST1E3	Maltodextrina : Goma arábica	140	32,88
ST2E1		160	40,64
ST1C1	Controle	140	13,96
ST2C2		160	16,02

\* Não houve triplicata.

Rendimento (%) – g de pó por 100 mL de extrato + encapsulante (10%), exceto para amostra. Controle – g de pó por 100 mL de extrato sem encapsulante.

P – Polpa; S – Semente; T – Temperatura; E – encapsulante; C – Controle.

Fonte: próprio autor.

Os valores obtidos para o rendimento do processo dos diferentes ensaios para a polpa estão compreendidos entre 9,59% e 57,63%. Nota-se que para as amostras controle o rendimento foi muito baixo, devido ao pouco conteúdo de sólidos, tendo em vista a ausência do encapsulante o que confirma a necessidade de estar utilizando um material de parede, assim também conhecido, para uma maior recuperação do produto final.

Para as amostras da polpa, percebe-se que os maiores rendimentos foram obtidos quando submetido à temperatura mais baixa (140 °C). Resultado semelhante foi apresentado por Papadakis et al. (2006), onde os autores mostraram que aumentando a temperatura do ar

de entrada a recuperação de sólidos no produto em pó foi menor. Já para os encapsulados do extrato da semente o rendimento das amostras submetidas a 160 °C apresentaram os melhores resultados. Observações essas também foram relatadas por outros autores, o que pode estar relacionado, a um maior efeito do processo de transferência de calor e evaporação da água quando aplicado temperaturas do ar de entrada mais alta (FAZAELI et al., 2012).

Analisando ainda os dados da tabela 8 quanto ao rendimento, verifica-se que as micropartículas produzidas a partir da maltodextrina apresentaram um melhor rendimento quando comparado com os demais ensaios, tanto para polpa (57,63% e 54,52%), quanto para semente (33,19% e 41,95%) nas temperaturas de 140 °C e 160 °C, respectivamente. Can Karaca, Guzel e Ak (2016) ao encapsularem cereja azeda relataram que a maltodextrina proporcionou maior rendimento que a goma arábica. No entanto, Yousefi et al. (2011) verificaram que a goma arábica mostrou melhor rendimento em relação aos outros materiais de parede na encapsulação de suco de romã.

Vale salientar, que essas diferenças encontradas podem estar relacionadas a diversos fatores como amostras, proporção de encapsulantes e os parâmetros de secagem utilizados em cada estudo. Além do que, segundo Davidov-Pardo et al. (2013) o resultado do rendimento depende também do equipamento utilizado.

#### *5.4.1.2 Eficiência de encapsulação*

A eficiência de encapsulação refere-se à quantidade do material ativo efetivamente encapsulado, sendo uma análise interessante para verificar o processo de encapsulação quanto aos efeitos do material ativo após o processo (MATOS-JR et al., 2017). Na tabela 9, encontram-se os valores para a eficiência dos diferentes tratamentos.

De acordo com os valores para a eficiência de encapsulação foi significativamente ( $p < 0,05$ ) influenciado pelo efeito da temperatura do ar de entrada e o tipo do encapsulante.

Porém, os resultados mostraram que a eficiência foi satisfatória praticamente para todos os tratamentos variando de 35,70% a 94,17%, sendo que a combinação da maltodextrina: goma arábica nas diferentes temperaturas apresentaram os melhores resultados para as micropartículas da polpa (77,36% e 77,66%), enquanto para a semente a melhor eficiência foi observada para amostra atomizada com goma arábica na temperatura de 140 °C (94,17%), seguido da formulação contendo maltodextrina e goma arábica (92,27%) quando submetido a 160 °C, no entanto esses últimos valores não diferiram significativamente ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 9** – Eficiência de encapsulação dos extratos do resíduo de polpa e semente de acerola verde.

<b>Amostra</b>	<b>Encapsulante</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Eficiência (%)</b>
<b>Polpa decanter</b>			
<b>PT1E1</b>	Maltodextrina	140	53,45 ± 1,01 <sup>c</sup>
<b>PT2E1</b>		160	42,14 ± 2,32 <sup>d</sup>
<b>PT1E2</b>	Goma arábica	140	35,70 ± 1,57 <sup>e</sup>
<b>PT2E2</b>		160	67,16 ± 2,91 <sup>b</sup>
<b>PT1E3</b>	Maltodextrina : Goma arábica	140	77,36 ± 1,90 <sup>a</sup>
<b>PT2E1</b>		160	77,66 ± 1,35 <sup>a</sup>
<b>Semente</b>			
<b>ST1E1</b>	Maltodextrina	140	82,36 ± 1,61 <sup>c</sup>
<b>ST2E1</b>		160	79,75 ± 0,22 <sup>c</sup>
<b>ST1E2</b>	Goma arábica	140	94,17 ± 0,63 <sup>a</sup>
<b>ST2E2</b>		160	87,53 ± 1,78 <sup>b</sup>
<b>ST1E3</b>	Maltodextrina : Goma arábica	140	80,45 ± 2,04 <sup>c</sup>
<b>ST2E1</b>		160	92,27 ± 2,02 <sup>a</sup>

<sup>abcde</sup> Médias em uma mesma coluna seguidas por uma mesma letra minúscula não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. EE – Eficiência de encapsulação: quantidade total dos compostos fenólicos inicialmente (mg. g<sup>-1</sup>) / quantidade de fenólicos encapsulado (mg. g<sup>-1</sup>). P – Polpa; S – Semente; T – Temperatura; E – encapsulante; C – Controle.

Fonte: Próprio autor.

Resultados semelhantes foram observados por Silva et al. (2014) os quais concluíram que os melhores resultados para a microencapsulação de antocianinas foi quando utilizaram a mesma proporção (50:50) na combinação de maltodextrina e goma arábica. Lopera et al. (2009) ao avaliaram a influência do encapsulante quanto a eficiência de encapsulação verificaram que o uso da mistura da maltodextrina com goma arábica na proporção de 50:50, obteve-se maior eficiência quando comparando-os individualmente. Moreira et al. (2009) ao avaliarem a eficiência da retenção dos compostos microencapsulados do resíduo de acerola, os autores relataram que menores temperatura favoreceram a retenção dos compostos de interesse.

A partir dos resultados descritos acima as condições que conseguiram uma melhor eficiência na retenção de fenólicos totais foram a goma arábica e a combinação entre a maltodextrina e goma arábica a 140 °C.

#### 5.4.1.3 Atividade de água

O teor de água é um fator muito importante no controle da taxa de deterioração e juntamente com a umidade é possível saber o nível de precibibilidade do produto final.

Os valores para atividade de água das diferentes micropartículas podem ser observados na Tabela 10.

**Tabela 10** – Conteúdo de atividade de água dos extratos do resíduo de polpa e semente de acerola verde microencapsulado.

Amostra	Encapsulante	Temperatura (°C)	Atividade de água
<b>Polpa decanter</b>			
PT1E1	Maltodextrina	140	0,15 ± 0,01 <sup>c</sup>
PT2E1		160	0,15 ± 0,02 <sup>c</sup>
PT1E2	Goma arábica	140	0,16 ± 0,01 <sup>c</sup>
PT2E2		160	0,13 ± 0,01 <sup>c</sup>
PT1E3	Maltodextrina : Goma arábica	140	0,24 ± 0,02 <sup>b</sup>
PT2E1		160	0,23 ± 0,02 <sup>b</sup>
PT1C1	Controle	140	0,32 ± 0,04 <sup>a</sup>
PT2C1		160	0,24 ± 0,01 <sup>b</sup>
<b>Semente</b>			
ST1E1	Maltodextrina	140	0,24 ± 0,02 <sup>b</sup>
ST2E1		160	0,15 ± 0,00 <sup>cd</sup>
ST1E2	Goma arábica	140	0,14 ± 0,01 <sup>cd</sup>
ST2E2		160	0,11 ± 0,02 <sup>d</sup>
ST1E3	Maltodextrina : Goma arábica	140	0,24 ± 0,01 <sup>b</sup>
ST2E1		160	0,16 ± 0,01 <sup>c</sup>
ST1C1	Controle	140	0,32 ± 0,04 <sup>a</sup>
ST2C2		160	0,22 ± 0,01 <sup>b</sup>

<sup>abcd</sup> Médias em uma mesma coluna seguidas por uma mesma letra minúscula não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. P – Polpa; S – Semente; T – Temperatura; E – encapsulante; C – Controle. Fonte: Próprio autor.

De acordo com os dados (Tabela 10), pode-se perceber que os resultados obtidos para atividade de água foram baixos, variando de 0,32 para o extrato atomizado (controle) até 0,11 nas partículas produzidas nos diferentes tratamentos. De acordo com Reid, Fenemma et al. (2010) quando os valores forem inferior a 0,3 como mostra a maior parte dos resultados deste trabalho não há crescimento microbiano, apresentando assim micropartículas mais estáveis microbiologicamente.

Comparando a relação entre o tipo de encapsulante e a temperatura utilizada, verifica-se que não houve diferença significativa ( $P < 0,05$ ) para os ensaios utilizando maltodextrina e goma arábica para os pós do extrato da polpa, diferentemente ao encontrado para os valores das micropartículas de semente, as quais variaram em função do tipo de encapsulante e temperatura. Os valores obtidos para as micropartículas produzidas com a mistura da maltodextrina e goma arábica no presente estudo estão de acordo com os resultados apresentados por Rezende, Nogueira e Narain (2018), os quais utilizaram a mesma proporção de encapsulante utilizada nesse trabalho.

De forma geral os pós obtidos com goma arábica e maltodextrina foram os que apresentaram uma menor atividade de água nas condições avaliadas.

#### 5.4.1.4 Umidade

Os dados para os valores obtidos quanto ao teor de umidade estão apresentados na Tabela 11.

**Tabela 11** – Teor de umidade dos extratos do resíduo de polpa e semente de acerola verde microencapsulado.

Amostra	Encapsulante	Temperatura (°C)	Umidade (%)
<b>Polpa decanter</b>			
PT1E1	Maltodextrina	140	7,68 ± 0,21 <sup>d</sup>
PT2E1		160	5,91 ± 0,04 <sup>e</sup>
PT1E2	Goma arábica	140	8,41 ± 0,25 <sup>c</sup>
PT2E2		160	9,72 ± 0,25 <sup>b</sup>
PT1E3	Maltodextrina : Goma arábica	140	7,63 ± 0,45 <sup>d</sup>
PT2E1		160	7,30 ± 0,04 <sup>d</sup>
PT1C1	Controle	140	14,66 ± 0,05 <sup>a</sup>
PT2C1		160	14,60 ± 0,06 <sup>a</sup>
<b>Semente</b>			
ST1E1	Maltodextrina	140	7,87 ± 0,11 <sup>c</sup>
ST2E1		160	6,47 ± 0,12 <sup>f</sup>
ST1E2	Goma arábica	140	7,77 ± 0,22 <sup>cd</sup>
ST2E2		160	7,18 ± 0,04 <sup>e</sup>
ST1E3	Maltodextrina : Goma arábica	140	7,23 ± 0,07 <sup>de</sup>
ST2E1		160	6,74 ± 0,47 <sup>ef</sup>
ST1C1	Controle	140	14,66 ± 0,46 <sup>a</sup>
ST2C2		160	12,59 ± 0,04 <sup>b</sup>

<sup>abcdef</sup> Médias em uma mesma coluna seguidas por uma mesma letra minúscula não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. P – Polpa; S – Semente; T – Temperatura; E – encapsulante; C – Controle. Fonte: Próprio autor.

Como pode ser observado o teor de umidade variou de 5,91% a 14,66%, sendo os maiores valores encontrados para as amostras do controle. As micropartículas obtidas com goma arábica apresentaram maior teor de umidade (8,41% e 9,72%) para ambas as temperaturas, enquanto para os pós da semente foi observado um maior teor utilizando também a goma arábica, mas a 140 °C (7,77%), assim como para as micropartículas obtidas com maltodextrina a 140 °C (7,87%). Verifica-se que, com aumento da temperatura uma menor umidade foi alcançada. Fato este também observado em outros trabalhos, o que enfatiza a maior eficiência da taxa de transferência de calor sobre as micropartículas, resultando na evaporação de maiores quantidades de água e consequentemente a obtenção de pós com menor teor de umidade (FERRARI et al., 2012; DAZA et al., 2016).

Porém, em geral todos os valores encontrados nas condições estudadas foram satisfatórios, uma vez que apresentaram baixos teores de umidade como esperado para produtos desidratados.

#### 5.4.1.5 Solubilidade

A avaliação da solubilidade de qualquer pó é uma característica de suma importância, uma vez que, está relacionada com a facilidade de dispersão e propriedades de reconstituição, além de ressaltar o bom resultado na seleção do material de parede (COSTA et al., 2013).

Em relação aos resultados para a solubilidade, na Tabela 12 estão demonstrados os valores obtidos para as micropartículas dos diferentes resíduos encapsulados.

**Tabela 12** – Solubilidade das micropartículas dos extratos dos resíduos de polpa e semente obtidos por spray dryer.

Amostra	Encapsulante	Temperatura (°C)	Solubilidade (%)
<b>Polpa decanter</b>			
PT1E1	Maltodextrina	140	92,19 ± 1,84 <sup>b</sup>
PT2E1		160	96,76 ± 1,37 <sup>a</sup>
PT1E2	Goma arábica	140	96,97 ± 0,60 <sup>a</sup>
PT2E2		160	90,99 ± 0,73 <sup>b</sup>
PT1E3	Maltodextrina : Goma arábica	140	97,37 ± 1,43 <sup>a</sup>
PT2E1		160	97,85 ± 1,75 <sup>a</sup>
<b>Semente</b>			
ST1E1	Maltodextrina	140	89,41 ± 0,76 <sup>a</sup>
ST2E1		160	94,52 ± 0,78 <sup>a</sup>
ST1E2	Goma arábica	140	92,16 ± 1,25 <sup>a</sup>
ST2E2		160	93,76 ± 5,96 <sup>a</sup>
ST1E3	Maltodextrina : Goma arábica	140	94,98 ± 2,11 <sup>a</sup>
ST2E1		160	92,17 ± 5,45 <sup>a</sup>

<sup>ab</sup> Médias em uma mesma coluna seguidas por uma mesma letra minúscula não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.; P – Polpa; S – Semente; T – Temperatura; E – encapsulante; C – Controle.

Fonte: Próprio autor.

As micropartículas produzidas nesse estudo apresentaram uma alta solubilidade, variando de 90,99% a 97,85% para as amostras do extrato da polpa atomizado. Já para as micropartículas do extrato da semente, os valores ficaram entre 89,41% a 94,98%, os quais não apresentaram diferença estatística a 5% de significância, constatando que os diferentes tipos de encapsulantes e temperatura neste estudo, não apresentaram efeitos significativos ( $p < 0,05$ ).

De acordo com os dados, a mistura de maltodextrina e goma arábica apresentou maior solubilidade para os pós contendo o extrato do resíduo da polpa, para ambas as temperaturas (97,37% - 97,85%). No entanto, os valores foram estatisticamente iguais para as micropartículas produzidas com maltodextrina a 160 °C (96,76%) e goma arábica a 140 °C (96,97%). No estudo de Costa et al. (2013), os autores verificaram que combinações utilizando maltodextrina e goma arábica apresentaram uma menor solubilidade (35% - 40%), o que pode ter sido relacionado com a natureza hidrofóbica da amostra (óleo essencial de

orégano). Tonon et al. (2009), ao avaliarem a solubilidade de micropartículas produzidas por maltodextrina e goma arábica, obtiveram valores de solubilidade acima de 90%, corroborando com os resultados obtidos nesse estudo e assim reforçando a utilização desses materiais devido à sua alta solubilidade.

#### 5.4.1.6 Higroscopicidade

Além da solubilidade a higroscopicidade é outro importante parâmetro que deve ser avaliado, pois estão relacionados com a estabilidade dos pós durante armazenamento e incorporação em sistemas aquosos (OSTROSCHI et al., 2018).

De acordo com os dados na Tabela 13, nota-se que a higroscopicidade dos pós microencapsulados foram bem menores quando comparado com os extratos secos (tratamentos controle) o que reforça a utilização de agente encapsulante para maior estabilidade do material obtido.

Tabela 13 – Higroscopicidade das micropartículas dos extratos do resíduo de polpa e semente de acerola verde microencapsulado.

Amostra	Encapsulante	Temperatura (°C)	Higroscopicidade(%)
<b>Polpa decanter</b>			
PT1E1	Maltodextrina	140	9,89 ± 0,21 <sup>d</sup>
PT2E1		160	8,12 ± 0,02 <sup>e</sup>
PT1E2	Goma arábica	140	10,63 ± 0,25 <sup>c</sup>
PT2E2		160	11,92 ± 0,24 <sup>b</sup>
PT1E3	Maltodextrina : Goma arábica	140	9,84 ± 0,44 <sup>d</sup>
PT2E1		160	9,53 ± 0,04 <sup>d</sup>
PT1C1	Controle	140	17,10 ± 0,25 <sup>a</sup>
PT2C1		160	16,95 ± 0,11 <sup>a</sup>
<b>Semente</b>			
ST1E1	Maltodextrina	140	10,06 ± 0,11 <sup>c</sup>
ST2E1		160	8,69 ± 0,12 <sup>d</sup>
ST1E2	Goma arábica	140	10,01 ± 0,22 <sup>c</sup>
ST2E2		160	9,42 ± 0,04 <sup>cd</sup>
ST1E3	Maltodextrina : Goma arábica	140	9,77 ± 0,25 <sup>cd</sup>
ST2E1		160	8,98 ± 0,48 <sup>cd</sup>
ST1C1	Controle	140	17,10 ± 0,25 <sup>a</sup>
ST2C2		160	15,35 ± 0,88 <sup>b</sup>
<b>Materiais encapsulantes</b>			
<b>Maltodextrina</b>			8,06 ± 1,16
<b>Goma arábica</b>			12,67 ± 0,02

<sup>abcd</sup> Médias em uma mesma coluna seguidas por uma mesma letra minúscula não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. P – Polpa; S – Semente; T – Temperatura; E – encapsulante; C – Controle. Fonte: Próprio autor.

De acordo com os dados da Tabela 13, os valores encontrados para a higroscopicidade variaram de 8,12% a 11,92 % entre os tratamentos para as micropartículas da polpa, sendo os maiores resultados para os pós obtidos por goma arábica 11,92% e 10,63% a 140 °C e 160 °C, respectivamente, resultado semelhante ao encontrado por Tonon et al. (2009). Entretanto, os menores valores foram verificados para a maltodextrina de 9,89% a 140°C e 8,12% a 160 °C.

Para as micropartículas do extrato da semente, os resultados variaram de 8,69% a 10,06%, sendo os pós obtidos com os encapsulantes individuais maltodextrina e goma arábica, ambos a 140 °C apresentaram os maiores valores de higroscopicidade (10,06% e 10,01%), respectivamente. Porém, quando submetidos a maior temperatura, nesse caso 160 °C observou-se que os valores reduziram (8,69% e 9,42%), respectivamente. Avaliando quanto aos diferentes tipos de encapsulantes nas micropartículas da polpa e semente apresentando menor valor de higroscopicidade destacam-se na ordem maltodextrina > maltodextrina: goma arábica > goma arábica.

Felix et al. (2016) encontraram resultados semelhantes ao enfatizarem que os pós encapsulados por goma arábica apresentaram maior valor de higroscopicidade, já a adição de maltodextrina as micropartículas tenderam para um menor valor. Resultados esses esperados já que a maltodextrina apresenta baixa higroscopicidade, enquanto a goma arábica por apresentar elevado número de ramificações com grupos hidrofílicos tendem a absorver mais água (Tonon et al., 2009; Frascareli, 2012); corroborando assim, com os valores encontrados neste trabalho para maltodextrina (8,06 %) e para a goma arábica (12,67%), enfatizando que a utilização de um encapsulante favorece a diminuição da higroscopicidade dos extratos atomizados dos diferentes resíduos de acerola verde.

#### *5.4.1.7 Densidade aparente e densidade aparente compactada*

Os valores para a densidade aparente ( $\rho_{bulk}$ ) e densidade aparente compactada ( $\rho_{tapped}$ ) estão apresentadas na Tabela 14, a seguir.

A avaliação da densidade é um parâmetro que avalia o volume que uma determinada massa de um produto ocupa. Segundo Santana et al. (2013) materiais de baixa densidade necessitam de espaço maior para armazenamento, o que pode gerar um maior custo no produto final.

A partir dos valores de densidade aparente e aparente compactada nas condições apresentadas, observa-se que os resultados variaram de 0,06 a 0,23 e 0,08 a 0,33 g.mL<sup>-1</sup>, respectivamente, referente as micropartículas do extrato da polpa atomizada. Já para os pós

dos extratos da semente os resultados para a densidade aparente variaram de 0,18 a 0,26 g.mL<sup>-1</sup> e para a densidade aparente compactada de 0,29 a 0,42 g.mL<sup>-1</sup>.

**Tabela 14** – Valores da densidade aparente e densidade aparente compactada das micropartículas dos extratos do resíduo de polpa e semente de acerola verde microencapsulado.

Amostra	Encapsulante	Temperatura (°C)	Densidade	
			Densidade ( $\rho_{\text{bulk}}$ )	Densidade ( $\rho_{\text{tapped}}$ )
<b>Polpa decanter</b>				
PT1E1	Maltodextrina	140	0,07 ± 0,00 <sup>d</sup>	0,09 ± 0,00 <sup>c</sup>
PT2E1		160	0,06 ± 0,00 <sup>d</sup>	0,08 ± 0,00 <sup>c</sup>
PT1E2	Goma arábica	140	0,19 ± 0,00 <sup>b</sup>	0,31 ± 0,01 <sup>a</sup>
PT2E2		160	0,16 ± 0,01 <sup>c</sup>	0,25 ± 0,01 <sup>b</sup>
PT1E3	Maltodextrina: Goma arábica	140	0,23 ± 0,00 <sup>a</sup>	0,33 ± 0,01 <sup>a</sup>
PT2E1		160	0,16 ± 0,01 <sup>c</sup>	0,25 ± 0,03 <sup>b</sup>
<b>Semente</b>				
ST1E1	Maltodextrina	140	0,24 ± 0,01 <sup>ab</sup>	0,42 ± 0,01 <sup>a</sup>
ST2E1		160	0,21 ± 0,01 <sup>c</sup>	0,36 ± 0,01 <sup>bc</sup>
ST1E2	Goma arábica	140	0,22 ± 0,01 <sup>bc</sup>	0,36 ± 0,01 <sup>bc</sup>
ST2E2		160	0,18 ± 0,00 <sup>d</sup>	0,33 ± 0,00 <sup>c</sup>
ST1E3	Maltodextrina: Goma arábica	140	0,26 ± 0,15 <sup>a</sup>	0,38 ± 0,02 <sup>b</sup>
ST2E1		160	0,22 ± 0,01 <sup>bc</sup>	0,29 ± 0,02 <sup>d</sup>

<sup>abcd</sup> Médias em uma mesma coluna seguidas por uma mesma letra minúscula não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. Densidade ( $\rho_{\text{bulk}}$ ) – Densidade aparente; Densidade ( $\rho_{\text{tapped}}$ ) – Densidade aparente compactada, ambos expressos por g.mL<sup>-1</sup>. P – Polpa; S – Semente; T – Temperatura; E – encapsulante; C – Controle. MD – Maltodextrina; GA – Goma arábica; MD:GA – Maltodextrina+ Goma arábica. Fonte: Próprio autor.

Analisando os dados da tabela, percebe-se que com o aumento da temperatura ocorreu uma menor densidade, para ambos os resíduos estudados. Concordando com este resultado Shamaei et al. (2017) ao microencapsularem óleo de noz por spray dryer, verificaram que a densidade aparente das micropartículas reduziu quando a temperatura de secagem aumentou.

Tonon et al. (2011) avaliando a influência da secagem por atomização de óleo de linhaça, concluíram que maiores valores da densidade foi atribuído aos ensaios com maior temperatura, o que pode ter sido motivado pela a secagem mais rápida, resultando em micropartículas com tamanhos maiores, o que pode explicar os valores baixos da densidade.

Além disso, o tipo de encapsulante influenciou os resultados, sendo observado que os resíduos da polpa encapsulados com maltodextrina apresentaram um menor valor para as diferentes densidades, quando comparado com os outros encapsulantes avaliados.

De acordo com estudo de Kurozawa et al. (2009) o autor enfatiza que ao utilizarem maiores concentrações de maltodextrina (10 a 30%) os valores da densidade aparente compactada diminuíram de 0,330 para 0,296 g.mL<sup>-1</sup>. Outros estudos também apresentam resultados semelhantes o que instiga mais estudos utilizando diferentes concentrações de encapsulantes, principalmente para a maltodextrina, haja vista que neste estudo a

concentração foi fixada a 10%. Oliveira et al. (2013), ao caracterizar polpa de morango atomizada com diferentes agentes encapsulante, verificaram que as amostras com maltodextrina apresentaram valor de densidade aparente menor, sendo que a maltodextrina 5DE apresentou maior densidade do que a maltodextrina 10DE. Os autores relatam que a maltodextrina é um polissacarídeo obtido pela hidrólise do amido e quanto mais hidrolisado o amido, menor será sua densidade, uma vez que as ligações rompidas resultam em cadeias menores e mais leves, o que corrobora com o achado nesse estudo.

Levando em consideração que a avaliação da densidade aparente é a mais utilizada como critério para estocagem em processos de microencapsulação, a qual considera o volume de material e o volume de ar entre as partículas (Barbosa-Canovás e Juliano, 2005) foi observado que os melhores valores para as micropartículas do extrato da polpa e semente foram obtidos utilizando a combinação de maltodextrina e goma arábica, sendo os valores  $0,23 \text{ g.mL}^{-1}$  e  $0,26 \text{ g.mL}^{-1}$ , respectivamente.

#### *5.4.1.8 Análises colorimétrica*

Na Tabela 15, estão apresentados os valores dos parâmetros colorimétricos dos diferentes pós obtidos, sendo uma importante caracterização, devido aos aspectos visuais do produto final, além de permitir analisar os impactos causados pelo processo de secagem.

Em relação à luminosidade (L) nas micropartículas obtidas pelo extrato do resíduo de polpa, os resultados variaram de 53,05 a 66,26. Observando que não houve diferenças expressivas ( $p < 0,05$ ) entre os encapsulantes na temperatura de  $140 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . A respeito desse parâmetro para as micropartículas produzidas com extrato do resíduo de semente, os valores oscilaram em torno de 41,24 a 71,28. Observa-se que houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre todos os tratamentos.

**Tabela 15** - Valores da análise de cor das micropartículas dos extratos do resíduo de polpa e semente de acerola verde microencapsulado.

Encapsulante	Maltodextrina		Goma arábica		Maltodextrina : Goma arábica		Controle	
	140	160	140	160	140	160	140	160
<b>Polpa decanter</b>								
<b>L</b>	53,05 ± 7,24 <sup>bc</sup>	66,26 ± 3,46 <sup>a</sup>	60,28 ± 4,54 <sup>abc</sup>	50,70 ± 3,5 <sup>c</sup>	58,12 ± 2,38 <sup>abc</sup>	61,68 ± 2,75 <sup>ab</sup>	55,59 ± 0,42 <sup>bc</sup>	63,05 ± 1,48 <sup>ab</sup>
<b>a*</b>	0,56 ± 0,19 <sup>ef</sup>	0,25 ± 0,05 <sup>f</sup>	0,66 ± 0,15 <sup>def</sup>	1,17 ± 0,06 <sup>c</sup>	0,96 ± 0,22 <sup>cde</sup>	1,10 ± 0,24 <sup>cd</sup>	10,46 ± 0,08 <sup>a</sup>	2,46 ± 0,20 <sup>b</sup>
<b>b*</b>	13,99 ± 0,64 <sup>e</sup>	15,04 ± 0,62 <sup>cde</sup>	13,66 ± 0,22 <sup>e</sup>	14,34 ± 0,35 <sup>de</sup>	16,49 ± 0,34 <sup>c</sup>	15,85 ± 1,25 <sup>cd</sup>	33,92 ± 0,09 <sup>a</sup>	24,86 ± 0,13 <sup>b</sup>
<b>Hue</b>	87,65 ± 0,91 <sup>a</sup>	89,02 ± 0,24 <sup>a</sup>	87,31 ± 0,75 <sup>b</sup>	85,27 ± 0,42 <sup>cd</sup>	86,64 ± 0,70 <sup>bc</sup>	86,09 ± 0,56 <sup>bc</sup>	72,87 ± 0,12 <sup>e</sup>	84,33 ± 0,49 <sup>d</sup>
<b>Chomo</b>	14,01 ± 0,64 <sup>e</sup>	15,04 ± 0,61 <sup>cde</sup>	13,67 ± 0,21 <sup>e</sup>	14,39 ± 0,33 <sup>de</sup>	16,51 ± 0,35 <sup>c</sup>	15,89 ± 1,27 <sup>cd</sup>	35,49 ± 0,09 <sup>a</sup>	24,99 ± 0,11 <sup>b</sup>
<b>Semente</b>								
<b>L</b>	46,93 ± 2,58 <sup>de</sup>	68,04 ± 4,17 <sup>a</sup>	41,24 ± 4,50 <sup>e</sup>	48,71 ± 1,56 <sup>cd</sup>	56,00 ± 0,91 <sup>b</sup>	71,28 ± 1,86 <sup>a</sup>	55,59 ± 0,42 <sup>bc</sup>	60,09 ± 1,05 <sup>b</sup>
<b>a*</b>	6,71 ± 0,55 <sup>b</sup>	5,62 ± 0,24 <sup>c</sup>	6,10 ± 0,45 <sup>bc</sup>	5,40 ± 0,17 <sup>c</sup>	5,83 ± 0,02 <sup>c</sup>	5,74 ± 0,12 <sup>c</sup>	10,46 ± 0,08 <sup>a</sup>	9,97 ± 0,14 <sup>a</sup>
<b>b*</b>	23,44 ± 0,77 <sup>c</sup>	24,64 ± 0,27 <sup>bc</sup>	21,21 ± 1,22 <sup>d</sup>	21,28 ± 0,25 <sup>d</sup>	24,53 ± 0,17 <sup>bc</sup>	26,11 ± 0,07 <sup>b</sup>	33,92 ± 0,09 <sup>a</sup>	34,37 ± 0,50 <sup>a</sup>
<b>Hue</b>	74,04 ± 1,02 <sup>c</sup>	77,14 ± 0,66 <sup>a</sup>	73,96 ± 0,23 <sup>c</sup>	75,74 ± 0,40 <sup>b</sup>	76,62 ± 0,62 <sup>ab</sup>	77,60 ± 0,29 <sup>a</sup>	72,87 ± 0,12 <sup>c</sup>	73,82 ± 0,96 <sup>c</sup>
<b>Chomo</b>	24,40 ± 0,83 <sup>c</sup>	25,28 ± 0,21 <sup>bc</sup>	22,08 ± 1,29 <sup>d</sup>	21,95 ± 0,26 <sup>d</sup>	25,22 ± 0,17 <sup>bc</sup>	26,73 ± 0,46 <sup>b</sup>	35,49 ± 0,10 <sup>a</sup>	35,79 ± 0,51 <sup>a</sup>

<sup>abcdef</sup> Médias em uma mesma linha seguidas por uma mesma letra minúscula não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Fonte: Próprio autor.

Foi notado que, quanto maior a temperatura de secagem, maior a luminosidade para todos os encapsulantes utilizados, constatando que a secagem a 160 °C promoveu micropartículas mais claras nos diferentes extratos dos resíduos atomizados, principalmente para os pós que continham o encapsulante maltodextrina, fato este também observado por Ahmeda et al. (2010) que ao utilizar a maltodextrina verificaram que os pós produzidos eram mais claros.

Quanto aos valores de  $a^*$ , que analisa a variação da intensidade de verde (valores negativo) a vermelho (valores positivo), os pós da polpa apresentaram diferenças entre os tratamentos. No entanto, em todas as micropartículas os valores tenderam mais para o verde, comparando os resultados com os pós da semente observa que esses apresentaram valores de  $a^*$  mais elevados, indicando maior intensidade da cor vermelha.

Os valores de  $b^*$ , que está relacionado à variação do amarelo (valores positivo) ao azul (valores negativo), apresentaram valores relativamente mais altos, sendo que as amostras controle apresentaram um maior valor. Nota-se que as micropartículas obtidas com a combinação da maltodextrina e goma arábica exibiram maior intensidade.

Foram avaliados também o valor de Cromo (C) e o ângulo de hue (H), onde o valor de Cromo indica a concentração de cor, refere-se ao maior brilho da cor. Um maior valor de C apresenta uma cor fortemente saturada, o que demonstra a pureza da cor em relação ao branco.

Dentre as amostras as microcápsulas obtidas por maltodextrina: goma arábica mostraram-se uma maior saturação 16,51 a 15,89 para as amostras do extrato do resíduo da polpa e 25,22 a 26,73 para os pós da semente. Comparando com as amostras do controle que forneceram maiores valores indicando cores mais vivas (35,49 a 24,99 e 34,49 a 35,79) todos os pós demonstraram ter uma coloração mais opaca.

Quanto ao valor de Hue, indicativo de tonalidade mostrou que os extratos de polpa e semente atomizados apresentaram ângulo entre 72,87 a 89,02 e 72,87 a 77,60, respectivamente, demonstrando que as microcápsulas obtidas independente do tipo de encapsulante e da temperatura de secagem apresentaram uma coloração mais próxima do amarelo, tendo em vista que o ângulo de 90° corresponde à cor amarela, enquanto que o valor 180° representa o verde, com tonalidades intermediárias entre esses valores (MINOLTA, 1998).

Nas Figuras 17 e 18 estão apresentadas às imagens com os oito pós dos ensaios realizado de acordo com o planejamento experimental para cada resíduo encapsulado. A avaliação visual da cor não mostrou tanta diferença entre os tratamentos para as micropartículas da polpa, exceto para as amostras controle, as quais apresentaram coloração

mais intensa e amarela dos que os pós encapsulados, o que pode estar relacionado com a utilização e a concentração dos encapsulantes utilizados.

**Figura 17** - Pós dos extratos da polpa do decanter obtidas através da microencapsulação por spray dryer utilizando diferentes agentes encapsulantes.

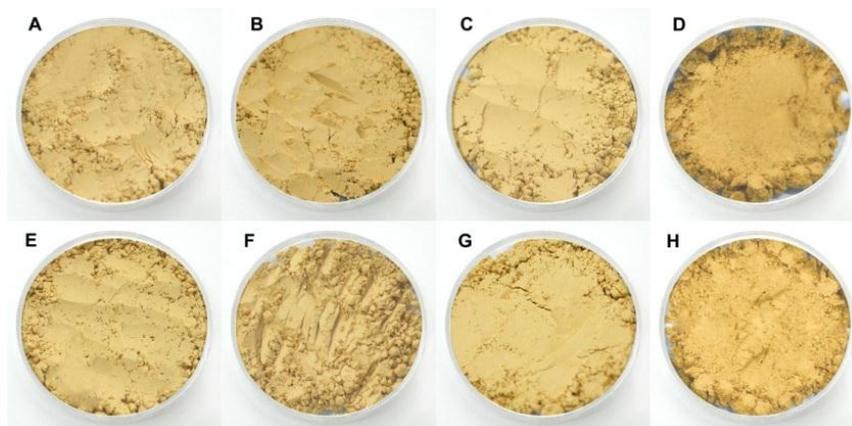


A – Maltodextrina (140°C); B – Goma arábica (140 °C); C – Maltodextrina: Goma arábica (140 °C); D – Controle (140 °C); E – Maltodextrina (160°C); F – Goma arábica (160 °C); G – Maltodextrina: Goma arábica (160 °C); H – Controle (160 °C).

Fonte: Próprio autor.

As micropartículas referentes ao resíduo da semente (Figura 18) apresentaram cores mais intensas, devido o extrato líquido apresentar coloração mais escura (castanho avermelhado), o que refletiu no resultado final dos pós microencapsulados.

**Figura 18** - Pós dos extratos da semente obtidas através da microencapsulação por spray dryer utilizando diferentes agentes encapsulantes.



A – Maltodextrina (140°C); B – Goma arábica (140 °C); C – Maltodextrina: Goma arábica (140 °C); D – Controle (140 °C); E – Maltodextrina (160°C); F – Goma arábica (160 °C); G – Maltodextrina: Goma arábica (160 °C); H – Controle (160 °C). Fonte: Próprio autor.

#### **5.4.2 Avaliação dos compostos bioativos e da atividade antioxidante nas micropartículas**

Com intuito de manter as propriedades e características dos compostos bioativos, a fim de facilitar na preservação, estabilidade e na incorporação em diversas matrizes o processo de microencapsulação foi utilizada. Além das respostas obtidas quanto aos parâmetros de processo, as micropartículas também foram avaliadas quanto ao efeito das condições de secagem por spray dryer sobre os compostos fenólicos, flavonóides e a atividade antioxidante, os quais são apresentados na Tabela 16.

De acordo com os dados obtidos o valor dos compostos fenólicos no extrato líquido do resíduo da polpa e semente de acerola verde foi de 82,64 e 59,03 mg EAG.g<sup>-1</sup>, respectivamente. Para os valores desses compostos nas micropartículas variaram de 60,74 a 69,17 mg EAG.g<sup>-1</sup> para a polpa e em torno de 43,70 a 51,57 mg EAG.g<sup>-1</sup> para os pós da semente.

Observa-se que as micropartículas da polpa obtidas com a combinação de maltodextrina e goma arábica a 140 °C apresentou maior valor (69,17 mg EAG.g<sup>-1</sup>), seguido dos pós atomizados com maltodextrina nas diferentes temperaturas (64,44 a 65,09 mg EAG.g<sup>-1</sup>). Para as micropartículas da semente, a maior incorporação foi observada para goma arábica a 160 °C (51,57 mg EAG.g<sup>-1</sup>), seguido da maltodextrina a 140 °C com 46,85 mg EAG.g<sup>-1</sup>, a qual não diferiu estatisticamente ( $p < 0,05$ ) para os tratamentos com goma arábica a 140 °C (46,85 mg EAG.g<sup>-1</sup>) e maltodextrina: goma arábica a 160 °C (46,76 mg EAG.g<sup>-1</sup>).

Comparando esses valores com os resultados dos seus respectivos extrato líquidos, observa-se uma redução desses compostos, no entanto, mesmo apresentando um menor teor as microcápsulas ainda mantiveram boas concentrações de fenólicos totais. Verificou-se também que os encapsulantes ocasionaram uma maior diluição dos compostos quando comparados com a amostra controle (sem encapsulante). Fenômenos semelhantes também foram observados por Silva V. M. (2014) e Souza V. B. (2014) que destacaram que o próprio material encapsulante age como um diluente durante a preparação da solução para atomização.

Nota-se que a maior parte dos tratamentos que apresentaram uma redução de fenólicos esta associado a uma maior temperatura. Mishra, Mishra e Mahanta (2014) e Tonon et al. (2009) enfatizaram que a temperatura de secagem mostrou efeito significativo ( $p < 0,05$ ) sobre os compostos fenólicos, ocorrendo uma diminuição quando houve um aumento da temperatura.

**Tabela 16** – Conteúdo de fenólicos, flavonóides totais e da atividade antioxidante pelos métodos DPPH, ABTS, FRAP e ORAC das micropartículas do extrato de resíduo de polpa e semente.

Tratamentos	Fenólicos (mg EAG.g <sup>-1</sup> )	Flavonóides (mg QE.g <sup>-1</sup> )	Atividade antioxidante (µM TEAC.g <sup>-1</sup> )*			
			DPPH	ABTS	FRAP	ORAC
<b>MICROPARTÍCULAS (POLPA)</b>						
<b>Maltodextrina (MD)</b>						
<b>140</b>	64,44 ± 0,97 <sup>d</sup>	20,01 ± 0,48 <sup>c</sup>	329,16 ± 1,43 <sup>c</sup>	10527,92 ± 234,55 <sup>b</sup>	311,85 ± 4,99 <sup>cd</sup>	176,31 ± 6,41 <sup>f</sup>
<b>160</b>	65,09 ± 1,18 <sup>d</sup>	17,61 ± 0,18 <sup>cde</sup>	332,03 ± 6,57 <sup>c</sup>	8938,43 ± 211,15 <sup>c</sup>	330,87 ± 1,51 <sup>cd</sup>	145,47 ± 3,40 <sup>f</sup>
<b>Goma Arábica (GA)</b>						
<b>140</b>	60,74 ± 1,12 <sup>ef</sup>	17,30 ± 1,21 <sup>de</sup>	281,10 ± 8,27 <sup>d</sup>	9031,66 ± 232,88 <sup>c</sup>	351,80 ± 10,85 <sup>c</sup>	226,90 ± 5,87 <sup>e</sup>
<b>160</b>	58,98 ± 0,42 <sup>f</sup>	16,68 ± 0,33 <sup>de</sup>	295,69 ± 5,03 <sup>cd</sup>	8966,40 ± 183,39 <sup>c</sup>	256,10 ± 6,94 <sup>d</sup>	688,88 ± 1,32 <sup>c</sup>
<b>Maltodextrina: goma arábica</b>						
<b>140</b>	69,17 ± 0,73 <sup>c</sup>	15,37 ± 0,68 <sup>e</sup>	294,02 ± 17,67 <sup>cd</sup>	8994,37 ± 55,94 <sup>c</sup>	306,81 ± 5,31 <sup>cd</sup>	307,85 ± 15,58 <sup>d</sup>
<b>160</b>	62,55 ± 0,45 <sup>de</sup>	18,66 ± 0,41 <sup>cd</sup>	326,77 ± 5,43 <sup>c</sup>	9357,94 ± 251,71 <sup>c</sup>	328,11 ± 4,27 <sup>cd</sup>	316,02 ± 10,03 <sup>d</sup>
<b>Controle</b>						
<b>140</b>	290,69 ± 2,29 <sup>a</sup>	81,44 ± 0,97 <sup>a</sup>	1652,45 ± 29,11 <sup>b</sup>	16904,39 ± 59,93 <sup>a</sup>	3019,29 ± 76,23 <sup>a</sup>	1860,03 ± 28,97 <sup>a</sup>
<b>160</b>	276,39 ± 1,27 <sup>b</sup>	78,78 ± 1,65 <sup>b</sup>	1709,12 ± 25,22 <sup>a</sup>	17463,74 ± 419,51 <sup>a</sup>	2487,03 ± 12,08 <sup>b</sup>	1436,06 ± 11,07 <sup>b</sup>
<b>Extrato Líquido</b>	82,64 ± 1,33	33,24 ± 0,52	916,22 ± 7,43	136,01 ± 12,73	246,20 ± 3,18	3643,98 ± 101,78
<b>MICROPARTÍCULAS (SEMENTE)</b>						
<b>Maltodextrina (MD)</b>						
<b>140</b>	47,41 ± 0,89 <sup>cd</sup>	28,34 ± 1,09 <sup>de</sup>	730,40 ± 14,08 <sup>b</sup>	5880,11 ± 60,50 <sup>c</sup>	336,77 ± 5,30 <sup>bc</sup>	466,02 ± 13,44 <sup>d</sup>
<b>160</b>	43,70 ± 0,89 <sup>d</sup>	26,62 ± 0,31 <sup>e</sup>	683,78 ± 29,60 <sup>bc</sup>	5976,00 ± 205,49 <sup>c</sup>	313,75 ± 3,23 <sup>c</sup>	301,85 ± 6,30 <sup>g</sup>
<b>Goma Arábica (GA)</b>						
<b>140</b>	46,85 ± 1,85 <sup>cd</sup>	28,13 ± 0,39 <sup>de</sup>	624,11 ± 51,98 <sup>c</sup>	5294,13 ± 151,05 <sup>e</sup>	326,40 ± 6,89 <sup>c</sup>	406,71 ± 8,13 <sup>e</sup>
<b>160</b>	51,57 ± 0,70 <sup>c</sup>	29,75 ± 0,47 <sup>cd</sup>	696,83 ± 47,58 <sup>bc</sup>	5757,59 ± 60,50 <sup>cd</sup>	366,74 ± 3,83 <sup>b</sup>	493,21 ± 9,92 <sup>c</sup>
<b>Maltodextrina: goma arábica</b>						
<b>140</b>	45,28 ± 0,56 <sup>d</sup>	32,20 ± 1,00 <sup>c</sup>	482,40 ± 44,40 <sup>d</sup>	5363,38 ± 95,89 <sup>de</sup>	312,99 ± 5,72 <sup>c</sup>	378,49 ± 5,34 <sup>f</sup>
<b>160</b>	46,76 ± 1,70 <sup>cd</sup>	30,32 ± 0,65 <sup>cd</sup>	361,57 ± 8,55 <sup>bc</sup>	6114,51 ± 95,88 <sup>c</sup>	321,30 ± 6,39 <sup>c</sup>	368,71 ± 10,04 <sup>f</sup>
<b>Controle</b>						
<b>140</b>	158,65 ± 1,10 <sup>a</sup>	119,60 ± 0,41 <sup>b</sup>	726,39 ± 30,53 <sup>b</sup>	12910,89 ± 129,17 <sup>b</sup>	1021,43 ± 24,24 <sup>a</sup>	1432,81 ± 5,84 <sup>a</sup>
<b>160</b>	144,44 ± 4,51 <sup>b</sup>	122,85 ± 2,03 <sup>a</sup>	2230,76 ± 37,76 <sup>a</sup>	13544,82 ± 237,22 <sup>a</sup>	1042,62 ± 18,64 <sup>a</sup>	867,32 ± 7,40 <sup>b</sup>
<b>Extrato Líquido</b>	59,03 ± 1,45	30,92 ± 0,54	596,61 ± 4,63	42,34 ± 2,59	236,29 ± 2,05	4130,93 ± 164,13

Os valores foram expressos em médias ± desvio padrão (n=3). <sup>abcd</sup> Médias seguidas de letras iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Controle - pó obtido sem adição de encapsulante; MD - maltodextrina; GA - goma arábica; MD : GA - Maltodextrina + goma arábica; Fenólicos - medido com Folin-Ciocalteu expresso como mg.g<sup>-1</sup> equivalentes ao ácido gálico. Flavonóides - expresso como mg.g<sup>-1</sup> equivalentes a Quercetina. \* Atividade antioxidante expressa como equivalente ao Trolox em Micromol por grama de amostra em base seca. Fonte: Próprio autor.

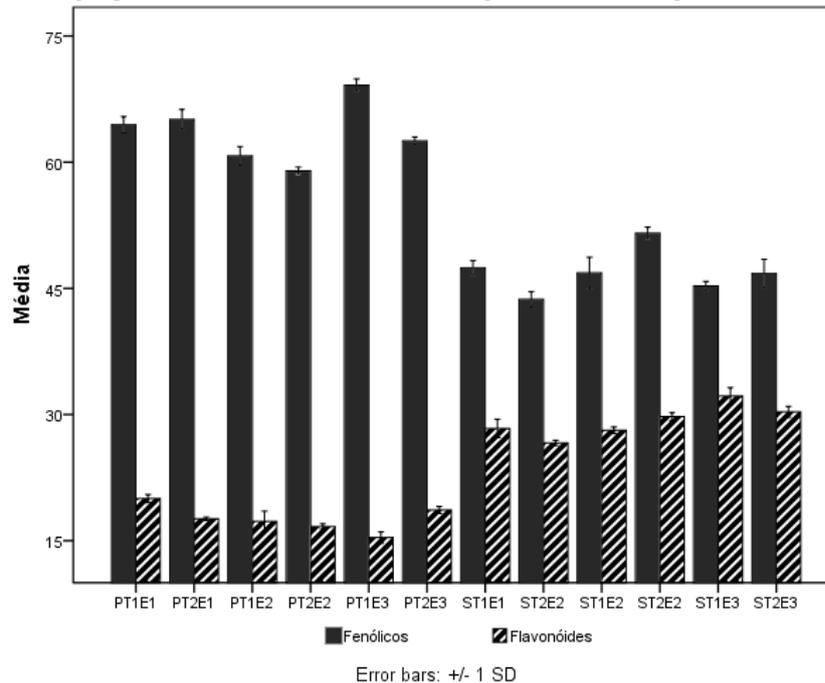
Ao avaliar os valores de flavonóides totais presentes nas diferentes micropartículas, os resultados variaram de 15,37 a 81,44 mg QE.g<sup>-1</sup>, para os pós atomizado do resíduo da polpa sendo os maiores resultados para as amostras do controle de 78,78 mg QE.g<sup>-1</sup> (160 °C) e 81,44 mg QE.g<sup>-1</sup> (140 °C). Para as micropartículas, referente ao resíduo da semente verificou-se que os valores ficaram entre 26,62 a 122,85 mg QE.g<sup>-1</sup>, sendo esses resultados superiores ao relatado por Rezende, Nogueira e Narain (2018) que verificaram valores de 2,27 e 5,52 mg QE.g<sup>-1</sup> em polpa comercial e resíduo de acerola atomizado.

Apesar do extrato líquido do resíduo da polpa apresentar melhor conteúdo de flavonóides (33,24 mg QE.g<sup>-1</sup>), percebe-se que as micropartículas apresentaram uma maior redução do conteúdo, quando comparadas com os resultados obtidos para os pós referente ao resíduo da semente, a qual exibiu maiores valores, embora o teor inicial no extrato líquido tenha sido de 30,92 mg QE.g<sup>-1</sup>. Analisando também as amostras controle nas diferentes temperaturas (140 e 160 °C) verifica-se que os valores para polpa (81,44 e 78,78 mg QE.g<sup>-1</sup>) são menores ao encontrado nos tratamento controle da semente (119,60 e 122,85), respectivamente. O que demonstra que os tipos de flavonóides presente na amostra da polpa apresentaram uma menor estabilidade sobre os parâmetros de processo da secagem aplicado, quando comparado aos constituintes presentes na semente, os quais sofreram uma menor degradação pelo processo.

Na Figura 19, fica evidente que ao verificar os resultados para as duas temperaturas do ar de secagem, observa-se que a maior parte dos experimentos conduzidos na menor temperatura de entrada de secagem (140 °C) ocasionou em uma maior concentração dos compostos fenólicos e flavonóides.

Levando em consideração que nenhum agente encapsulante puro apresenta perfil melhor de todas as propriedades necessárias, a combinação da maltodextrina e goma arábica torna-se uma boa alternativa, tendo em vista que apresentou resultados relativamente satisfatórios para os diversos parâmetros de processo analisado.

**Figura 19** - Resultados para o teor de fenólicos e flavonóides totais nas micropartículas de resíduo da polpa e semente em diferentes temperaturas e encapsulantes.



PT1E1/ ST1E1 – Maltodextrina (140 °C); PT2E1/ ST2E1 – Maltodextrina (160 °C); PT1E2/ ST1E2 – Goma arábica (140 °C); PT2E2/ ST2E2 – Goma arábica (160 °C); PT1E3/ ST1E3 – Maltodextrina: Goma arábica (140 °C); PT2E3/ ST2E3 – Maltodextrina: Goma arábica (160 °C); Média - valores de fenólicos e flavonóides expressos por mg equivalente ao ácido gálico e quercetina por grama de pó, respectivamente.

Fonte: Próprio autor.

Devido ao grande interesse do papel dos antioxidantes em extratos vegetais, a determinação da atividade antioxidante, contudo a medição deve ser feita utilizando vários ensaios com diferentes mecanismos para a obtenção de resultados mais completos (COPANOGLU et al., 2018). Fundamentado nessa observação as micropartículas foram avaliadas utilizando ensaios baseados em transferência de átomos de hidrogênio – HAT (ORAC), transferência de elétrons – ET (FRAP) e através de teste misto - HAT e ET (ABTS e DPPH).

Em relação aos resultados obtidos da otimização para a atividade sequestrante do radical DPPH os valores variaram de 281,10 a 332,03  $\mu\text{M Trolox.g}^{-1}$  para as micropartículas do resíduo da polpa e entre 696,83 a 730,40  $\mu\text{M Trolox.g}^{-1}$  para os pós do resíduo da semente.

As micropartículas obtidas através da utilização de maltodextrina apresentaram maior capacidade tanto para os ensaios com o extrato da polpa (329,16 e 332,03  $\mu\text{M Trolox.g}^{-1}$ ) como para as micropartículas das sementes (730,40  $\mu\text{M Trolox.g}^{-1}$ ) ambas a 140 °C.

Comportamento semelhante foi observado em outros estudos quando os autores

enfatazaram que a maltodextrina foi o melhor quando comparado a outros encapsulantes (KUCK e NOREÑA, 2016; SILVA et al., 2018).

Em relação aos resultados obtidos referente à atividade sequestrante do radical ABTS, observou-se que as micropartículas variaram de 9031,66 a 10527,92  $\mu\text{M Trolox.g}^{-1}$  para amostra da polpa, enquanto para os pós da semente os valores variaram de 6114,51 a 5294,13  $\mu\text{M Trolox.g}^{-1}$ , valores esses superiores ao encontrado nos extratos líquido (136,01 e 42,34  $\mu\text{M Trolox.g}^{-1}$ ), respectivamente.

Dentre os tratamentos avaliados o melhor resultado foi para as micropartículas da polpa formuladas com maltodextrina e temperatura do ar de secagem a 140 °C. No entanto, os demais ensaios não apresentaram diferença estatística ( $p < 0,05$ ) entre os tipos de encapsulante e a temperatura. Quanto aos pós da semente observou-se que os maiores valores foram para a mistura maltodextrina e goma arábica a 160 °C, não diferindo ( $p < 0,05$ ) dos tratamentos submetidos com maltodextrina nas diferentes temperaturas.

Para o ensaio do potencial de redução de ferro (FRAP), observa-se que as amostras da polpa apresentaram valores próximos, oscilando entre 256,10 a 351,80  $\mu\text{M Trolox.g}^{-1}$  enquanto para a semente, os resultados variaram de 312,99 a 366,74  $\mu\text{M Trolox.g}^{-1}$ .

Nota-se que independente do tipo de encapsulante e da temperatura as microcápsulas dos ensaios do resíduo da polpa não diferiram a nível de 5% de significância, apenas com a exceção dos pós encapsulados com goma arábica, o qual apresentou um maior potencial quando o extrato foi submetido a 140 °C. Entretanto para as micropartículas do extrato de resíduo da semente o material encapsulante que forneceu melhor atividade antioxidante foi a goma arábica na temperatura de 160 °C, seguido da maltodextrina a 140 °C.

Os valores para o conteúdo da atividade antioxidante pelo método ORAC variaram de 145,47 a 688,88 e 493,21 a 466,02  $\mu\text{M Trolox.g}^{-1}$  para os pós da polpa e semente, respectivamente. Semelhantemente ao ensaio do FRAP, também foi observado uma maior capacidade antioxidante para as micropartículas da polpa atomizadas com goma arábica, porém utilizando a temperatura do ar de secagem a 160 °C, sendo essa mesma condição adequada para a secagem do extrato do resíduo da semente.

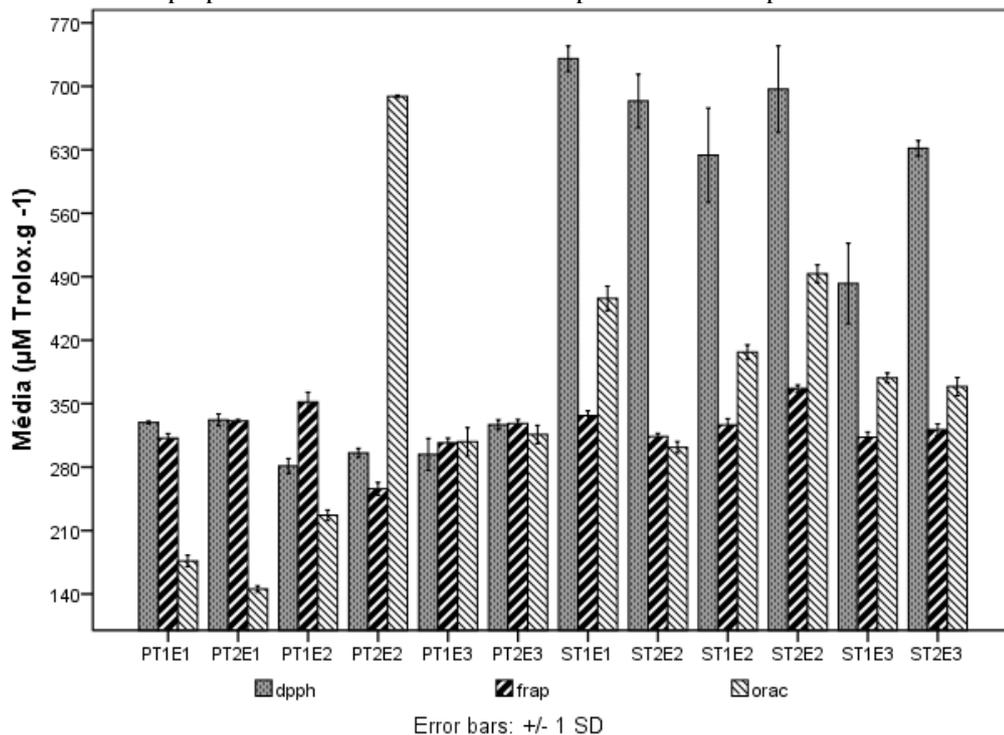
Com base ao que foi exposto, verifica-se que os resultados obtidos para atividade antioxidante apresentaram valores distintos, o que já era esperado devido às particularidades de cada método.

Além do que os resultados mostraram que a capacidade antioxidante determinada pelo método ABTS nos diferentes ensaios da atomização, foi consideravelmente maior em relação ao obtido pelos demais métodos. Apak et al. (2007) observaram que o ensaio pelo método

ABTS determina tanto a capacidade antioxidante hidrofílica como a lipofílica dos diversos extratos, pois o reagente é solúvel em solventes aquosos e orgânicos, enquanto o método DPPH, por exemplo, usa um radical dissolvido apenas em solvente orgânico, sendo assim aplicável a sistemas hidrofóbicos; o que enfatiza que a capacidade antioxidante esta relacionada à função do grupo dos compostos bioativos presente na amostra e da sua solubilidade na fase inserida (COPANOGLU et al. 2018).

Relacionando-se as temperaturas e os diferentes tipos de encapsulantes aplicados, pode-se observar na Figura 20, que para a capacidade antioxidante mensurada nos diferentes métodos propostos, a mistura de maltodextrina e goma arábica a 140 °C proporcionou maior atividade antioxidante, simultaneamente entre os métodos para as micropartículas da polpa, enquanto a goma arábica a 160 °C se apresentou como melhor encapsulante para o extrato da semente atomizada.

**Figura 20** - Resultados da atividade antioxidante medida FRAP, ORAC e ABTS nas microcápsulas da polpa e semente em diferentes temperaturas e encapsulantes.



PT1E1 – Maltodextrina (140 °C); PT2E1 – Maltodextrina (160 °C); PT1E2 – Goma arábica (140 °C); PT2E2 – Goma arábica (160 °C); PT1E3 – Maltodextrina: Goma arábica (140 °C); PT2E3 – Maltodextrina: Goma arábica (160 °C); Valores de fenólicos e flavonóides expressos por mg equivalente ao ácido gálico e quercetina por grama de pó, respectivamente.

Fonte: Próprio autor.

Nota-se pela análise (Tabela 16) da avaliação dos compostos bioativos e da atividade antioxidante nas diferentes micropartículas, que em todas as diferentes condições operacionais realizadas, os teores de fenólicos, flavonóides se mantiveram próximos aos dos seus extratos líquidos ou apresentaram valores superiores como os métodos ABTS e FRAP o que demonstra um baixo impacto do processo de secagem por atomização nestas variáveis analisadas.

De maneira geral, com base nas respostas obtidas quanto aos parâmetros de processo e a preservação dos compostos bioativos presente nos diferentes resíduos atomizado a combinação da maltodextrina com goma arábica na proporção (50:50) submetida à temperatura de 140 °C, indicaram as condições ideais para a produção de resíduos de acerola verde em pó com alto conteúdo bioativo. O que garante um processo com menos custo e um menor risco de degradação térmica das substâncias encapsuladas.

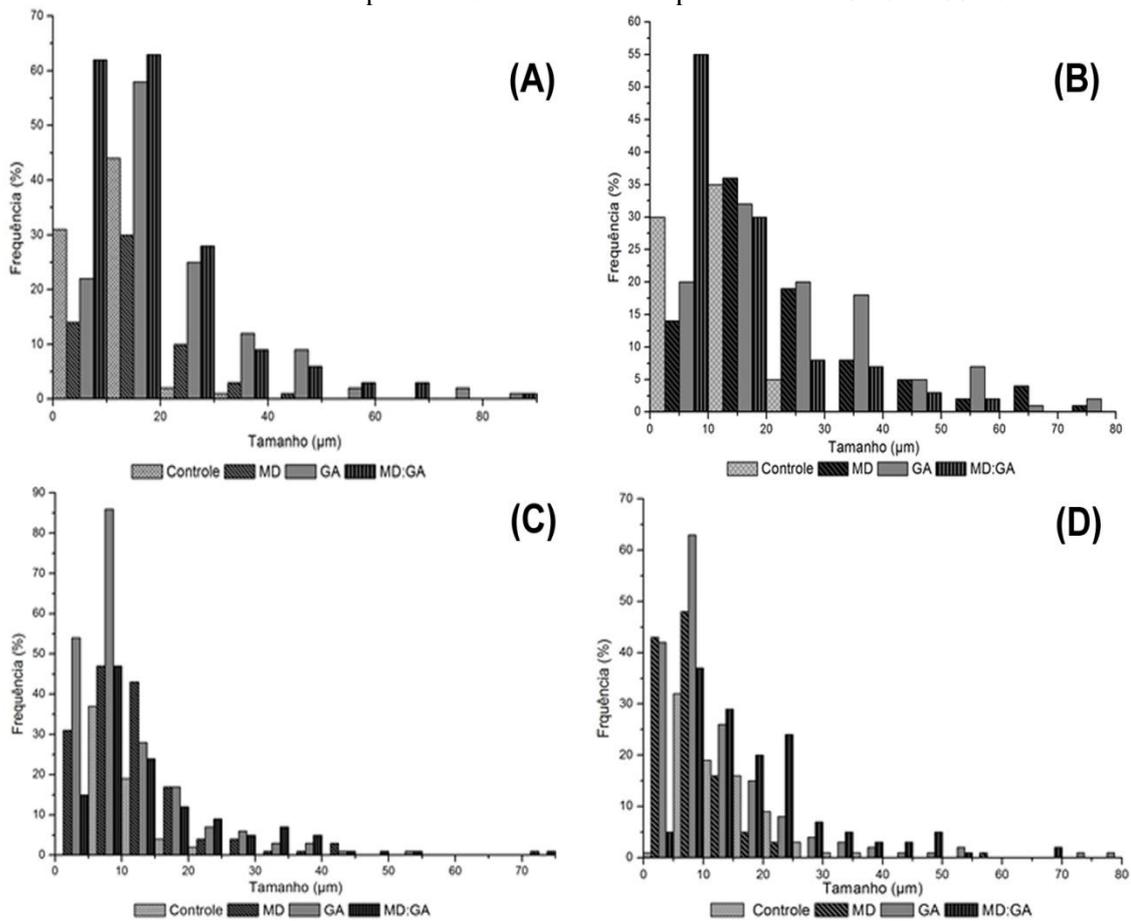
Esses dados demonstra a efetiva contribuição desta pesquisa para os processos de obtenção de pós dos variados resíduos agroindustriais obtidos da produção de suco concentrado de acerola verde com propriedades funcionais associados aos diferentes compostos bioativos.

#### **5.4.3 Distribuição de tamanho de partículas**

As micropartículas obtidas nos diferentes ensaios foram observadas por microscopia óptica, onde pequenas quantidades dos encapsulados, individualmente, foram dispersos em lâminas de vidro e visualizados em magnitude de 40x, a fim de realizar a contagem do tamanho das partículas.

Na Figura 21 esta demonstrada os gráficos, os quais podem ser observados diferentes comparações entre as distribuições do tamanho das partículas ( $\mu\text{m}$ ) na faixa de 0 a 85  $\mu\text{m}$  por frequência acumulada (%).

**Figura 21** - Distribuição do tamanho das micropartículas com extrato do resíduo da polpa e semente com diferentes encapsulante submetidas a temperatura de 140 °C e 160 °C.



(A) – Polpa a 140 °C; (B) – Polpa a 160 °C; (C) – Semente a 140 °C; (D) – Semente a 160 °C;  
 Controle – amostra sem encapsulante; MD – Maltodextrina; GA – Goma arábica; MD:GA – Maltodextrina:  
 Goma arábica.

Fonte: Próprio autor

De acordo com a observação do Gráfico 20 (A), as partículas variaram de 0 a 85 μm, porém a grande parte das micropartículas do resíduo da polpa apresentou um tamanho médio de aproximadamente entre 10 a 20 μm, sendo que os tratamentos utilizando a combinação de maltodextrina com goma arábica apresentaram uma maior frequência quando comparado com os demais encapsulantes. Observa-se também que os pós com maltodextrina apresentaram menores tamanhos de partículas. Quanto à mostra controle apresentou tamanho variando em torno de 0 a 25 μm com diâmetro médio de 11,55 μm.

No Gráfico 20 (B), que apresenta o tamanho de partícula obtida a 160 °C nota-se que os pós apresentaram tamanhos que variaram de 0 a 80 μm, sendo a maior parte das micropartículas concentradas em torno de 10 a 20 μm. A maior frequência foi observada para a amostra com maltodextrina: goma arábica. Para a amostra controle o tamanho variou de 0 a 20 μm com diâmetro médio de 11,12 μm.

Já no Gráfico 20 (C), que demonstra a distribuição do tamanho de partícula para os pós contendo extrato do resíduo da semente, as micropartículas apresentaram tamanho que varia de 0 a 75  $\mu\text{m}$ . Para a amostra controle o tamanho variou de 10 a 20  $\mu\text{m}$  com diâmetro médio de 9,61  $\mu\text{m}$ . A maior parte das micropartículas apresentou um tamanho médio de aproximadamente entre 1 a 15  $\mu\text{m}$  e verifica-se que as micropartículas com goma arábica apresentou uma maior frequência que a maltodextrina pura e combinada com goma arábica.

Para os ensaios das micropartículas submetidas a 160 °C, (Figura D), observa-se variação de 0 a 80  $\mu\text{m}$ , onde a maior parte das micropartículas se concentrou em torno de 10 a 15  $\mu\text{m}$ . A maior frequência foi observada para a goma arábica, seguido da maltodextrina.

Na Tabela 17, verifica-se que houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre os tratamentos, indicando que diferentes relações como tipo de encapsulante e temperatura interferiram no diâmetro médio das partículas.

**Tabela 17** – Diâmetro médio das micropartículas dos extratos do resíduo de polpa e semente de acerola verde microencapsulado e das amostras controle.

<b>Amostra</b>	<b>Encapsulante</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Diâmetro médio das micropartículas (<math>\mu\text{m}</math>)</b>
<b>Polpa decanter</b>			
<b>PT1E1</b>	Maltodextrina	140	15,61 $\pm$ 8,14 <sup>bc</sup>
<b>PT2E1</b>		160	23,72 $\pm$ 19,56 <sup>ab</sup>
<b>PT1E2</b>	Goma arábica	140	21,35 $\pm$ 14,57 <sup>ab</sup>
<b>PT2E2</b>		160	25,00 $\pm$ 17,44 <sup>a</sup>
<b>PT1E3</b>	Maltodextrina : Goma arábica	140	17,46 $\pm$ 13,77 <sup>abc</sup>
<b>PT2E1</b>		160	19,92 $\pm$ 10,93 <sup>abc</sup>
<b>PT1C1</b>	Controle	140	11,55 $\pm$ 4,47 <sup>c</sup>
<b>PT2C1</b>		160	11,12 $\pm$ 4,96 <sup>c</sup>
<b>Semente</b>			
<b>ST1E1</b>	Maltodextrina	140	11,58 $\pm$ 9,28 <sup>bcd</sup>
<b>ST2E1</b>		160	7,75 $\pm$ 6,20 <sup>d</sup>
<b>ST1E2</b>	Goma arábica	140	10,11 $\pm$ 8,22 <sup>cd</sup>
<b>ST2E2</b>		160	11,79 $\pm$ 10,66 <sup>bc</sup>
<b>ST1E3</b>	Maltodextrina : Goma arábica	140	14,70 $\pm$ 11,86 <sup>ab</sup>
<b>ST2E1</b>		160	17,75 $\pm$ 12,50 <sup>a</sup>
<b>ST1C1</b>	Controle	140	9,61 $\pm$ 3,72 <sup>cd</sup>
<b>ST2C2</b>		160	13,14 $\pm$ 6,77 <sup>bc</sup>

Os resultados são a média  $\pm$  desvio padrão (n = 150). <sup>abcd</sup> Médias em uma mesma linha seguidas por uma mesma letra minúscula não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. P – Polpa; S – Semente; T – Temperatura; E – encapsulante; C – Controle. Fonte: Próprio autor.

As formulações contendo o agente encapsulante com os respectivos extratos dos resíduos de acerola verde atomizado apresentaram diâmetro médio que variaram de 15,61  $\mu\text{m}$  a 25,00  $\mu\text{m}$  e de 7,75  $\mu\text{m}$  a 17,75  $\mu\text{m}$  para polpa e semente, respectivamente. Segundo Comunian e Fávoro-Trindade (2016), o diâmetro médio das partículas produzidas por spray

dryer varia entre 10 a 120  $\mu\text{m}$ , o que esta de acordo com a maior parte dos valores obtidos neste trabalho.

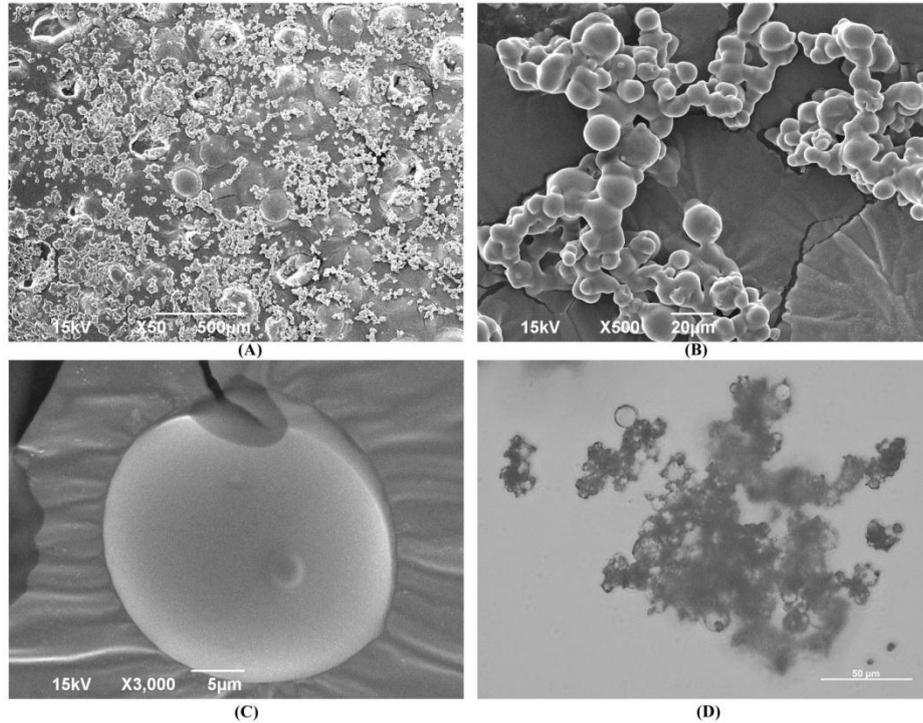
#### **5.4.4 Caracterização morfológica das micropartículas**

Para a avaliação da estrutura morfológica quanto à superfície e forma das diferentes micropartículas dos resíduos de acerola verde encapsulados, apenas foram avaliados os pós que apresentaram os melhores resultados nas análises anteriores.

A saber, as micropartículas obtidas a partir da combinação da maltodextrina e goma arábica, assim como para a maltodextrina, ambas submetidos à temperatura do ar de secagem de 140 °C, as Figuras de 22 a 24 e 25 a 27 ilustram as fotomicrografias das micropartículas da polpa e semente, respectivamente, bem como do extrato seco (amostra controle sem encapsulante) com diferentes magnitudes.

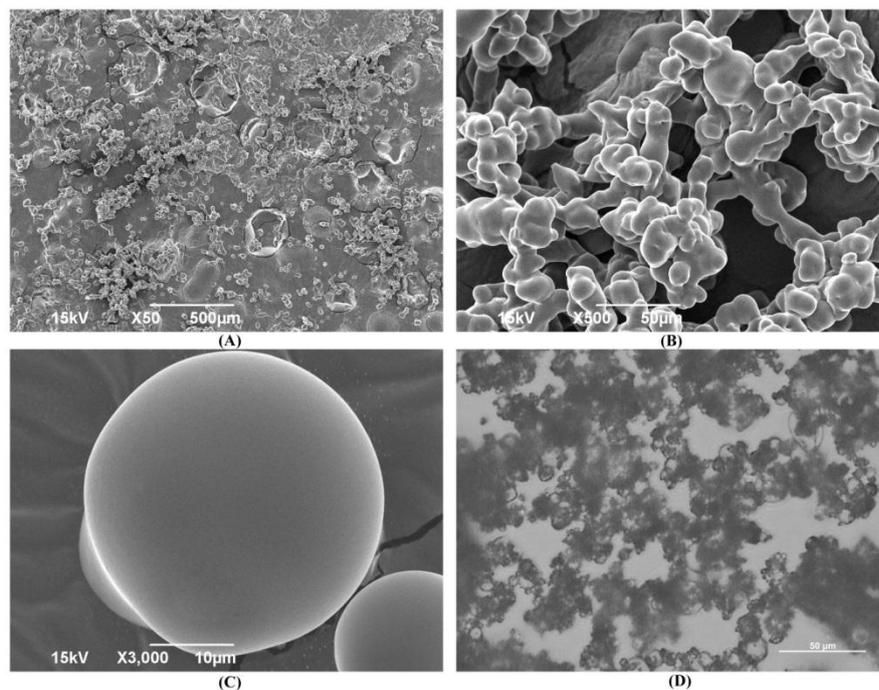
Avaliando as imagens obtidas das partículas dos diferentes resíduos, verifica-se que o processo de spray drying promoveu, no geral, a formação de cápsulas relativamente esféricas com uma superfície lisa, que são características das micropartículas obtidas por este método de secagem (FERRARI et al., 2012). Além do mais, é possível observar que apesar dos diferentes encapsulantes, as partículas apresentaram uma morfologia bastante semelhante; no entanto, as micropartículas das sementes apresentaram mais aglomeração quando comparadas as amostras da polpa. Os ensaios controle tiveram-se formas irregulares e superfície murcha e rugosa.

**Figura 22** - Morfologia das microcápsulas de pós provenientes do extrato de resíduo de polpa de acerola verde. Tratamento (PT1E1).



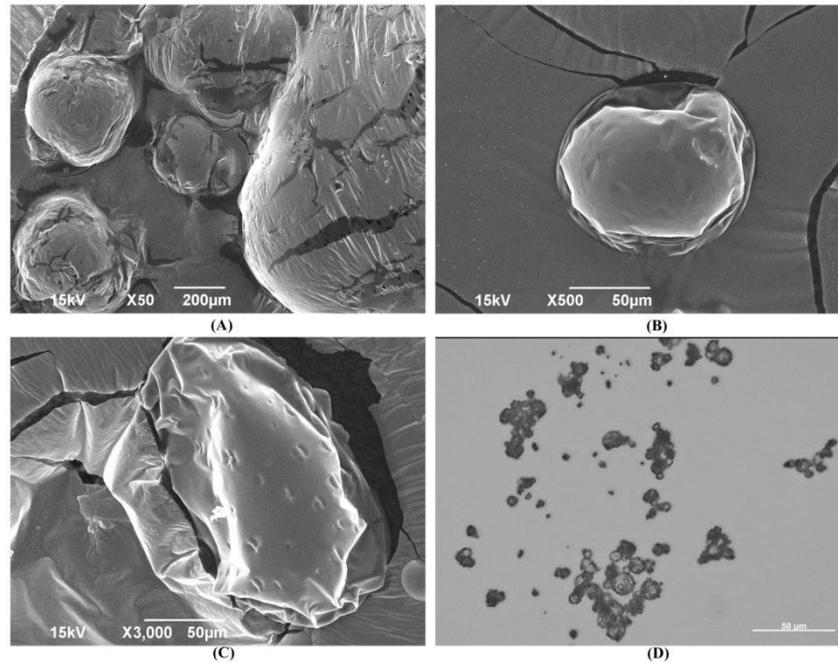
Microscopia eletrônica de varredura do tratamento (PT1E1 – Maltodextrina 140 °C): (A) 50x; (B) 500x; e (C) 3000x. Microscopia óptica do tratamento (PT1E1 – Maltodextrina 140 °C): 40x. Fonte: Próprio autor.

**Figura 23** – Morfologia das microcápsulas de pós provenientes do extrato de resíduo de polpa de acerola verde. Tratamento (PT1E3).



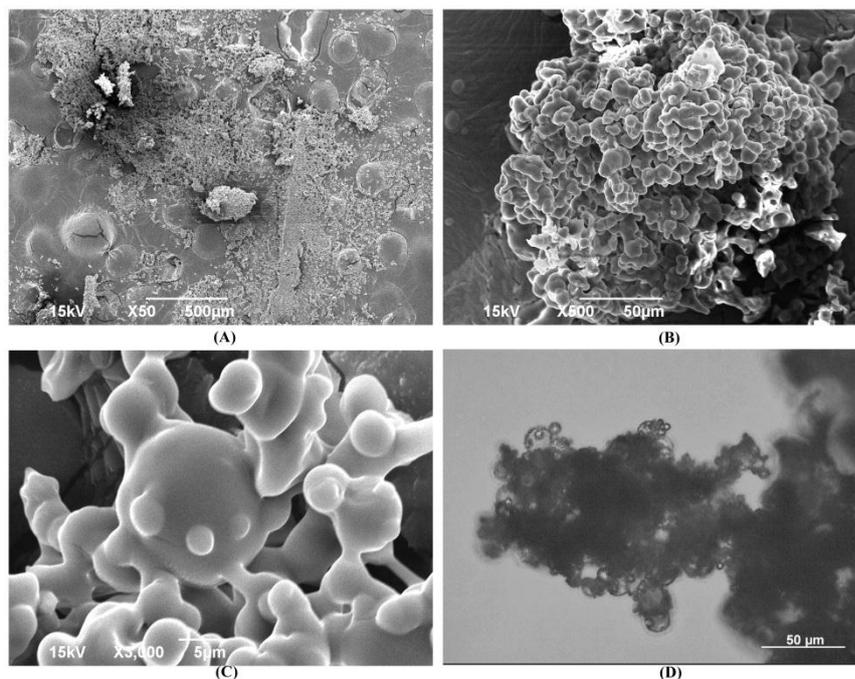
Microscopia eletrônica de varredura do tratamento (PT1E3 – Maltodextrina: Goma arábica 140 °C): (A) 50x; (B) 500x; e (C) 3000x. Microscopia óptica do tratamento (PT1E3 – Maltodextrina: Goma arábica 140 °C): 40x. Fonte: Próprio autor.

**Figura 24** – Morfologia do extrato de resíduo de polpa de acerola verde atomizado (amostra controle). Tratamento (PT1C1).



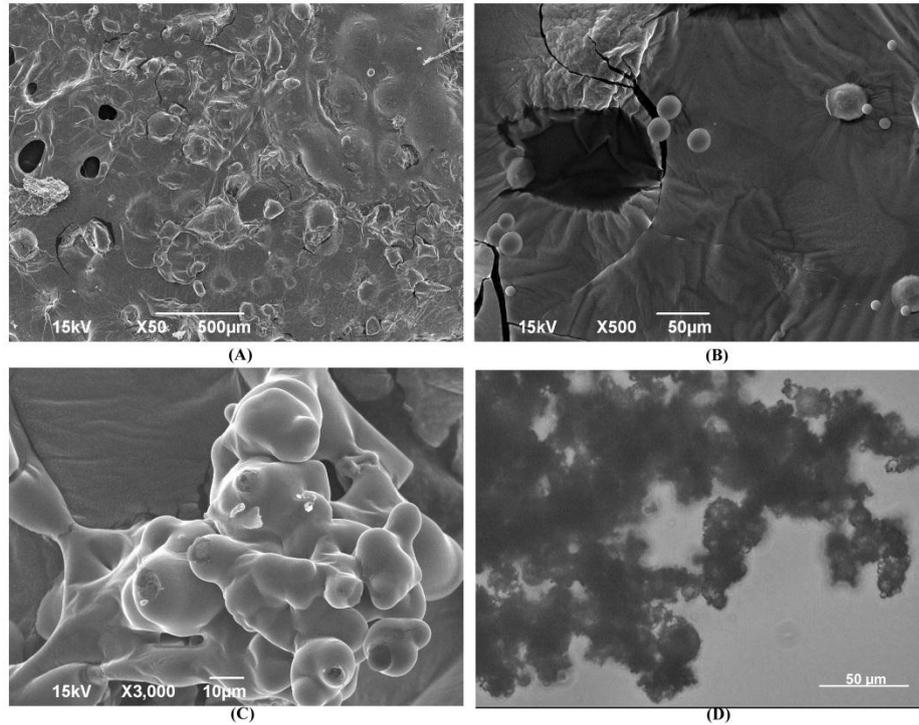
Microscopia eletrônica de varredura do tratamento (PT1C1 – Controle 140 °C): (A) 50x; (B) 500x; e (C) 3000x.  
Microscopia óptica do (PT1C1 – Controle 140 °C): 40x  
Fonte: Próprio autor.

**Figura 25** – Morfologia das microcápsulas de pós provenientes do extrato de resíduo de semente de acerola verde. Tratamento (ST1E1).



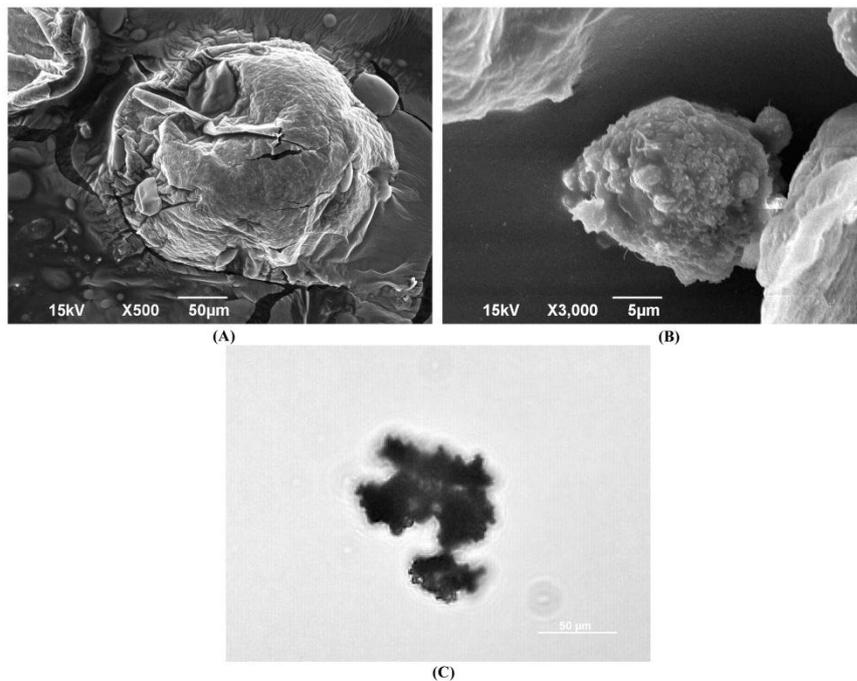
Microscopia eletrônica de varredura do tratamento (ST1E1 – Maltodextrina 140 °C): (A) 50x; (B) 500x; e (C) 3000x. Microscopia óptica do tratamento (ST1E1 – Maltodextrina 140 °C): 40x  
Fonte: Próprio autor.

**Figura 26** – Morfologia das microcápsulas de pós provenientes do extrato de resíduo da semente de acerola verde. Tratamento (ST1E3).



Microscopia eletrônica de varredura do tratamento (ST1E3 – Maltodextrina: Goma arábica 140 °C): (A) 50x; (B) 500x; e (C) 3000x. Microscopia óptica do tratamento (ST1E3 – Maltodextrina: Goma arábica 140 °C): 40x  
Fonte: Próprio autor.

**Figura 27** – Morfologia do extrato de resíduo da semente de acerola verde atomizado (amostra controle). Tratamento (ST1C1).



Microscopia eletrônica de varredura do tratamento (ST1C1 – Controle 140 °C): (A) 50x; (B) 3000x.  
Microscopia óptica do tratamento (ST1C1 – Controle 140 °C): 40x  
Fonte: Próprio autor.

## 6. CONCLUSÕES

As análises físico-químicas demonstraram que tanto as polpas, quanto aos resíduos *in natura* e desidratado apresentaram resultados satisfatórios, constituindo fontes significativas de importantes constituintes químicos como, ácido ascórbico, carotenóides e clorofila, principalmente para o resíduo do decanter, enquanto que dentre as variedades de acerola, a cultivar Junko apresentou maior concentração de carotenóides e clorofila, porém a Flor branca melhor se destacou em relação ao ácido ascórbico.

Os resíduos agroindustriais de acerola verde apresentaram como uma boa fonte de compostos bioativos, principalmente empregando a combinação entre o método de extração assistida por ultrassom e a utilização de solução aquosa de etanol acidificado exibindo uma maior eficiência de extração, principalmente dos flavonóides.

Os extratos líquidos dos diferentes resíduos agroindustrial apresentaram elevada atividade antioxidante pelos diferentes métodos utilizados destacam-se na ordem DPPH, FRAP, ABTS e ORAC, em relação às polpas de acerola verde, as variedades Flor Branca e Junko apresentaram melhor ação como antioxidante para todos os ensaios realizados.

Foram microencapsulados pelo processo de atomização por spray dryer os compostos bioativos presentes nos extratos líquidos otimizados de resíduo agroindustrial de acerola verde, sendo que as condições ótimas do processo foram alcançadas com a combinação entre os encapsulantes maltodextrina e goma arábica e a temperatura de 140 °C.

Quanto à avaliação da caracterização das microcápsulas obtidas na melhor condição apresentaram características desejáveis, em relação às análises morfológicas os pós apresentaram partículas esféricas com superfícies lisas, no entanto, os pós das sementes apresentaram mais aglomeração quando comparadas as amostras da polpa e com um tamanho de diâmetro médio dentro do estabelecido para partículas obtidas por spray dryer.

Além disso, os resultados obtidos na condição escolhida para todos os compostos avaliados nos diferentes resíduos encapsulados e atividade antioxidante demonstraram que a técnica utilizando spray dryer é viável, causando baixos impactos nos teores dos compostos bioativos. Evidenciando a utilização desses para o desenvolvimento de produtos diferenciados como para fins nutricionais, sendo a técnica de microencapsulação uma alternativa interessante e promissora garantindo a eficiência e viabilidade dos compostos de interesse para posterior utilização.

## 7. SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

De acordo com os resultados e o trabalho desenvolvido, propõem-se para uma futura investigação os seguintes tópicos:

- Estudar o perfil fenólico nos extratos líquidos e a pós o processo de encapsulação utilizando LC-MS;
- Avaliar a estabilidade das microcápsulas e o armazenamento em diferentes condições;
- Avaliar outros tipos de materiais encapsulantes;
- Determinar a incorporação das microcápsulas em sistemas alimentares e avaliar o perfil de libertação.
- Estudar a composição volátil das diferentes variedades de acerola.

## REFERÊNCIAS

- ABUD, A. K. S.; NARAIN, N. Characterization and alternatives to use acerola residue. **In: III International Symposium on Medicinal and Nutraceutical Plants and III Conference of National Institute of Science and 1198**. 2012. p. 145-154.
- AHARONI, A.; GALILI, G. Metabolic engineering of the plant primary–secondary metabolism interface. **Current Opinion in Biotechnology**, v.22, n.2, p.239-244, 2011.
- AHERNE, S. A.; O'BRIEN, N. M. Dietary flavonols: chemistry, food content, and metabolism. **Nutrition**, v. 18, n. 1, p. 75-81, 2002.
- ALAM, M. N.; BRISTI, N. J.; RAFIQUZZAMAN, M.d. Review on in vivo and in vitro methods evaluation of antioxidant activity. **Saudi Pharmaceutical Journal**, v. 21, n. 2, p. 143-152, 2013.
- ALBARICI, T. R.; FREITAS, D. M. D.; PESSOA, J. D. C. Protocolos de análises para polpa de açaí: um guia prático de consulta. Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2009.
- ALVAREZ-SUAREZ, J. M.; GIAMPIERI, F.; GASPARRINI, M.; MAZZONI, L.; SANTOS-BUELGA, C.; GONZALEZ-PARAMAS, A.; FORBES-HERNÁNDEZ, T. Y.; AFRIN, S.; PÁEZ-WATSON, T.; QUILES, J. L.; BATTINO, M. Protective effect of Acerola (*Malpighia emarginata*) against oxidative damage in human dermal fibroblast through the improvement of antioxidant enzyme activity and mitochondrial functionality. **Food e Function**, 2017.
- ALVES, R. E.; DE BRITO, E. S.; RUFINO, M. S. M.; SAMPAIO, C. G. Antioxidant activity measurement in tropical fruits: A case study with acerola. **Acta Horticulturae**, 2008.
- ALVES, R. E. Cultura da acerola. In: DONADIO, L. C.; MARTINS, A. B. G.; VALENTE, J. P. **Fruticultura tropical**. Jaboticabal: FUNEP, p. 15-37, 1992.
- ALVES, R. E.; MENEZES, J. B. Botânica da aceroleira. In: SÃO JOSÉ, A. R.; ALVES, A. E. (Eds.) **Cultura da acerola no Brasil: produção e mercado**. Vitória da Conquista: UESB, p. 7-14, 1995.
- ALVIM, I. D.; STEIN, M. A.; KOURY, I. P.; DANTAS, F. B. H.; CRUZ, C. L. D. C. V. Comparison between the spray drying and spray chilling microparticles contain ascorbic acid in a baked product application. **LWT-Food Science and Technology**, v. 65, p. 689-694, 2016.
- ANDRADE, J. K. S.; DENADAI, M.; DE OLIVEIRA, C. S.; NUNES, M. L.; NARAIN, N. Evaluation of bioactive compounds potential and antioxidant activity of brown, green and red propolis from Brazilian northeast region. **Food Research International**, v. 101, p. 129-138, 2017.
- ANEKELLA, K.; ORSAT, V. Optimization of microencapsulation of probiotics in raspberry juice by spray drying. **LWT - Food Science and Technology**, v. 50, p. 17- 24, 2013.

ANGELO, P. M.; JORGE, J. Compostos fenólicos em alimentos – Uma breve revisão. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, v. 66, n. 1, p. 232-240, 2007.

ANUÁRIO BRASILEIRO DE FRUICULTURA: **Brazilian Fruit Yearbook**. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 2017.

AOAC. **Official methods of analysis**. Association of Official Analytical Chemists, Washington D. C., 1984. p. 844-845.

APAK, R., G. K.; DEMIRATA, B.; ÖZYÜREK, M.; ÇELIK, S. E.; BEKTAŞOĞLU, B.; ÇELIK, S. E.; BEKTAŞOĞLU, B. İŞIL BERKER, K.; ÖZYURT, D. Comparative evaluation of various total antioxidant capacity assays applied to phenolic compounds with the CUPRAC assay. **Molecules**, v. 12, n. 7, p. 1496-1547, 2007.

AQUINO, A. C. M. D. S.; MÓES, R. S.; LEÃO, K. M. M.; FIGUEIREDO, A. V. D.; CASTRO, A. A. Avaliação físico-química e aceitação sensorial de biscoitos tipo cookies elaborados com farinha de resíduos de acerola. **Revista do Instituto Adolfo Lutz (Impresso)**, v. 69, n. 3, p. 379-386, 2010.

ARANCIBIA, C.; JUBLOT, L.; COSTELL, E.; BAYARRI, S. Flavor release and sensory characteristics of o/w emulsions. Influence of composition, microstructure and rheological behavior. **Food Research International**, v. 44, p. 1632–1641, 2011.

AZEVEDO-MELEIRO, C. H.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Confirmation of the identity of the carotenoids of tropical fruits by HPLC-DAD and HPLC-MS. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 17, n. 3-4, p. 385-396, 2004.

AZMIR, J.; ZAIDUL, I. S. M.; RAHMAN, M. M.; SHARIF, K. M.; MOHAMED, A.; SAHENA, F.; JAHURUL, M. H. A.; GHAFOR, K.; NORULAINI, N. A. N.; OMAR, A. K. M. Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: a review. **Journal of Food Engineering**, v. 117, n. 4, p. 426-436, 2013.

AZWANIDA, N. N. A review on the extraction methods use in medicinal plants, principle, strength and limitation. **Medicinal e Aromatic Plants**, v. 4, n. 196, p. 2167-0412, 2015.

BANSODE, S. S.; BANARJEE, S. K.; GAIKWAD, D. D.; JADHAV, S. L.; THORAT, R. M. Microencapsulation: a review. **International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research**, v. 1, n. 2, p. 38-43, 2010.

BAKOWSKA-BARCZAK, A. M.; KOLODZIEJCZYK, P. P. Black currant polyphenols: Their storage stability and microencapsulation. **Industrial Crops and Products**, v. 34, n. 2, p. 1301-1309, 2011.

BARBIERI, J. C.; LEIMANN, F. V. Extraction of passion fruit seed oil and microencapsulation in poly ( $\epsilon$ -caprolactone). **Brazilian Journal of Food Research**, v. 5, n. 2, p. 1-9, 2014.

BARBOSA-CÁNOVAS, G. V.; ORTEGA-RIVAS, E.; JULIANO, P.; YAN, H. **Food Powder**. Kluwer Academic/Plenum Publishers, Nova Iorque, 2005.

BARROS, Z. M. P.; SALGADO, J. M.; MELO, P. S.; BIAZOTTO, F. O. Enrichment of Commercially-Prepared Juice With Pomegranate (*Punica granatum* L.) Peel Extract as a Source of Antioxidants. **Journal of Food Research**, vol. 3, n. 6, 2014.

BATAGLION, G. A.; DA SILVA, F. M.; EBERLIN, M. N.; KOOLEN, H. H. Determination of the phenolic composition from Brazilian tropical fruits by UHPLC–MS/MS. **Food chemistry**, 180, 280-287, 2015.

BELWAL, T.; DEVKOTA, H. P.; HASSAN, H. A.; AHLUWALIA, S.; RAMADAN, M. F.; MOCAN, A.; ATANASOV, A. G. Phytopharmacology of Acerola (*Malpighia* spp.) and its potential as functional food. **Trends in Food Science & Technology**, 2018.

BENASSI, M. T.; ANTUNES, A. J. A comparison of metaphosphoric and oxalic acids as extractant solutions for the determination of vitamin C in selected vegetables. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, v.31, n.4, p.507- 513, 1988.

BICAS, J. L. MOLINA, G.; DIONÍSIO, A. P.; BARROS, F. F. C.; WAGNER, R.; MARÓSTICA, M. R.; PASTORE, G. M. Volatile constituents of exotic fruits from Brazil. **Food Research International**, v. 44, n. 7, p. 1843-1855, 2011.

BOSSO, A.; GUAITA, M.; PETROZZIELLO, M. Influence of solvents on the composition of condensed tannins in grape pomace seed extracts. **Food chemistry**, v. 207, p. 162-169, 2016.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução CNNPA n° 12 de julho 1978**. Brasília: Diário Oficial da União, 1978.

BUCIĆ-KOJIĆ, A.; SOVOVÁ, H.; PLANINIĆ, M.; TOMAS, S. Temperature-dependent kinetics of grape seed phenolic compounds extraction: experiment and model. **Food chemistry**, v. 136, n. 3-4, p. 1136-1140, 2013.

BURNS, J.; GARDNER, P. T.; MATTHEWS, D.; DUTHIE, G. G.; LEAN, J.; CROZIER, A. Extraction of phenolics and changes in antioxidant activity of red wines during vinification. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 49, n. 12, p. 5797-5808, 2001.

CAI, Y.Z.; CORKE, H. Production and properties of spray-dried amaranthus betacyanin pigments. **Journal of Food Science**, v.65, p. 1248-1252, 2000.

CALGARO, M.; BRAGA, M. B. **A cultura da acerola**. Coleção Plantar – Embrapa, Brasília, DF, p. 144, 2012.

CALVO, T. R. A.; BUSCH, V. M.; SANTAGAPITA, P. R. Stability and release of an encapsulated solvent-free lycopene extract in alginate-based beads. **LWT-Food Science and Technology**, v. 77, p. 406-412, 2017.

ÇAM, M.; İÇYER, N. C.; ERDOĞAN, F. Pomegranate peel phenolics: microencapsulation, storage stability and potential ingredient for functional food development. **LWT-Food Science and Technology**, v. 55, n. 1, p. 117-123, 2014.

CAN KARACA, A.; GUZEL, O.; AK, M. M. Effects of processing conditions and formulation on spray drying of sour cherry juice concentrate. **Journal of the science of food and agriculture**, v. 96, n. 2, p. 449-455, 2016.

CANO-CHAUCA, M.; STRNGHETA, P. C.; RAMOS, A. M.; CAL-VIDAL, J. Effects of the carries on the microestrutura of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 5, p. 420-428, 2005.

CARDOSO, L. M.; MARTINO, H. S. D.; MOREIRA, A. V. B.; RIBEIRO, S. M. R.; PINHEIRO-SANT'ANA, H. M. Cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.) of the Cerrado of Minas Gerais, Brazil: Physical and chemical characterization, carotenoids and vitamins. **Food Research International**, v. 44, n. 7, p. 2151-2154, 2011.

CARVALHO MARIANO-NASSER, F. A.; NASSER, D. M. ; FURLANETO, A. K.; RAMOS, A. J.; VIEITES, L. R.; PAGLIARINI, K. M. Bioactive compounds in different acerola fruit cultivares. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 38, n. 4, 2017.

CARVALHO, R. DE A.; FERREIRA, C. A. P.; NASCIMENTO JUNIOR, J.; DE MENEZES, A. J. E. A.; SUZUKI, E.; SASAKI, G. Análise econômica da produção de acerola no município de Tomé-Açu, Pará. **Embrapa Amazônia Oriental**, p.21, 2000.

CARVALHO, R. I. N.; MANICA, I. Influência de estádios de maturação e condições de armazenamento na conservação da acerola (*Malpighia glabra* L.). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 5, p. 681-688, 1994.

CASTRO-LÓPEZ, C.; VENTURA-SOBREVILLA, J. M.; GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ, M. D.; ROJAS, R.; ASCACIO-VALDÉS, J. A.; AGUILAR, C. N.; MARTÍNEZ-ÁVILA, G. C. Impact of extraction techniques on antioxidant capacities and phytochemical composition of polyphenol-rich extracts. **Food Chemistry**, 2017.

CHEYNIER, V. Polyphenols in foods are more complex than often thought. **The American journal of clinical nutrition**, v. 81, n. 1, p. 223S-229S, 2005.

CHEN, M.; ZHAO, Y.; YU, S. Optimisation of ultrasonic-assisted extraction of phenolic compounds, antioxidants, and anthocyanins from sugar beet molasses. **Food chemistry**, v. 172, p. 543-550, 2015.

COMUNIAN, T. A.; FAVARO-TRINDADE, C. S. Microencapsulation using biopolymers as an alternative to produce food enhanced with phytosterols and omega-3 fatty acids: A review. **Food Hydrocolloids**, v. 61, p. 442-457, 2016.

CAPANOGLU, E.; KAMILOGLU, S.; OZKAN, G.; APAK, R. Evaluation 13 of antioxidant activity/capacity measurement methods for food products. **Measurement of Antioxidant Activity and Capacity: Recent Trends and Applications**, p. 273, 2018.

COSTA, A. C. S.; ALVES, R.; ARAÚJO, A. D. S.; BATISTA, P.; ROSATTI, S.; RISTOW, N. Caracterização físico-química de acerola e dos resíduos do processamento em dois estádios de maturação. In: **Embrapa Semiárido-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In:

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PÓS-COLHEITA DE FRUTAS, HORTALIÇAS E FLORES, 3., 2011, Nova Friburgo. Anais... Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria Tropical, 2011.

COSTA, J. M. G.; BORGES, S. V.; HIJO, A. A. C. T.; SILVA, E. K.; MARQUES, G. R.; CIRILLO, M. A.; AZEVEDO, V. M. D. Matrix structure selection in the microparticles of essential oil oregano produced by spray dryer. **Journal of microencapsulation**, v. 30, n. 8, p. 717-727, 2013.

DALMORO, A.; BARBA, A. A.; LAMBERTI, G.; D'AMOREA, M. Intensifying the microencapsulation process: Ultrasonic atomization as an innovative approach. **European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics**, v.80, n. 3, p.471–477, Apr. 2012.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Química de alimentos de Fennema**. Artmed Editora, 2009.

DA SILVA, L. M. R.; DE FIGUEIREDO, E. A. T.; RICARDO, N. M. P. S.; VIEIRA, I. G. P.; DE FIGUEIREDO, R. W.; BRASIL, I. M.; GOMES, C. L. Quantification of bioactive compounds in pulps and by-products of tropical fruits from Brazil. **Food chemistry**, v. 143, p. 398-404, 2014.

DAVIDOV-PARDO, G.; AROZARENAMARÍA, I.; MARÍN-ARROYO, R. Optimization of a wall material formulation to microencapsulate a grape seed extract using a mixture design of experiments. **Food and Bioprocess Technology**, 6: 941–951, 2013.

DAZA, L. D.; FUJITA, A.; FÁVARO-TRINDADE, C. S.; RODRIGUES-RACI, J. N.; GRANATO, D.; GENOVESE, M. I. Effect of spray drying conditions on the physical properties of Cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.) fruit extracts. **Food and Bioprocess Technology**, v. 97, p. 20-29, 2016.

DELVA, L.; SCHNEIDER, R. G. Acerola (*Malpighia emarginata* DC): Production, Postharvest Handling, Nutrition, and Biological Activity. **Food Reviews International**, v. 29, n. 2, p. 107–126, 2013.

DHIMAN, A.; NANDA, A.; AHMAD, S. A quest for staunch effects of flavonoids: Utopian protection against hepatic ailments. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 9, p. S1813-S1823, 2016.

DIAS, D. R.; BOTREL, D. A.; FERNANDES, R. V. D. B.; BORGES, S. V. Encapsulation as a tool for bioprocessing of functional foods. **Current Opinion in Food Science**, v. 13, p. 31-37, 2017.

DIAS, F. M.; LEFFA, D. D.; DAUMANN, F.; DE OLIVEIRA MARQUES, S.; LUCIANO, T. F.; POSSATO, J. C.; SANTANA, A. A.; NEVES, R. X.; ROSA, J. C.; OYAMA, L. M.; RODRIGUES, B.; ANDRADE, V.M.; SOUZA, C. T.; LIRA, F. S. Acerola (*Malpighia emarginata* DC.) juice intake protects against alterations to proteins involved in inflammatory and lipolysis pathways in the adipose tissue of obese mice fed a cafeteria diet. **Lipids in health and disease**, v. 13, n. 1, p. 24, 2014.

DIXON, R. A. Natural products and plant disease resistance. **Nature**, v. 411, p. 843–847, 2001.

DROSOU, C.; KYRIAKOPOULOU, K.; BIMPILAS, A.; TSIMOGIANNIS, D.; KROKIDA, M. A comparative study on different extraction techniques to recover red grape pomacepolyphenols from vinification by products. **Industrial Crops and Products**, 75, 141-149, 2015.

DUZZIONI, A. G.; LENTON, V. M.; SILVA, D. I.; BARROZO, M. A. Effect of drying kinetics on main bioactive compounds and antioxidant activity of acerola (*Malpighia emarginata* DC) residue. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 48, n. 5, p. 1041-1047, 2013.

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

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

FERNANDES, R. V. B.; BORGES, S. V.; BOTREL, D. A. Gum arabic/starch/maltodextrin/inulin as wall materials on the microencapsulation of rosemary essential oil. **Carbohydrate Polymers**, v. 101, p-524-532, 2014.

FREIRE, J. M.; ABREU, C. M. P. D.; ROCHA, D. A.; CORRÊA, A. D.; MARQUES, N. R. Quantificação de compostos fenólicos e ácido ascórbico em frutos e polpas congeladas de acerola, caju, goiaba e morango. **Ciência Rural**, v. 43, n. 12, p. 2291-2295, 2013.

FREITAS, C. A. S.; MAIA, G. A.; COSTA, J. M. C.; FIGUEIREDO, R. W.; SOUSA, P. H. M. Acerola: produção, composição, aspectos nutricionais e produtos. **Current Agricultural Science and Technology**, v. 12, n. 4, 2014.

FREITAS, S. T.; SOUZA, F. de F. Qualidade pós-colheita de genótipos de aceroleira do banco ativo de germoplasma da Embrapa Semiárido. In: **Embrapa Semiárido-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PROCESSAMENTO MÍNIMO E PÓS COLHEITA DE FRUTAS, FLORES E HORTALIÇAS, 1.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PÓS-COLHEITA, FRUTAS, HORTALIÇAS E FLORES, 5.; ENCONTRO NACIONAL SOBRE PROCESSAMENTO MÍNIMO DE FRUTAS E HORTALIÇAS, 8., 2015, Aracaju. Avanço na conservação e qualidade de frutas, flores e hortaliças: anais. Aracaju: Universidade Federal de Sergipe: Embrapa, 2015.

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

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

FIGUEIREDO, R. M. F. **Caracterização físico-química do suco e pó de acerola (*Malpighia punicifolia*, L.)**. 200f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

FOO, L. WENG.; SALLEH, E.; MAMAT, S. N. H. Extraction and qualitative analysis of Piper betle leaves for antimicrobial activities. **Extraction**, v. 2, p. 1-8, 2015.

FRASCARELI, E. C.; SILVA, V. M.; TONON, R. V.; HUBINGER, M. D. Determination of critical storage conditions of coffee oil microcapsules by coupling water sorption isotherms and glass transition temperature. **International journal of food science & technology**, v. 47, n. 5, p. 1044-1054, 2012.

GARCIA, V. A. S. **Desenvolvimento de matrizes poliméricas como veículo de ácido ascórbico: caracterização e avaliação da estabilidade**. 181f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia de Alimentos), Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2016.

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

GONZÁLEZ-AGUILAR, G. A.; VILLEGAS-OCHOA, M. A.; MARTÍNEZ-TÉLLEZ, M. A.; GARDEA, A. A.; AYALA-ZAVALA, J. F. Improving antioxidant capacity of fresh-cut mangoes treated with UV-C. **Journal of Food Science**, v. 72, n. 3, 2007.

GONZÁLEZ-CENTENO, M. R.; ROSSELLÓ, C.; SIMAL, S.; GARAU, M.C.; LÓPEZ, F.; FEMENIA, A. Physico-chemical properties of cell wall materials obtained from ten grape varieties and their byproducts: grape pomaces and stems. **LWT - Food Science and Technology**, v43:10, p. 1580–1586, 2010.

GONZALES, G. B.; SMAGGHE, G.; RAES, K.; VAN CAMP, J.+ Combined alkaline hydrolysis and ultrasound-assisted extraction for the release of nonextractable phenolics from cauliflower (*Brassica oleracea* var. botrytis) waste. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 62, n. 15, p. 3371-3376, 2014.

GUINÉ, R. P. F.; ANDRADE, S.; CORREIA, A. C.; JORDÃO, A. M.; LOPES, A. D.; FERREIRA, D. Evaluation of textural properties in apples of regional varieties. **International journal of food properties**, v. 14, n. 2, p. 331-338, 2011.

GRANATO, D.; SANTOS, J. S.; MACIEL, L. G.; NUNES, D. S. Chemical perspective and criticism on selected analytical methods used to estimate the total content of phenolic compounds in food matrices. **TrAC Trends in Analytical Chemistry**, v. 80, p. 266-279, 2016.

HANAMURA, TAKAYUKI; UCHIDA, ERIKO; AOKI, HITOSHI. Changes of the composition in acerola (*Malpighia emarginata* DC.) fruit in relation to cultivar, growing region and maturity. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 88, n. 10, p. 1813-1820, 2008.

HARTMANN, T. From waste products to ecochemicals: fifty years research of plant secondary metabolism. **Phytochemistry**, v. 68, n. 22, p. 2831-2846, 2007.

HUBER, L. S.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Flavonóis e Flavonas: fontes brasileiras e fatores que influenciam a composição em alimentos. **Revista Alimentos e Nutrição (Araraquara)**, v.19, n.1, p.97-108, 2008.

INFANTE, J.; ROSALEN, P. L.; LAZARINI, J. G.; FRANCHIN, M.; ALENCAR, S.M. Antioxidant and Anti-Inflammatory Activities of Unexplored Brazilian Native Fruits. **Plos One**, 1-13, 2016.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz**. 4. Ed. São Paulo, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**, Rio de Janeiro, v. 29, n. 6, p. 1- 79, 2016.

JACKSON, L. S.; LEE, K. Microencapsulation and the food industry. **Lebensmittel-Wissenschaft+ Technologie**, v. 24, n. 4, p. 289-297, 1991.

JACQUES, A. C. **Estabilidade de compostos bioativos em polpa congelada de amora-preta (*Rubus fruticosus*) cv. Tupy**. 60f. Dissertação de Mestrado (Ciência e Tecnologia Agroindustrial), Universidade Federal de Pelotas, 2009.

JAYASUNDERA, M.; ADHIKARI, B.; HOWES, T.; ALDRED, P. Surface protein coverage and its implications on spray-drying of model sugar-rich foods: Solubility, powder production and characterisation. **Food Chemistry**, 128, 1003–1016, 2011.

JYOTHI, N. V. N.; PRASANNA, P. M.; SAKARKAR, S. N.; PRABHA, K. S.; RAMAIAH, P. S.; SRAWAN, G. Y. Microencapsulation techniques, factors influencing encapsulation efficiency. **Journal of microencapsulation**, v. 27, n.3, p. 187-197, 2010.

KHANAL, R. C.; HOWARD, L. R.; PRIOR, R. L. Effect of heating on the stability of grape and blueberry pomace procyanidins and total anthocyanins. **Food Research International**, 43, 1464-1469, 2010.

KHODDAMI, A.; WILKES, M. A.; ROBERTS, T. H. Techniques for analysis of plant phenolic compounds. **Molecules**, v. 18, n. 2, p. 2328–75, 2013.

KIM, Y.K.; GUO, Q.; PACKER, L. Free radical scavenging activity of red ginseng aqueous extracts. **Toxicology**, v. 172, p.149-156, 2002.

KUROZAWA, L. E.; MORASSI, A. G.; VANZO, A. A.; PARK, K. J.; HUBINGER, M. D. Influence of spray drying conditions on physicochemical properties of chicken meat powder. **Drying Technology**, v. 27, n. 11, p. 1248-1257, 2009.

LEFFA, D. D.; DA SILVA, J.; DAUMANN, F.; DAJORI, A. L. F.; LONGARETTI, L. M.; DAMIANI, A. P.; LIRA, F.; CAMPOS, F. FERRAZ, A. B. F.; CÔRREA, D. S.; ANDRADE, V.M. Corrective effects of acerola (*Malpighia emarginata* DC.) juice intake on biochemical and genotoxic parameters in mice fed on a high-fat diet. **Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis**, v. 770, p. 144-152, 2014.

LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. **Methods in enzymology**, San Diego, v. 148, p. 362-385, 1987.

LIMA, A.; Vieira, L. M.; Silva, M. D. J. M.; Sousa, M. S. B. Caracterização nutricional e compostos antioxidantes em resíduos de polpas de frutas tropicais. **Ciência e agrotecnologia**, v. 35, n. 3, 2011.

LIMA, V. L.; MÉLO, E. A.; MACIEL, M. I. S.; PRAZERES, F. G.; MUSSER, R. S.; LIMA, D. E. Total phenolic and carotenoid contents in acerola genotypes harvested at three ripening stages. **Food Chemistry**, v. 90, n. 4, p. 565-568, 2005.

LIU, R. H. Potential synergy of phytochemicals in cancer prevention: mechanism of action. **The Journal of nutrition**, v. 134, n. 12, p. 3479S-3485S, 2004.

LOPERA M.; GUZMÁN C.; CATAÑO C.; GALLARDO C. Desarrollo y caracterización de micropartículas de ácido fólico formadas por secado por aspersión, utilizando goma arábiga y maltodextrina como materiales de pared. **Vitae**. V. 16 n. 1, p. 55-65, 2009.

LOUSADA JÚNIOR, J. E.; COSTA, J. M. C.; NEIVA, J. N. M.; RODRIGUEZ, N. M. Caracterização físico-química de subprodutos obtidos do processamento de frutas tropicais visando seu aproveitamento na alimentação animal. **Revista Ciência Agronômica**, v. 37, n. 1, 2006.

MACHADO, A. P. D. F.; PASQUEL-REÁTEGUI, J. L.; BARBERO, G. F.; MARTÍNEZ, J. Pressurized liquid extraction of bioactive compounds from blackberry (*Rubus fruticosus* L.) residues: a comparison with conventional methods. **Food Research International**, v. 77, p. 675-683, 2015.

MACRAE, R. **Food Science and Technology – A series of monographs: HPLC in food analysis**. Academic Press, 2<sup>a</sup> ed. 1998, p.77.

McNAMEE, 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.

MAHDAVI, S. A.; JAFARI, S. M.; ASSADPOOR, E.; DEHNAD, D. Microencapsulation Optimization of Natural Anthocyanins with Maltodextrin, gum Arabic and Gelatin. **International Journal of Biological Macromolecules**, 85, 379-385, 2016.

MALEGORI, C.; MARQUES, E. J. N.; DE FREITAS, S. T.; PIMENTEL, M. F.; PASQUINI, C.; CASIRAGHI, E. Comparing the analytical performances of Micro-NIR and FT-NIR spectrometers in the evaluation of acerola fruit quality, using PLS and SVM regression algorithms. **Talanta**, v. 165, p. 112-116, 2017.

MAMEDE, M. E. D. O.; MIRANDA, M. D. P. S.; RITZINGER, R.; GODOY, R. C. B. D.; VELOZO, E. D. S. Physico-chemical and sensorial evaluation of new varieties of acerola. **British food journal**, v. 111, n. 4, p. 387-395, 2009.

MARQUES, G. R.; BORGES, S. V.; MENDONÇA, K. S.; FERNANDES, R. V. B.; MENEZES, E. G. T. Application of maltodextrin in green corn extract powder production. **Powder Technology**, Lausanne, v. 263, p. 89–95, sep. 2014.

MARQUES, L. G.; PRADO, M. M.; FREIRE, J. T. Rehydration characteristics of freeze-dried tropical fruits. **LWT-Food Science and Technology**, v. 42, n. 7, p. 1232-1237, 2009.

MARQUES, T. R.; CAETANO, A. A.; SIMÃO, A. A.; CASTRO, F. C. D. O.; RAMOS, V. D. O.; CORRÊA, A. D. Metanolic extract of *Malpighia emarginata* bagasse: phenolic compounds and inhibitory potential on digestive enzymes. **Brazilian Journal of Pharmacognosy**, v. 26, n. 2, p. 191-196, 2016.

MARQUES, T. R.; CORRÊA, A. D.; LINO, J. B. D. R.; ABREU, C. M. P. D.; SIMÃO, A. A. Chemical constituents and technological functional properties of acerola (*Malpighia emarginata* DC.) waste flour. **Food Science and Technology (Campinas)**, v. 33, n. 3, p. 526-531, 2013.

MATOS-JR, F. E.; COMUNIAN, T. A.; THOMAZINI, M. FAVARO-TRINDADE, C. S. Effect of feed preparation on the properties and stability of ascorbic acid microparticles produced by spray chilling. **LWT - Food Science and Technology**, 75, 251-260, 2017.

MEDEIROS, I. U. D. **Caracterização nutricional, tecnológica e funcional de resíduos liofilizados de frutas tropicais**. 2016. 85f. Dissertação de Mestrado (Nutrição), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

MELO, P. S.; BERGAMASCHI, B. K.; TIVERON, A. P.; MASSARIOLI, A. P.; OLDONI, T. L. C.; ZANUS, M. C.; PEREIRA, G. E.; ALENCAR, S. M. Composição fenólica e atividade antioxidante de resíduos agroindustriais. **Ciência Rural**, v. 41, n. 6, 2011.

MENEZES, A. R. V.; SILVA JÚNIOR, A.; CRUZ, H. L. L.; ARAUJO, D. R.; SAMPAIO, D. D. Estudo comparativo do pó da acerola verde (*Malpighia emarginata* DC) obtido em estufa por circulação de ar e por liofilização. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 11, n. 1, p. 1-8, 2009.

MENICHINI, F.; TUNDIS, R.; BONESI, M.; LOIZZO, M. R.; CONFORTI, F.; STATTI, G.; CINDIO, C.; HOUGHTON, P. J.; MENICHINIA, F. The influence of fruit ripening on the phytochemical content and biological activity of *Capsicum chinense* Jacq. cv Habanero. **Food Chemistry**, v. 114, n. 2, p. 553-560, 2009.

MILTONPRABU, S.; TOMCZYK, M.; SKALICKA-WOŹNIAK, K.; RASTRELLI, L.; DAGLIA, M.; NABAVI, S. F.; ALAVIAN, S. M.; NABAVI, S. M. Hepatoprotective effect of quercetin: From chemistry to medicine. **Food and Chemical Toxicology**, v. 108, p. 365-374, 2017.

MINOLTA. **Precise color communication: color control from perception to instrumentation**. Japan, p. 59, 1998.

MISHRA, P.; MISHRA, S.; MAHANTA, C. L. Effect of maltodextrin concentration and inlet temperature during spray drying on physicochemical and antioxidant properties of amla (*Emblca officinalis*) juice powder. **Food and Bioproducts Processing**, v. 92, n. 3, p. 252-258, 2014.

MOHAMMED, M.; CAMPUS, Trinidad. Acerola (*Malpighia emarginata* DC.). **Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits**, v. 3, p. 27-47, 2011.

MOREIRA, G. É. G.; DE AZEREDO, H. M. C.; DE MEDEIROS, M. D. F. D.; DE BRITO, E. S.; DE SOUZA, A. C. R. Ascorbic acid and anthocyanin retention during spray drying of acerola pomace extract. **Journal of food processing and preservation**, v. 34, n. 5, p. 915-925, 2010.

MOREIRA, G. E. G.; M. G. M.; DE SOUZA, A. C. R.; DE BRITO, E. S.; DE MEDEIROS, M. D. F. D.; DE AZEREDO, H. M. Physical properties of spray dried acerola pomace extract as affected by temperature and drying aids. **LWT-Food Science and Technology**, v. 42, n. 2, p. 641-645, 2009.

MOTILVA, M. J.; SERRA, A.; MACIA, A. Analysis of food polyphenols by ultra high-performance liquid chromatography coupled to mass spectrometry: An overview. **Journal of Chromatography A**, v. 1292, p. 66– 82, 2013.

MUNIN, A.; EDWARDS-LÉVY, F. Encapsulation of natural polyphenolic compounds; a review. **Pharmaceutics**, v. 3, n. 4, p. 793-829, 2011.

MUNOZ-IBANEZ , M.; AZAGOH, C.; DUBEY, B. N.; DUMOULIN, E.; TURCHIULI, C. Changes in oil-in-water emulsion size distribution during the atomization step in spray-drying encapsulation. **Journal of Food Engineering**, v. 167, p. 122-132, 2015.

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

NETO, A. F.; REIS, D. S.; ALVES, E.; GONÇALVES, E.; DOS ANJOS, F. C.; FERREIRA, M. Determinação de vitamina ce avaliação físico-química em três variedades de acerola cultivadas em Petrolina-PE. **Nucleus**, v. 11, n. 1, 2014.

NÓBREGA, E. M.; OLIVEIRA, E. L.; GENOVESE, M. I.; CORREIA, R. T. The Impact of Hot Air Drying on the Physical-Chemical Characteristics, Bioactive Compounds and Antioxidant Activity of Acerola (*Malpighia emarginata*) Residue. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 39, n. 2, p. 131-141, 2015.

NONES, J.; STIPURSKY, J.; COSTA, S.L.; GOMES, F. C. A Flavonoids and astrocytes crosstalk: implications for brain development and pathology. **Neurochemical research**, v. 35, n. 7, p. 955-966, 2010.

NUNES, R. S.; KAHL, V. F. S.; SARMENTO, M. S.; RICHTER, M. F.; COSTA-LOTUFO, L. V.; RODRIGUES, F. A. R.; ABIN-CARRIQUIRY, J. A.; MARTINEZ, M. M.; FERRONATTO, S.; FERRAZ, A. B. F.; SILVA, J. Antigenotoxicity and antioxidant activity of acerola fruit (*Malpighia glabra* L.) at two stages of ripeness. **Plant foods for human nutrition**, v. 66, n. 2, p. 129-135, 2011.

OLIVEIRA, A. L.; VALENTIM, I. B.; SILVA, C. A.; BECHARA, E. J. H.; BARROS, M. P.; MANO, C. M.; GOULART, M. O. F. Total phenolic content and free radical scavenging activities of methanolic extract powders of tropical fruit residues. **Food Chemistry**, v. 115, n. 2, p. 469 - 475, 2009.

OLIVEIRA, L. D. S.; Moura, C. F. H.; De Brito, E. S.; Mamede, R. V. S.; De Miranda, M. R. A. Antioxidant metabolism during fruit development of different acerola (*Malpighia emarginata* DC) clones. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 60, n. 32, p. 7957-7964, 2012.

OLIVEIRA, O. W.; PETROVICK, P. R. Secagem por aspersão (spray drying) de extratos vegetais: bases e aplicações. **Revista brasileira de farmacognosia**. São Paulo, SP. Vol. 20, n. 4 (Ago./Set. 2010), p. 641-650, 2010.

OSTROSCHI, L. C.; DE SOUZA, V. B.; ECHALAR-BARRIENTOS, M. A.; TULINI, F. L.; COMUNIAN, T. A.; THOMAZINI, M.; BALIERO, J. C.C.; ROUDAUT, G. GENOVESE, M. I.; FAVARO-TRINDADE, C. S. Production of spray-dried proanthocyanidin-rich cinnamon (*Cinnamomum zeylanicum*) extract as a potential functional ingredient: Improvement of stability, sensory aspects and technological properties. **Food Hydrocolloids**, v. 79, p. 343-351, 2018.

OUTUKI, P. M.; LIZZIANE, M. B. F.; HOSCHEID, J.; BONIFÁCIO, K. L.; BARBOSA, D. S.; CARDOSO, M. L.C. Development of arabic and xanthan gum microparticles loaded with an extract of *Eschweilera nana* Miers leaves with antioxidant capacity. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 499, p. 103–112, 2016.

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

PAGANI, M.; CONSTANT, L.; GOMES, F.; NOGUEIRA, R.; TONON, R.; ROCHA-LEÃO, M. H. M.; CABRAL, L. Estabilidade de microcápsulas de acerola produzidas com diferentes agentes encapsulantes. In: **Embrapa Agroindústria de Alimentos-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: CONGRESO IBEROAMERICANO DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS, 8., 2011, Lima. Llave de la innovación.[Sl: sn], 2011.

PAPADAKIS, S. E.; GARDELI, C.; TZIA, C. Spray drying of raisin juice concentrate. **Drying Technology**, v. 24, n. 2, p. 173-180, 2006.

PATEL, A. R. Methylcellulose-coated microcapsules of Palm stearine as structuring templates for creating hybrid oleogels. **Materials Chemistry and Physics**, v. 195, p. 268-274, 2017.

PAZ, MÁRIO; GÚLLON, P.; BARROSO, M. F.; CARVALHO, A. P.; DOMINGUES, V. F.; GOMES, A. M.; DELERUE-MATOS, C. Brazilian fruit pulps as functional foods and additives: Evaluation of bioactive compounds. **Food chemistry**, 172, 462-468, 2015.

PEANPARKDEE, M.; IWAMOTO, S.; YAMAUCHI, R. Microencapsulation: A review of applications in the food and pharmaceutical industries. **Reviews in Agricultural Science**, v. 4, p. 56-65, 2016.

PODSEDEK, A. Natural antioxidants and antioxidant capacity of Brassica vegetables: A review. **LWT-Food Science and Technology**, v. 40, n. 1, p. 1-11, 2007.

PRASAD, S.; PHROMNOI, K.; YADAV, V. R.; CHATURVEDI, M. M.; AGGARWAL, B. B. Targeting inflammatory pathways by flavonoids for prevention and treatment of cancer. **Planta medica**, v. 76, n. 11, p. 1044-1063, 2010.

QUISPE-CONDORI, SÓCRATES; SALDAÑA, MARLENY DA; TEMELLI, FERAL. Microencapsulation of flax oil with zein using spray and freeze drying. **LWT-Food Science and Technology**, v. 44, n. 9, p. 1880-1887, 2011.

RAFFA, D.; MAGGIO, B.; RAIMONDI, M. V.; PLESCIA, F.; DAIDONE, G. Recent discoveries of anticancer flavonoids. **European Journal of Medicinal Chemistry**, 2017.

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

RAZALI, N.; AZIZ, A. A.; LIM, C. Y.; JUNIT, S. M. Investigation into the effects of antioxidant-rich extract of Tamarindus indica leaf on antioxidant enzyme activities, oxidative stress and gene expression profiles in HepG2 cells. **PeerJ**, v. 3, p. e1292, 2015.

REID, D.S.; FENNEMA, O.R; Água e gelo. In: Damodaran, S., Parkin, K.L., Fennema, O.R. (Eds.), **Química de Alimentos de FENNEMA**. Artmed, Porto Alegre, pp. 25–74, 2010.

RE, R.; PELLEGRINI, N.; PROTEGGEMNTE, A.; PANNALA, A.; YANG, M.; RICE-EVANS, C. Antioxidant activity applying and improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology Medicine**, v.26, p.1234-1237, 1999.

REZENDE, M. T.; APARECIDA C. A.; AVELAR R. L. M.; ASSAID S. A.; ANDRADE M. G. H.; DUARTE C. A. Characterization of phenolic compounds, antioxidant and antibacterial potential the extract of acerola bagasse flour. *Acta Scientiarum. Technology*, v. 39, n. 2, 2017.

REZENDE, Y. R. R. S.; NOGUEIRA, J. P.; NARAIN, N. Comparison and optimization of conventional and ultrasound assisted extraction for bioactive compounds and antioxidant activity from agro-industrial acerola (*Malpighia emarginata* DC) residue. **LWT- Food Science and Technology**, v. 85, p. 158-169, 2017.

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

RIBEIRO, A.; RUPHUY, G.; LOPES, J. C.; DIAS, M. M.; BARROS, BARREIRO M. F.; FERREIRA, I. C. F. R. Spray-drying microencapsulation of synergistic antioxidant mushroom extracts and their use as functional food ingredients. **Food Chemistry**, v. 188, p. 612-618, 2015.

RIBEIRO, E.P.; SERAVALLI, E.A.G. **Química de Alimentos**. São Paulo: Edgard Blücher: Instituto Mauá de Tecnologia, ed. 1,78, 2004.

RIBEIRO, L. C. **Produção de acerola em pó: métodos de secagem e avaliação da estabilidade**. 124f. Dissertação (Mestrado). Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Ceará, Ceará, 2014.

RIGHETTO, A. M.; NETTO, F. M. Vitamin C stability in encapsulated green West Indian cherry juice and in encapsulated synthetic ascorbic acid. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 86, n. 8, p. 1202-1208, 2006.

RITZINGER, R., RITZINGER, C. H. S. P. Acerola. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 32, n. 264, p. 17-25, 2011.

ROBERT, P.; TORRES V.; VERGARA. C.; SAENZ. C. The encapsulation of purple cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) pulp by using polysaccharide-proteins as encapsulating agents. **LWT - Food Science and Technology**, v. 60, p.1039 – 1045, 2015.

RODRIGO S.; RYBKA, A. C. P.; GODOY, H. T. Determinação simultânea dos ácidos orgânicos tartárico, málico, ascórbico e cítrico em polpas de acerola, açaí e caju e avaliação da estabilidade em sucos de caju. **Química Nova**, vol. 31, n. 5, p.1137-1140, 2008.

ROHN, S.; KROH, L. W. Electron spin resonance - A spectroscopic method for determining the antioxidative activity. **Molecular nutrition & food research**, v. 49, n. 10, p. 898-907, 2005.

ROSA, C. G.; BORGES, C. D.; ZAMBIAZI, R. C.; RUTZ, J. K.; LUZ, S. R. DA; KRUMREICH, F. D.; BENVENUTTI, E. V.; NUNES, M. R. Encapsulation of the phenolic compounds of the blackberry (*Rubus fruticosus*). **Food Science and Technology**, v. 58, 527-533, 2014.

RUFINO, M. D. S. M.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; TABERNERO, M.; ALVES, R. E.; DE BRITO, E. S.; SAURA-CALIXTO, F. Acerola and cashew apple as sources of antioxidants and dietary fibre. **International journal of food science & technology**, v. 45, n. 11, p. 2227-2233, 2010.

RUTZ, J. K.; BORGES, C. D.; ZAMBIAZI, R. C.; CRIZEL-CARDOZO, M. M.; KUCK, L. S.; NOREÑA, C. P. Microencapsulation of palm oil by complex coacervation for application in food systems. **Food chemistry**, v. 220, p. 59-66, 2017.

SAINI, R. K.; NILE, S. H.; PARK, S. W. Carotenoids from fruits and vegetables: Chemistry, analysis, occurrence, bioavailability and biological activities. **Food Research International**, v. 76, p. 735-750, 2015.

SANSONE, F.; MENCHERINI, T.; PICERNO, P.; D'AMORE, M.; AQUINO, R. P.; LAURO, M. R. Maltodextrin/pectin microparticles by spray drying as carrier for nutraceutical extracts. **Journal of Food Engineering**, v. 105, n. 3, p. 468-476, 2011.

SANTANA, A. A. **Obtenção da polpa de pequi e do leite de coco de babaçu microencapsulados através da secagem por aspersão**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Departamento de Engenharia Agrícola, UNICAMP. Campinas, p. 310, 2013.

SANT'ANA, H. M. P.; STRINGHETA, P. C.; BRANDÃO, S. C. C.; AZEREDO, R. M. C. Carotenoid retention and vitamin A value in carrot (*Daucus carota* L.) prepared by food service. **Food Chemistry**, v. 61, n. 1, p. 145-151, 1998.

SANTOS, D. Y. A. C. **Botânica Aplicada: metabólitos secundários na interação planta-ambiente**. 124f. Tese (Livre Docência), Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

SANTOS, L. M. L. **Produção de pó de acerola verde via atomização *spray drying* para elaboração de sorvete enriquecido com vitamina C**. 86f. Dissertação de mestrado. Tecnologia de Alimentos do Instituto Federal do Ceará Campus Limoeiro do Norte, 2014.

SANTOS, S. M.; DE VASCONCELOS, A. M.; OLIVEIRA, V. S.; CLEMENTE, E.; COSTA, J. M. Evaluation of Physical and Physicochemical Characteristics of *Malpighia emarginata* DC from the State of Ceará. **International Journal of Biochemistry Research & Review**, v.2, n. 4, p. 152-163, 2012.

ŠAPONJAC, VESNA TUMBAS.; ĆETKOVIĆ, G.; ČANADANOVIĆ-BRUNET, J.; PAJIN, B.; DJILAS, S.; PETROVIĆ, J.; LONČAREVIĆ, I.; STAJČIĆ, S.; VULIĆ, J. Sour cherry pomace extract encapsulated in whey and soy proteins: Incorporation in cookies. **Food Chemistry**, v. 207, p. 27-33, 2016.

SCHERER, R.; RYBKA, A. C. P.; GODOY, H. T. Determinação simultânea dos ácidos orgânicos tartárico, málico, ascórbico e cítrico em polpas de acerola, açaí e caju e avaliação da estabilidade em sucos de caju. **Química Nova**, 2008.

SEBRAE. **Agronegócio: Fruticultura**. Boletim de Inteligência, Outubro 2015. Disponível em:<[http://www.bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS\\_CHRONUS/bds/bds.nsf/64ab878c176e5103877bfd3f92a2a68f/\\$File/5791.pdf](http://www.bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/64ab878c176e5103877bfd3f92a2a68f/$File/5791.pdf)> Acesso em: 25, set. 2017.

SHAMAEI, S.; SEIIEDLOU, S. S.; AGHBASHLO, M.; TSOTSAS, E.; KHARAGHANI, A. Microencapsulation of walnut oil by spray drying: Effects of wall material and drying conditions on physicochemical properties of microcapsules. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 39, p. 101-112, 2017.

SILVA, A. C.; JORGE, N. Bioactive compounds of the lipid fractions of agro-industrial waste. **Food research international**, v. 66, p. 493-500, 2014.

SILVA, F. C.; GUIMARÃES, D. H. P.; GASPARETTO, C. A. Reologia do suco de acerola: efeitos da concentração e temperatura. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 1, p. 121-126, 2005.

SILVA, L. M. R.; DE FIGUEIREDO, E. A. T.; RICARDO, N. M. P. S.; VIEIRA, I. G. P.; DE FIGUEIREDO, R. W.; BRASIL, I. M.; GOMES, C. L. Quantification of bioactive compounds in pulps and by-products of tropical fruits from Brazil. **Food chemistry**, v. 143, p. 398-404, 2014.

SILVA, M. C.; SOUZA, V. B.; THOMAZINI, M.; DA SILVA, E. R.; SMANIOTTO, T.; CARVALHO, R. A.; GENOVESE, M. I.; FAVARO-TRINDADEA, C. S. Use of the jabuticaba (*Myrciaria cauliflora*) depulping residue to produce a natural pigment powder with functional properties. **LWT-Food Science and Technology**, v. 55, n. 1, p. 203-209, 2014.

SILVA, M. O. **Atividade antioxidante e composição de oligossacarídeos em subproduto obtido do processamento industrial da goiaba (Psidium guajava)**. 2015. 154 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos)- Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, 2015.

SILVA, P. T. D., FRIES, L. L. M., MENEZES, C. R. D., HOLKEM, A. T., SCHWAN, C. L., WIGMANN, É. F., BASTOS, J. O.; SILVA, C. B. Microencapsulation: concepts, mechanisms, methods and some applications in food technology. **Ciência Rural**, 44(7), 1304-1311, 2014.

SILVA, R. S.; SANTOS, C. D. L.; MAR, J. M.; KLUCZKOVSKI, A. M.; FIGUEIREDO, J. D. A.; BORGES, S. V.; BAKRYE, A. M.; SANCHESB, E. A.; CAMPELO, P. H. Physicochemical properties of tucumã (*Astrocaryum aculeatum*) powders with different carbohydrate biopolymers. **LWT-Food Science and Technology**, v. 94, p. 79-86, 2018.

SILVA, V. M.; VIEIRA, G. S.; HUBINGER, M. D. Influence of different combinations of wall materials and homogenisation pressure on the microencapsulation of green coffee oil by spray drying. **Food Research International**, v. 61, p. 132-143, 2014.

SINGH, D. R.; SINGH, S.; SALIM, K. M.; SRIVASTAVA, R. C. Estimation of phytochemicals and antioxidant activity of underutilized fruits of Andaman Islands (India). **International journal of food sciences and nutrition**, v. 63, n. 4, p. 446-452, 2012.

SINGLETON, V.L.; ROSSI, J.A. Colorimetric of total phenolics with hosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. **American Journal Enol. Vitic.** v. 16, p. 144-58, 1965.

SOUSA, M. S. B.; VIEIRA, L. M.; LIMA, A. Fenólicos totais e capacidade antioxidante in vitro de resíduos de polpas de frutas tropicais. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 14, n. 3, p. 202-210, 2011.

SOUSA, M. S. B.; VIEIRA, L. M.; DA SILVA, M. D. J. M.; DE LIMA, A. Caracterização nutricional e compostos antioxidantes em resíduos de polpas de frutas tropicais Nutritional characterization and antioxidant compounds in pulp residues of tropical fruits. **Ciência e agrotecnologia**, v. 35, n. 3, p. 554-559, 2011.

SOUZA, F. F. DEON, M.; CASTRO, J. D. C.; RYBKA, A.; FREITAS, S. T. Principais variedades de aceroleiras cultivadas no Submédio do Vale do São Francisco. **Embrapa Semiárido**. Documentos, 255, p. 21, 2013.

SOUZA, K.; MOURA, C.; BRITO, E. S.; MIRANDA, M. R. A. Compostos antioxidantes e atividade antioxidante total em frutos das variedades Flor Branca, Florida Sweet e BRS 366 de aceroleira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 36, n. 1, p. 009-020, Junho 2014.

SOUZA, M. C. de. **Qualidade e atividade antioxidante de frutos de diferentes progênies de açaizeiro (Euterpe oleracea Mart)**. 2007. 124f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.

SOUZA, V. B.; FUJITA, A.; THOMAZINI, M.; SILVA, E. R.; LUCON JR, J. F.;

GENOVESE, M. I.; FAVARO-TRINDADE, C. S. Functional properties and stability of spray-dried pigments from Bordo grape (*Vitis labrusca*) winemaking pomace. **Food Chemistry**, 164, 380–386, 2014.

SOTO, M. L.; MOURE, A.; DOMÍNGUEZ, H.; PARAJÓ, J. C. Recovery, concentration and purification of phenolic compounds by adsorption: A review. **Journal of Food Engineering**, v.105, n.1, p.1-27, 2011.

SPEIRS, J.; BRADY, C. J. Modification of gene expression in ripening fruit. **Functional Plant Biology**, v. 18, n. 5, p. 519-532, 1991.

STORCK, C. R.; BASSO, C.; FAVARIN, F. R.; RODRIGUES, A. C. Qualidade microbiológica e composição de farinhas de resíduos da produção de suco de frutas em diferentes granulometrias/Microbiological quality and composition of flour from fruit juice production residues with different granulometries. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 18, n. 4, p. 277, 2015.

SUN, X.; YAMASAKI, M.; KATSUBE, T.; SHIWAKU, K. Effects of quercetin derivatives from mulberry leaves: Improved gene expression related hepatic lipid and glucose metabolism in short-term high-fat fed mice. **Nutrition research and practice**, v. 9, n. 2, p. 137-143, 2015.

TAVARINI, S.; DEGL'INNOCENTI, E.; REMORINI, D.; MASSAI, R.; GUIDI, L. Antioxidant capacity, ascorbic acid, total phenols and carotenoids changes during harvest and after storage of Hayward kiwifruit. **Food chemistry**, v. 107, n. 1, p. 282-288, 2008.

THAIPONG, K.; BOONPRAKOB, U.; CROSBY, K.; CISNEROS-ZEVALLOS, L.; BYRNE, D. H. Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. **Journal of food composition and analysis**, v. 19, n. 6-7, p. 669-675, 2006.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. Porto Alegre: Artmed, p. 719, 2004.

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

TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Anthocyanin stability and antioxidant activity of spray-dried açai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice produced with different carrier agents. **Food Research International**, v. 43, n. 3, p. 907-914, 2010.

TONON, R. V.; GROSSO, C. R. F; HUBINGER, M. D. Influence of emulsion composition and inlet air temperature on the microencapsulation of flaxseed oil by spray drying. **Food Research International**, v. 44, n. 1, p. 282-289, 2011.

TULINI, FABRÍCIO L.; SOUZA, V. B.; ECHALAR-BARRIENTOS, M. A.; THOMAZINI, M.; PALLONE, E. M.; FAVARO-TRINDADE, C. S. Development of solid lipid microparticles loaded with a proanthocyanidin-rich cinnamon extract (*Cinnamomum zeylanicum*): Potential for increasing antioxidant content in functional foods for diabetic population. **Food Research International**, v. 85, p. 10-18, 2016.

TURCHIULI, C.; FUCHS, M.; BOHIN, M.; CUVELIER, M.E.; ORDONNAUD, C.; PEYRAT- MAILLARD, M.N.; DUMOULIN, E.; Oil encapsulation by spray drying and fluidised bed agglomeration. **Innovative Food Science e Emerging Technologies**, v. 6, n. 1, p. 29-35, 2005.

VASISHT, N. Selection of Materials for Microencapsulation. Capítulo 16, p. 173-180. In: GAONKAR, A.; VASISHT, N.; KHARE, A.; SOBEL, R. **Microencapsulation in the Food Industry: A Pratical Implementation Guide**. Elsevier, 2014.

VIEIRA, L. M.; SOUSA, M. S. B.; MANCINI-FILHO, J.; LIMA, A. D. Fenólicos totais e capacidade antioxidante in vitro de polpas de frutos tropicais. **Revista Brasileira de Fruticultura**, 2011.

VOLP, A. C. P.; RENHE, I. R. T.; STRINGUETA, P. C. Pigmentos naturais bioativos. **Alimentos e Nutrição Araraquara**, v. 20, n. 1, p. 157-166, 2009.

YANG, Y.; ZHANG, F. Ultrasound-assisted extraction of rutin and quercetin from *Euonymus alatus* (Thunb.) Sieb. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 15, p. 308-13, 2008.

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 Food Science and Technology**, 48(6):677–684, 2011.

WAKSMUNDZKA-HAJNOS, M.; SHERMA, J.; KOWALSKA, T. Thin layer chromatography in phitochemistry. **Chromatographic Science Series**. v. 99; 2008.

WANG, S. YE, F. WEI, F.; ZHAO, G. Spray-drying of curcumin-loaded octenylsuccinated corn dextrin micelles stabilized with maltodextrina. **Powder Technology**, v. 307, p. 56–62, 2017.

WANG, X.; LI, X.; CHEN, L.; XIE, F.; YU, L.; LI, B. Preparation and Characterization of Octenyl Succinate Starch as A Delivery Carrier for Bioactive Food Components. **Food Chemistry**, v.126, n.3, 1218-1225, 2011.

WIJNGAARD, H.H. Novel extraction techniques for phytochemicals. In: TIWARI, B.K. **Handbook of Plant Food Phytochemicals: Sources, Stability and Extraction**. Nova Dheli: Wiley-Blackwell, p. 412-433, 2013.

WU, C. H.; LIN, M. C.; WANG, H. C.; YANG, M. Y.; JOU, M. J.; WANG, C. J. Rutin inhibits oleic acid induced lipid accumulation via reducing lipogenesis and oxidative stress in hepatocarcinoma cells. **Journal of food science**, v. 76, n. 2, 2011.