



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
UNIDADE ACADÊMICA DE GARANHUNS
ENGENHARIA DE ALIMENTOS

PEDRO BRIVALDO VIANA DA SILVA

OBTENÇÃO, CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE DE
PIGMENTOS DO EXTRATO DE BETERRABA (*Beta vulgaris*)
MICROENCAPSULADO POR *SPRAY DRYING*

Garanhuns – PE

2019

PEDRO BRIVALDO VIANA DA SILVA

**OBTENÇÃO, CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE DE
PIGMENTOS DO EXTRATO DE BETERRABA (*Beta vulgaris*)
MICROENCAPSULADO POR *SPRAY DRYING***

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Federal Rural de Pernambuco,
Unidade Acadêmica de Garanhuns, como parte
das exigências do curso para obtenção do
título de bacharel em Engenharia de
Alimentos.

Orientadora: Prof.^a Daniele Silva Ribeiro

Garanhuns – PE

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca Ariano Suassuna, Garanhuns - PE, Brasil

S586o Silva, Pedro Brivaldo Viana da

Obtenção, caracterização e avaliação da estabilidade de pigmentos do extrato de beterraba (*Beta vulgaris*) microencapsulado por *spray drying* / Pedro Brivaldo Viana da Silva. - 2019.

f.

Orientador(a): Daniele Silva Ribeiro

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Engenharia de Alimentos, Garanhuns, BR - PE, 2019.

Inclui referências

1. Beterraba 2. Pigmentos 3. Propriedades físico-químicas
I. Ribeiro, Daniele Silva, orient. II. Título.

CDD 633.63

PEDRO BRIVALDO VIANA DA SILVA

**OBTENÇÃO, CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE DE
PIGMENTOS DO EXTRATO DE BETERRABA (*Beta vulgaris*)
MICROENCAPSULADO POR *SPRAY DRYING***

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Federal Rural de Pernambuco,
Unidade Acadêmica de Garanhuns, como parte
das exigências do curso para obtenção do
título de bacharel em Engenharia de
Alimentos.

APROVADO EM: _____

Prof^a. Dr^a. Daniele Silva Ribeiro
(Orientadora e Presidente da banca)

Prof. Dr. Raimundo Bernadino Filho
(Membro titular interno)

Prof. Dr. Pedro Gregório Vieira Aquino
(Membro titular interno)

AGRADECIMENTOS

Aqui, sou agradecido a:

Minha família, em especial minha mãe, Maria de Lourdes, meu pai, Cicero e minha irmã, Ambrosiana, pela presença, pelo gesto, por tudo que fazem por mim. Dedico esse trabalho a vocês.

Monnykhe, por dividir comigo esse trabalho, os momentos no laboratório, as risadas e os momentos difíceis. Muito obrigado.

Daniele, pela orientação, pelas palavras, os conselhos, os conhecimentos e por toda a paciência durante o trabalho.

Meus amigos, em especial, Keila, Aline, Renann, Angélica, Ana Paula, Suelen e Marcos, pela amizade construída, a companhia e o cuidado.

Marcos, por toda a ajuda no trabalho, pelos momentos no laboratório e pelas conversas.

Os professores que aceitaram participar da banca de defesa: Pedro Aquino e Raimundo Bernadino.

Todos os funcionários da UAG, em especial, Sonara, Rita e Laís, por toda a ajuda e gentileza comigo.

Aos docentes do curso de Engenharia de Alimentos, em especial, Everson e Caio, pelo conhecimento, orientação e aprendizado.

Todos que me ajudaram a chegar até aqui.

RESUMO

SILVA, P. B.V. **Obtenção, caracterização e avaliação da estabilidade de pigmentos do extrato de beterraba (*Beta vulgaris*) microencapsulado por *spray drying***. P. 91. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Garanhuns-PE, 2019.

As betalaínas são pigmentos nitrogenados, solúveis em água, encontradas abundantemente em beterrabas vermelhas e que apresentam alta atividade biológica. Sua utilização em larga escala é impedida devido à instabilidade que apresentam a vários fatores ligados ao processamento de alimentos. Devido a isso, pode-se empregar a técnica de microencapsulação para aumentar a estabilidade desses compostos, além de facilitar o manuseio durante o uso. Nesse sentido, o presente trabalho teve como objetivo extrair, caracterizar e avaliar a estabilidade de betalaínas obtidas da beterraba (*Beta vulgaris*), além de microencapsular os pigmentos por meio do processo de *spray drying*, usando como agentes carreadores, maltodextrinas de 15 e 20 DE. Os extratos foram obtidos por meio de uma extração alcoólica, e caracterizados juntamente com a matéria-prima, em relação a umidade, pH, acidez titulável, cinzas, açúcares redutores, sólidos solúveis e betalaínas totais. Foi verificado um teor de 44,96 e 38,75 mg/100g de betalaínas para o extrato alcoólico e para beterraba *in natura*, respectivamente. As betacianinas foram avaliadas em relação a estabilidade as temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C, verificando que as mesmas apresentaram uma reação de cinética de degradação de primeira ordem, a partir disso foram calculados os parâmetros cinéticos de meia-vida, valor D, valor Z e energia de ativação, além dos parâmetros termodinâmicos de entalpia, energia de Gibbs e entropia. A estabilidade ao pH também foi avaliada, mostrando que os pigmentos são mais estáveis nos pH entre 4 e 6. Quanto aos pós obtidos pelo processo de microencapsulação, foi verificado rendimentos de 16,889 e 14,767 % para as maltodextrinas de 15 e 20 DE. As partículas apresentaram umidade (3,806 – 2,589%) e atividade de água (0,300 – 0,299) dentro dos estabelecidos para garantir uma boa estabilidade ao armazenamento. Apresentaram, também, baixa higroscopicidade (<15%) e alta solubilidade (>90%). As micropartículas produzidas com maltodextrina de 20 DE, apresentaram melhores resultados para a densidade aparente (0,513 g/mL), molhabilidade (2,475 min) e uma menor diferença global de cor após o processo de secagem, além de ter indicado um teor de retenção de betalaínas de 87,2%, demonstrando características viáveis para aplicações industriais.

Palavras-chave: Betalaínas, *spray drying*, estabilidade, propriedades físico-químicas.

ABSTRACT

SILVA, P. B.V. **Obtention, characterization and evaluation the stability of pigment of beet extract (*Beta vulgaris*) microencapsulated by spray drying.** P. 91. Graduation Work - Federal Rural University of Pernambuco, Garanhuns - PE, 2019.

The betalains are nitrogenous pigments, soluble in water, found abundantly in red beets and that present high antioxidant activity. Their use on a large scale is hampered due to the instability they present to various factors linked to food processing. Because of this, the microencapsulation technique can be employed to increase the stability of these compounds, in addition to facilitating handling during use. In this sense, the present work had the objective of extraction, characterization and evaluation the stability of beet (*Beta vulgaris*) betalains, as well as microencapsulating the pigments through the spray drying process, using as carriers, maltodextrins of 15 and 20 DE. The extracts were obtained by means of an alcoholic extraction and characterized, together with the raw material, in relation to moisture, pH, titratable acidity, ashes, reducing sugars, soluble solids and total betalains. A content of 44.96 and 38.75 mg/100 g of betalains was verified for the alcoholic extract and in natura beet, respectively. The betacyanins were evaluated for stability at temperatures of 50, 60, 70 and 80 °C, verifying that they had a first order degradation kinetic reaction, from which, were calculated the kinetic parameters of the half-life, D-value, Z-value and activation energy, besides the thermodynamic parameters of enthalpy, Gibbs energy and entropy. The betacyanins were also evaluated for stability at pH, showing a more stable pH at 4 and 6. As for the powders obtained by the microencapsulation process, yields of 16.889 and 14.767% were verified for maltodextrins of 15 and 20 DE. Particles presented moisture (3.806 - 2.589%) and water activity (0.300 - 0.299) within those established to ensure good storage stability. They also presented low hygroscopicity (<15%) and high solubility (>90%). Microparticles produced with 20 DE maltodextrins showed improved results for apparent density (0.513g/mL), wettability (2.475 min) and less overall color difference after the drying process, in addition to indicating a betalains retention content of 87.2%, showing feasible characteristics for industrial applications.

Key Words: Betalains, spray drying, stability, physico-chemical properties.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. As classes de betalaínas (betacianinas e betaxantinas) e seu cromóforo comum (ácido betalâmico).	14
Figura 2. Locais propensos à desglicosilação (azul), descarboxilação (verde), desidrogenação (vermelho) e ataque nucleofílico (amarelo) em betacianinas.	21
Figura 3. Modelos de microcápsulas. (a) microesfera. (b) microcápsula simples. (c) microcápsula simples irregular. (d) microcápsula de parede dupla. (e) microcápsula com múltiplos núcleos. (f) agrupamento de microcápsulas.	27
Figura 4. Modelo esquemático de um spray dryer.	29
Figura 5. Fluxograma geral das atividades desenvolvidas.	35
Figura 6. Perfil de degradação térmica das betacianinas no extrato de beterraba à temperatura de 70 °C.	51
Figura 7. Valor Z para o pigmento das betacianinas presentes no extrato de beterraba.	52
Figura 8. Gráfico de Arrhenius para a determinação da energia de ativação (Ea) para a degradação da betacianinas ($R^2 = 0,9559$).	53
Figura 9. Efeito do pH sobre a absorbância das betacianinas.	55
Figura 10. Percentual de betacianinas presentes no extrato de beterraba submetido a diferentes pH ao longo do tempo.....	56
Figura 11. Extrato alcoólico de beterraba.....	91
Figura 12. Extrato de beterraba microencapsulado com maltodextrina de 15 DE.....	91
Figura 13. Extrato de beterraba microencapsulado com maltodextrina de 20 DE.....	91

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição química da beterraba in natura por 100 g.	17
Tabela 2. Efeito do oxigênio e do pH sobre os valores de meia-vida de betanina em solução aquosa a 90 °C.	24
Tabela 3. Métodos utilizados para encapsulação e tamanhos das microcápsulas produzidas.	28
Tabela 4. Agentes encapsulantes utilizados para ingredientes alimentícios.....	33
Tabela 5. Caracterização físico-química da beterraba in natura e do extrato de beterraba.	46
Tabela 6. Parâmetros cinéticos da degradação das betacianinas do extrato de beterraba.	50
Tabela 7. Parâmetros da termodinâmico das betacianinas do extrato de beterraba.....	53
Tabela 8. Caracterização físico-química dos pós microencapsulado de extrato de beterraba.	57
Tabela 8. Parâmetros da análise de cor nos pós microencapsulados.	68

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1	Betalainas	14
2.1.1	Fontes	15
2.1.2	Extração de betalaínas	18
2.1.3	Estabilidade das betalaínas	20
2.2	Microencapsulação	24
2.2.1	Secagem por Atomização	29
2.2.2	Materiais Encapsulantes - Maltodextrinas	32
3	MATERIAIS E MÉTODOS	35
3.1	Obtenção e Preparo da Matéria-Prima	35
3.2	Obtenção do Extrato de Beterraba	36
3.3	Análises Físico-Químicas da Beterraba <i>in natura</i> e do Extrato de Beterraba	36
3.3.1	Umidade	36
3.3.2	pH	37
3.3.3	Acidez total titulável	37
3.3.4	Cinzas	38
3.3.5	Açúcares redutores	38
3.3.6	Sólidos Solúveis	38
3.3.7	Teor de betalaínas.....	39
3.4	Estudo da estabilidade da betaciana em diferentes temperaturas e pH no Extrato de Beterraba	39
3.4.1	Avaliação da Cinética de Degradação Térmica	39
3.4.2	Avaliação da estabilidade em função do pH	42
3.5	Microencapsulamento dos Pigmentos da Beterraba	42

3.6	Caracterização do Extrato Microencapsulado	43
3.6.1	Rendimento de microencapsulação	43
3.6.2	Umidade	43
3.6.3	Atividade de água.....	43
3.6.4	Higroscopicidade.....	43
3.6.5	Densidade aparente.....	43
3.6.6	Solubilidade.....	43
3.6.7	Molhabilidade.....	44
3.6.8	Retenção de betalaínas	44
3.6.9	Análise da Cor	44
3.7	Análise dos Dados	45
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
4.1	Caracterização físico-química da beterraba <i>in natura</i> e do extrato de beterraba	46
4.1.1	Umidade	46
4.1.2	Sólidos solúveis.....	47
4.1.3	pH.....	47
4.1.4	Acidez titulável.....	47
4.1.5	Cinzas	48
4.1.6	Açúcares redutores	48
4.1.7	Betalaínas	49
4.2	Cinética de Degradação Térmica das Betacianinas	49
4.3	Avaliação da estabilidade das betacianinas em função do pH	55
4.4	Caracterização físico-química dos pós microencapsulados	57
4.4.1	Rendimento de microencapsulação	58
4.4.2	Umidade	59

4.4.3	Atividade de água.....	60
4.4.4	Higroscopicidade.....	62
4.4.5	Solubilidade.....	63
4.4.6	Densidade aparente.....	64
4.4.7	Molhabilidade.....	65
4.4.8	Retenção de betalaínas	67
4.4.9	Análise de cor.....	67
5	CONCLUSÃO	71
	REFERÊNCIAS	73
	APÊNDICE	91

1 INTRODUÇÃO

A aparência dos alimentos é um elemento crucial para a aceitação do consumidor, as cores, por sua vez, representam a primeira característica notável dos mesmos, sendo, portanto, determinantes nesse processo (VILA; CHAUD; BALCÃO, 2015). Em razão disso, a coloração dos alimentos é um meio encontrado pelas indústrias do ramo para garantir a atratividade dos produtos.

Outrora era comum a utilização de substâncias como especiarias e condimentos para a coloração dos alimentos, que gradativamente foi sendo substituídos por compostos com essa função propriamente, os corantes (PRADO; GODOY, 2003). Dentre as razões que os corantes devem ser empregados em alimentos, estão: para substituir a coloração perdida nos produtos devido o processamento; para melhorar a cor já presente no alimento; para minimizar as possíveis variações lote-a-lote; para colorir um alimento sem cor; para fornecer nutrientes a um produto (RYMBAI; SHARMA; SRIVASTAV, 2011).

De maneira geral, os corantes de grau alimentício podem ser categorizados, quanto a suas origens, em “sintéticos” ou “naturais”. Durante um longo período de tempo, os corantes sintéticos foram abundantemente utilizados, devido a versatilidade, durabilidade e baixo custo dos mesmos. Sob condições industriais de processamento, os corantes sintéticos apresentam uma maior resistência a fatores como umidade, oxigênio, luz, variações de pH e temperatura e ataques microbiológicos, o que não ocorre com os pigmentos naturais (MENDI; PETERS; KAMGA, 2000).

Contudo, nos últimos anos, tem havido uma crescente preocupação em relação as consequências negativas que, presumidamente, o consumo de corantes artificiais pode resultar (SPENCE, 2015). Como resultado, há uma tendência mundial na escolha por corantes naturais, tanto por serem uma opção segura quanto pelos benefícios atrelados ao seu consumo, impulsionando as empresas do ramo a explorarem estes tipos de pigmentos e buscarem potenciais fontes de obtenção (VILA; CHAUD; BALCÃO, 2015).

Os corantes naturais estão amplamente distribuídos na natureza, as fontes naturais desses pigmentos incluem plantas, insetos, animais, fungos, cianobactérias e até mesmo minerais. Entre os mais comuns, estão as clorofilas, os carotenoides, os flavonoides, as betalaínas e outros com menor distribuição na natureza (MORTENSEN, 2006; SINGH; SRIVASTAVA, 2015).

As betalaínas são pigmentos solúveis em água, que promovem a coloração brilhante de algumas plantas, com cores que variam do vermelho-violeta ao amarelo (POLTURAK;

AHARONI, 2018; STRACK; VOGT; SCHLIEMANN, 2003). Além da atratividade advinda de suas cores, as betalaínas desempenham um relevante papel na promoção da saúde humano, principalmente, devido as suas propriedades antioxidantes (STINTZING; CARLE, 2004). Dentre as principais fontes comestíveis de betalaínas, está a beterraba vermelha (*Beta vulgaris* L. ssp *vulgaris*), principal cultura comercialmente explorada para obter esses pigmentos (GENGATHARAN; DYKES; CHOO, 2015).

Entretanto, apesar da capacidade de coloração e alegações de benefícios à saúde, as betalaínas tem sua estabilidade afetada por diversos fatores, como pH, exposição à luz e temperatura, o que impede que esses pigmentos sejam considerados pela indústria como aditivos em potencial, restringindo seu uso como corante alimentício (VILA; CHAUD; BALCÃO, 2015).

Diante da fragilidade apresentada pelos corantes naturais, a indústria busca tecnologias que proteja os mesmos, viabilizando assim sua utilização. Nesse sentido, pode-se empregar a tecnologia de microencapsulação, cujo processo baseia-se no envolvimento de micropartículas ou gotículas por um material de parede que forme uma barreira física entre o núcleo e o meio externo (KANDANSAMY; SOMASUNDARAM, 2012).

A partir do exposto, o presente trabalho teve como objetivo obter e caracterizar os pigmentos do extrato de beterraba (*Beta vulgaris*) e dos pós obtidos pelo processo de microencapsulação por atomização (*spray drying*), utilizando como agentes carreadores maltodextrinas de dextroses equivalentes 15 e 20, visando preservar os pigmentos betalaínas, bem como avaliar a sua estabilidade no extrato de beterraba frente à temperatura e pH.

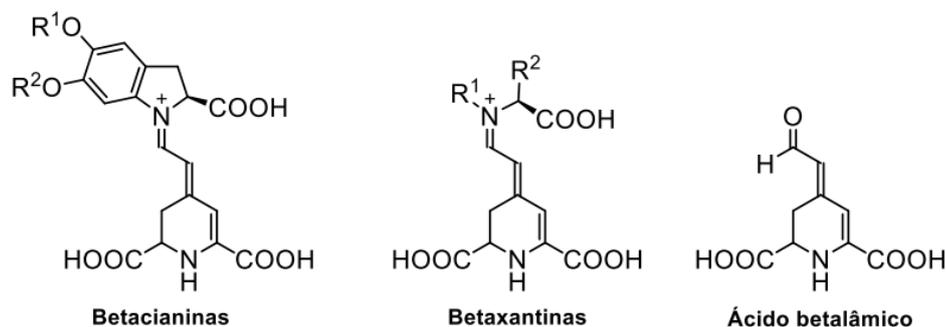
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Betalaínas

As betalaínas são pigmentos que proporcionam nas plantas cores semelhantes as produzidas por antocianinas. São pigmentos nitrogenados, hidrossolúveis, que compreendem as betacianinas (vermelho-violeta) e as betaxantinas (amarelas), que existem como sais internos (*zwitterions*: íon que possui carga positiva e negativa no mesmo grupo de átomos) presentes nos vacúolos das células vegetais (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010; ESTEVES, 2016; NAKASHIMA, 2015; STRACK; VOGT; SCHLIEMANN, 2003).

Todos os pigmentos de betalaínas podem ser descritos como um sistema 1,2,4,7,7-pentassubstituído 1,7-diaza-heptametina, sendo que as duas classes existentes possuem um núcleo cromofórico comum oriundo do aldeído precursor, o ácido betalâmico. De acordo com a amina da qual se derivam, as betalaínas podem ser classificadas em betacianinas (*kyaneos*, azul), que são iminas formadas a partir do ciclo-DOPA com diferentes graus de glicosilação, ou betaxantinas (*xanthos*, amarelo), que são derivados de outros aminoácidos (Figura 1) (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010; GONÇALVES et al., 2015; NAKASHIMA, 2015). A cor produzida por esses compostos se deve as ligações duplas ressonantes em suas estruturas. Quando ocorre a conjugação de um núcleo aromático substituído no cromóforo 1,7-diaza-heptametina, a absorção máxima de luz muda de 480 nm, característico de betaxantinas amarelas, para 540 nm, o que é característico das betacianinas vermelho-púrpura (DELGADO-VARGAS; JIMÉNEZ; PAREDES-LÓPEZ, 2000).

Figura 1. As classes de betalaínas (betacianinas e betaxantinas) e seu cromóforo comum (ácido betalâmico).



Fonte: Nakashima, 2015.

2.1.1 Fontes

Os pigmentos mais comuns encontrados colorindo flores, folhas, frutas e sementes das Angiospermas são os flavonoides, os quais são em sua maioria antocianinas. A ocorrência das betalaínas, por outro lado, restringe-se a algumas famílias da ordem Caryophyllales, que é composta por 35 famílias que agrupam cerca de 1000 espécies, representando, dessa maneira, pelo menos 7% da diversidade na classe das eudicotiledôneas. Além de vegetais, as betalaínas também são encontradas em alguns fungos basidiomicetos dos gêneros *Amanita* e *Hygrophorus*, como o ágario-das-moscas (*Amanita muscaria*) (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010; ESTEVES, 2016; GONÇALVES et al., 2015; NAKASHIMA, 2015; STRACK; VOGT; SCHLIEMANN, 2003).

Semelhante quimicamente as antocianinas, as betalaínas chegaram a ser denominadas “antocianinas nitrogenadas”, porém, hoje sabe-se que ambos os pigmentos são mutualmente exclusivos na natureza, ou seja, a presença de um exclui a ocorrência do outro (KUJALA et al., 2000). A base molecular por trás dessa exclusão mútua em plantas não é totalmente compreendida, sendo várias as hipóteses que tentam explicar esse fenômeno (BROCKINGTON et al., 2011). Uma hipótese recente proposta a partir de análises filogenéticas, explica que essa mutualidade teve início a partir de uma única origem dos pigmentos de betalaínas, nos primórdios da história evolutiva das Caryophyllales, seguida da perda subsequente dos pigmentos de betalaínas em linhagens que continham antocianinas (BROCKINGTON et al., 2015).

Dentre as principais fontes comestíveis e de obtenção de betalaínas, estão: beterraba vermelha e amarela (*Beta vulgaris* L. ssp *vulgaris*), acelga colorida (*Beta vulgaris* L. ssp *ciela*), amaranto folhoso ou granulado (*Amaranthus* sp.) e fruto de cacto (*Opuntia* sp. e *Hylocereus* sp.) (GENGATHARAN; DYKES; CHOO, 2015).

2.1.1.1 Beterraba

As plantas do gênero *Beta* foram provavelmente originadas no norte da África e se espalharam em paralelo à rota do Mar Mediterrâneo, ocupando espaços entre as costas asiática e europeia. Inicialmente, a beterraba era destinada a alimentação animal, sendo utilizado somente a folhagem. Após anos, as raízes de alimentação com tamanhos maiores e pigmentadas foram sendo incluídas na alimentação e as pessoas foram encontrando muitos usos para elas. A descoberta de que a beterraba era uma fonte de açúcar e poderia ser utilizada

como uma fonte alternativa à produção de açúcar, elevou a popularidade da beterraba e incentivou a criação e seleção de muitas cultivares (NEELWARNE, 2013).

A espécie (*Beta vulgaris*) pode ser dividida em três subespécies: *Beta vulgaris* ssp. *adanesis*, *Beta vulgaris* ssp. *maritima* e *Beta vulgaris* ssp. *vulgaris*, sendo que a última agrupa as cultivares domesticadas. A subespécie *Beta vulgaris* ssp. *vulgaris* pode ter suas cultivares divididas em quatro grupos: a) beterrabas folhosas (*Leaf Beet Group*), grupo formado por cultivares onde a parte comestível são as folhas; b) beterrabas açucareiras (*Sugar Beet Group*), grupo formado por cultivares que apresentam coloração branca, de uso predominante nos Estados Unidos e Europa para a produção de açúcar; c) beterrabas forrageiras (*Fodder Beet Group*), grupo formado por cultivares destinadas à alimentação rural; e d) beterrabas hortícolas (*Garden Beet Group*), grupo formado por cultivares que apresentam uma parte tuberosa comestível, sendo a cultivar comercializada no Brasil, destacando-se o tipo *Early Wonder* (beterraba vermelha ou “de mesa”) (FERREIRA, 2010; LANGE, 1999).

A beterraba é uma hortaliça típica de climas temperados, portanto, se desenvolvendo bem em temperaturas amenas ou frias, idealmente entre 10 a 20 °C. O cultivo em regiões sob temperatura e pluviosidade elevados pode resultar em alterações na coloração interna, com a possibilidade de formação de anéis claros, com redução da quantidade de pigmentos nas raízes, sobretudo na parcela de betacianinas (pigmento vermelho). Além disso, condições a altas temperaturas e elevada umidade, favorecem o crescimento fúngico, como o da espécie *Cercospora beticola*, responsável pela doença mancha-das-folhas, que pode resultar na diminuição da área foliar, gerando impactos na produção (FERREIRA, 2010; TIVELLI et al., 2011).

A composição dos vários nutrientes que compõe a beterraba encontra-se na Tabela 1. Essa hortaliça quando crua é uma fonte rica em carboidratos (principalmente açúcares), minerais e vitaminas, após algum processamento térmico, como cozimento, pode ter seu perfil nutricional marcadamente alterado. Devido ao baixo valor energético apresentado, a beterraba é muitas vezes recomendada em dietas de controle calórica. O conteúdo de folato e vitaminas do complexo B desempenham essenciais papéis em diferentes processos biológicos, como o crescimento normal dos tecidos e em funções cognitivas, e na prevenção de alterações cardiovasculares, cânceres e defeitos do tubo neural em fetos (NEELWARNE, 2013; THAKUR; GUPTA, 2006).

Tabela 1. Composição química da beterraba in natura por 100 g.

Componente	TACO	USDA
Água (%)	86	87,58
Valor Energético (Kcal)	49	43
Proteínas (g)	1,9	1,61
Lipídeos (g)	0,1	0,17
Carboidratos (g)	11,1	9,56
Fibra Alimentar (g)	3,4	2,8
Cinzas (g)	0,9	1,08
<i>Minerais</i>		
Cálcio (mg)	18	16
Ferro (mg)	0,3	0,8
Sódio (mg)	10	78
Potássio (mg)	375	325
Fósforo (mg)	19	40
Folato (µg)	-	109
Magnésio (mg)	24	23
Manganês (mg)	1,23	0,329
Cobre (mg)	0,08	0,075
Zinco (mg)	0,5	0,35
Selênio (µg)	-	0,7
<i>Vitaminas</i>		
Tiamina (mg)	0,04	0,031
Riboflavina (mg)	-	0,04
Vitamina – RAE* (µg)	-	2
Vitamina A (UI)	-	33
Niacina (mg)	-	0,334
Ácido ascórbico (mg)	3,1	4,9
Piridoxina (mg)	0,04	0,067
Ácido Pantotênico (mg)	-	0,155
Vitamina E (mg)	-	0,04
<i>Lipídeos</i>		
Ácidos graxos saturados (g)	-	0,027
Ácidos graxos monoinsaturados (g)	-	0,033
Ácidos graxos poliinsaturados (g)	-	0,06
Ácidos graxos trans (g)	-	0
Colesterol (g)	-	0

*RAE: Equivalente de Atividade de retinol.

Fonte: UNICAMP, 2011; USDA, 2018.

A beterraba também é abundante em compostos fitoquímicos, que incluem ácido ascórbico, nitrato, carotenoides, ácidos fenólicos, flavonoides (CLIFFORD et al., 2015; KUJALA et al., 2002). Além disso, a beterraba é rica em pigmentos da família das betalaínas, que são reconhecidos como compostos altamente bioativos. Presentes nos vacúolos celulares dos tecidos vegetais das beterrabas, a presença desses pigmentos é a razão da cor característica dessa hortaliça, cujas betalaínas incluem betacianinas e betaxantinas, das quais a betanina e betanidina (betacianinas) e vulgoxantina I e II (betaxantinas) são as mais abundantes (ESCRIBANO, 1998). Aditivamente a cor, as betalaínas possuem várias atividades biológicas desejáveis, incluindo propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias, imunossupressoras, protetoras hepáticas e antitumorais (DAS et al., 2013; KAPADIA et al., 2013; MAXIMAS H. ROSE, 2014; WINKLER et al., 2005).

2.1.2 Extração de betalaínas

Tendo em vista que as matérias vegetais contendo compostos corantes os contêm apenas em pequenas quantidades, em conjunto com outros constituintes, como fibras, carboidratos, lipídeos, proteínas, entre outros, há a necessidade de um processo de extração para a obtenção dos corantes. Em razão da variedade dos constituintes que perfazem as fontes dos corantes, os quais não pertencem a uma única entidade química, a extração desses compostos é um processo consideravelmente complexo (MANSOUR, 2018).

O processo de extração tem seu rendimento influenciado por múltiplos fatores, os quais estão relacionados às condições em que a extração é executada. Dentre os fatores mais importantes, estão: a escolha do solvente, a temperatura do processo de extração, o tempo de contato e a utilização de ações mecânicas (agitação e pressão). Ademais, a microestrutura formada por células, espaços intracelulares, capilares e poros, nas matrizes vegetais, também tem sua parcela sobre o rendimento final. Outros fatores que podem ser citados também são: a composição e as propriedades físico-químicas que os componentes se apresentam, a proporção de soluto e solvente, a concentração do solvente e o tamanho das partículas (PINELO et al., 2004; WONGKITTIPONG et al., 2004).

São descritas na literatura um grande número de metodologias usadas para a obtenção de extratos de vegetais, as quais podem empregar solventes, pressões e temperaturas elevadas, ou mesmo a associação de várias metodologias, para conseguir um extrato com perfil fitoquímico desejável, com alto rendimento e que não possua características indesejáveis, como a presença de componentes vegetais (ceras, clorofilas, fibras, etc.) e a presença de

solventes em quantidades residuais (BRAGA, 2005). De maneira geral, os métodos mais empregados para a extração de pigmentos vegetais são (MANSOUR, 2018):

- Extração aquosa;
- Extração ácida ou alcalina;
- Extração assistida por micro-ondas ou ultrassom;
- Fermentação;
- Extração enzimática;
- Extração por solventes;
- Extração supercrítica.

A extração de betalaínas é comumente realizada por meio da maceração ou moagem da fonte primária (planta crua ou cultura celular), em algum solvente, o qual pode ser a água pura, fria ou em temperatura ambiente, ou algum solvente orgânico, como metanol ou etanol, quando necessário obter uma extração mais completa (DELGADO-VARGAS; JIMÉNEZ; PAREDES-LÓPEZ, 2000). Segundo, Fathordoobady et al. (2016), eficientes rendimentos de extração de betacianinas foram conseguidos pela extração por solventes orgânicos (metanol, etanol, acetona, etilenoglicol ou mistura dos mesmos) seguida de centrifugação, filtração e concentração à vácuo. Este tipo de extração é denominado extração sólido-líquido.

A extração sólido-líquido, também denominada lixiviação, é o processo no qual uma fração solúvel de um material sólido é removido por um solvente líquido. Esse tipo de extração é muito utilizado nas indústrias de metalurgia, assim como nas de produtos naturais e de alimentos (SEADER; HENLEY; ROPER, 2010).

A extração sólido-líquido é possível graças ao gradiente de concentração formado entre o solvente e a solução que cerca as paredes celulares na matriz vegetal, e o processo de passagem dos agentes se dá por difusão, o que pode tornar o processo de transferência lento. Além disso, parte do solvente que entrou nos capilares da matéria-prima fica retido nos espaços intracelulares, e por essa razão, praticamente nenhuma extração com solvente alcança 100% de rendimento (CISSÉ et al., 2012; VEGGI, 2009).

Diversos fatores influenciam sobre a taxa de transferência dos compostos, e por essa razão, algumas medidas podem ser tomadas para se atingir um maior rendimento de extração (CISSÉ et al., 2012; VEGGI, 2009):

- A matéria-prima deve ser preparada de forma a se obter a maior área de contato entre o solvente e a matriz sólida. Para isso, pode-se empregar pré-tratamentos que tenham como objetivo a diminuição das partículas sólidas, como a moagem.
- A escolha do solvente e da temperatura do processo devem ser selecionados tendo em vista os compostos de interesse para a extração. Para o solvente, além da seletividade para o composto em questão, outras propriedades devem ser levadas em conta, como a tensão interfacial, a viscosidade, a estabilidade, a reatividade, a toxicidade e os custos atrelados ao seu uso. É sabido que embora altas temperaturas promovam um aumento na solubilidade do soluto no solvente, elevando dessa forma, as taxas de transferência de massa por difusão, no entanto, dependendo da termossensibilidade dos compostos de extração, pode-se facilitar o aumento da degradação térmica.
- A difusividade efetiva depende da composição e da posição do soluto no material sólido, devido à complexa estrutura da célula, a qual apresenta capilares. Além disso, a difusividade mássica efetiva é elevada por meio do aumento da temperatura.
- Deve-se empregar, quando possível, técnicas de secagem que não causem degradação dos compostos na matéria-prima, visto que a umidade do material sólido pode influenciar na eficiente de extração, quando a água compete com o solvente pela dissolução do soluto, diminuindo a transferência de massa.

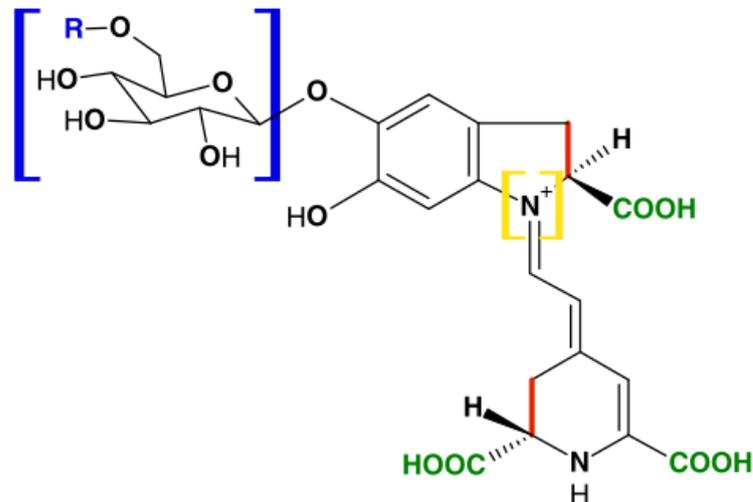
A extração por etanol é comumente encontrada em metodologias de extração sólido-líquido, especialmente para a extração de componentes bioativos devido a sua baixa toxicidade, além de possuir boa eficiência (FATHORDOOBADY et al., 2016). E segundo Mansour (2018), quando associado com a água, o método de extração alcoólico é capaz de extrair tanto substâncias solúveis em água quanto insolúveis da matriz vegetal. Gorbunova et al. (2018), verificou que a extração por etanol de folhas de beterraba apresentou uma significativa retenção de betacianinas e betaxantinas frente a outros solventes (água, ácido fórmico e hidróxido de sódio), além de apresentar elevada atividade antioxidante e de polifenóis.

2.1.3 Estabilidade das betalaínas

A estabilidade das betalaínas é vigorosamente afetada por diversos fatores do meio, os quais diferem pelo caráter intrínseco ou extrínseco. Os fatores intrínsecos que apresentam relação com a estabilidade das betalaínas incluem a atividade de água, o pH, a atividade de enzimas e a complexação metal-pigmento. Por outro lado, os principais fatores de caráter extrínseco que apresentam relação com a estabilidade das betalaínas são representados pela

temperatura, a presença de oxigênio e a luz (AZEREDO, 2009). A Figura 2 mostra os principais pontos de degradação na estrutura molecular das betacianinas.

Figura 2. Locais propensos à desglicosilação (azul), descarboxilação (verde), desidrogenação (vermelho) e ataque nucleofílico (amarelo) em betacianinas.



Fonte: Khan, 2016.

2.1.3.1 pH

As betalaínas, apesar de sofrerem alterações de cargas diante mudanças de pH no meio, conseguem conservar as suas cores e serem mais resistentes à clivagem hidrolítica que as antocianinas. A relativa estabilidade desses pigmentos na faixa de 3 a 7 possibilita uma maior amplitude de aplicações em sistemas alimentícios, como por exemplo, em alimentos de baixa acidez. Em condições de pH abaixo de 3,5, as betalaínas tendem a apresentarem absorção de luz em faixas de comprimentos de ondas menores, já acima de 7, a mudança na absorção se dá na direção de comprimentos de ondas maiores, em ambas as situações ocorre a diminuição dos espectros visíveis, evidenciado pela mudança na coloração (AZEREDO, 2009; DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010).

Em condições adversas, o pH de estabilidade das betalaínas sofre variações. Como foi verificado por Havlíková, Miková, e Kyzlink, (1983), o pH de máxima estabilidade das betacianinas é entre 4 e 6, em temperaturas elevadas, de 50 a 70 °C, o máximo de estabilidade tem um pico em pH 6, caso a temperatura for mais elevada que isso, o pH de estabilidade volta para 5. Em condições aeróbias, Huang e Elbe (1987), verificaram que o pH de máxima estabilidade para betaninas é entre 5,5 e 5,8, enquanto que em condições anaeróbicas, a faixa de pH é entre 4 e 5.

2.1.3.2 Atividade de água

A atividade de água também é um fator importante sobre a estabilidade das betalaínas, visto que as reações hidrolíticas são dependentes do teor de água do meio, e segundo Herbach, Stintzing e Carle (2006), a atividade de água tem papel fundamental na suscetibilidade para a clivagem da ligação aldimina nas estruturas desses pigmentos.

Kearsley e Katsaboxakis (1980), relataram melhora da estabilidade de betaninas, advindas de pós de beterraba, por meio da diminuição da atividade de água, especialmente, abaixo de 0,63. Serris e Biliaderis (2001), investigando a estabilidade de pigmentos de beterraba encapsulados em matrizes de pululana e maltodextrinas, verificaram um aumento nas constantes de degradação, e, conseqüentemente, diminuição no tempo de meia-vida, das betaninas por meio do aumento da atividade de água, que teve uma máxima degradação numa atividade de água de 0,64. Segundo os autores, numa atividade de água menor que 0,64 (0,23 – 0,43), o ambiente seco garante que a água permaneça ligada à superfície dos sítios polares e não esteja disponível para nenhuma reação, já em altas faixas de atividade de água (0,75 – 0,85), efeitos de diluição dos reagentes são os responsáveis pela diminuição da reatividade.

2.1.3.3 Enzimas

As betalaínas também são suscetíveis à degradação pela ação de enzimas, principalmente as de origem endógenas. Dentre as principais enzimas responsáveis pela inativação dos pigmentos, podem-se citar as β -glicosidases, polifenoloxidase (PPO) e peroxidase (POD) (HERBACH; STINTZING; CARLE, 2006; NEELWARNE, 2013). Segundo Shih e Wiley (1982), o pH de máxima degradação enzimática para as betacianinas e betaxantinas foi verificado em torno de 3,4, e os produtos dessa degradação são semelhantes aos verificados entre outras condições, como altas temperaturas e meios ácidos ou alcalinos (AZEREDO, 2009).

Os diferentes tipos de betalaínas possuem distintos níveis de sensibilidade às enzimas. Wasserman, Eiberger e Guilfooy (1984), estudando o efeito da enzima peroxidase e do peróxido de hidrogênio, verificaram que as betacianinas são muito mais sensíveis a degradação por POD que as betaxantinas, enquanto que as betaxantinas são mais susceptíveis ao peróxido de hidrogênio, visto que a introdução de enzimas catalase (responsáveis por decompor o peróxido de hidrogênio) inibiu a degradação.

Segundo Rudrappa (2005), determinadas cultivares de beterraba são reconhecidas pela grande produção de POD e de PPO (ESCRIBANO et al., 2002), o que sugere a importância

de processos de inativação enzimáticos, como o branqueamento, que evitam o processo de degradação de betalaínas e perdas cor, visto que a beterraba é a principal fonte comercial desses pigmentos (STINTZING; CARLE, 2007).

2.1.3.4 Temperatura

A temperatura é considerada o principal fator que influencia sobre a estabilidade das betalaínas, visto que é importante tanto no processamento quanto no armazenamento de alimentos que contenham esses pigmentos, bem como pode ser usado na inativação de enzimas hidrolíticas. Por esta razão, diversos estudos são realizados para entender o comportamento das betalaínas frente a determinadas temperaturas (CHHIKARA et al., 2019).

As betalaínas são reconhecidas como pigmentos que perdem a estabilidade frente a temperaturas elevadas, onde suas taxas de degradação se elevam com o aumento da temperatura e do tempo de aquecimento, como verificado por Von Elbe, Young Maing e Amundson (1974) e por Saguy, Kopelman e Mizrahi (1978), os quais também relataram que a degradação da betanina segue uma cinética de reação de primeira ordem. Além disso, outros fatores também interferem no comportamento dos pigmentos durante o aquecimento, como peculiaridades estruturais, concentração de pigmento, luz, presença de oxigênio e valor do pH (HERBACH; STINTZING; CARLE, 2006).

Durante o aquecimento, a betanina pode ser degradada por meio da isomerização, descarboxilação ou clivagem (por calor ou ácidos), promovendo uma redução gradual da cor vermelha e, eventualmente, aparecimento de uma cor ligeiramente marrom. O aparecimento de cor amarelada se deve a desidrogenação da betanina, levando a formação de neobetanina. Já a clivagem de betanina e isobetanina, induz a formação de ácido betalâmico, amarelo brilhante, e do ciclo-Dopa-5-*O*-glicosídeo, incolor (AZEREDO, 2009).

2.1.3.5 Oxigênio

Ambas as frações de betalaínas, betacianinas e betaxantinas, são propensas à degradação pelo oxigênio, e apresentam diminuição progressiva da estabilidade com o aumento da concentração de oxigênio (NEELWARNE, 2013).

Von Elbe, Young Maing e Amundson (1974), verificaram que a taxa de degradação de soluções de betanina armazenadas por 6 dias, em pH 7, a 15 °C, apresentaram um aumento de 14,6% em soluções armazenadas com ar contendo oxigênio em relações as armazenadas com nitrogênio. Por outro lado, a ausência de oxigênio induz a um desvio da cinética de

degradação de primeira ordem da betanina, o que pode estar relacionado à reversibilidade da reação nessas condições. Logo, é possível dizer que a degradação causada nos pigmentos na presença de oxigênio tem maior impacto sobre suas funcionalidades do que na sua ausência (ATTOE; VON ELBE, 1985). Além disso, a taxa de degradação na presença de oxigênio é influenciado pelo pH do meio (Tabela 2) (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010).

Tabela 2. Efeito do oxigênio e do pH sobre os valores de meia-vida de betanina em solução aquosa a 90 °C.

pH	Valores de tempo de meia-vida de betanina (min)	
	Ausência de oxigênio	Presença de oxigênio
3,0	56 ± 6	11,3 ± 0,7
4,0	115 ± 10	23,3 ± 1,5
5,0	106 ± 8	22,6 ± 0,8
6,0	41 ± 4	12,6 ± 0,8
7,0	4,8 ± 0,8	3,6 ± 0,3

Fonte: Huang; Elbe, 1987.

2.1.3.6 Luz

A luz é outro fator importante sobre a estabilidade das betalaínas. A degradação dos pigmentos é causada pela absorção de luz nos comprimentos de onda UV ou visível, que leva a excitação de elétrons π dos cromóforos das betalaínas para um estado mais energético (π^*), aumentando, dessa maneira, a reatividade ou diminuindo a energia de ativação da molécula (DELGADO-VARGAS; JIMÉNEZ; PAREDES-LÓPEZ, 2000).

A atividade da luz sobre a degradação dos pigmentos está estritamente ligada à presença de oxigênio, visto que em condições anaeróbicas, a luz tem efeitos prejudiciais insignificantes. Já em condições aeróbicas, a luz age de maneira sinérgica, como observado por von Elbe, Young Maing e Amundson (1974), que relataram aumento de 28,6 % sobre a degradação de betanina após a associação da luz com o oxigênio, cujo valor sem luz era de 14,6%.

2.2 Microencapsulação

O processo de microencapsulação pode ser definido como a tecnologia para o empacotamento ou incorporação de diminutas partículas ou gotículas em matrizes

homogêneas ou heterogêneas, que proporcionam propriedades úteis, como a liberação de um conteúdo em taxas controladas sob certas condições específicas e/ou a partir de determinados estímulos. A técnica baseia-se no aprisionamento de materiais sólidos, líquidos e gasosos em tênues filmes de um composto microencapsulador de grau alimentício. Esse procedimento providencia uma barreira física entre o material nuclear, agente susceptível a alterações, e os outros componentes que perfazem o produto. O regimento que governa a retenção do material nuclear é resultado da funcionalidade química, solubilidade, polaridade e volatilidade do material interno (AGNIHOTRI et al., 2012; POSHADRI; KUNA, 2010; POTHAKAMURY; BARBOSA-CÁNOVAS, 1995; VILA; CHAUD; BALCÃO, 2015).

Foi a partir da idealização do modelo celular que surgiu o conceito de microcápsulas, onde o núcleo é revestido por uma membrana semipermeável, que, simultaneamente, atua na proteção do núcleo contra agentes externos e na liberação a partir de estímulos sob controle específico. Nesse sentido, as microcápsulas atuam de forma parecida, onde comumente um material polimérico assume o papel de membrana, isolando o agente ativo, evitando o efeito da exposição inadequada (SUAVE et al., 2006). A primeira aplicação do processo de microencapsulação a nível comercial se deu a partir da patente registrada pelos pesquisadores Barret K. Green e Lowell Schleicher, em 1954, no desenvolvimento de microcápsulas contendo tinta para produção de papel de cópia sem carbono (PAULO; SANTOS, 2017; YAN, 2016).

Na área de alimentos, as primeiras aplicações do processo de microencapsulamento, iniciaram-se a partir da década 1960, com a encapsulação de óleos essenciais com o intuito de prevenir a perda e oxidação de substâncias voláteis e controlar a liberação do aroma. Atualmente, diversos ingredientes funcionais (nomeadamente, vitaminas, agentes antimicrobianos, antioxidantes, aromatizantes, conservantes e corantes) que são componentes essenciais da gama de produtos produzidos pela indústria de alimentos, e se apresentam em uma grande variedade de formas moleculares e físicas diferentes, como polaridades (polares, não polares, anfífilas), pesos moleculares (baixos a altos) e estados físicos (sólidos, líquidos, gases), podem ser incorporados em sistemas matriciais proporcionados pelo processo de microencapsulação (WEISS; TAKHISTOV; MCCLEMENTS, 2006).

Nas últimas décadas, houve um forte incremento nas pesquisas acerca do processo de microencapsulação, em diversos campos científicos. Nesse sentido, Estevinho e Rocha (2017) verificaram no banco de dados SCOPUS, que a partir da década de 1990 e intensificado nos últimos anos, ocorreu um crescente aumento nos números de publicações de artigos e patentes

contendo as palavras “microencapsulação” e “biopolímero” juntos no título, resumo ou palavras-chave. O aumento no número de artigos publicados recentemente revela o interesse da comunidade científica na compreensão do processo. Por outro lado, o número de patentes é um indicativo do interesse da indústria pelas soluções tecnológicas proporcionadas pela microencapsulação.

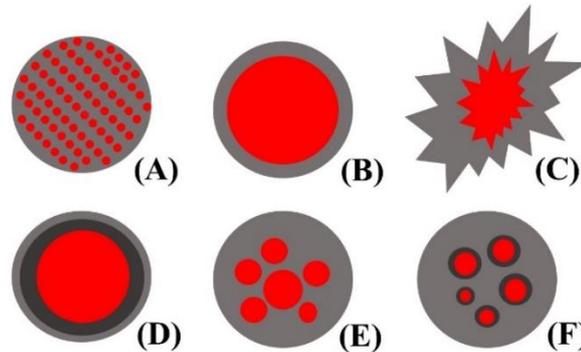
A microencapsulação possui muitas aplicações na indústria de alimentos, como por exemplo, para proteger, isolar ou controlar a liberação de um determinado agente ativo de interesse para o desenvolvimento de artigos alimentícios ou aumentar a versatilidade de empregos por meio da conversão de um líquido em pó (POSHADRI; KUNA, 2010). Diante das múltiplas razões para o emprego do processo, Shahidi e Han (1993) compilaram as principais:

- Reduzir a reatividade do núcleo em relação ao ambiente externo (luz, oxigênio, água, etc.)
- Diminuir a taxa de evaporação ou transferência do material nuclear para o ambiente externo;
- Facilitar o manuseio do material do núcleo;
- Converter um líquido em uma forma sólida, o qual facilite o manuseio e a possibilidade de utilização;
- Controlar a liberação do material do núcleo para o meio externo;
- Mascaram sabores indesejáveis do material do núcleo;
- Diluir a substância nuclear quando for necessária sua utilização em pequenas quantidades.

O formato e tamanho das micropartículas resultantes do processo de microencapsulação são influenciados pelos materiais e técnicas envolvidas na preparação. O material a ser microencapsulado pode ser denominado núcleo, fase interna ou preenchimento, em contrapartida, o material que revestirá as micropartículas é chamado casca, material de parede, revestimento, cápsula, transportador ou membrana (SANTOS; MEIRELES, 2014; VILA; CHAUD; BALCÃO, 2015). A forma como a substância interna encontra-se dispersa no material de parede classifica as micropartículas em microesferas e microcápsulas. As microesferas são partículas compactas cuja substância ativa, no seu estado sólido ou molecular, encontra-se distribuída em uma rede polimérica. Por outro, as microcápsulas são partículas formadas por um núcleo interno formado pelo agente ativo, o qual está envolto por

uma camada de polímero de espessura variável (POSHADRI; KUNA, 2010; SUAVE et al., 2006). As estruturas de uma microesfera e de uma microcápsula estão representadas na Figura 3.

Figura 3. Modelos de microcápsulas. (a) microesfera. (b) microcápsula simples. (c) microcápsula simples irregular. (d) microcápsula de parede dupla. (e) microcápsula com múltiplos núcleos. (f) agrupamento de microcápsulas.



Fonte: Arshady, 1993; Gibbs et al., 1999 .

As microcápsulas também podem ser classificadas de acordo com o tamanho que apresentam. Segundo Dubey; Shami e Rao (2009), as partículas são chamadas de microcápsulas, ou micropartículas, quando as mesmas apresentam tamanho entre 1 μm a 1 mm, e denominadas nanocápsulas, ou nanopartículas, para enfatizar o tamanho reduzido, quando apresentam tamanho entre 1 nm a 1 μm . Já de acordo com a classificação proposta por Baker (1987), as partículas são classificadas em três categorias, sendo denominadas macrocápsulas, ou macropartículas, as partículas com mais de 5000 μm de tamanho, microcápsulas, ou micropartículas, as que possuem tamanho entre 0,2 a 5000 μm , e nanocápsulas, ou nanopartículas, as que apresentam tamanho menor que 0,2 μm .

Diversas técnicas podem ser empregadas para a microencapsulação, sendo que a escolha adequada é tomada tendo em vista as propriedades químicas e físicas do material interno e do revestimento, a aplicação pretendida da substância alimentícia, ou seja, a funcionalidade de interesse que se deseja proporcionar no produto final, o mecanismo de liberação e o tamanho desejado das partículas (POSHADRI; KUNA, 2010; REBELLO, 2009). No geral, a microencapsulação de agentes bioativos tem como precaução principal, a formação de uma parede que envolva o material a ser encapsulado, a qual assegure que vazamentos indesejados não ocorram e que materiais indesejáveis do meio sejam mantidos fora (FANG; BHANDARI, 2010).

Alguns métodos utilizados para a encapsulação e as respectivas faixas de tamanho das microcápsulas estão representados na Tabela 3.

Tabela 3. Métodos utilizados para encapsulação e tamanhos das microcápsulas produzidas.

Método de encapsulação	Materiais encapsuláveis	Faixa de tamanho (μm)
Métodos físicos		
<i>Spray drying</i>	Líquido/sólido	5-150
<i>Spray chilling</i> e <i>spray cooling</i>	Líquido/sólido	20-200
Leito fluidizado	Sólido	>100
Extrusão	Líquido/sólido/gás	1.000-6.000
Extrusão centrífuga em múltiplos orifícios	Líquido/sólido/gás	125-3.000
Co-cristalização	Sólido/líquido	-
Liofilização	Líquido	-
Métodos físico-químicos		
Coacervação	Líquido/sólido	1-500
Lipossomas	Líquido/sólido	0,02-3
Separação em fase orgânica.	Líquido/sólido	1-5.000
Métodos químicos		
Inclusão molecular	Líquido	5-50
Polimerização interfacial	Líquido/sólido	1-500

Fonte: Favaro-Trindade; Pinho, 2008.

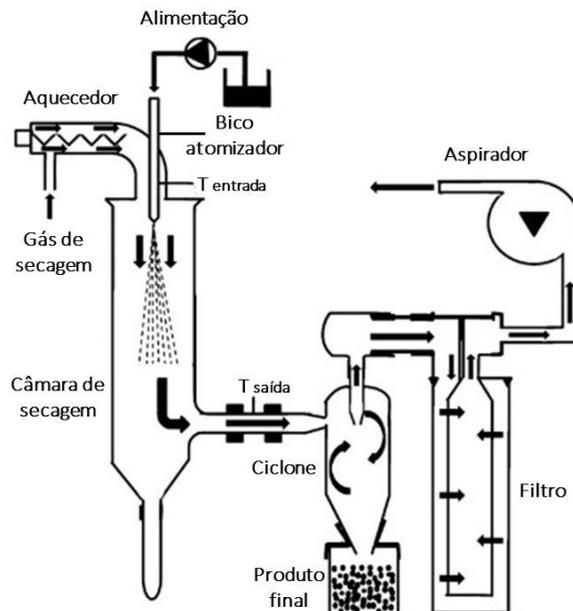
Os métodos para microencapsulação podem ser organizados em três grupos distintos, de acordo com a forma que se dá a combinação entre o agente ativo e o encapsulador, em métodos físicos, físico-químicos e químicos. Dentre os métodos físicos, destacam-se o *spray drying*, *spray chilling*, *spray cooling*, cobertura por *spray* em leito fluidizado, extrusão, extrusão centrífuga em múltiplos orifícios, co-cristalização e liofilização. Os métodos físico-químicos são constituídos pela coacervação, envolvimento por lipossomas e separação em fase orgânica. Os métodos químicos, por sua vez, constituem-se pela inclusão molecular e polimerização interfacial (JACKSON; LEE, 1991).

A escolha do método de microencapsulação, segundo Sobrinho e Farias (2012), em geral, depende dos tamanhos das partículas a serem encapsuladas, suas propriedades físico-químicas e sua aplicação almejada. Nesse mesmo sentido, Re (1998) acrescenta os mecanismos de liberação do conteúdo interno desejados, a escala de fabricação industrial prevista e a relação custo-benefício do processo, como fatores que também devem ser considerados durante a escolha do método para encapsulamento.

2.2.1 Secagem por Atomização

A secagem por atomização, ou *spray drying*, pode ser definida como a transformação de uma alimentação em estado fluido (solução, emulsão ou suspensão) em um produto seco, sob a forma de pó, por meio de uma corrente de gás quente, o qual geralmente é o ar ou, mais raramente, um gás inerte como nitrogênio (GHARSALLAOUI et al., 2007; RE, 1998). O processo de secagem por atomização envolve três etapas fundamentais, que são: atomização de um alimento em estado líquido em gotículas finas; mistura das gotículas resultantes com uma corrente de gás aquecida, o qual permite a evaporação da parcela líquida do alimento, acarretando em sólidos secos; separação e coleta do pó seco do fluxo de gás de saída (GOHEL et al., 2009). A Figura 4 apresenta um modelo esquemático de um *spray dryer*.

Figura 4. Modelo esquemático de um *spray dryer*.



Fonte: Sarawade et al., 2011.

Para o processo de microencapsulação utilizando *spray drying*, segundo Shahidi e Han (1993), é acrescentado a etapa de preparação da dispersão ou emulsão e, em seguida, homogeneização da mesma. Na primeira etapa, é realizado a hidratação do material de parede, seguida da dispersão do material nuclear na suspensão. Uma mistura vigorosa deve ser executada até a formação de uma dispersão (no caso de sólidos) ou uma emulsão (no caso de líquidos), que caso seja insolúvel em água, deve-se acrescentar pequenas gotas de óleo, o qual melhora a estabilidade e evita a coalescência das gotículas durante a secagem (RE, 1998).

Na etapa seguinte, ocorre a atomização da dispersão, obtida anteriormente, em pequenas gotículas, esse processo pode ser realizado por pressão ou energia centrífuga, onde a configuração é estabelecida tendo em vista a natureza e a viscosidade do material de alimentação, bem como das características desejadas do produto seco. O objetivo da atomização é estabelecer a máxima superfície de transferência de calor entre o ar de secagem e o líquido (GHARSALLAOUI et al., 2007).

Após o contato das gotículas aspersadas com o ar aquecido, gradientes de temperatura e pressão de vapor são estabelecidos entre as diferentes fases, possibilitando assim as transferências de calor e massa. Logo em seguida ao contato com o ar, a temperatura das gotículas sofre uma elevação até um valor constante, o qual é reconhecido como a temperatura de bulbo úmido, cujo valor geralmente não ultrapassa 50 °C. Nessas condições (temperatura e pressão de vapor constantes) ocorre a evaporação da água contida nas partículas, cujo taxa se equipara a difusão da água compreendido no interior das mesmas à superfície. Por último, ao se atingir um valor crítico para o teor de água das partículas, uma crosta seca é formada na superfície das gotas, devido a grande concentração de solutos nessa região, a partir desse momento, a taxa de secagem cai bruscamente, tornando-se dependente da taxa de difusão de água através da crosta. Teoricamente, o processo de secagem é dado como encerrado quando a temperatura das partículas se iguala a temperatura do ar (GHARSALLAOUI et al., 2007; GOULA; ADAMOPOULOS; KAZAKIS, 2004).

Vale ressaltar, entretanto, que o processo de secagem das gotículas não é igual para todas, visto a gama de distribuições de tamanhos de gotas produzidas pelo atomizador, e dos complexos padrões de misturas da fase líquida com o ar de secagem. Nesse sentido, não é incorreto afirmar que cada gota possui um perfil individual de secagem, diante do histórico único de temperatura e umidade que cada uma encontra durante a passagem pelo secador (RE, 1998).

Ao final do processo de secagem, ocorre a etapa de separação dos pós obtidos com o ar de saída. A separação é frequentemente feita por meio de um ciclone acoplado fora da cabine de secagem. A recuperação da maior parte das partículas se dar na base da câmara de secagem, a qual, em quase todos os casos, têm fundos de cone para facilitar o recolhimento do pó seco. Para as partículas mais finas, após o ar de secagem passar pelo ciclone, ocorre a separação. É comum, também, a utilização de filtros nos *spray dryer*, que são usados para remover o pó mais fino e possíveis substâncias voláteis poluentes (GHARSALLAOUI et al., 2007; GOHEL et al., 2009).

As características físico-químicas do pó obtido ao final do processo de secagem por atomização depende de variáveis do processo, algumas ligadas as características da alimentação (temperatura de alimentação, taxa de alimentação, concentração dos componentes, propriedades reológicas, tamanho das partículas) e outras as especificações do equipamento (temperaturas de entrada e saída, velocidade do ar, pressão, geometria da câmara de secagem) (KESHANI et al., 2015).

O processo de atomização apresenta diversas vantagens, tais como (OLIVEIRA; PETROVICK, 2010):

- As características desejáveis para o produto final podem ser alcançadas por meio da seleção adequada do equipamento;
- O controle da uniformidade e do tamanho das partículas obtidas pode ser feita por meio da manipulação das variáveis do processo;
- Os parâmetros de operação podem ser alterados enquanto o equipamento estiver em uso, sem a necessidade de interrupção;
- Rapidez e alto rendimento;
- Utilização em compostos termossensíveis, visto que garante uma baixa agressividade ao produto, devido ao curto tempo de contanto com a fonte de calor;
- Obtenção de partículas em formato esférico uniforme e com rápida dissolução, devido à grande área específica;
- Baixos custos do processo.

Apesar disso, o processo de secagem por atomização também apresenta algumas desvantagens, como: as grandes dimensões do equipamento, a necessidade de instalações físicas adequadas e o alto custo inicial.

O processo de *spray drying* é muito utilizado para a obtenção de pós a partir de sucos de frutas e extratos, entretanto, os pós produzidos muitas vezes apresentam características indesejáveis, como alta higroscopicidade, pegajosidade, dificuldade de manipulação, empastamento e compactação, devido, principalmente, à grande quantidade de compostos de baixa massa molar, como açúcares e ácidos orgânicos, que constituem esses materiais. Essas características também impactam durante o processo de secagem, devido a adesão de partículas nas paredes do secador, reduzindo, desta forma, o rendimento do processo (BHANDARI et al., 1993).

Esse problema pode ser contornado através da utilização de agentes carreadores com alta massa molecular, os quais aumentam a temperatura de transição vítrea, reduzindo a quantidade de partículas agregadas a parede do secador, além de diminuir a formação de aglomerados e do processo de cristalização durante o armazenamento (RE, 1998; TONON; BRABET; HUBINGER, 2010).

2.2.2 Materiais Encapsulantes - Maltodextrinas

A seleção do material de parede adequada que envolverá a substância de interesse é uma das etapas mais importantes do processo de microencapsulação (VILA; CHAUD; BALCÃO, 2015). Os materiais de revestimento são, basicamente, substâncias formadoras de filmes, que são selecionadas a partir de uma ampla variedade de polímeros naturais e sintéticos, os quais são escolhidos com base das propriedades físicas, químicas e físico-químicas do núcleo (porosidade, solubilidade, etc.) e da parede (viscosidade, propriedades mecânicas, transição vítrea, capacidade de formação de filme, etc.), da compatibilidade do núcleo com o agente encapsulador, do processo utilizado para obter as microcápsulas, das características desejadas para as microcápsulas resultantes e dos fatores econômicos (POSHADRI; KUNA, 2010; REBELLO, 2009; TONON, 2009). A seleção do material de revestimento e do método de microencapsulação é interdependente, dessa forma, com base no método de microencapsulação a ser aplicado, o material de parede é selecionado e vice-versa. Um material de revestimento ideal deve apresentar as seguintes características (AGNIHOTRI et al., 2012; DESAI; PARK, 2005):

1. Possuir boas propriedades reológicas (baixa viscosidade) em altas concentrações e ser de fácil manipulação durante o encapsulamento.
2. Ser capaz de dispersar ou emulsificar o material ativo e estabilizar a emulsão resultante.
3. Ser insolúvel e não reagir com o material a ser encapsulado, tanto durante o processamento como durante o armazenamento prolongado.
4. Ser capaz de selar e manter o material do núcleo dentro da estrutura formada durante o processamento ou armazenamento.
5. Ser capaz de liberar em sua completude o solvente ou outros materiais utilizados durante a etapa de microencapsulação sob secagem ou outras condições dessolventizantes.

6. Ser capaz de oferecer proteção máxima ao material encapsulado contra condições ambientais (por exemplo, oxigênio, calor, luz, umidade).
7. Ser solúvel em solventes permitidos pela indústria de alimentos (por exemplo, água, etanol).
8. Possuir baixo custo, alta disponibilidade e possuir status de grau alimentício.
9. Fornecer as propriedades de revestimento desejadas, tais como resistência, flexibilidade, impermeabilidade, propriedades ópticas e estabilidade.

Dentre os agentes encapsulantes mais utilizados para ingredientes alimentícios (Tabela 4), os polissacarídeos são os principais, sendo a maltodextrina um dos mais utilizados, pelo seu custo benefício.

Tabela 4. Agentes encapsulantes utilizados para ingredientes alimentícios.

Carboidratos	Amido, maltodextrinas, xarope de milho, dextrana, sacarose, ciclodextrinas
Celuloses	Carboximetilcelulose, metilcelulose, etilcelulose, nitrocelulose, acetilcelulose, acetato-ftalato, de celulose, acetato-butilatoftalato de celulose
Gomas	Goma acácia, ágar, alginato de sódio, carragena
Lipídeos	Ceras, parafina, cera de abelha, ácido triesteárico, diglicerídios, monoglicerídeos, óleos, gorduras, óleos hidrogenados
Proteínas	Glúten, caseína, gelatina, albumina, hemoglobina, peptídeos, proteínas de soja, proteínas do soro do leite

Fonte: Shadid; Han, 1993.

As maltodextrinas podem ser definidas como biopolímeros obtidos a partir da hidrólise controlada do amido, por meio de processos físico-químicos (calor, pressão ou ácido), enzimáticos (com amilases) ou ambos. Consistem em unidades de α -D-glicose ligadas primariamente por ligações glicosídicas (1 \rightarrow 4), que se apresentam como uma mistura de sacarídeos com uma ampla distribuição de pesos moleculares entre polissacarídeos e oligossacarídeos, com um valor de dextrose equivalente (DE) menor que 20 unidades e possuem fórmula geral $[(C_6H_{10}O_5)_nH_2O]$. O DE mede a quantidade de açúcares redutores expressos em porcentagem de glicose, em base seca, sendo as medidas de dextrose padrão o amido (DE=0) e a glicose (DE=100). Portanto, a medida que o grau de hidrólise do amido aumenta, a média do peso molecular diminui e o DE aumenta. Pela definição de dextrose

equivalente, é possível propor outra definição para as maltodextrinas, como os materiais amiláceos que possuem valor de DE entre 3 e 20, sendo, portanto, os produtos que fazem a ligação entre o amido e o açúcar, em termos de tamanho molecular (KEARSLEY; DZIEDZIC, 1995; MOLLAN et al., 1996; TAYLOR; CHRONAKIS, 2010).

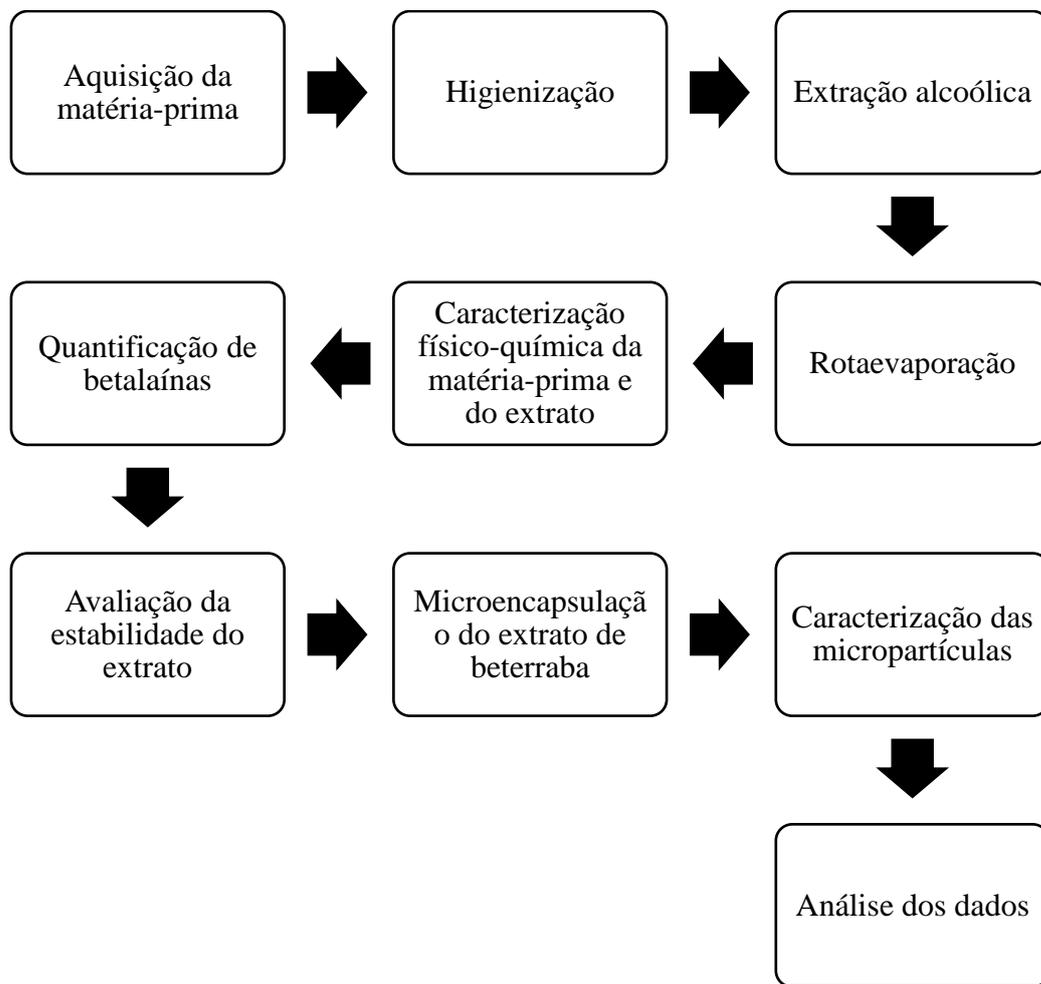
As maltodextrinas têm sido reportadas como excelentes agentes encapsulantes, em especial para produtos com altos teores de açúcares, como sucos em pós (ADHIKARI et al., 2004). De maneira geral, as maltodextrinas são compostos solúveis em água, que apresentam baixa densidade aparente, pouca ou nenhuma doçura, sabor suave, não amiláceo e podem ser metabolizados de forma similar ao amido, o que possibilita aplicações para pessoas diabéticas (KEARSLEY; DZIEDZIC, 1995).

As propriedades das maltodextrinas são determinadas, primordialmente, pelo valor de dextrose equivalente atrelado e do grau de polimerização (que é passível de mudança de acordo com o grau de hidrólise e tratamento enzimático), pelo perfil de sacarídeos e pelo método o qual foram fisicamente processadas para uso (MOLLAN et al., 1996). Variações nos valores de DE influenciam nas propriedades físico-químicas das maltodextrinas. O aumento da DE resulta no aumento da higroscopicidade, solubilidade, osmolaridade e capacidade de reduzir o ponto de congelamento. Já a diminuição do DE, influencia no aumento da viscosidade, coesividade e a prevenção de cristais grossos. (TAYLOR; CHRONAKIS, 2010).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

As metodologias descritas no presente trabalho foram desenvolvidas no Laboratório de Ciência e Tecnologia de Alimentos – LACTAL/UAG/UFRPE, nos Laboratórios do Centro de Apoio à Pesquisa da Unidade Acadêmica de Garanhuns – CENLAG e no Laboratório de Processamento do Departamento de Ciências Domésticas, na sede (DCD/UFRPE), os quais dispuseram da infraestrutura necessária à execução da pesquisa. O fluxograma da Figura 5 descreve as principais etapas dos procedimentos que foram realizados.

Figura 5. Fluxograma geral das atividades desenvolvidas.



Fonte: Autor, 2019.

3.1 Obtenção e Preparo da Matéria-Prima

As beterrabas (*Beta vulgaris*) foram adquiridas, em um único lote, no mercado local da cidade de Garanhuns no Estado de Pernambuco. Após a compra, as beterrabas foram mantidas sob refrigeração ($5,0 \pm 1,0$ °C) até o início dos trabalhos.

As beterrabas selecionadas para o estudo foram lavadas com água corrente e escova para eliminação de sujidades, passaram por uma etapa de desinfecção com água clorada com 100 ppm de cloro ativo por 10 minutos, conforme preconizado por Chitarra (2007), para a diminuição da carga microbiana presente nas superfícies das hortaliças. Em seguida, as beterrabas foram enxaguadas com água corrente. Após a limpeza, seguiu-se a etapa de obtenção do extrato de beterraba.

Para algumas análises físico-químicas realizadas na beterraba *in natura*, utilizou-se o suco obtido a partir da centrifugação feita em aparelho doméstico.

3.2 Obtenção do Extrato de Beterraba

A obtenção do extrato seguiu a metodologia proposta por Cuchinski, Caetano e Dragunski (2010), com modificações. Foram utilizados 50 g de beterraba *in natura*, previamente descascada e cortada em pedaços pequenos e triturada em 100 mL de álcool a 70 % (proporção 1:2 m/v) em um multiprocessador de alimentos (Dellar Platinum) por 30 segundos. A mistura foi deixada sob maceração por 48 horas, ao abrigo da luz e sob refrigeração ($5,0 \pm 1,0$ °C). Após esse período, a mistura foi filtrada a vácuo para eliminação de resíduos sólidos, em papel-filtro. A fração líquida foi levada para evaporação do etanol em evaporador rotativo (SL-126, Solab) a 50 °C até atingir volume constante. As operações de extração foram realizadas várias vezes até se obter volume suficiente para o estudo, e a cada extração, o conteúdo era congelado. Ao final, todas as alíquotas de extrato foram homogeneizadas em um único recipiente e o volume foi armazenado em frasco escuro e mantido congelado ($-18,0 \pm 1,0$ °C) até o momento do uso.

3.3 Análises Físico-Químicas da Beterraba *in natura* e do Extrato de Beterraba

A beterraba *in natura* e o extrato de beterraba obtido foram avaliados quanto aos teores de umidade, pH, acidez titulável, cinzas, açúcares redutores, sólidos solúveis e betalainas totais.

3.3.1 Umidade

Para a determinação da umidade, primeiramente, foram pesados 2g da amostra em cápsula de porcelana, que posteriormente foi aquecida por 3 horas em estufa à 105 °C. Após isso, o material foi resfriado em dessecador até a temperatura ambiente e pesada. As operações de aquecimento e pesagem foram realizadas até a amostra atingir peso constante.

Ao atingir este ponto, foi calculada diferença de massa antes e após o aquecimento (Instituto Adolfo Lutz, 2008).

As amostras do extrato de beterraba passaram por uma etapa inicial de evaporação do líquido em banho-maria antes de irem para a estufa.

O percentual de umidade foi calculado por meio da Equação 1.

$$Umidade = \frac{100 \times N}{P} \quad (1)$$

Onde:

N – Diferença entre a massa da amostra antes e após aquecimento em estufa

P – Número de gramas da amostra

3.3.2 pH

O pH foi determinado por leitura em pHmetro digital (precisão $\pm 0,01$ pH, MARCONI, PA 200), em equipamento previamente calibrado, por leitura direta (Instituto Adolfo Lutz, 2008).

3.3.3 Acidez total titulável

Para a determinação da acidez total titulável foram pipetados 10 mL das amostras de beterraba *in natura* e extrato de beterraba em béquer de 300 mL, contendo 100 mL de água, agitando moderadamente. Com o pHmetro já calibrado, mergulhou-se o eletrodo na solução. As amostras foram tituladas com uma solução de hidróxido de sódio a 0,1 M até uma faixa de pH de 8,2 – 8,4 (Instituto Adolfo Lutz, 2008).

O resultado foi expresso em gramas de ácido cítrico por 100 g da amostra, segundo a Equação 2.

$$ATT_{(g/100g)} = \frac{n \times N \times Eq}{10 \times p} \quad (2)$$

Onde:

N - Normalidade da solução de hidróxido de sódio.

n - Volume de solução de hidróxido de sódio gastos na titulação em mL.

p - Massa da amostra em gramas.

Eq - equivalente-grama do ácido cítrico (64,02).

3.3.4 Cinzas

O teor de cinzas foi determinado mediante metodologia proposta pelo Instituto Adolfo Lutz (2008). As amostras que foram submetidas à estufa para a análise de umidade, foram aquecidas em mufla a 550 °C até a completa incineração da matéria orgânica. As amostras foram resfriadas em dessecador até a temperatura ambiente e pesadas. As cinzas resultantes, de aspecto ligeiramente acinzentado, representam toda a matéria inorgânica presente nas amostras.

O teor de cinzas foi expresso em g/100g de amostra segundo a Equação 3.

$$\text{Cinzas por cento } m/m = \frac{100 \times N}{P} \quad (3)$$

Onde:

N = n° de g de cinzas

P = n° de g da amostra

3.3.5 Açúcares redutores

Para a determinação de açúcares redutores foi utilizado a metodologia proposta pelo Instituto Adolfo Lutz (2008), que é um método espectrofotométrico e utiliza o ácido 3,5-dinitro salicilato (DNS). Primeiramente, 2 mL da amostra de beterraba *in natura* centrifugada e do extrato de beterraba foram colocados cada qual em tubos de ensaio com 1 mL do reagente DNS. Em seguida, as amostras foram aquecidas em banho-maria a 100 °C por 5 minutos. Depois de resfriada, realizou-se a leitura em espectrofotômetro a 540 nm. Os resultados foram expressos em porcentagem.

3.3.6 Sólidos Solúveis

O teor de sólidos solúveis totais (SST), para ambas as amostras, foi realizado de acordo com o método proposto pelo Instituto Adolf Lutz (2008), sendo determinado por leitura direta em refratômetro digital da marca Homis modelo HRE-32k, onde foram transferidas três gotas da beterraba centrifugada e do extrato de beterraba para o prisma do refratômetro. O valor obtido foi expresso em graus Brix à 20 °C.

3.3.7 Teor de betalaínas

O conteúdo de betalaínas foi determinado conforme descrito por Stintzing et al. (2005). Primeiramente, a amostra foi diluída em solução de McIlvaine de pH 6,5 até obter uma leitura em espectrofotômetro entre 0,8 e 1,0 nos respectivos comprimentos de ondas para betaxantinas e betacianinas, conforme descrito pela Equação 4.

$$\text{BLC [mg/L]} = \frac{A \times DF \times MW \times 1000}{\epsilon \times 1} \quad (4)$$

Onde A é o valor da máxima absorvância corrigida pela leitura a 600 nm, DF é o fator de diluição e 1 é o caminho ótico da cubeta (1 cm). Para a determinação dos conteúdos de betacianinas (Bc) e betaxantinas (Bx), os principais componentes das betalaínas na beterraba, a massa molar (MW) e o coeficiente de extinção molar (ϵ) da betanina (MW = 550 g/mol; ϵ = 60,000 L mol⁻¹ cm⁻¹ por H₂O; λ = 538 nm) e da xantina (MW = 308 g/mol; ϵ = 48,000 L mol⁻¹ cm⁻¹ por H₂O; λ = 480 nm) serão aplicados, respectivamente. O conteúdo de betalaínas totais é a soma das betaxantinas e betacianinas presentes nas amostras.

3.4 Estudo da estabilidade da betaciana em diferentes temperaturas e pH no Extrato de Beterraba

3.4.1 Avaliação da Cinética de Degradação Térmica

A análise foi realizada conforme metodologia proposta por Bastos et al. (2015) e Rosa, Antelo e Rosa (2018), com modificações.

Amostras de 0,1 mL de extrato de beterraba foram colocadas em tubos de ensaio com tampa de rosca e submetidas a quatro temperaturas (50, 60, 70 e 80 °C) em banhos termostatizados, sendo retiradas alíquotas periodicamente até que se atingiu a metade (50 %) da concentração inicial das betalaínas. O monitoramento da degradação foi determinado através de leitura espectrofotométrica a 538 e 600 nm (em teor de betacianinas). A partir dos dados obtidos no espectrofotômetro foi possível estimar os parâmetros cinéticos da degradação do pigmento presente no extrato.

3.4.1.1 Constante cinética de degradação

As constantes cinéticas de degradação das betacianinas (K_d) foram estimadas através da regressão dos dados experimentais tempo, concentração ao longo do tempo e concentração inicial, para cada temperatura estudada, segundo a Equação 5.

$$\ln \frac{C_B}{C_{B_0}} = -K_d \times C_B \quad (5)$$

Onde:

C_B é a concentração de betacianinas em mg/100 g de beterraba

C_{B_0} é a concentração inicial de betacianinas

t é o tempo em segundos

K_d é a constante cinética de degradação em s^{-1} .

3.4.1.2 Tempo de Meia-vida

O tempo de meia-vida ($t_{1/2}$), que é o tempo para que a concentração do composto considerado seja reduzida à metade do seu valor inicial, foi calculado segundo a Equação (6).

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{K_d} \quad (6)$$

Onde K_d é a constante cinética de degradação em s^{-1} .

3.4.1.3 Valor de redução decimal (D)

O valor de redução decimal foi determinado conforme Mercali et al. (2013) através da Equação 7.

$$D = \frac{\ln(10)}{K_d} \quad (7)$$

3.4.1.4 Valor z

O valor Z foi determinado conforme Peron, Fraga e Antelo (2017), por meio de regressão linear através da Equação 8.

$$\log D = \frac{1}{Z} \times T + B \quad (8)$$

Onde:

D – Valor de redução decimal

T – Temperatura (°C)

B – Coeficiente linear fornecido pelo gráfico

3.4.1.5 Equação de Arrhenius

A equação de Arrhenius, Equação 9, relaciona a temperatura e a constante de velocidade para reações elementares, permite que sejam determinados a energia de ativação e o fator de frequência da reação de degradação.

$$Kd = A \times e^{\frac{-Ea}{R \times T}} \quad (9)$$

Onde:

Kd é a constante cinética de degradação em s⁻¹

A é o fator de frequência em s⁻¹

Ea é a energia de ativação da reação de degradação em kJ/mol

T é a temperatura em Kelvin

R é a constante dos gases em kJ/mol. K.

3.4.1.6 Análise termodinâmica

Os parâmetros de Entalpia (ΔH), energia livre de Gibbs (ΔG) e entropia (ΔS) do processo térmico das betacianinas, foram determinados, conforme Rosa, Antelo e Rosa (2018), pelas Equações 10, 11 e 12, respectivamente.

$$\Delta H = E_a - R \times T \quad (10)$$

$$\Delta G = -R \times T \times \ln \left(\frac{Kd \times h}{KB \times T} \right) \quad (11)$$

$$\Delta S = \frac{\Delta H - \Delta G}{T} \quad (12)$$

Onde:

E_a – Energia de ativação

R – Constante dos gases ideais ($R = 8,314 \text{ J/mol.K}$)

T – Temperatura em kelvin

K_d – constante cinética

K_B – Constante de Boltzmann ($1,3806 \times 10^{-23} \text{ J/K}$)

H – Constante de Planck ($6,6262 \times 10^{-34} \text{ J.s}$)

3.4.2 Avaliação da estabilidade em função do pH

A análise da estabilidade ao pH foi adaptada de Mello (2014). Foram submetidas amostras do extrato de beterraba em soluções tamponadas de McIlvaine (3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 7,0; 8,0) em temperatura ambiente (25 °C) durante um período de 1 hora. A cada 15 minutos, eram retiradas alíquotas e medidas as absorvâncias em espectrofotômetro a 538 e 600 nm.

A partir dos dados obtidos, foi verificado o pH que proporcionava a máxima absorvância para as betacianinas no comprimento de onda considerado e o percentual de perdas do pigmento ao longo do período estabelecido.

3.5 Microencapsulamento dos Pigmentos da Beterraba

Foram utilizados como agentes encapsulantes a maltodextrina com dextrose equivalente (DE) 15 e 20 MOR-REX® 1910, da Corn Products (Mogi-Guaçu, Brasil) Soluções dos agentes encapsulantes foram preparados em uma concentração final de 30% (m/v) antes da adição do extrato de beterraba. As soluções dos materiais de parede foram avaliadas quanto a sua eficiência de microencapsulamento.

O extrato de beterraba foi adicionado aos materiais de parede, na proporção 1:3 (v/v), respectivamente. As misturas resultantes foram homogeneizadas em um agitador magnético, mantidas a 30 °C e submetida a secagem por atomização.

A secagem foi realizada utilizando o secador por atomização Mini-Spray-Dryer LM modelo MSD 1.0 (LABMAQ do Brasil LTDA). - IDSO) – Piracicaba/SP), segundo condições proposta por Maia (2017), vazão do líquido 0,79 L/h, com bico injetor de 1,2 mm de diâmetro, fluxo de ar de $38 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, pressão do ar 0,6 bar e temperatura de entrada de 150 °C e temperatura de saída de 91 °C. Os pós obtidos pelos diferentes carreadores foram acondicionados em frascos de vidro âmbar e mantidos sob refrigeração.

3.6 Caracterização do Extrato Microencapsulado

3.6.1 Rendimento de microencapsulação

O rendimento de microencapsulação foi avaliado conforme metodologia proposta por Su et al. (2008) e Wu et al. (2014) e calculado mediante a razão entre a massa das microcápsulas obtidas ao final do processo e a massa das substâncias iniciais adicionadas (extrato de beterraba e materiais de parede).

3.6.2 Umidade

A umidade dos pós microencapsulados foram realizados conforme o item 3.3.1.

3.6.3 Atividade de água

A atividade de água (a_w) das amostras microencapsuladas foi medida em aqualab.

3.6.4 Higroscopicidade

A análise foi realizada mediante metodologia proposta por Cai e Corke (2000) e Fritzen-Freire et al. (2012). Foram pesadas amostras de 2 g e colocadas em placas de Petri, posteriormente armazenadas por uma semana em um dessecador contendo uma solução saturada de NaCl (75,3 % UR). A higroscopicidade foi calculada por meio da massa de água adsorvida pela amostra e expressa em g de água adsorvida por 100 g de matéria seca.

3.6.5 Densidade aparente

A densidade aparente foi avaliada conforme descrito por Venil et al. (2016). Foram pesados 1 g de amostra e colocados em uma proveta de 10 mL. A proveta foi batida 10 vezes sobre uma superfície de borracha a uma altura de 10 cm. O volume marcado e gravado e a massa foram usados para calcular a densidade aparente em termos de g/mL.

3.6.6 Solubilidade

A solubilidade foi determinada de acordo com o método proposto por Cano-Chauca et al. (2005), com modificações. Foram pesados 1 g de amostras e adicionados 100 mL de água destilada, em seguida, as amostras foram submetidas a uma agitação por 5 minutos. As soluções foram centrifugada a 3000xg por 5 minutos, em centrífuga Sorvall ST 16R. Uma alíquota de 20 mL do sobrenadante foi transferida para uma placa de Petri previamente tarada, sendo em seguida aquecida em estufa a 105 °C por 5 horas. Por diferença de peso, o peso final de pó na placa foi determinado, e calculou-se o percentual de solubilidade.

3.6.7 Molhabilidade

A molhabilidade dos pós obtidos foi determinada pelo método descrito por Fuchs et al. (2006). Um grama do pó foi polvilhado sobre a superfície de 100 mL de água destilada a temperatura ambiente (20 °C) sem agitação. O tempo necessário para as partículas submergirem e desaparecerem da superfície da água foi medido e usado para comparação entre as amostras.

3.6.8 Retenção de betalaínas

A análise foi realizada conforme metodologia proposta por Silva et al. (2013), com modificações. A análise de retenção de betalaínas foi realizada por meio da comparação dos teores dos pigmentos presentes na solução de alimentação, antes de ser atomizada, e a quantidade residual de betalaínas presentes nos pós. Para isso foi realizada a reconstituição do extrato, solubilizando-se certa massa de extrato em pó em água, a fim de se obter o mesmo teor de sólidos do extrato antes da atomização. Após isso, as soluções foram centrifugadas por 10 minutos em 2000xg. Em seguida, os teores de betalaínas das soluções de alimentação e dos extratos dos pós reconstituídos foram determinados conforme o item 3.3.7.

3.6.9 Análise da Cor

A determinação foi realizada utilizando um colorímetro portátil manual Konica MINOLTA CR-10, que mediu os parâmetros L^* (luminosidade), a^* (componente vermelho-verde) e b^* (componente amarelo-azul).

Os parâmetros de tonalidade (H°) e saturação (C^*) foram calculados a partir dos valores de a^* e b^* , conforme as equações 13 e 14, respectivamente.

$$H^\circ = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (13)$$

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (14)$$

Para se calcular a diferença global de cor (ΔE), foi realizada a reconstituição do extrato: solubilizando-se certa massa de extrato em pó em água, a fim de se obter o mesmo teor de sólidos do extrato antes da atomização. A diferença global de cor entre o extrato antes da atomização e o pó reconstituído será obtido pela Equação 15.

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L *)^2 + (\Delta a *)^2 + (\Delta b *)^2} \quad (15)$$

3.7 Análise dos Dados

Todas as análises foram realizadas em triplicatas, e os dados obtidos foram analisados estatisticamente por meio de ANOVA e Teste de T de Student, ao nível de significância de 5%, com auxílio do software Minitab v 17.1.0.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização físico-química da beterraba *in natura* e do extrato de beterraba

Os resultados da caracterização físico-química da beterraba *in natura* e do extrato de beterraba obtido encontram-se dispostos na Tabela 5.

Tabela 5. Caracterização físico-química da beterraba *in natura* e do extrato de beterraba.

Análises	Beterraba <i>in natura</i>	Extrato de beterraba
Umidade (g/100g)	88,32 ± 0,557 ^b	92,21 ± 0,1705 ^a
Sólidos totais (g/100g)	11,68 ± 0,557 ^a	7,79 ± 0,1705 ^b
pH (25 °C)	5,893 ± 0,0058 ^a	5,547 ± 0,0058 ^b
Acidez titulável (g/100g)	0,086 ± 0,0014 ^b	0,104 ± 0,0 ^a
Cinzas (g/100g)	1,373 ± 0,1345 ^a	0,8612 ± 0,0502 ^b
Açúcares redutores (g/100g)	0,838 ± 0,0084 ^b	0,925 ± 0,0382 ^a
Sólidos solúveis (°Brix)	7,467 ± 0,0577 ^b	8,5 ± 0,0 ^a
Betalaínas totais (mg/100g)	38,75 ± 0,0156 ^b	44,96 ± 0,0206 ^a

Médias seguidas de mesmo expoente na mesma linha, não diferem estatisticamente a um nível de 5% pelo teste t de Student. Fonte: Autor, 2019.

4.1.1 Umidade

O resultado da análise de umidade mostrou um teor de 88,32% para a beterraba *in natura*, sendo condizente com os resultados encontrados por Ramos et al. (2016), Kale et al. (2018), e Chhikara et al. (2018), nos valores de 89,83%, 87,5% e 85%, respectivamente. O valor de umidade encontrado também está de acordo com os preconizados pelas tabelas de composição alimentar, tanto a TACO (86%) quanto a da USDA (87,58%).

O extrato de beterraba apresentou um teor de umidade de 92,21%, indicando, dessa forma, a existência de quantidades significativas do solvente. Almeida et al. (2015), na obtenção de corante de repolho roxo, verificou um valor de 95,5% de umidade para o extrato alcoólico, valor acima também do repolho roxo *in natura*, o qual apresentou umidade de 90,3%.

4.1.2 Sólidos solúveis

Em relação ao teor de sólidos solúveis, a beterraba *in natura* apresentou um valor de 7,467 °Brix. Aquino et al. (2006), verificou valores entre 8 e 10,4 °Brix para beterrabas produzidas com doses variadas de nitrogênio.

Os sólidos solúveis medem a quantidade de substâncias que se encontram dissolvidos em um determinado solvente, que em relação aos alimentos é a água, e, possui faixa de variação entre 2% e 25% (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

Segundo Wruss et al. (2015), diversos determinantes naturais, tais como a composição do solo, o grau de precipitação anual total, o clima local e as horas de insolação, são fortes influenciadores do acúmulo de nutrientes e compostos fitoquímicos que as plantas, ou partes das plantas, e frutos apresentam.

O extrato de beterraba apresentou um teor de sólidos solúveis de 8,5 °Brix, valor acima do teor da beterraba *in natura*, o que pode ser explicado pela concentração dos sólidos presentes na matéria-prima pelo processo de extração.

4.1.3 pH

O pH encontrado para a beterraba *in natura* foi de 5,893, valor próximo aos relatados por Hernandez (2006) e Ramos et al. (2016), que encontraram valores de pH para a beterraba *in natura* de 5,963 e 5,87, respectivamente, assemelhando-se ao encontrando no presente trabalho.

O extrato de beterraba apresentou valor de pH de 5,547, podendo inferir, desta forma, que o processo de extração executado, permitiu a relativa constância do pH da beterraba *in natura* para o extrato, sendo esta estabilidade de grande importância para as betalainas, visto que suas características são influenciadas pelo pH do meio onde se encontram. Nesse sentido, segundo Huang e Elbe (1987), a faixa de pH de 5,5 a 5,8, permite à máxima estabilidade para solução de betanina na presença de oxigênio, o que foi apresentado pelo extrato de beterraba no trabalho.

4.1.4 Acidez titulável

A análise de acidez titulável forneceu um valor de 0,086 g de ácido cítrico por 100 g para a beterraba *in natura*, semelhante ao encontrado por Sardella, (2016), que relatou um valor de 0,08 g/100 (ácido cítrico) g, e por Sanches et al. (2016), 0,089 g/100 (ácido cítrico) g, que avaliou amostras de beterrabas armazenadas por seis dias sob refrigeração a 5 °C.

De acordo com Cecchi (2003) os ácidos orgânicos têm influência nos alimentos em diversas características sensoriais, como o sabor, odor e cor, e sobre a estabilidade e qualidade dos produtos.

O extrato de beterraba apresentou valor de 0,104 g/100 (ácido cítrico) g para a acidez, valor acima do apresentado pela beterraba *in natura*. Santos et al. (2013) e Sardella (2016), também verificaram um aumento na acidez titulável em relação a matéria-prima para a extração de repolho roxo e beterraba, respectivamente. O que pode estar relacionado à extração e concentração dos compostos orgânicos presentes.

4.1.5 Cinzas

O teor de cinzas para a beterraba *in natura* apresentou valor de 1,373 g/100g, próximo aos encontrados por Kale et al. (2018) de 1,4 g/100g e por Ramos et al. (2016) de 1,28 g/100g. Avaliando a composição química de beterrabas *in natura* e desidratadas em diferentes tempos de desenvolvimento, Biondo et al. (2014) encontrou valor de 1,5 g/100g para as beterrabas com 100 dias de maturação.

O extrato de beterraba apresentou teor de 0,8612 g/100g para a análise de cinzas, valor inferior ao apresentado pela beterraba *in natura*. Almeida et al. (2015) também relatou valores inferiores de cinzas para os extratos alcoólico e aquoso em relação a matéria-prima.

O conteúdo de cinzas em produtos alimentícios é um indicativo do total de minerais presentes, podendo ser utilizado como medida geral da qualidade, visto que maiores teores de cinzas indicam maiores teores de cálcio, magnésio, ferro, fósforo, sódio e outros componentes minerais nos frutos. Além disso, análises de cinzas são frequentemente usadas como critério para a identificação de alimentos (ALMEIDA et al., 2015).

4.1.6 Açúcares redutores

Os valores de açúcares redutores para a beterraba *in natura* e para o extrato de beterraba foram de 0,838 e 0,925 g/100 g, respectivamente. Esse aumento na quantidade de açúcares redutores pode ter relação com o processo de remoção do solvente realizado sobre o extrato de beterraba, no qual pode ter ocorrido aumento na quantidade de monossacarídeos devido à elevação da temperatura.

Açúcares redutores, como a glicose e frutose, são carboidratos que possuem seu grupo carbonílico livre, capaz de oxidar em solução alcalina. Por essa razão, utiliza-se o ácido 3,5-dinitrosalicílico (agente oxidante presente no reativo DNS), que em condições alcalinas, reage com o carbono carbonílico de açúcares redutores e se reduz a ácido 3-amino-5-nitrosalicílico,

um composto corado cuja absorção de luz é máxima no comprimento de onda 540 nm (SANTOS et al., 2017).

O valor apresentando de açúcares redutores para a beterraba *in natura* no trabalho foi superior ao relatado por Ramos et al. (2016), o qual encontrou um valor de 0,18 para a beterraba *in natura*. Os autores também verificaram um aumento na porcentagem de açúcares redutores em amostras de beterrabas que sofreram tratamentos térmicos, o que se deve ao fato de que em altas temperaturas ocorre a separação do complexo de amido nos tecidos vegetais induzindo a formação de monossacarídeos, como a glicose.

Ferreira (2010) também verificou um aumento no conteúdo de açúcares redutores de polpas de resíduo do processamento mínimo de beterraba após a pasteurização realizada em 65 °C durante 30 minutos.

4.1.7 Betalaínas

O teor de betalaínas encontrado para a beterraba *in natura* apresentou um valor de 38,75 mg/100g em base úmida, estando dentro da faixa estabelecida por Stintzing e Carle (2007), onde o teor comumente encontrado de betalaínas, em beterrabas vermelhas, varia de 40 a 160 mg/100 g de massa fresca. De acordo com Bazaria e Kumar (2016a), o conteúdo de betalaínas depende de muitos fatores, como o tamanho das raízes, a cultivar e as condições climáticas e agrícolas.

Já o extrato de beterraba apresentou um teor de betalaínas de 44,96 mg/100g em base úmida, valor acima dos relatos por Azeredo et al. (2007) e Pitalua et al. (2010), que encontraram valores de 28,82 mg/100g e 13,58 mg/100g, respectivamente.

A extração com etanol em conjunto com a água mostra-se mais eficiente que a com os solventes puros, visto que a combinação de ambos cria um ambiente moderadamente polar, propício a extração de compostos bioativos, como as betalaínas (ALVES; MONTEIRO; POMPEU, 2018; CHIRINOS et al., 2007).

4.2 Cinética de Degradação Térmica das Betacianinas

Amostras do extrato de beterraba foram submetidas a temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C, de modo a se obter as constantes de degradação térmicas, além de outros parâmetros importantes, como o tempo de meia-vida, para cada condição proposta. A Tabela 6 apresenta os parâmetros de inativação térmica das betacianinas presentes no extrato de beterraba.

Tabela 6. Parâmetros cinéticos da degradação das betacianinas do extrato de beterraba.

T (°C)	k _d (1/s)	R ²	t _{1/2} (h)	D (h)	Z (°C)
50	2 × 10 ⁻⁵	0,91	9,63	31,98	
60	8 × 10 ⁻⁵	0,93	2,41	7,99	25,44
70	2 × 10 ⁻⁴	0,98	0,96	3,19	
80	3 × 10 ⁻⁴	0,96	0,64	2,13	

Fonte: Autor, 2019.

O coeficiente de degradação térmica das betacianinas do extrato de beterraba apresentou valores entre 0,2 a 3 x10⁻⁴ s e foi observado que o aumento da temperatura promove incrementos nos valores de k_d, ou seja, o aquecimento progressivo promove um aumento na taxa de degradação das betacianinas. Esse fato pode ser facilmente verificado por meio do tempo de meia-vida, o qual indica o tempo para a concentração do pigmento diminuir a metade, apresentou diminuição ao passo que a temperatura aumentou. Observa-se também uma maior estabilidade entre 50 e 60 °C, enquanto que nas temperaturas entre 70 e 80 °C, as betacianinas apresentaram tempo de meia vida menor que 1 hora.

Resultados próximos foram encontrados por Bastos et al. (2015), o qual também estudou a cinética de degradação de betanina e relatou valores entre 6,42 a 0,39 h para o tempo de meia-vida, entre as temperaturas de 50 a 80 °C, respectivamente.

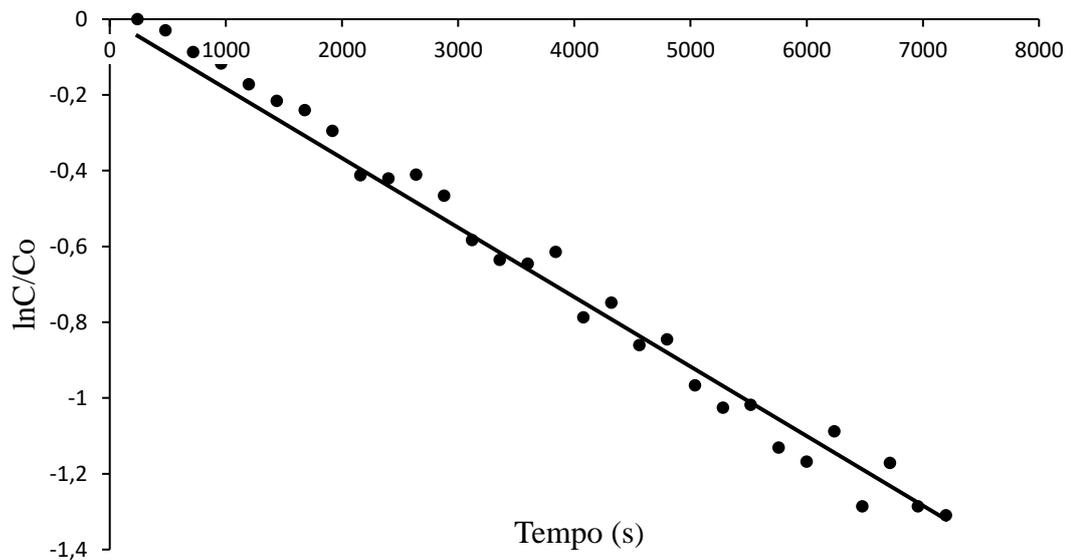
Fernández-López et al. (2013), estudando a cinética de degradação de betacianinas provenientes de beterrabas e *opuntia*, verificaram menores tempos de meia-vida, de ambos os pigmentos, nas temperaturas de 50 e 70 °C, em relação aos encontrado no presente trabalho. Segundo os autores, diferenças de estabilidade entre pigmentos de mesma classe se deve a diferenças estruturais e compostos adicionais que afetam a estabilidade presentes nas respectivas matrizes.

A degradação das betalainas, como verificados por Gonçalves et al. (2013) e Mabit et al. (2008), apresenta um comportamento de uma reação de cinética de primeira ordem, onde a evolução da concentração dos compostos pode ser descritos pela Equação 16:

$$C/C_0 = e^{-kt} \quad (16)$$

Onde C representa a concentração do pigmento em determinado tempo, C_0 a concentração inicial e k_d a constante de degradação térmica. A curva que descreve a diminuição dos compostos ao longo do tempo apresenta formato linear. Esse comportamento foi observado na degradação das betacianinas no presente trabalho, o qual pode ser percebido no ensaio de 70 °C na Figura 6.

Figura 6. Perfil de degradação térmica das betacianinas no extrato de beterraba à temperatura de 70 °C.



Fonte: Autor, 2019.

O valor de redução decimal (D) das betacianinas apresentou valores entre 31,98 a 2,13 h entre as temperaturas de 50 a 80 °C. O valor D é o tempo necessário para reduzir a concentração de um composto por um fator de 10, ou em outras palavras, o tempo necessário de exposição a uma certa temperatura constante para se produzir uma redução de 90 % do composto (MARTINUS; BOEKEL, 2008).

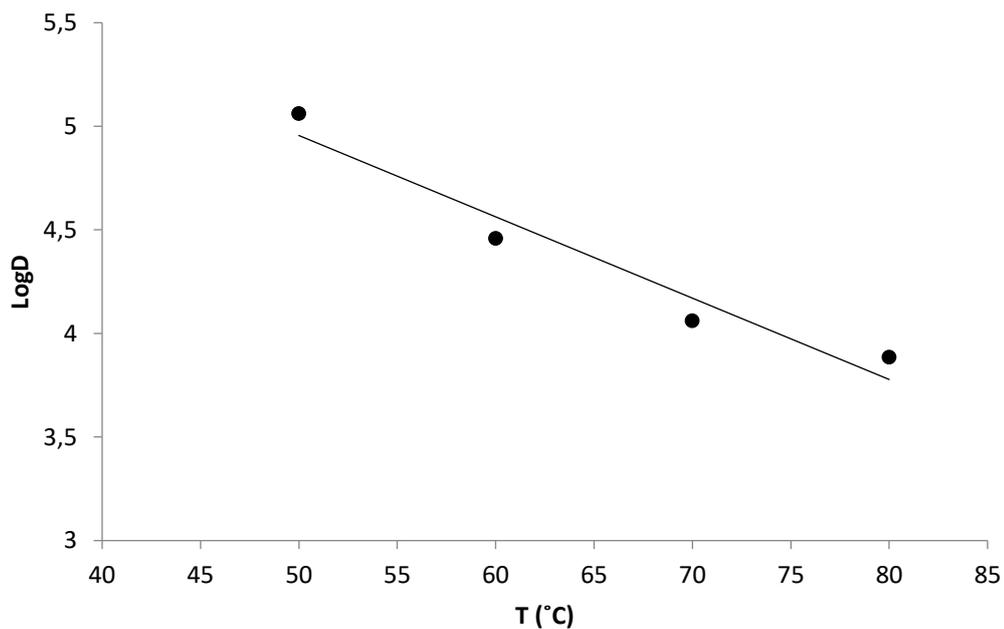
O valor D varia grandemente com o aumento da temperatura, visto que o processo degradativo é intensificado nessas condições. Como verificado a partir da temperatura de 60 °C, intensificado como o aumento, a rápida degradação das betacianinas torna esses pigmentos pouco viáveis a se utilizar em processamentos os quais necessitem de tais condições em períodos prolongados de tempo.

Outro parâmetro cinético que é muito utilizado para medir a sensibilidade a temperatura de compostos é o valor Z , o qual representa o intervalo de temperatura que ocasiona uma variação de 10 vezes na velocidade de degradação. Quanto menor o valor de Z ,

maior a variação de velocidade de degradação com a variação de temperatura (Y. WANG, T.D. WIG, J. TANG, 1987).

O valor Z é determinado por meio da análise de regressão linear, através do gráfico que avalia a dependência do valor D, em forma logarítmica, em relação à temperatura (Figura 7).

Figura 7. Valor Z para o pigmento das betacianinas presentes no extrato de beterraba.



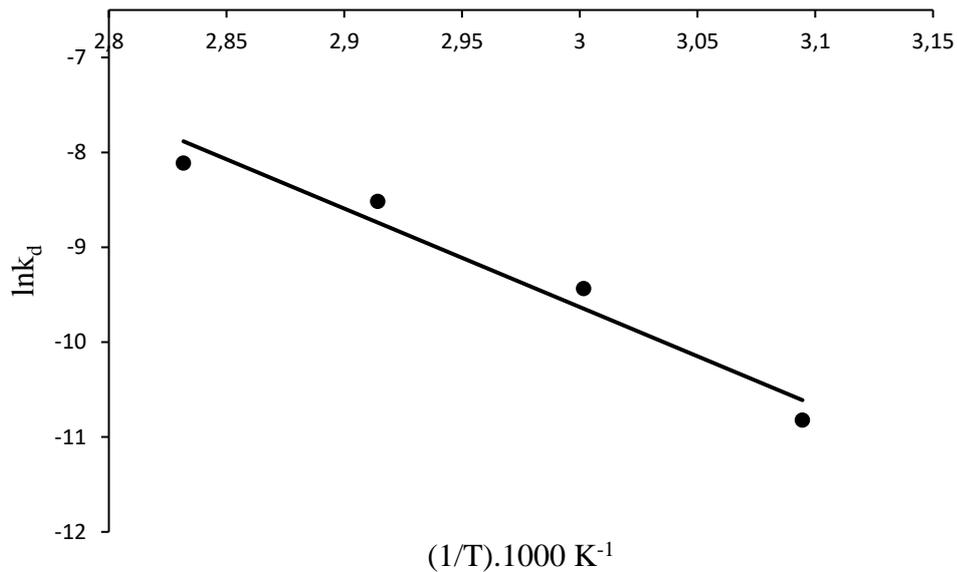
Fonte: Autor, 2019.

O valor de Z encontrado para as betacianinas no extrato de beterraba foi de 25,44 °C. Como observado por Peron, Fraga e Antelo (2017), o valor Z indica que os fatores térmicos de resistência para alguns atributos alimentares, como a cor ou nutrientes, são maiores que os apresentados por alguns esporos ou células vegetativas, dessa forma, a taxa de destruição dos pigmentos em termos de aumento de temperatura são menores. Assim, o valor encontrado no presente estudo é parâmetro muito importante, uma vez que os pigmentos do extrato de beterraba poderão sofrer variação de temperatura em um processo, abaixo do valor encontrado de Z, sem grandes perdas para a cor do produto. Dessa maneira, os pigmentos de beterraba podem ser utilizados em alimentos que sofrem processos térmicos, como a pasteurização e o branqueamento, conservando suas cores originais e viabilizando seu emprego pela indústria alimentos.

Em relação a energia de ativação, esta pode ser representada como a barreira de energia que as moléculas precisam atravessar para induzir a reação. À medida que se aumenta

a temperatura, mais moléculas são capazes de superar essa barreira de energia, o que explica, qualitativamente, o efeito da temperatura sobre as taxas de degradação (MARTINUS; BOEKEL, 2008).

Figura 8. Gráfico de Arrhenius para a determinação da energia de ativação (E_a) para a degradação da betacianinas ($R^2 = 0,9559$).



Fonte: Autor, 2019.

O valor da energia de ativação encontrado para a betacianinas foi de 86,28 kJ/mol ($R^2 = 0,96$), semelhante aos relatados por Bastos et al. (2015) e Saguy, Kopelman e Mizrahi (1978), os quais encontraram valores de 86,69 e 86,60 kJ/mol, respectivamente.

Os valores termodinâmicos de reação podem fornecer informações valiosas ao estudar uma ampla variedade de fenômenos físicos, químicos e bioquímicos (MERCALI et al., 2015). Na Tabela 7 encontram-se os parâmetros termodinâmicos referentes a inativação das betacianinas no extrato de beterraba.

Tabela 7. Parâmetros da termodinâmico das betacianinas do extrato de beterraba.

T (°C)	ΔH (kJ/mol)	ΔG (kJ/mol)	ΔS (J/mol.k)
50	83,59	108,43	-76,84
60	83,51	108,03	-73,59
70	83,43	108,74	-73,76
80	83,34	110,80	-77,75

Fonte: Autor, 2019.

A entalpia de inativação ΔH mede a barreira de energia que as moléculas devem superar para atingir o estado de transição, e está relacionado à força das ligações que são quebradas e formadas durante a criação desse estado (SILVA; CRISPIM; VIEIRA, 2017; VIKRAM; RAMESH; PRAPULLA, 2005).

A ΔH apresentou valores entre 83,34 e 83,59 kJ/mol entre as temperaturas estudadas. O valor positivo indica um estado endotérmico entre o complexo ativado e o reagente. Foi verificado também uma ligeira diminuição da ΔH com o aumento da temperatura, apontando que a barreira de energia para se quebrar as ligações é menor em temperaturas mais elevadas, sinalizando, dessa maneira, que taxas mais elevadas de degradação são atingidas com o aumento da temperatura (PERON; FRAGA; ANTELO, 2017).

Peron, Fraga e Antelo (2017) avaliando a cinética de degradação térmica de antocianinas entre as temperaturas de 50 a 90 °C, relatou valores de ΔH entre 90,6 a 90,9 kJ/mol para os pigmentos provenientes da juçara (*Euterpe edulis* Martius) e entre 89,4 a 89,8 kJ/mol para os pigmentos provenientes da “Italia” grapes (*Vitis vinifera* L.). Para betalaínas, são escassos os estudos sobre parâmetros cinéticos, o que reforça as pesquisas nesta área.

A energia livre de Gibbs (ΔG) é descrito como uma medida do equilíbrio e espontaneidade de uma reação, representando a diferença entre o estado ativado e o estado dos reagentes (PERON; FRAGA; ANTELO, 2017). A ΔG apresentou valores entre 108,03 e 110,80 kJ/mol entre as temperaturas estudadas, o valor positivo indica que a reação de degradação das betacianinas não é espontânea. O que comprava a ação de fatores externos, tais como a temperatura, na degradação deste pigmento.

Mercali et al. (2015) verificou valores de ΔG entre 102,5 a 104,2 kJ/mol para antocianinas provenientes de suco de jaboticaba (*Myrciaria cauliflora*) aquecidas em temperaturas entre 70 a 90 °C.

A entropia (ΔS) é uma medida que demonstra a desordem das moléculas e seu valor negativo indica que o estado de transição alcançado pelas moléculas está mais organizado se comparado ao estado inicial (SILVA; CRISPIM; VIEIRA, 2017).

A ΔS apresentou valores entre -77,75 e -73,59 J/mol.k entre as temperaturas estudadas. Foi verificado uma diminuição da ΔS com o aumento da temperatura. De acordo com Georgieva, Zvezdova e Vlaev (2012), alterações nos valores de ΔS estão relacionados a formação do complexo ativo pelos reagentes, indicando a proximidade do sistema em atingir o seu equilíbrio termodinâmico. Baixos valores de ΔS revelam que o material passou por algum tipo de rearranjo físico ou químico de sua estrutura inicial, estando agora mais próximo

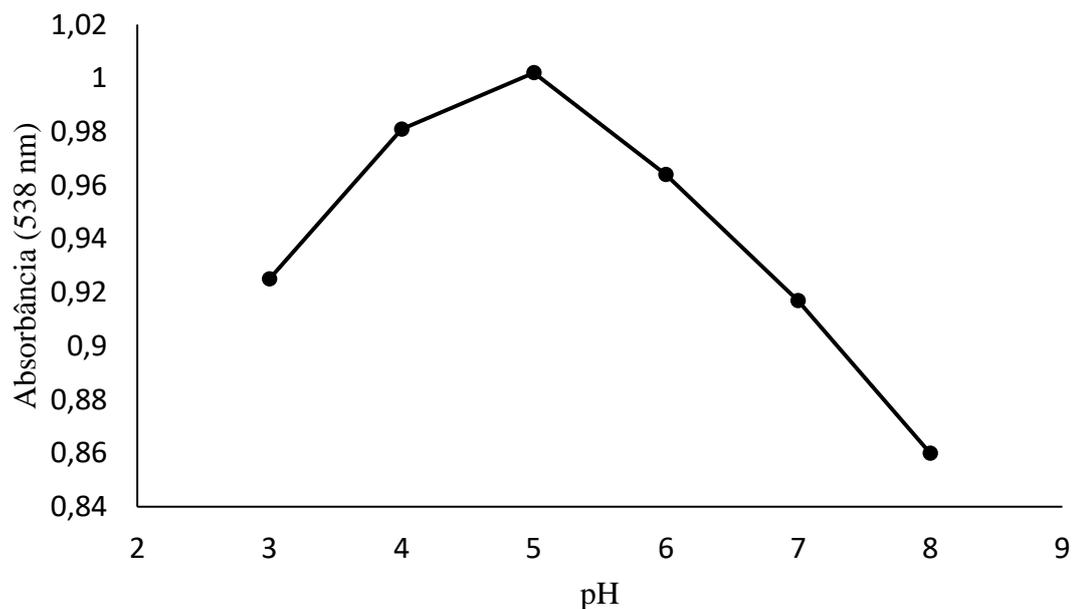
de seu equilíbrio termodinâmico, ou seja, está menos reativo e, por conseguinte, aumentando o tempo necessário para formar o complexo ativado.

Peron, Fraga e Antelo (2017) verificou valores de ΔS entre -77,5 a -72,6 J/mol.k para as antocianinas da “Italia” grapes (*Vitis vinifera* L.). Já Mercali et al. (2013), relatou valores de ΔS entre -81,91 a -80,15 J/mol.k, para a degradação de antocianinas de polpa de acerola, entre as temperaturas de 75 a 90 °C, por meio de aquecimento ôhmico.

4.3 Avaliação da estabilidade das betacianinas em função do pH

A estabilidade das betacianinas foi verificada submetendo o extrato de beterraba a diferentes pH e analisando o efeito produzido na absorbância em 538 nm. A figura 9 mostra os valores das absorbâncias demonstradas pelas betacianinas após 60 minutos em contato com os diferentes pH em temperatura ambiente (25 °C).

Figura 9. Efeito do pH sobre a absorbância das betacianinas.



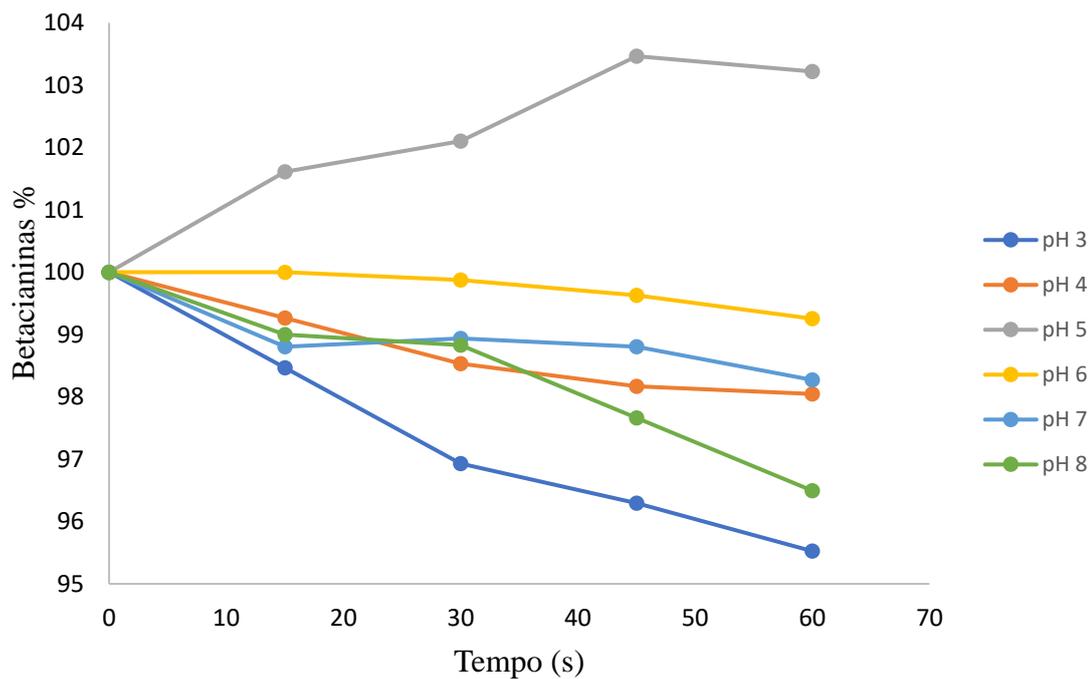
Fonte: Autor, 2019.

Como esperado, as betacianinas apresentaram uma maior absorbância no intervalo de pH entre 4 e 6, com um pico no pH 5, indicando que essa região possibilita uma maior estabilidade para os pigmentos. Diversos estudos têm relatado que essa faixa de pH permite uma melhor estabilização aos pigmentos de betalaínas, possibilitando melhores condições de aplicação em sistemas alimentícios (AZEREDO, 2009; HAVLÍKOVÁ; MIKOVÁ;

KYZLINK, 1983; HUANG; ELBE, 1987; STINTZING et al., 2004; VON ELBE; YOUNG MAING; AMUNDSON, 1974).

Foi verificado também que a concentração das betacianinas nos diferentes pH no decorrer do tempo. Como pode-se verificar na Figura 10, a concentração das betacianinas manteve-se praticamente constante ao longo do tempo. No entanto, foi verificada quedas mais acentuadas na concentração dos pigmentos nos pH 3 e 8, e, conseqüentemente, a concentração das betacianinas apresentaram os menores teores ao final do tempo de 60 minutos, com porcentagens de 95,52 e 96,49%, respectivamente, em relação aos teores iniciais. A amostra em pH 5, por sua vez, apresentou um acréscimo no percentual de betacianinas, o que se deve, provavelmente, ao ajuste no comprimento de onda de máxima absorção e aos processos de regeneração do pigmento intensificado nessa faixa de pH.

Figura 10. Percentual de betacianinas presentes no extrato de beterraba submetido a diferentes pH ao longo do tempo.



Fonte: Autor, 2019.

É sabido que em condições alcalinas, aumenta-se a suscetibilidade para a clivagem hidrolítica da ligação aldimina em betanina, a qual produz o ácido betalâmico (amarelo brilhante) e o ciclo-Dopa 5-O- β -glicosídeo (incolor), resultando numa diminuição da cor vermelha característica e o surgimento de uma coloração amarelada. Além disso, em pH acima de 7, ocorre uma alteração na absorção máxima de luz pela betanina em direção a

comprimentos de ondas maiores (HERBACH; STINTZING; CARLE, 2006; SCHWARTZ; VON ELBE, 1983).

Condições ácidas também podem ocasionar a hidrólise da betanina em ácido betalâmico e ciclo-Dopa 5-*O*- β-glicosídeo, no entanto, em menor grau, além de induzir a isomerização e a desidrogenação das moléculas do pigmento. Efeitos sobre a mudança do comprimento de onda máximo de absorção também são relatados, entretanto, pouco se sabe sobre os mecanismos que ocasionam isso (AZEREDO, 2009; HERBACH; STINTZING; CARLE, 2006).

Resultado similar foi encontrado por Attia, Moussa e Sheashea (2013), no estudo da caracterização de pigmentos vermelhos advindos de beterraba vermelha, os quais verificaram um percentual de degradação menor que 7% de betalaínas em pH entre 3 e 7, durante um intervalo de 30 minutos. Castellar et al. (2003), estudando as propriedades das betacianinas extraídas de *Opuntia*, verificaram que no intervalo de pH entre 3 e 7 ocorreu uma retenção dos pigmentos entre 100 a 96,4%. Em ambos os trabalhos, a máxima estabilidade observada foi verificada em pH 5.

4.4 Caracterização físico-química dos pós microencapsulados

Os resultados da caracterização físico-química dos pós obtidos por atomização encontram-se na Tabela 8.

Tabela 8. Caracterização físico-química dos pós microencapsulado de extrato de beterraba.

Análises	Maltodextrina DE 15	Maltodextrina DE 20
Rendimento (%)	16,889	14,767
Umidade (%)	3,806 ± 0,321 ^a	2,589 ± 0,286 ^b
Atividade de água	0,300 ± 0,002 ^a	0,299 ± 0,002 ^a
Higroscopicidade (g/100g)	11,687 ± 0,063 ^a	14,819 ± 0,489 ^a
Solubilidade (%)	94,842 ± 1,436 ^a	92,265 ± 0,090 ^a
Densidade aparente (g/mL)	0,454 ± 0,012 ^b	0,5138 0,010 ^a
Molhabilidade (min)	9,067 ± 0,189 ^a	2,475 ± 0,035 ^b
Retenção de betalaínas (%)	-	87,200 ± 0,000

Médias seguidas de mesmo expoente na mesma linha, não diferem estatisticamente a um nível de 5% pelo teste t de Student. Fonte: Autor, 2019.

4.4.1 Rendimento de microencapsulação

De acordo com Wu et al. (2014), o sucesso do processo de encapsulação de substâncias bioativas depende da máxima retenção do material bioativo no interior das microcápsulas. O rendimento de microencapsulação é o valor determinado pela eficiência para recuperar o pó do sistema, ao final do processo de secagem, sobre a quantidade de sólidos solúveis contidos nos alimentos, inicialmente. Dessa forma, o rendimento de microencapsulação é um parâmetro que estabelece a relação custo-benefício, permitindo determinar a viabilidade do processo (TUPUNA et al., 2018).

Segundo Nunes e Mercadante (2007), o rendimento do processo de secagem é influenciado pela configuração do equipamento, enquanto que a eficiência da microencapsulação está relacionada às características físico-químicas do material nuclear e do agente carreador.

Os processos de microencapsulação do extrato de beterraba apresentaram rendimentos de 16,889 e 14,767%, para as maltodextrinas de 15 e 20 DE, respectivamente. Os rendimentos de microencapsulação obtidos nesse trabalho podem ser considerados baixos se comparado a outros trabalhos os quais obtiveram rendimentos superiores a 50 %, como os encontrados por Bazaria e Kumar (2017), que verificaram valores de 67,38 e 62,43, para maltodextrinas de 10 e 20 DE.

O baixo rendimento foi causado, principalmente, pela aderência de gotículas semi-úmidas nas paredes da câmara de secagem, da aderência de pó nas paredes do filtro do ciclone e da dificultosa recuperação do pó nesse local. Fernandes, Candido e Oliveira (2012), que estudaram o processo de microencapsulação de extratos de *Lippia sidoides* por spray drying, também encontraram esses problemas durante o processo de secagem. Foi observado pelos autores, no entanto, que o aumento na temperatura de entrada no atomizador foi eficiente para diminuir a aderência das partículas no equipamento e, conseqüentemente, obter rendimentos maiores.

Rendimentos próximos ao encontrado no presente trabalho foram relatados por Poornima e Sinthiya (2017), na encapsulação de extrato de beterraba por spray drying, que encontraram valores entre 15 e 20%, variando as proporções de extrato e material de parede, assim como as temperaturas de entrada no spray dryer. .

Otálora et al. (2015) relataram rendimento de 16,4% no processo de microencapsulação de opuntia (*Opuntia ficus-indica*) por spray drying, utilizando maltodextrina de 20 DE. De acordo com os autores, o rendimento é influenciado pelo

equivalente dextrose das maltodextrinas usadas no processo de secagem, diminuindo com o aumento de DE. Esse resultado também foi encontrado por Bakowska-Barczak, Kolodziejczyk (2011); Laine et al. (2008) e Tolun, Altintas e Artik (2016), os quais reportaram menores rendimentos com maltodextrinas de maiores dextrose equivalente.

Werner, Jones e Paterson (2007), estudando os perfis de viscosidade de maltodextrinas com diferentes dextroses equivalentes (5, 10 e 18 DE), por meio de um teste de aderência por sonda durante a secagem de gotículas contendo os agentes carreadores, verificaram que as maltodextrinas de baixo DE possuem um perfil de desenvolvimento da viscosidade mais rápido que as maltodextrinas de DE mais elevado. À medida que o processo de secagem prosseguia, a adesividade passava de um estágio máximo até atingir um estágio de não aderência, e esse processo foi mais rápido nas gotículas contendo maltodextrinas de menor DE. O rápido início do estado de não aderência é o fenômeno responsável por, entre outras coisas, evitar o acúmulo de produtos nas paredes do equipamento, durante o processo de secagem, garantindo assim um maior rendimento do processo. Por esse motivo, as maltodextrinas de baixo DE são reconhecidas como agentes redutores de aderência em processos de secagem. O que pode ser observado no presente trabalho, tendo em vista que a maltodextrina de 15 DE gerou um maior rendimento.

4.4.2 Umidade

Os teores de umidade de ambas as amostras de pós apresentaram valores abaixo de 5%, que é a faixa de umidade reconhecida por garantir uma maior estabilidade aos produtos dessa natureza, segundo a *United States Pharmacopeia* (USP XXX, 2007). As amostras diferiram ao nível de 5% de significância, sendo a amostra com maltodextrina de dextrose equivalente 20, apresentando o menor valor de umidade (2,589 %).

Valores de umidade para pós microencapsulados em matrizes de maltodextrina, próximos aos encontrados no presente trabalho, foram relatados por Janiszewska (2014), na secagem de suco de beterraba, que obteve valores de 2,8 a 3,79 %, variando o fluxo de alimentação.

Bakowska-Barczak e Kolodziejczyk (2011), estudando o processo de microencapsulação de extratos de groselha preta (*Ribes nigrum* L.), em matrizes de inulina e maltodextrinas em três diferentes graus de dextrose equivalente (DE11, DE18 e DE21), pelo processo de *spray drying*, também verificaram um teor de umidade mais baixo nas amostras secas com a maltodextrina de maior DE, na temperatura de entrada de 150 °C. Rodríguez-Hernández et al. (2005), utilizando maltodextrinas (10 e 20 DE) como agentes carreadores

durante a secagem por atomização de suco de palma forrageira, também encontraram menores teores de umidade nos pós obtidos com maltodextrinas de maior valor de DE.

De acordo com Werner, Jones e Paterson (2007), existe uma relação entre o equivalente de dextrose de uma maltodextrina e a taxa de secagem de uma mistura contendo ela. Por meio de experimentos, foi possível verificar que a taxa de secagem aumenta com o aumento de DE e diminui com seu decréscimo. Esse fenômeno, segundo os autores, ocorre porque concomitante ao processo de secagem, há a formação de uma crosta que envolve as partículas, que age como barreira a difusão, cuja parede é mais eficaz em maltodextrinas de menor DE, em razão das mesmas serem constituídas por moléculas de cadeias mais longas, que criam maior resistência à transferência de massa. Além disso, maltodextrinas de maior DE, têm um perfil de transição vítreo mais baixo, sendo menos viscosas para qualquer temperatura e umidade, apresentando, dessa forma, uma maior taxa de evaporação por não exercerem tanta resistência à transferência de massa.

A umidade em pós, além do efeito considerável sobre a estabilidade química e microbiológica, influencia em algumas propriedades físicas desses produtos, como nas propriedades de escoamento e distribuição de tamanho (TELANG; THORAT, 2010). Nesse sentido, de acordo com Bazaria e Kumar (2016b), o teor de umidade é considerado uma variável importante na qualidade dos produtos particulados, por exercer influência sobre a pegajosidade e estabilidade ao armazenamento, devido entre outras coisas, por interferir nos fenômenos de transição vítrea e cristalização das partículas.

4.4.3 Atividade de água

O teor de atividade de água é um dos principais parâmetros para avaliar a qualidade de pós secos por atomização, visto que o mesmo influencia diretamente no tempo de validade dos produtos. A atividade de água pode ser definida como a razão entre a pressão de vapor do alimento e a pressão de vapor da água pura na mesma temperatura. Diferentemente do teor de umidade, que representa a fração total de água que compõe um alimento, a atividade de água mede a disponibilidade de água livre presente no alimento. Esse é um índice importante, tendo em vista que as reações bioquímicas e microbiológicas ocorrem nessa parcela de água (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010; QUEK; CHOK; SWEDLUND, 2007).

É reportado, no entanto, que teores de atividade de água menores que 0,6, são reconhecidos por proporcionar estabilidade microbiológica aos alimentos em pó, visto que as reações de deterioração que ocorrem nessa faixa de atividade de água são induzidas por

reações químicas, e não por microrganismos (QUEK; CHOK; SWEDLUND, 2007). Valores de atividade de água entre 0,20 e 0,40 podem garantir estabilidade a sistemas alimentícios particulados durante o armazenamento contra reações de escurecimento e hidrolíticas, oxidação lipídica, auto-oxidação e de atividade enzimática (MARQUES; FERREIRA; FREIRE, 2007).

Além disso, segundo Alves e Santana (2004), a atividade de água em estruturas amorfas é parâmetro importante na preservação das microestruturas, visto que a água livre em sólidos age como plastificante reduzindo a temperatura de transição vítrea e induzindo ao processo de cristalização.

As amostras dos pós microencapsulados com maltodextrinas DE15 e DE20 apresentaram atividade de água 0,300 e 0,299, respectivamente, não apresentando diferenças estatisticamente. Os resultados indicam que os pós produzidos podem ser considerados microbiologicamente e oxidativamente estáveis.

Avaliando os parâmetros (temperatura de entrada, material de parede e concentração do carreador) que afetam o processo de secagem do extrato aquoso do chá da montanha (*Sideritis stricta*), Şahin Nadeem, Torun e Özdemir (2011), verificaram que as microcápsulas produzidas com maltodextrinas de diferentes dextroses equivalentes, não diferiram quanto à atividade de água, apresentando valores de 0,301 e 0,298, para as maltodextrinas de 12 e 19 DE, respectivamente.

Valores próximos de atividade de água (entre 0,216 e 0,314) foram relatados por Carvalho et al. (2016) na obtenção de microcápsulas de extrato de Juçara (*Euterpe edulis* Martius), utilizando maltodextrinas com diferentes valores de dextrose equivalente (10, 20 e 30 DE), por spray drying. Já Mahdavee Khazaei et al. (2014), na microencapsulação de antocianinas de pétalas de açafão por spray drying, verificaram um valor de 0,289 para a atividade de água para amostras com maltodextrina de 20 DE.

Ramakrishnan et al. (2018) avaliaram os efeitos de diferentes materiais de parede no processo de secagem de suco de tamarilho, por spray drying, obtendo valor de 0,24 para atividade de água das partículas microencapsuladas por maltodextrina, valor próximo ao encontrado nesse trabalho. De acordo com os autores, baixos valores de atividade de água são desejáveis para evitar processos de aglomeração e *caking*, verificados em pós úmidos, que facilitam a degradação dos compostos bioativos e influenciam na fluidez e dispersão, diminuindo a vida útil dos pós.

4.4.4 Higroscopicidade

A higroscopicidade é uma propriedade físico-química que pode ser definida como a capacidade de um material em absorver a umidade da atmosfera circundante, ou seja, a higroscopicidade é um índice que avalia a interação entre um material e a água (ALLADA et al., 2016).

Pós contendo materiais de origem vegetal, como apontado por, Horuz, Altan e Maskan (2012), por serem ricos em componentes de baixo peso molecular (por exemplo, açúcares simples e ácidos orgânicos) possuem mais grupos hidrofílicos em suas estruturas, os quais tendem a aumentar o grau de higroscopicidade do meio onde estão presentes. Por outro lado, maltodextrinas tem alto peso molecular, se comparado a açúcares e ácidos orgânicos, e higroscopicidade relativamente menor. Dessa forma, a maltodextrina, quando usado como agente carregador em processos de secagem, possui a capacidade de diminuir a higroscopicidade de pós por aumentar o peso molecular da mistura a qual está presente. Esse fenômeno foi verificado por Oliveira, Costa e Afonso (2014), na secagem de polpa de cajá, onde as amostras de pó de polpa integral de cajá apresentaram um valor de higroscopicidade consideravelmente maior que as amostras contendo maltodextrina (20DE).

As amostras de pós estudadas, apresentaram valores de higroscopicidade de 11,687 e 14,819 g/100g, produzidas com maltodextrinas de 15 e 20 DE, respectivamente, não diferindo estatisticamente entre si. De acordo com a classificação proposta pelo GEA Niro Research Laboratory (2003), as amostras de pós podem ser classificadas como ligeiramente higroscópicas (10,1 a 15%).

A higroscopicidade é uma avaliação muito importante em alimentos secos, visto que influencia nos fenômenos de empacotamento (como aglomeração, grau de aglutinação e perda de fluidez), além de estar ligada a estabilidade química, física e microbiológica (COSTA; ROCHA; COSTA, 2014).

Estudando o processo de secagem de suco de beterraba, Bazaria e Kumar (2017), obtiveram valores de 14,20 e 17,23 g/100 g para a higroscopicidade de pós encapsulados com maltodextrinas de 10 e 20 DE, respectivamente. Valores semelhantes também foram encontrados por Carvalho et al. (2016), para a secagem de antocianinas de extrato de jussara (*Euterpe edulis* Martius), onde as higroscopicidades encontradas foram 12,12, 13,65 e 15,40 g/100, para maltodextrinas de 10, 20 e 30 DE.

Tonon, Brabet e Hubinger (2008), estudando a secagem do açaí (*Euterpe oleraceae* Mart.) e a influências das condições do processo sobre as propriedades físico-químico dos pós

obtidos, encontraram valores de higroscopicidade entre 12,48 e 15,79 g/100g. Os autores observaram também que quanto menor é teor de umidade das partículas, maior é a sua higroscopicidade, ou seja, maior é sua capacidade de adsorver a umidade do ambiente, o que está relacionado com o gradiente de concentração de água entre o produto e o ar circundante. Além disso, de acordo com Murakami (2016), maltodextrinas de maior DE, proporcionam pós mais higroscópicos em razão de um grande número de ramificações com grupos hidrofílicos em suas cadeias, os quais favorecem a adsorção de umidade do ar.

4.4.5 Solubilidade

A solubilidade é uma das principais propriedades instantâneas (molhabilidade, dispersibilidade, solubilidade) para pós encapsulados, sendo a etapa final do processo de dissolução, determinando a qualidade geral da reconstituição (FANG; SELOMULYA; CHEN, 2008; SYAMALADEVI et al., 2012). De acordo com Ortega-Rivas, (2012), a solubilidade se refere à extensão em que os componentes das partículas dos pós se dissolveram em água.

No geral, a solubilidade das maltodextrina sofre variação com o grau de ramificação das ligações glicosídicas (1→6), pela origem botânica do amido, pelo processo de obtenção e variáveis do processo (tempo de hidrólise e agitação) (COUTINHO, 2007).

Os valores de solubilidade em água dos pós apresentaram valores de 94,842 e 92,265 %, para os produzidos com maltodextrina de 15 e 20 DE, respectivamente, não diferindo entre si estatisticamente. Esses altos valores de solubilidade se devem a maltodextrina, a qual é bastante solúvel em água.

Ramakrishnan et al. (2018), reportaram valor de 92,52 % para a solubilidade das amostras microencapsuladas de suco de tamarilho, com maltodextrina, semelhante ao encontrado nesse trabalho.

Şahin Nadeem, Torun e Özdemir (2011), na secagem do extrato aquoso do chá da montanha (*Sideritis stricta*), também não verificou diferenças significativas na solubilidade dos pós produzidos com maltodextrinas de 12 e 19 DE, apresentando valores de 98,05 e 98,14 %, respectivamente. Já, Tonon, Brabet e Hubinger (2013), estudando a secagem de polpa de açaí por atomização, encontraram valores elevados de solubilidade para maltodextrinas de 10 e 20 DE, de 94,44 e 96,12 %, respectivamente, não apresentando diferenças significativas entre si.

Tupuna et al. (2018), estudando o microencapsulamento de norbixina por *spray drying*, encontraram valor de solubilidade de 95,58 %, utilizando maltodextrina de 20 DE. Segundo os autores, o grau de solubilidade dos pós depende das características específicas dos materiais de parede, não sendo influenciado pela natureza do material nuclear (hidrofílico ou hidrofóbico).

4.4.6 Densidade aparente

O valor da densidade aparente é de considerável importância para a determinação do tipo de embalagem, transporte e armazenamento que mais se adequa ao produto, além de influenciar em processos de mistura. Essa variável mostra o quanto de material, em peso, caberá em um invólucro. Pós com densidade aparente menor têm um maior volume de embalagem para a mesma quantidade de material (SANTANA et al., 2016; SYAMALADEVI et al., 2012).

No geral, a densidade aparente depende do tamanho, forma e propriedades de superfícies dos pós. Geralmente, a variável aumenta com a diminuição do tamanho das partículas de pó, pois à medida que mais partículas ocupam um dado volume, os espaços entre elas tende a diminuir. Já quanto à superfície, pós com superfícies lisas e uniformes, normalmente, têm um maior valor de densidade aparente (GRABOWSKI; TRUONG; DAUBERT, 2006; SYAMALADEVI et al., 2012).

As densidades aparentes para as amostras de extrato de beterraba apresentaram valores de $0,454 \pm 0,012$ e $0,514 \pm 0,010$, para os pós com maltodextrinas de 15 e 20 DE, respectivamente. Os valores apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$), com a amostra de maltodextrina de menor DE exibindo o menor valor. Esses resultados indicam que as amostras produzidas com maltodextrina de 15 DE possuem um maior grau de porosidade intergranular, ou seja, possuem mais espaços entre partículas, o que, conseqüentemente, acarreta na diminuição da densidade aparente. O maior número de espaços entre partículas favorece uma maior quantidade de oxigênio disponível para as reações de degradação, acelerando as perdas do composto encapsulado (TONON; BRABET; HUBINGER, 2010).

Resultados semelhantes foram relatados por Cavalcante et al. (2017), os quais obtiveram um valor de 0,53 g/mL, para a secagem de polpa de graviola em *spray dryer*, usando maltodextrina (20 DE) como agente carreador. Choi et al. (2019), encontraram valores entre 0,51 e 0,57 g/ml de pós de *Angelica gigas* atomizadas, estudando o efeito da proporção de maltodextrina e o agente bioativo.

Segundo Cai e Corke (2000), quanto menor é o valor da densidade aparente, mais ocluído é o ar dentro das partículas, e, dessa forma, maior é a possibilidade de degradação oxidativa dos pigmentos existentes, diminuindo, portanto, a estabilidade dos pós ao armazenamento. Os autores verificaram valores entre 0,52 a 0,67 g/mL para a densidade aparente de micropartículas de extrato de betacianinas extraídas de *Amaranthus*, secas por atomização, encapsuladas com maltodextrina de 15DE.

Bazaria e Kumar (2017), encontraram valores entre 0,512 a 0,549 g/mL, para micropartículas de suco de beterraba encapsuladas com maltodextrinas de diferentes dextroses, verificando que os encapsulados produzidos com a maltodextrina de menor DE (10) apresentaram o menor valor de densidade aparente em comparação com a de maior DE (20), o que segundo os autores, pode ser atribuído ao fato de maltodextrinas de maior DE possuem menor temperatura de transição vítrea, levando, conseqüentemente, a uma maior viscosidade na mistura. Esse fenômeno também foi verificado por Goula e Adamopoulos (2008), na secagem de polpa de tomate, usando maltodextrinas de 6, 12 e 21 DE.

4.4.7 Molhabilidade

A molhabilidade pode ser definida como a capacidade das partículas do pó em superar a tensão superficial entre elas e a água. Elevados valores para essa propriedade estão relacionados à alta porosidade, desde que a porosidade crítica (cujo valor varia para cada pó) não seja excedida, grandes poros para partículas grandes e pequenos ângulos de contato. Além disso, a composição química dos pós também influencia o tempo de molhabilidade, como o conteúdo de gorduras, proteínas e carboidratos em suas superfícies (CALISKAN; NURDIRIM, 2013; FANG; SELOMULYA; CHEN, 2008). Quando um produto particulado não se molha suficientemente bem, ocorre a formação de uma substância chamada “escória” e na aderência de partículas não dispersas nas paredes do recipiente (KELLY; O’CONNELL; FOX, 2003).

Visto isso, a molhabilidade é uma propriedade almejada para o desenvolvimento de alimentos em pó, uma vez que quanto maior é a molhabilidade de um produto, mais rápido ele se dissolverá e poderá ser consumido (ROCHA et al., 2019).

Os tempos de molhabilidade apresentaram valores de $9,067 \pm 0,189$ e $2,475 \pm 0,035$ minutos para as amostras de pós com maltodextrina de 15 e 20 DE, respectivamente, diferindo estatisticamente entre si, a um nível de 5% de significância.

De acordo com Vissotto et al. (2006), partículas de maiores dimensões, que apresentam grandes espaços intersticiais e formas irregulares, tendem a ter menores tempos de molhabilidade, e de forma contrária, partículas pequenas e simétricas, que acarretam redução dos espaços interstícios, tendem a ter maiores tempos de molhabilidade, devido à dificuldade da água penetrar. Esse fenômeno foi verificado pelos trabalhos de Ferrari et al. (2012) e Gong et al. (2008).

Embora as amostras de partículas microencapsuladas com maltodextrina de 15 DE tenham apresentado menores densidades aparentes, o que teoricamente indica uma maior porosidade, as mesmas possuíram um maior tempo de molhabilidade, comparadas as amostras com maltodextrina de 20 DE. Esse resultado também foi verificado por Oliveira et al. (2015), que estudaram a estabilidade da polpa do mandacaru (*Cereus jamacaru*) aspersada, durante o armazenamento por 30 dias, verificando que o tempo de molhabilidade foi inferior, em todos os seis pontos avaliados, para as partículas contendo maltodextrina de 14 DE, em relação as que continham maltodextrina de 10 DE.

Resultado semelhante também foi encontrado por Tonon (2009), na secagem de suco de açaí por atomização, a qual verificou tempos de 8,61 e 6,23 minutos para os pós microencapsulados com maltodextrinas de 10 e 20 DE, respectivamente. Como nesse trabalho, apesar das amostras com maltodextrina de 20 DE apresentarem uma maior porosidade que as de 10 DE, as primeiras tiveram um menor tempo de molhabilidade. Como apontado pela autora, é possível a existência de poros descontínuos nas partículas, impedindo o deslocamento da água. Quando há a existência de poros interligados, o deslocamento dos fluidos favorece menores tempos de molhabilidade.

Takeiti (2007), caracterizando morfologicamente e físico-quimicamente maltodextrinas comerciais com diferentes graus de dextrose equivalente e de diferentes fabricantes, verificou que existia uma tendência de redução dos tempos de molhabilidade com o aumento do grau de hidrólise dos amidos (DE). Segundo o autor, características morfológicas e efeitos de capilaridade, são os responsáveis pelos tempos de molhabilidade.

Segundo Shittu e Lawal (2007), as propriedades de instantaneização, como a molhabilidade, são resultantes de fatores como as propriedades químicas e físicas dos produtos, além de serem afetadas pela distribuição do tamanho das partículas, sendo não linear a relação dessas propriedades. Além disso, segundo os autores, a molhabilidade, das principais propriedades de instantaneização existentes, é a que possui o comportamento mais

complexo de predizer, o que se deve, provavelmente, à natureza complexa do sistema de poros existentes nos pós, que favorece um comportamento irregular de penetração pelos fluidos.

4.4.8 Retenção de betalaínas

Os pós microencapsulados com maltodextrina de 20 DE apresentaram um valor para a retenção de betalaínas de 87,2% ao final do processo de secagem. Resultado similar foi verificado por Pitalua et al. (2010), os quais estudaram o processo de microencapsulação de suco de beterraba usando goma arábica, encontrando um valor de 88,2% nas microcápsulas. Retenção acima de 80% também foi relatado por Silva et al. (2013), os quais encapsularam antocianinas advindas de jaboticaba por *spray drying*, utilizando diversos agentes carreadores, incluindo maltodextrinas.

A capacidade de retenção de compostos bioativos é um dos principais motivos para a aplicação de agentes carreadores nos processos de secagem, uma vez que possibilita a introdução de uma quantidade considerável desses compostos, comparada àquela presente nas fontes vegetais primárias, em matrizes alimentares sob uma forma mais estável (CARMO, 2017).

Não foi possível determinar o teor de retenção de betalaínas nas amostras de pós microencapsulados com maltodextrina de 15 DE, visto que o resultado apresentou um valor superestimado, em discordância com a literatura existente. Dentre as razões possíveis para esse resultado, está a possível degradação das betalaínas presentes na solução de alimentação com maltodextrina de 15 DE, quando a mesma foi refeita para a análise de retenção. No entanto, é esperado também um alto valor de retenção para as betalaínas, visto que a mesma apresentou valores próximos nos parâmetros de cor com as amostras com maltodextrina de 20 DE, inclusive, mostrando um menor valor para a luminosidade, o que segundo Barbosa (2010), indica uma menor perda de pigmentos após o processo de atomização. Resultados da literatura também indicam uma grande retenção de compostos bioativos por maltodextrinas de 15 DE, o que, a título de exemplo, pode-se citar os valores encontrados por Cai e Corke (2000), onde foram verificados retenção de 97,23% nos teores de betacianinas nas microcápsulas, após o processo de microencapsulação.

4.4.9 Análise de cor

Os dados da análise de cor encontram-se na Tabela 8.

Tabela 9. Parâmetros da análise de cor nos pós microencapsulados.

Análise da cor	Maltodextrina 15 DE	Maltodextrina 20 DE
L*	28,033 ± 0,416 ^b	31,800 ± 0,819 ^a
a*	9,733 ± 1,474 ^a	10,667 ± 0,896 ^a
b*	-0,400 ± 0,624 ^a	-0,300 ± 0,693 ^a
H°	-2,549 ± 3,809 ^a	-1,505 ± 3,766 ^a
C*	9,756 ± 1,462 ^a	10,686 ± 0,898 ^a
ΔE	8,693 ± 1,604 ^a	4,278 ± 0,888 ^b

Médias seguidas de mesmo expoente na mesma linha, não diferem estatisticamente a um nível de 5% pelo teste t de Student. Fonte: Autor, 2019.

A cor é um importante índice de qualidade dos pós alimentícios, pois reflete a sua atratividade sensorial, visto que embora um alimento funcional possa trazer benefícios a saúde dos consumidores, a facilidade com o qual será comercializado passa pelo crivo da atração visual que o mesmo proporciona (CALISKAN; NUR DIRIM, 2013; QUEK; CHOK; SWEDLUND, 2007).

O parâmetro L* apresentou valores de 28,033 e 31,8 para as amostras encapsuladas com maltodextrina de 15 e 20 DE, respectivamente, apresentando diferença significativa a um nível de 5%. O parâmetro L* mede a luminosidade da amostra, ou seja, a capacidade de refletir luz, maiores valores de L* indicam cores mais claras. Dessa maneira, pode-se inferir que a amostra produzida com maltodextrina de 20 DE apresentou uma coloração mais clara em relação a outra. Barbosa (2010), estudando a secagem por atomização de suco de frutas, também verificou uma maior luminosidade nas amostras de pós contendo maltodextrina de 20 DE do que nas de 10 DE ao final da secagem. Segundo o autor, o aumento de luminosidade em amostras de pós pode ter relação com a perda do pigmento durante o processo de atomização.

Os valores das coordenadas a* e b* para ambas as amostras de pós não apresentaram diferenças estatísticas entre si. A coordenada a*, que mede a tendência da cor para o vermelho e verde (+a* vermelho e -a* verde), indicou uma tonalidade vermelha para as amostras, o que se deve ao extrato de beterraba. Já a coordenada b*, que mede a tendência para o amarelo e azul (+b* amarelo e -b* azul), mostrou uma fraca tonalidade das amostras em direção ao azul.

O ângulo de tonalidade (H°) é o atributo relacionado a percepção da cor, a qual pode ser considerada vermelha, laranja, amarela, verde, azul, púrpura ou intermediária entre pares adjacentes destes. O H° verificado nas amostras apresentou valores de -2,549 e -1,505°, para os pós microencapsulados com maltodextrinas de 15 e 20 DE, não apresentando diferenças

significativas. De acordo com Jiménez-Aguilar et al. (2011), estudando o processo de secagem de extrato de mirtilo por *spray drying*, valores de H° abaixo de $\pm 10^{\circ}$ caracteriza tonalidade vermelha em pós.

O valor da saturação (C^*), que mede a proporção que uma cor está misturada com branco, preto e cinza, também não apresentou diferença significativa entre as amostras. O valor da C^* foi próximo ao relatado por Ravichandran et al. (2014), na obtenção de pós de extrato de beterraba, por *spray drying*, usando maltodextrina de 20 DE como agente carreador.

A diferença entre as cores pode ser descrita pela distância total entre essas duas cores no espaço tridimensional do CIELab (ΔE). As amostras de pós microencapsulados com maltodextrinas de 15 e 20 DE, apresentaram valores de ΔE de 8,693 e 4,278, em relação a solução de alimentação, respectivamente. Portanto, a amostra de menor DE apresentou a maior diferença global após o processo de secagem. Um baixo valor de diferença de cor para amostras de pigmentos microencapsulados é muito desejável, visto que isso indica a manutenção da cor original do extrato do qual o pó se originou.

Obón, Castellar, e Alacid (2015), criaram uma escala para avaliar a diferença de cores entre amostras. Segundo os autores, uma ΔE entre 0 e 1,5 indica uma diferença muito pequena entre as amostras, podendo dessa forma considerar as amostras quase idênticas através da observação. Um valor de ΔE entre 1,5 a 5, indica que a diferença de cor das amostras pode ser distinguida, e, por fim, um valor de ΔE maior do que 5 indica uma diferença de cor evidente. Dessa forma, as diferenças das cores para as amostras de maltodextrina de 15 e 20 DE podem ser classificadas como evidente e distinguível, respectivamente.

Rodríguez-Hernández et al. (2005), estudando o processo de secagem por *spray drying* de suco de *cactus pear*, utilizando maltodextrinas de 10 e 20 DE como agente carreador, verificaram uma diferença global entre 6,7 a 9,8 para as amostras solubilizadas e o suco original, não relatando diferenças significativas entre as amostras de diferentes DE. Os autores nesse estudo, verificaram que a diferença de cor entre as amostras teve mais relação com o aumento da concentração da maltodextrina do que pelo escurecimento ocasionado pelo processo de secagem. Efeito similar também foi encontrado por Horuz, Altan Maskan (2012), onde o efeito da concentração das maltodextrinas foi mais elevado que a temperatura, durante a secagem de suco de romã.

Estudando o efeito da maltodextrina de diferentes dextroses equivalentes e da goma arábica, Bazaria e Kumar (2017) verificaram que a associação da maltodextrina com goma arábica possibilitou a menor ΔE entre todos os pós produzidos com maltodextrina (10 e 20 DE) e com a maltodextrina de menor DE em conjunto com goma arábica.

5 CONCLUSÃO

Os pigmentos naturais apresentam diversas fragilidades a múltiplos fatores, o que ocasiona a inviabilidade desses compostos em escala comercial, estudos sobre técnicas que aumentem estabilidade de suas estruturas, como a microencapsulação, é de fundamental importância para a mudança desse cenário.

Como nesse trabalho, é essencial discutir as melhores condições do processo de microencapsulação, como a escolha do material de parede, suas concentrações, as propriedades físico-químicas obtidas nos pós para cada condição estabelecida, além de procurar conhecer mais profundamente os mecanismos que ditam a estabilidade do pigmento. Sendo assim, segue as principais conclusões obtidas no trabalho.

O processo de extração aplicado nas beterrabas obteve teor de betalaínas nos extratos em quantidade satisfatória, além de conservar o pH natural das beterrabas, o que garantiu uma melhor estabilidade aos pigmentos.

A análise de estabilidade a temperatura mostrou que as betacianinas apresentam um comportamento de cinética de primeira ordem quando expostas a altas temperaturas, indicando uma maior estabilidade entre as temperaturas de 50 e 60 °C. Quanto ao pH, foi verificado uma maior estabilidade entre os pH 4 e 6, com valor máximo em pH 5, à temperatura ambiente.

Os pós obtidos pelo processo de microencapsulação apresentaram valores de umidade e atividade de água compatíveis com os que a literatura recomenda para garantir estabilidade física, química e biológica. Além de apresentarem valores de higroscopicidade e solubilidade adequados para a utilização comercial. As diferenças na dextrose equivalente das maltodextrinas afetou alguns parâmetros físico-químicos, como a umidade, a densidade aparente e a molhabilidade, com as amostras contendo maltodextrina de maior DE apresentando resultados mais satisfatórios nesses parâmetros. Contudo, foi avaliado que o processo de secagem com maltodextrina de menor DE, apresentou um leve rendimento superior.

A análise da retenção de betalaínas mostrou que uma grande quantidade de pigmento ficou retido na matriz polimérica produzido pela maltodextrina de 20 DE, indicando, desta forma, que o processo de microencapsulação é viável para a estabilização desses pigmentos.

A técnica de microencapsulação, conforme os parâmetros avaliados, mostra-se eficiente para a produção de micropartículas de valor para a aplicações em sistemas

alimentícios, visto suas propriedades físico-químicas desejáveis e a grande retenção de betalaínas atingida.

REFERÊNCIAS

- ADHIKARI, B. et al. Effect of addition of maltodextrin on drying kinetics and stickiness of sugar and acid-rich foods during convective drying: Experiments and modelling. **Journal of Food Engineering**, v. 62, n. 1, p. 53–68, 2004.
- AGNIHOTRI, N. et al. Microencapsulation – A Novel Approach in Drug Delivery : A Review. **Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 2, n. 1, p. 1–20, 2012.
- ALLADA, R. et al. Hygroscopicity categorization of pharmaceutical solids by gravimetric analysis: a systematic approach. **Asian Journal of Pharmaceutics**, v. 10, n. 4, p. 279, 2016.
- ALMEIDA, J. C. et al. Obtenção de corante do repolho roxo (Brassica oleracea) por dois métodos de extração. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 10, n. 3, p. 47–51, 2015.
- ALVES, A. C. B.; MONTEIRO, L. B.; POMPEU, D. R. Otimização da extração sólido-líquido de compostos fenólicos totais e betalaínas da casca de frutos de pitaya (Hylocereus polyrhizus). **Revista brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 12, n. 1, p. 2556–2577, 2018.
- ALVES, G. P.; SANTANA, M. H. A. Phospholipid dry powders produced by spray drying processing: Structural, thermodynamic and physical properties. **Powder Technology**, v. 145, n. 2, p. 139–148, 2004.
- AQUINO, L. A. et al. Produtividade, qualidade e estado nutricional da beterraba de mesa em função de doses de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, v. 24, n. 2, p. 199–203, 2006.
- ARSHADY, R. Microcapsules for food. **Journal of Microencapsulation**, v. 10, n. 4, p. 413–435, 1993.
- ATTIA, G. Y.; MOUSSA, M. E. M.; SHEASHEA, E. R. Characterization of Red Pigments Extracted From Red Beet (Beta Vulgaris, L.) and Its Potential Uses As Antioxidant and Natural Food Colorants. **Egypt. J. Agric. Res**, v. 91, n. 3, p. 1095–1110, 2013.
- ATTOE, E. L.; VON ELBE, J. H. Oxygen Involvement in Betanine Degradation: Effect of Antioxidants. **Journal of Food Science**, v. 50, n. 1, p. 106–110, 1985.
- AZEREDO, H. M. C. et al. Betacyanin stability during processing and storage of a microencapsulated red beetroot extract. **American Journal of Food Technology**, 2007.

- AZEREDO, H. M. C. Betalains: Properties, sources, applications, and stability - A review. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 44, n. 12, p. 2365–2376, 2009.
- BAKER, R. W. **Controlled release of biologically active agents**. New Yor: John Wiley & Sons, 1987.
- BAKOWSKA-BARCZAK, A. M.; KOŁODZIEJCZYK, P. P. Black currant polyphenols : Their storage stability and microencapsulation. **Industrial Crops and Products**, v. 34, p. 1301–1309, 2011.
- BARBOSA, S. J. **Qualidade de suco em pó de mistura de frutas obtido por spray drying**. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal no Semiárido). Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semiárido, Universidade Estadual de Monte Carlos, Janaúba, 2010.
- BASTOS, B. M. et al. Avaliação da cinética de degradação térmica de betalaínas extraídas de *Beta vulgaris* L. **Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química - COBEQ 2014**, v. 1, n. 2, p. 3916–3923, 2015.
- BAZARIA, B.; KUMAR, P. Compositional Changes in Functional Attributes of Vacuum Concentrated Beetroot Juice. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 40, n. 6, p. 1215–1222, 2016a.
- BAZARIA, B.; KUMAR, P. Effect of whey protein concentrate as drying aid and drying parameters on physicochemical and functional properties of spray dried beetroot juice concentrate. **Food Bioscience**, v. 14, p. 21–27, 2016b.
- BAZARIA, B.; KUMAR, P. Effect of dextrose equivalency of maltodextrin together with Arabic gum on properties of encapsulated beetroot juice. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 11, n. 1, p. 156–163, 2017.
- BHANDARI, B. R. et al. Spray drying of concentrated fruit juices. **Drying Technology: An International Journal**, v. 11, n. 5, p. 1081–1092, 1993.
- BIONDO, P. B. F. et al. Evaluation of beetroot (*Beta vulgaris* L.) leaves during its developmental stages: a chemical composition study. **Food Science and Technology (Campinas)**, v. 34, n. 1, p. 94–101, 2014.
- BRAGA, M. E. M. **Obtenção de compostos bioativos de *Curcuma longa* L. e *Lippia alba* M. por tecnologia supercrítica: rendimento global, cinética de extração, composição química e aproveitamento do resíduo amiláceo**. Tese (Doutorado em Engenharia de

Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

BROCKINGTON, S. F. et al. Complex pigment evolution in the. **New Phytologist**, p. 854–864, 2011.

BROCKINGTON, S. F. et al. Lineage-specific gene radiations underlie the evolution of novel betalain pigmentation in Caryophyllales. **New Phytologist**, v. 207, n. 4, p. 1170–1180, 2015.

CAI, Y. Z.; CORKE, H. Production and Properties of Spray-dried Amaranthus Betacyanin Pigments. **Journal of sensory and nutritive qualities of food**, v. 65, n. 3600, p. 1248–1252, 2000.

CALISKAN, G.; NUR DIRIM, S. The effects of the different drying conditions and the amounts of maltodextrin addition during spray drying of sumac extract. **Food and Bioproducts Processing**, v. 91, n. 4, p. 539–548, 2013.

CANO-CHAUCA, M. et al. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 6, n. 4, p. 420–428, 2005.

CARMO, E. L. C. Secagem por atomização de suco de beterraba (*Beta vulgaris*) utilizando diferentes condições operacionais. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Alimentos). Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, área de concentração em Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Lavras, 2017.

CARVALHO, A. G. S. et al. Physical properties and morphology of spray dried microparticles containing anthocyanins of jussara (*Euterpe edulis* Martius) extract. **Powder Technology**, v. 294, p. 421–428, 2016.

CASTELLAR, R. et al. Color Properties and Stability of Betacyanins from Opuntia. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, n. 9, p. 2772–2776, 2003.

CAVALCANTE, C. E. B. et al. Avaliação dos parâmetros de secagem da polpa de graviola em pó obtida por secagem em spray dryer. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, 2017.

CECCHI, H. M. **Fundamentos teóricos e práticos em análises de alimentos**. 2. ed. Campinas: Editora da Unicamp, 2003.

CHHIKARA, N. et al. Nutritional, Physicochemical and Functional Quality of Beetroot (*Beta*

- vulgaris* L.) Incorporated Asian Noodles. **Cereal Chemistry**, p. 0–3, 2018.
- CHHIKARA, N. et al. Bioactive compounds of beetroot and utilization in food processing industry: A critical review. **Food Chemistry**, v. 272, p. 192–200, 2019.
- CHIRINOS, R. et al. Pětiletá retrospektivní studie léčby glaukomu latanoprostem. **Separation and Purification Technology**, v. 55, n. 1, p. 217–225, 2007.
- CHITARRA, M.I.F, CHITARRA, A. . **Pós-colheita de frutos e hortaliças: Fisiologia e manuseio**. 2. ed. Lavras - MG: Editora UFLA, 2005.
- CHITARRA, M. I. F. **Processamento mínimo de Frutos e Hortaliças**. Viçosa-MG: CPT, 2007.
- CHOI, K. O. et al. Functional enhancement of ultrafine *Angelica gigas* powder by spray-drying microencapsulation. **Lwt**, v. 101, p. 161–166, 2019.
- CISSÉ, M. et al. Aqueous extraction of anthocyanins from *Hibiscus sabdariffa*: Experimental kinetics and modeling. **Journal of Food Engineering**, v. 109, n. 1, p. 16–21, 2012.
- CLIFFORD, T. et al. The potential benefits of red beetroot supplementation in health and disease. **Nutrients**, v. 7, n. 4, p. 2801–2822, 2015.
- COSTA, J. P.; ROCHA, É. M. F. F.; COSTA, J. M. C. Study of the physicochemical characteristics of soursop powder obtained by spray-drying. **Food Science and Technology**, v. 34, n. 4, p. 663–666, 2014.
- COUTINHO, A. P. C. **Produção e caracterização de maltodextrinas a partir de amidos de mandioca e batata-doce**. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho", Botucatu, 2007.
- CUCHINSKI, A. S.; CAETANO, J.; DRAGUNSKI, D. C. Extração do corante da beterraba (*Beta vulgaris*) para utilização como indicador ácido-base. **Ecletica Química**, v. 35, n. 4, p. 17–23, 2010.
- DAMODARAN, S.; PARKIN, K.; FENNEMA, O. **Química de Alimentos de Fennema**. 4^o Edição ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.
- DAS, S. et al. Beet Root Juice Promotes Apoptosis in Oncogenic MDA-MB-231 Cells While Protecting Cardiomyocytes Under Doxorubicin Treatment. **The Journal of Experimental Secondary Science**, v. 2, p. 1–6, 2013.
- DELGADO-VARGAS, F.; JIMÉNEZ, A. R.; PAREDES-LÓPEZ, O. Critical Reviews in

- Food Science and Nutrition Natural Pigments : Carotenoids , Anthocyanins , and Natural Pigments : Carotenoids , Anthocyanins , and Betalains — Characteristics , Biosynthesis , Processing , and Stability. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 40, n. 3, p. 173-289, 2000.
- DESAI, K. G. H.; PARK, H. J. Recent Developments in Microencapsulation of Food Ingredients. **Drying Technology: An International Journal**, v. 23, n. 7, p. 1361–1394, 2005.
- DUBEY, R.; SHAMI, T. C.; RAO., K. U. B. Microencapsulation Technology and Applications. **Defence Science Journal**, v. 59, n. 1, p. 82–95, 2009.
- ESCRIBANO, J. Characterization of the antiradical activity of betalains from Beta vulgaris L. roots. **Phytochemical Analysis**, v. 9, n. 3, p. 124–127, 1998.
- ESCRIBANO, J. et al. Subcellular localization and isoenzyme pattern of peroxidase and polyphenol oxidase in beet root (Beta vulgaris L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, n. 21, p. 6123–6129, 2002.
- ESTEVEZ, L. C. **Estudo cinético da hidrólise de betalaínas-modelo**. Dissertação (Mestrado em Química) - Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.
- ESTEVINHO, B. N.; ROCHA, F. Application of Biopolymers in Microencapsulation Processes. **Biopolymers for Food**. Elsevier. p. 191-222, 2007.
- FANG, Y.; SELOMULYA, C.; CHEN, X. D. On Measurement of food powder reconstitution properties. **Drying Technology**, v. 26, n. 1, p. 3–14, 2008.
- FANG, Z.; BHANDARI, B. Encapsulation of polyphenols - A review. **Trends in Food Science and Technology**, v. 21, n. 10, p. 510–523, 2010.
- FATHORDOOBADY, F. et al. Effect of solvent type and ratio on betacyanins and antioxidant activity of extracts from Hylocereus polyrhizus flesh and peel by supercritical fluid extraction and solvent extraction. **Food Chemistry**, v. 202, p. 70–80, 2016.
- FAVARO-TRINDADE, C. S.; PINHO, S. C. DE. Revisão : Microencapsulação de ingredientes alimentícios. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 11, p. 103–112, 2008.
- FERNANDES, L. P.; CANDIDO, R. C.; OLIVEIRA, W. P. Spray drying microencapsulation of Lippia sidoides extracts in carbohydrate blends. **Food and Bioproducts Processing**, v. 90, n. 3, p. 425–432, 2012.

FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J. A. et al. Thermal Stability of Selected Natural Red Extracts Used as Food Colorants. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 68, n. 1, p. 11–17, 2013.

FERRARI, C. C. et al. Influence of carrier agents on the physicochemical properties of blackberry powder produced by spray drying. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 47, n. 6, p. 1237–1245, 2012.

FERREIRA, N. A. **Aproveitamento de resíduos do processamento mínimo de beterraba: elaboração de produtos tecnológicos, avaliação sensorial, físico-química e de compostos funcionais**. Dissertação (Mestrado em Nutrição Humana). Faculdade de Ciências da Saúde, Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

FRITZEN-FREIRE, C. B. et al. Microencapsulation of bifidobacteria by spray drying in the presence of prebiotics. **Food Research International**, v. 45, n. 1, p. 306–312, 2012.

FUCHS, M. et al. Encapsulation of oil in powder using spray drying and fluidised bed agglomeration. **Journal of Food Engineering**, v. 75, n. 1, p. 27–35, 2006.

GEA NIRO RESEARCH LABORATORY. **Analytical methods dry milk products (Niro Analytical Methods, No. 15 a)** Soeborg, 2003.

GENGATHARAN, A.; DYKES, G. A.; CHOO, W. S. Betalains: Natural plant pigments with potential application in functional foods. **LWT - Food Science and Technology**, v. 64, n. 2, p. 645–649, 2015.

GEORGIEVA, V.; ZVEZDOVA, D.; VLAEV, L. Non-isothermal kinetics of thermal degradation of chitosan. **Chemistry Central journal**, v. 6, n. 1, p. 81, 2012.

GHARSALLAOUI, A. et al. Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. **Food Research International**, v. 40, n. 9, p. 1107–1121, 2007.

GIBBS, B. F. et al. Encapsulation in the food industry - a review. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v. 50, p. 213–224, 1999.

GOHEL, M. et al. Spray Drying : A Review. In: **Pharmaceutical Reviews..** v. 7 p. 1-24, 2009

GONÇALVES, L. C. P. et al. Effect of dielectric microwave heating on the color and antiradical capacity of betanin. **Journal of Food Engineering**, v. 118, n. 1, p. 49–55, 2013.

GONÇALVES, L. C. P. et al. Betalaínas: Das cores das beterrabas à fluorescência das flores. **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 1, p. 292–309, 2015.

- GONG, Z. et al. Spray drying and agglomeration of instant bayberry powder. **Drying Technology**, v. 26, n. 1, p. 116–121, 2008.
- GORBUNOVA, N. et al. Alginate-based encapsulation of extracts from beta Vulgaris cv. beet greens: Stability and controlled release under simulated gastrointestinal conditions. **Lwt**, v. 93, p. 442–449, 2018.
- GOULA, A. M.; ADAMOPOULOS, K. G. Effect of maltodextrin addition during spray drying of tomato pulp in dehumidified air: II. powder properties. **Drying Technology**, v. 26, n. 6, p. 726–737, 2008.
- GOULA, A. M.; ADAMOPOULOS, K. G.; KAZAKIS, N. A. Influence of Spray Drying Conditions on Tomato Powder Properties. **Drying Technology: An International Journal**, v. 22, n. 5, p. 1129–1151, 2004.
- GRABOWSKI, J. A.; TRUONG, V. D.; DAUBERT, C. R. Spray-drying of amylase hydrolyzed sweetpotato puree and physicochemical properties of powder. **Journal of Food Science**, v. 71, n. 5, 2006.
- HAVLÍKOVÁ, L.; MIKOVÁ, K.; KYZLINK, V. Heat stability of betacyanins. **Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung**, v. 177, n. 4, p. 247–250, 1983.
- HERBACH, K. M.; STINTZING, F. C.; CARLE, R. Betalain stability and degradation - Structural and chromatic aspects. **Journal of Food Science**, v. 71, n. 4, p. 41–50, 2006.
- HERNANDES, N. K. **Aplicação de baixas doses de radiação gama para extensão da vida útil de beterraba vermelha (Beta vulgaris ssp. vulgaris L.), cv. early wonder, minimamente processada**. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.
- HORUZ, E.; ALTAN, A.; MASKAN, M. Spray Drying and Process Optimization of Unclarified Pomegranate (*Punica granatum*) Juice. **Drying Technology**, v. 30, n. 7, p. 787–798, 2012.
- HUANG, A. S.; ELBE, J. H. V. Effect of pH on the Degradation and Regeneration of Betanine. **Journal of Food Science**, v. 52, n. 6, p. 1689–1693, 1987.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. Coordenadores Odair Zenebron, Neus Sadocco Pascuet e Paulo Tiglea. 4. ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. 1020 p. Primeira edição digital.

- JACKSON, L. S.; LEE, K. Microencapsulation in the food industry. **Food Science and Technology – LWT**, v. 24, n. 4, p. 289–297, 1991.
- JANISZEWSKA, E. Microencapsulated beetroot juice as a potential source of betalain. **Powder Technology**. v. 264, p. 190-196, 2014.
- JIMÉNEZ-AGUILAR, D. M. et al. Color and chemical stability of spray-dried blueberry extract using mesquite gum as wall material. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 24, n. 6, p. 889–894, 2011.
- KALE, R. et al. Studies on evaluation of physical and chemical composition of beetroot (*Beta vulgaris* L.). **International Journal of Chemical Studies**, v. 6, n. 2, p. 2977–2979, 2018.
- KANDANSAMY, K.; SOMASUNDARAM, P. D. Microencapsulation of colors by spray drying-A review. **International Journal of Food Engineering**, v. 8, n. 2, 2012.
- KAPADIA, G. J. et al. Synergistic cytotoxicity of red beetroot (*Beta vulgaris* L.) extract with doxorubicin in human pancreatic, breast and prostate cancer cell lines. **Journal of Complementary and Integrative Medicine**, v. 10, n. 1, 2013.
- KEARSLEY, M. W. .; KATSABOXAKIS, K. Z. Stability and use of natural colours in foods. **Journal of Food Technology**, v. 15, p. 501–514, 1980.
- KEARSLEY, M. W.; DZIEDZIC, S. Z. **Handbook of Starch Hydrolysis Products and their Derivatives**. Glasgow. SPRINGER-SCIENCE+BUSINESS MEDIA, B.V., 1995.
- KELLY, A. L.; O'CONNELL, J. E.; FOX, P. F. Manufacture and properties of milk powders. v. 1, 2003.
- KESHANI, S. et al. Spray drying: An overview on wall deposition, process and modeling. **Journal of Food Engineering**, v. 146, p. 152–162, 2015.
- KHAN, M. I. Stabilization of betalains: A review. **Food Chemistry**, v. 197, p. 1280–1285, 2016.
- KUJALA, T. S. et al. Phenolics and betacyanins in red beetroot (*Beta vulgaris*) root: Distribution and effect of cold storage on the content of total phenolics and three individual compounds. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 48, n. 11, p. 5338–5342, 2000.
- KUJALA, T. S. et al. Betalain and phenolic compositions of four beetroot (*Beta vulgaris*) cultivars. **European Food Research and Technology**, v. 214, n. 6, p. 505–510, 2002.

- LAINE, P. et al. Storage stability of microencapsulated cloudberry (*Rubus chamaemorus*) phenolics. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 56, n. 23, p. 11251–11261, 2008.
- LANGE, W. Taxonomy and cultonomy of beet (*Beta vulgaris* L.). **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 130, n. 1, p. 81–96, 1999.
- MABIT, J. et al. Development of a time temperature integrator for quantification of thermal treatment in scraped surface heat exchangers. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 9, n. 4, p. 516–526, 2008.
- MAHDAVEE KHAZAEI, K. et al. Application of maltodextrin and gum Arabic in microencapsulation of saffron petal's anthocyanins and evaluating their storage stability and color. **Carbohydrate Polymers**, v. 105, n. 1, p. 57–62, 2014.
- MAIA, S. E. S. Obtenção de pó misto de Umbu e Acerola por atomização e sua estabilidade. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Recife, 2017.
- MANSOUR, R. Natural Dyes and Pigments : Extraction and Applications. In: **Handbook of Renewable Materials for Coloration & Finishing**. p. 75–102, 2018.
- MARQUES, L. G.; FERREIRA, M. C.; FREIRE, J. T. Freeze-drying of acerola (*Malpighia glabra* L.). **Chemical Engineering and Processing**, v. 46, p. 451–457, 2007.
- MARTINUS, A. J. S.; BOEKEL, V. Kinetic Modeling of Food Quality : A Critical Review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 7, 2008.
- MAXIMAS H. ROSE, P. N. S. AND K. S. Effect of Antioxidants and Hepatoprotective Activities of Methanol Extract of Beet Root (*Beta Vulgaris* L.) Against Carbon Tetrachloride Induced Hepatotoxicity in Rat Models. **International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research**, v. 5, n. 6, p. 2536–2545, 2014.
- MELLO, F. R. **Avaliação das características físico-químicas e atividade antioxidante da pitaya e determinação do potencial do mesocarpo como corante natural para alimentos**. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2014.
- MENDI, S. D.; PETERS, B.; KAMGA, P. T. The Effects of pH and Heat Treatment

Processing on the Stability of Natural Food Colours used in Dairy Products. **Journal of Food Technology in Africa**, 2000.

MERCALI, G. D. et al. Degradation kinetics of anthocyanins in acerola pulp: Comparison between ohmic and conventional heat treatment. **Food Chemistry**, v. 136, n. 2, p. 853–857, 2013.

MERCALI, G. D. et al. Evaluation of non-thermal effects of electricity on anthocyanin degradation during ohmic heating of jaboticaba (*Myrciaria cauliflora*) juice. **Food Chemistry**, v. 171, p. 200–205, 2015.

MOLLAN, M. J. et al. **MALTODEXTRIN**. Analytical Profiles of Drug Substances and Excipients, v. 24. Piscataway, 1996.

MORTENSEN, A. Carotenoids and other pigments as natural colorants. **Pure and Applied Chemistry**, v. 78, n. 8, p. 1477–1491, 2006.

MURAKAMI, A. N. N. **Efeito da nanofiltração e da microencapsulação por spray drying na estabilidade dos compostos bioativos do extrato aquoso de Ilex paraguariensis A. ST. HIL.** Tese (Doutorado em Ciências de Alimentos) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2016.

NAKASHIMA, K. K. **Estudo do mecanismo de ação antirradicalar de betalaínas.** Dissertação (Mestrado em Química) - Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

NEELWARNE, B. **Red Beet Biotechnology**. Springer. Nova York v. 1. 2013.

NUNES, I. L.; MERCADANTE, A. Z. Encapsulation of Lycopene Using Spray-Drying and Molecular Inclusion Processes. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 50, n. 5, p. 893–900, 2007.

OBÓN, J. M.; CASTELLAR, M. R.; ALACID, M. A Divinity for All Persuasions: Almanacs and Early American Religious Life. **Journal of American History**, v. 102, n. 2, p. 533–534, 2015.

OLIVEIRA, A. DA S. et al. Estabilidade da polpa do *Cereus jamacaru* em pó durante o armazenamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 2, p. 147–153, 2015.

OLIVEIRA, G. S.; COSTA, J. M. C. DA; AFONSO, M. R. A. Caracterização e

comportamento higroscópico do pó da polpa de cajá liofilizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 10, p. 1059–1064, 2014.

OLIVEIRA, O. W.; PETROVICK, P. R. Secagem por aspersão (spray drying) de extratos vegetais: Bases e aplicações. **Brazilian Journal of Pharmacognosy**, v. 20, n. 4, p. 641–650, 2010.

ORTEGA-RIVAS, E. Characterization and Processing Relevance of Food Particulate Materials. **Particle & Particle Systems Characterization**, v. 29, p. 1–12, 2012.

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

PAULO, F.; SANTOS, L. Design of experiments for microencapsulation applications: A review. **Materials Science and Engineering C**, v. 77, p. 1327–1340, 2017.

PERON, D. V.; FRAGA, S.; ANTELO, F. Thermal degradation kinetics of anthocyanins extracted from juçara (*Euterpe edulis* Martius) and “Italia” grapes (*Vitis vinifera* L.), and the effect of heating on the antioxidant capacity. **Food Chemistry**, v. 232, n. 1, p. 836–840, 2017.

PINELO, M. et al. Extraction of antioxidant phenolics from almond hulls (*Prunus amygdalus*) and pine sawdust (*Pinus pinaster*). **Food Chemistry**, v. 85, n. 2, p. 267–273, 2004.

PITALUA, E. et al. Antioxidative activity of microcapsules with beetroot juice using gum Arabic as wall material. **Food and Bioproducts Processing**, v. 88, n. 2–3, p. 253–258, 2010.

POLTURAK, G.; AHARONI, A. “La Vie en Rose”: Biosynthesis, Sources, and Applications of Betalain Pigments. **Molecular Plant**, v. 11, n. 1, p. 7–22, 2018.

POORNIMA, K.; SINTHIYA, R. Encapsulation of Beetroot Extract using Spray. **International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)**, v. 5, n. Iv, p. 346–352, 2017.

POSHADRI, A.; KUNA, A. Microencapsulation technology: A review. **The Journal of Research ANGRAU**, v. 38, n. 1, p. 86–102, 2010.

POTHAKAMURY, U. R.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. Fundamental aspects of controlled release in foods. **Trends in Food Science and Technology**, v. 6, n. 12, p. 397–406, 1995.

PRADO, M. A.; GODOY, H. T. Corantes artificiais em alimentos. **Alimentos e Nutrição Araraquara**, v. 14, n. 2, p. 237–250, 2003.

QUEK, S. Y.; CHOK, N. K.; SWEDLUND, P. The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. **Chemical Engineering and Processing: Process Intensification**, v. 46, n. 5, p. 386–392, 2007.

RAMAKRISHNAN, Y. et al. Effect of wall materials on the spray drying efficiency, powder properties and stability of bioactive compounds in tamarillo juice microencapsulation. **Powder Technology**, v. 328, p. 406–414, 2018.

RAMOS, J. A. et al. Modificação da composição físico-química de beterrabas submetidas a diferentes tipos de corte e métodos de cocção. **Rvista Energia na Agricultura**. Botucatu. v. 31, p. 97–101, 2016.

RAVICHANDRAN, K. et al. Effects of different encapsulation agents and drying process on stability of betalains extract. **Journal of Food Science and Technology**, v. 51, n. 9, p. 2216–2221, 2014.

RE, M. I. Microencapsulation by Spray Drying. **Drying Technology : An International Journal**, v. 16, n. 6, p. 1195–1236, 1998.

REBELLO, F. D. F. P. Revisão : Microencapsulação de ingredientes alimentícios. **REVISTA AGROGEOAMBIENTAL**, p. 103–112, 2009.

ROCHA, J. DE C. G. et al. Microencapsulation by atomization of the mixture of phenolic extracts. **Powder Technology**, v. 343, p. 317–325, 2019.

RODRÍGUEZ-HERNÁNDEZ, G. R. et al. Spray-Drying of Cactus Pear Juice (*Opuntia streptacantha*): Effect on the Physicochemical Properties of Powder and Reconstituted Product. **Drying Technology: An International Journal**, v. 23, n. 4, p. 955–973, 2005.

ROSA, C. H.; ANTELO, F.; ROSA, G. R. Kinetics of Thermal-Degradation of Betanins: A Teaching Mini-Project for Undergraduates Employing the Red Beet. **Journal of Food Science Education**, v. 17, n. 4, p. 104–110, 2018.

RUDRAPPA, T. Peroxidase production from hairy root cultures of red beet (*Beta vulgaris*). **Electronic Journal of Biotechnology**, v. 8, n. 2, 2005.

RYMBAI, H. .; SHARMA, R. R. . R.; SRIVASTAV, M. M. . Sbiocolorants and its implications in health and food industry - a review. **International Journal of PharmTech Research**, v. 3, n. 4, p. 2228–2244, 2011.

SAGUY, I.; KOPELMAN, I. J.; MIZRAHI, S. Thermal Kinetic Degradation of Betanin and

Betalamic Acid. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 26, n. 2, p. 360–362, 1978.

ŞAHİN NADEEM, H.; TORUN, M.; ÖZDEMİR, F. Spray drying of the mountain tea (*Sideritis stricta*) water extract by using different hydrocolloid carriers. **LWT - Food Science and Technology**, v. 44, n. 7, p. 1626–1635, 2011.

SANCHES, A. G. et al. Atividade respiratória e qualidade de beterraba inteira e minimamente processada. **Revista de Agricultura Neotropical**, n. 4, p. 12–18, 2016.

SANTANA, A. et al. Spray drying of pequi pulp: Process performance and physicochemical and nutritional properties of the powdered pulp. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 59, p. 1–11, 2016.

SANTOS, A. A. et al. Dosagem de açúcares redutores com o reativo DNS em microplaca Microwell plate-based method for the determination of reducing sugars with the DNS reagent. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, p. e2015113, 2017.

SANTOS, D. T.; MEIRELES, M. A. A. Carotenoid Pigments Encapsulation: Fundamentals, Techniques and Recent Trends. **The Open Chemical Engineering Journal**, v. 5, n. 1, p. 42–50, 2014.

SANTOS, G. R. et al. Caracterização físico-química do repolho roxo (*Brassica oleracea*). **Revista GEINTEC**, v. 3, n. 5, p. 1–12, 2013.

SARAWADE, P. B. et al. Effect of drying technique on the physicochemical properties of sodium silicate-based mesoporous precipitated silica. **Applied Surface Science**, v. 258, n. 2, p. 955–961, 2011.

SARDELLA, S. **Produção, caracterização e aplicação de extrato de beterraba microencapsulado em matrizes de maltodextrina e amido modificado**. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, São José do Rio Preto, 2016.

SCHWARTZ, S. J.; VON ELBE, J. H. Identification of Betanin Degradation Products. **Lebensm Unters Forsch**, v. 176, n. 176, p. 448–453, 1983.

SEADER, J. D.; HENLEY, E. J.; ROPER, D. K. **Separation Process Principles: Chemical and Biochemical Operations**. Estados Unidos: John Wiley & Sons, Inc, 2010.

SERRIS, G. S.; BILIADERIS, C. G. Degradation kinetics of beetroot pigment encapsulated in

polymeric matrices. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 81, n. 8, p. 691–700, 2001.

SHAHIDI, F.; HAN, X. Q. Encapsulation of Food Ingredients. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 33, n. 6, p. 501–547, 1993.

SHIH, C. C.; WILEY, R. C. Betacyanine and Betaxanthine Decolorizing Enzymes in the Beet (*Beta vulgaris* L.) Root. **Journal of Food Science**, v. 47, n. 1, p. 164–166, 1982.

SHITTU, T. A.; LAWAL, M. O. Factors affecting instant properties of powdered cocoa beverages. **Food Chemistry**, v. 100, n. 1, p. 91–98, 2007.

SILVA, N. L.; CRISPIM, J. M. S.; VIEIRA, R. P. Kinetic and Thermodynamic Analysis of Anthocyanin Thermal Degradation in Acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) Pulp. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 41, n. 4, 2017.

SILVA, P. I.; STRINGHETA, P. C. TEÓFILO, R. F. OLIVEIRA, I. R. N. Parameter optimization for spray drying microencapsulation of Jabotiaba (*Myrciaria jaboticaba*) peel extracts using simultaneous analysis of responses. **Journal of Food Engineering**. v. 117, n. 4, p. 538-544, 2013.

SINGH, R.; SRIVASTAVA, S. Exploration of Flower Based Natural Dyes - A Review. **Research Journal of Recent Sciences**, v. 4, p. 6–8, 2015.

SOBRINHO, E. C.; FARIAS, M. C. A microencapsulação na indústria alimentícia. **Infarma**, v. 24, n. 1–3, p. 84–92, 2012.

SPENCE, C. On the psychological impact of food colour. **Flavour**, v. 4, n. 1, p. 21, 2015.

STINTZING, F. C. et al. Structural investigations on betacyanin pigments by LC NMR and 2D NMR spectroscopy. **Phytochemistry**, v. 65, n. 4, p. 415–422, 2004.

STINTZING, F. C. et al. Color, betalain pattern, and antioxidant properties of cactus pear (*Opuntia* spp.) clones. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, n. 2, p. 442–451, 2005.

STINTZING, F. C.; CARLE, R. Functional properties of anthocyanins and betalains in plants, food, and in human nutrition. **Trends in Food Science and Technology**, v. 15, n. 1, p. 19–38, 2004.

STINTZING, F. C.; CARLE, R. Betalains - emerging prospects for food scientists. **Trends in Food Science and Technology**, v. 18, n. 10, p. 514–525, 2007.

- STRACK, D.; VOGT, T.; SCHLIEMANN, W. Recent advances in betalain research. **Phytochemistry**, v. 62, n. 3, p. 247–269, 2003.
- SU, Y. L. et al. Microencapsulation of Radix salvia miltiorrhiza nanoparticles by spray-drying. **Powder Technology**, v. 184, n. 1, p. 114–121, 2008.
- SUAVE, J. et al. Microencapsulação : Inovação em diferentes áreas. **Revista Saúde e Ambiente/ Health and Environment Journal**, v. 7, p. 20, 2006.
- SYAMALADEVI, R. M. et al. Physicochemical Properties of Encapsulated Red Raspberry (Rubus idaeus) Powder: Influence of High-Pressure Homogenization. **Drying Technology**, v. 30, n. 5, p. 484–493, 2012.
- TAKEITI, C. Y. **Estudo da Influência da Transição Vítreia sobre a Instantaneização de Maltodextrinas por Processo de Aglomeração Úmida**. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Univerisidade Estadual de Campinas, 2007.
- TAYLOR, P.; CHRONAKIS, I. S. Compositional Properties , and Structural-Functional Mechanisms of Maltodextrins. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, n. March 2012, p. 37–41, 2010.
- TELANG, A. M.; THORAT, B. N. Optimization of process parameters for spray drying of fermented soy milk. **Drying Technology**, v. 28, n. 12, p. 1445–1456, 2010.
- THAKUR, V.; GUPTA, D. K. Studies on the clarification and concentration of beetroot juice. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 30, p. 194–207, 2006.
- TIVELLI, W. et al. Beterraba: do plantio à comercialização. **Série Tecnologia APTA, Boletim Técnico IAC 210.**, p. 51, 2011.
- TOLUN, A.; ALTINTAS, Z.; ARTIK, N. Microencapsulation of grape polyphenols using maltodextrin and gum arabic as two alternative coating materials: Development and characterization. **Journal of Biotechnology**, v. 239, p. 23–33, 2016.
- TONON, R.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Aplicação da secagem por atomização para a obtenção de produtos funcionais com alto valor agregado a partir do açaí. **Inclusão Social**, v. 6, n. 2, p. 70–76, 2013.
- TONON, R. V. **Secagem por atomização do suco de açaí: Influência das variáveis de processo, qualidade e estabilidade do produto**. Tese (Doutorado em Engenharia de

Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai (*Euterpe oleracea* Mart.) powder produced by spray drying. **Journal of Food Engineering**, v. 88, n. 3, p. 411–418, 2008.

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.

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

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS - UNICAMP. **Tabela brasileira de composição de alimentos - TACO. 4.** ed. rev. e amp. Campinas: UNICAMP/NEPA, 2011. 161 p. Disponível em: <<http://www.unicamp.br/nepa/taco/tabela.php?ativo=tabela>>. Acesso em 20 out, 2018.

UNITED STATES PHARMACOPOEIA. **USP XXX.** United States Pharmacopeial Convention. **Anais...**Rockville: 2007

USDA - United States Department of Agriculture. **National Nutrient Database for Standard Reference Legacy** Release. Agricultural Research Service. Disponível em: <<https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/11080>> Acesso em 01 de outubro de 2018.

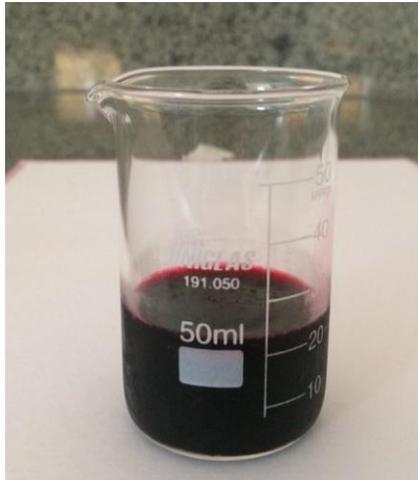
VEGGI, P. C. **Obtenção de extratos vegetais por diferentes métodos de extração: estudo experimental e simulação dos processos.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

VENIL, C. K. et al. Microencapsulation of flexirubin-type pigment by spray drying: Characterization and antioxidant activity. **International Biodeterioration and Biodegradation**, v. 113, p. 350–356, 2016.

VIKRAM, V. B.; RAMESH, M. N.; PRAPULLA, S. G. Thermal degradation kinetics of nutrients in orange juice heated by electromagnetic and conventional methods. **Journal of Food Engineering**, v. 69, n. 1, p. 31–40, 2005.

- VILA, M. M. D. C.; CHAUD, M. V.; BALCÃO, V. M. Microencapsulation of Natural Anti-Oxidant Pigments. **Microencapsulation and Microspheres for Food Applications**, p. 369–389, 2015.
- VISSOTTO, F. Z. et al. Avaliação da influência dos processos de lecitinação e de aglomeração nas propriedades físicas de achocolatado em pó. **Ciênc. Tecnol. Aliment**, v. 26, n. 3, p. 666–671, 2006.
- VON ELBE, J. H.; YOUNG MAING, I.; AMUNDSON, C. H. Color Stability os betanin. **Journal of Food Science**, v. 39, p. 334–337, 1974.
- WASSERMAN, B. P.; EIBERGER, L. L.; GUILFOY, M. P. Effect of Hydrogen Peroxide and Phenolic Compounds on Horseradish Peroxidase-Catalyzed Decolorization of Betalain Pigments. **Journal of Food Science**, v. 49, n. 2, p. 536–538, 1984.
- WEISS, J.; TAKHISTOV, P.; MCCLEMENTS, D. J. Functional materials in food nanotechnology. **Journal of Food Science**, v. 71, n. 9, p. 107–116, 2006.
- WERNER, S. R. L.; JONES, J. R.; PATERSON, A. H. J. Stickiness of maltodextrins using probe tack test during in-situ drying. **Journal of Food Engineering**, v. 80, n. 3, p. 859–868, 2007.
- WINKLER, C. et al. In vitro Effects of Beet Root Juice on Stimulated and Unstimulated Peripheral Blood Mononuclear Cells. **American Journal of Biochemistry and Biotechnology**, v. 1, n. 4, p. 180–185, 2005.
- WONGKITTIPONG, R. et al. Solid-liquid extraction of andrographolide from plants - Experimental study, kinetic reaction and model. **Separation and Purification Technology**, v. 40, n. 2, p. 147–154, 2004.
- WRUSS, J. et al. Compositional characteristics of commercial beetroot products and beetroot juice prepared from seven beetroot varieties grown in Upper Austria. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 42, n. 3, p. 46–55, 2015.
- WU, Y. et al. Stability and encapsulation efficiency of sulforaphane microencapsulated by spray drying. **Carbohydrate Polymers**, v. 102, n. 1, p. 497–503, 2014.
- Y. WANG, T.D. WIG, J. TANG, A. L. M. H. Sterilization of Foodstuffs Using Radio Frequency Heating. **food engineering and Physical Properties**, v. 68, n. 2, p. 539–544, 1987.

YAN, M. Microencapsulation with coacervation. **Handbook of Encapsulation and Controlled Release**, p. 235–245, 2016.

APÊNDICE**Figura 11.** Extrato alcoólico de beterraba.

Fonte: Autor, 2019.

Figura 12. Extrato de beterraba microencapsulado com maltodextrina de 15 DE.

Fonte: Autor, 2019.

Figura 13. Extrato de beterraba microencapsulado com maltodextrina de 20 DE.

Fonte: Autor, 2019.