



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS**



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: PROCESSAMENTO E ARMAZENAMENTO DE
PRODUTOS AGRÍCOLAS**

**REPOLHO ROXO EM PÓ OBTIDO EM SECADOR POR ASPERSÃO E
LIOFILIZADOR**

ANALHA DYALLA FEITOSA LINS

Campina Grande - Paraíba

FEVEREIRO - 2020

ANALHA DYALLA FEITOSA LINS

**REPOLHO ROXO EM PÓ OBTIDO EM SECADOR POR ASPERSÃO E
LIOFILIZADOR**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessários obtenção do título de Doutor.

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Processamento e Armazenamento de Produtos
Agrícolas**

**ORIENTADORAS: Prof^a. Dr^a. Josivanda Palmeira Gomes
Prof^a. Dr^a. Ana Paula Trindade Rocha**

**Campina Grande- Paraíba
FEVEREIRO - 2020**

L759r

Lins, Analha Dyalla Feitosa.

Repolho roxo em pó obtido em secador por aspersão e liofilizador /
Analha Dyalla Feitosa Lins. – Campina Grande, 2020.

113 f. : il. color.

Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de
Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2020.

"Orientação: Profa. Dra. Josivanda Palmeira Gomes, Profa. Dra.
Ana Paula Trindade Rocha".

Referências.

1. Processamento de Produtos Agrícolas. 2. Armazenamento de
Produtos Agrícolas. 3. Repolho Roxo (*Brassica oleracea* L. var. *capitata*
L. f. *rubra*). 4. Antocianinas e Maltodextrina. 5. Repolho Roxo em Pó.
6. Atomização. 7. Liofilizador. I. Gomes, Josivanda Palmeira. II. Rocha,
Ana Paula Trindade. III. Título.

CDU 631.563(043)



PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA TESE

ANALHA DYALLA FEITOSA LINS

APROVADO: 27 de fevereiro de 2020

BANCA EXAMINADORA:



Dra. Josivanda Palmeira Gomes
Orientadora – UAEA/CTRN/UFPG



Dra. Ana Paula Trindade Rocha
Orientadora – UAEA/CTRN/UFPG



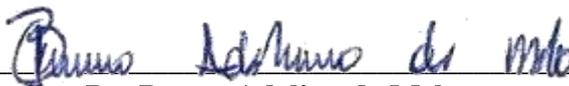
Dra. Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo
Examinadora - UAEA/CTRN/UFPG



Dr. Wilton Pereira da Silva
Examinador - UAF/CCT/UFPG



Dr. Matheus Augusto Bivencourt Pasquali
Examinador - UAEA/CTRN/UFPG



Dr. Bruno Adelino de Melo
Examinador – PDJ/ CNPQ (Portaria PPGEA - DT 06/2020).

*À minha Mãe, Maria Sales
Feitosa e ao meu Irmão,
Antonio Mauricio Feitosa Lins.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela saúde e força para seguir firme.

À mainha, por todo seu amor, dedicação, atenção, cuidado e por acreditar em mim.

Ao meu irmão, pelos conselhos, paciência, apoio, incentivo e por enfrentar todas as adversidades que surgiram para que eu pudesse continuar meus estudos.

Ao meu pai, pela compreensão.

À minha família, pelo afeto e compreensão por minha ausência nos diversos momentos felizes e tristes ao longo desses anos.

Ao meu esposo, Gregory, pelo companheirismo, amor, paciência, incentivo e compreensão nesta trajetória.

À Universidade Federal de Campina Grande pela disponibilidade dos laboratórios e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela bolsa concedida para realização desta pesquisa.

Às minhas orientadoras, Josivanda e Ana Paula, por toda compreensão, paciência, experiência e conhecimentos repassados.

A todas as pessoas que um dia se disponibilizaram a me ajudar de alguma forma. À Marylia, Thais, Renata, Hugo, Matheus e Ana Regina, que se dispuseram a me auxiliar em algumas análises do primeiro capítulo. Em especial, Josenara, que de longe (Bahia), era a que estava mais perto, compartilhando dos diversos sentimentos no decorrer da pós-graduação e da vida.

E aos membros da banca: professora Rossana, professor Wilton, professor Matheus e Bruno Adelino, pela disponibilidade em participar e contribuir com o trabalho.

A todos, meu Muito Obrigada!!!

LINS, A. D. F. **Repolho roxo em pó obtido em secador por aspersão e liofilizador**. 2020. 113f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola. Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas) – Universidade Federal de Campina Grande- UFCG.

RESUMO

O repolho roxo é comercializado majoritariamente na sua forma in natura, o que acarreta em perdas devido a queima nas folhas, murchamento, descoloração entre outros fatores que ocasionam perdas de qualidade. Por ser rico em compostos químicos e minerais, tornando-se interessante, principalmente, pela presença de antocianinas na sua composição. Este trabalho teve como objetivo obter repolho roxo em pó por dois métodos: secagem por aspersão e liofilização, bem como, avaliar os parâmetros físico-químicos, químicos e físicos nos produtos obtidos. As folhas dos repolhos roxos foram lavadas, sanitizadas, cortadas e trituradas. Posteriormente, o sumo foi refinado, acondicionado e armazenado. As formulações foram elaboradas com o sumo de repolho roxo e 10, 15 e 20% de maltodextrina e submetidos a caracterização físico-química, química, análise de perfil de textura e viscosidade dinâmica. Os sumos formulados também foram submetidos a secagem por aspersão e liofilização. Neste último, os mesmos foram primeiramente congelados para posterior realização da secagem. Os pós obtidos foram submetidos às análises de atividade de água, teor de água, sólidos solúveis totais, pH, acidez total titulável, cinzas, ratio SST/ATT, minerais, luminosidade (L^*), intensidade de vermelho (a^*), intensidade da azul ($-b^*$), croma (C^*), ângulo da tonalidade, índice de escurecimento, teor de antocianinas, flavonoides, antioxidantes, e compostos fenólicos. Foi determinado o rendimento, higroscopicidade, solubilidade, molhabilidade, densidade aparente e compactada e a partir dessas, calculados o Fator de Hausner e índice de Car. Realizou-se a microscopia eletrônica de varredura e as isotermas de adsorção de água dos pós de repolho roxo. De acordo com os resultados obtidos, conclui-se que o emprego da maltodextrina, proporcionou o aumento dos parâmetros do perfil de textura e da viscosidade dinâmica, o que do ponto de vista industrial dificulta o escoamento e a troca de calor durante o processo. Porém, o aumento da temperatura proporcionou redução na viscosidade dinâmica, sendo favorável para facilitar o escoamento do fluido, resultando em menos gasto de energia, menos aderência da amostra às paredes da câmara de secagem, favorecendo o rendimento do produto final. O aumento da concentração de maltodextrina e temperatura de secagem implica na tendência de redução da atividade de água, teor de água, acidez total titulável, antocianinas, refletindo na redução da tonalidade de vermelho e azul, degradação dos compostos bioativos, higroscopicidade, solubilidade, molhabilidade, densidade aparente e compactada. O teor de cinzas e perfil de minerais são influenciados negativamente e positivamente com o aumento da concentração de maltodextrina e da temperatura, respectivamente. O aumento dessas variáveis gera aumento dos sólidos solúveis totais, rendimento, amostras mais luminosas, partículas irregulares, maiores e com menor aspecto de encolhimento. As isotermas dos pós de repolho roxo em diferentes temperaturas e concentrações de maltodextrina obtidos em secador por aspersão e liofilização foram mais bem representados pelo modelo de Peleg, apresentando comportamento do tipo II.

Palavras-chave: *Brassica oleracea* L. var. *capitata* L. f. *rubra*, antocianinas, maltodextrina, atomização, liofilizador.

ABSTRACT

Red cabbage is mostly sold in its fresh form, which leads to losses due to leaf burning, wilting, discoloration, among other factors that cause quality losses. Because it is rich in chemical and mineral compounds, making it interesting, mainly, due to the presence of anthocyanins in its composition. This work aimed to obtain powdered red cabbage by two methods: spray drying and freeze drying, as well as to evaluate the physical-chemical, chemical and physical parameters in the products obtained. The leaves of the red cabbages were washed, sanitized, cut and crushed. Subsequently, the juice was refined, conditioned and stored. The formulations were made with red cabbage juice and 10, 15 and 20% maltodextrin and subjected to physical-chemical, chemical, texture profile analysis and dynamic viscosity. The formulated juices were also subjected to spray drying and lyophilization. In the latter, they were first frozen for later drying. The powders obtained were submitted to the analysis of water activity, water content, total soluble solids, pH, total titratable acidity, ash, SST/ATT ratio, minerals, luminosity (L^*), red intensity (a^*), intensity da azul ($-b^*$), chroma (C^*), tint angle, darkening index, anthocyanins, flavonoids, antioxidants, and phenolic compounds. The yield, hygroscopicity, solubility, wettability, apparent and compacted density were determined and from these, the Hausner Factor and Car index were calculated. The yield, hygroscopicity, solubility, wettability, apparent and compacted density were determined and from these, the Hausner Factor and Car index were calculated. Scanning electron microscopy and water adsorption isotherms of red cabbage powders were performed. According to the results obtained, it is concluded that the use of maltodextrin, provided an increase in the parameters of the texture profile and dynamic viscosity, which from an industrial point of view makes it difficult to flow and heat exchange during the process. However, the increase in temperature provided a reduction in dynamic viscosity, being favorable to facilitate the flow of the fluid, resulting in less energy expenditure, less adherence of the sample to the walls of the drying chamber, favoring the yield of the final product. The increase in the concentration of maltodextrin and drying temperature implies a tendency to reduce water activity, water content, total titratable acidity, anthocyanins, reflected in the reduction of red and blue tones, degradation of bioactive compounds, hygroscopicity, solubility, wettability apparent and compacted density. The ash content and mineral profile are negatively and positively influenced by the increase in maltodextrin concentration and temperature, respectively. The increase in these variables generates an increase in total soluble solids, yield, more luminous samples, irregular particles, larger and with less aspect of shrinkage. The isotherms of red cabbage powders at different temperatures and concentrations of maltodextrin obtained in a spray and lyophilization dryer were best represented by the Peleg model, showing type II behavior.

Key words: *Brassica oleracea* L. var. *capitata* L. f. *rubra*, anthocyanins, maltodextrin, atomization, freeze dryer.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 3.1** Viscosidade dinâmica em função da concentração de maltodextrina e da temperatura.....47
- Figura 4.1** Análise do potencial antioxidante de radicais totais (TRAP) dos pós de repolho roxo obtidos a 60 °C com 10% de MD (A), 15% de MD (B) e 20% de MD (C) em secador por aspersão.....70
- Figura 4.2** Reatividade antioxidante total (TAR) dos pós de repolho roxo obtidos a 60 °C com 10% de MD (A), 15% de MD (B) e 20% de MD (C) em secador por aspersão.....70
- Figura 4.3** Micrografias dos pós de sumo de repolho roxo: A, B e C (60 °C com 10, 15 e 20% de MD); D, E e F (70 °C com 10, 15 e 20% de MD); G, H e I (80 °C com 10, 15, 20% de MD) com ampliação de 2000x.....74
- Figura 4.4** Isotermas de adsorção de água a 25 °C dos pós de repolho roxo obtidos em secador por aspersão com adição de 10% de MD nas temperaturas de secagem de 60,70 e 80 °C com ajustes ao modelo de Peleg.....79
- Figura 4.5** Isotermas de adsorção de água a 25 °C dos pós de repolho roxo obtidos em secador por aspersão com adição de 15% de MD nas temperaturas de secagem de 60, 70 e 80 °C com ajustes ao modelo de Peleg.....79
- Figura 4.6** Isotermas de adsorção de água a 25 °C dos pós de repolho roxo obtidos em secador por aspersão com adição de 20% de MD nas temperaturas de secagem de 60,70 e 80 °C com ajustes ao modelo de Peleg.....80
- Figura 5.1** Análise do potencial antioxidante de radicais totais (TRAP) dos pós de repolho roxo com 10 % de MD (A), 15 % de MD (B) e 20 % de MD (C) obtidos por liofilização.....101
- Figura 5.2** Reatividade antioxidante total (TAR) dos pós de repolho roxo com 10 % de MD (A), 15 % de MD (B) e 20 % de MD (C) obtidos por liofilização.....101
- Figura 5.3** Micrografias dos pós de sumo de repolho roxo com 10 % de maltodextrina (A, B), 15% de maltodextrina (C, D) e 20% de maltodextrina (E, F) obtidos por liofilização, ampliações de 500x e 1000x.....104
- Figura 5.4** Isotermas de adsorção de água, na temperatura de 25 °C, dos pós de repolho roxo liofilizados com adição de 10, 15 e 20% de maltodextrina (MD).....107

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Caracterização do repolho roxo cru por 100 g de parte comestível.....	18
Tabela 3.1	Caracterização físico-química do sumo de repolho roxo in natura.....	44
Tabela 3.2	Caracterização colorimétrica do sumo de repolho roxo in natura.....	45
Tabela 3.3	Caracterização química do sumo de repolho roxo in natura.....	46
Tabela 3.4	Dados do perfil textura do sumo de repolho roxo integral e formulado.....	46
Tabela 4.1	Modelos utilizados para representação dos dados experimentais.....	61
Tabela 4.2	Caracterização físico-química dos pós obtidos em secador por aspersão.....	63
Tabela 4.3	Perfil de minerais dos pós obtidos em secador por aspersão.....	66
Tabela 4.4	Caracterização colorimétrica dos pós obtidos em secador por aspersão.....	67
Tabela 4.5	Caracterização química dos pós obtidos em secador por aspersão.....	68
Tabela 4.6	Caracterização física dos pós obtidos em secador por aspersão.....	71
Tabela 4.7	Parâmetros dos modelos ajustados às isotermas de adsorção de água a 25 °C dos pós de repolho roxo com adição de 10% obtidos em secador por aspersão em diferentes temperaturas.....	76
Tabela 4.8	Parâmetros dos modelos ajustados às isotermas de adsorção de água a 25 °C dos pós de repolho roxo com adição de 15% obtidos em secador por aspersão em diferentes temperaturas.....	76
Tabela 4.9	Parâmetros dos modelos ajustados às isotermas de adsorção de água a 25 °C dos pós de repolho roxo com adição de 20% obtidos em secador por aspersão em diferentes temperaturas.....	77
Tabela 5.1	Modelos utilizados para representação dos dados experimentais.....	96
Tabela 5.2	Caracterização físico-química dos pós obtidos em liofilizador.....	97
Tabela 5.3	Caracterização colorimétrica dos pós obtidos em liofilizador.....	93
Tabela 5.4	Caracterização química dos pós obtidos em liofilizador.....	95
Tabela 5.5	Caracterização física dos pós em liofilizador.....	96
Tabela 5.6	Parâmetros dos modelos ajustados às isotermas de adsorção de água a 25 °C dos pós de repolho roxo liofilizados com adição de 10, 15 e 20%.....	105

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	13
1.1 Objetivo geral	14
1.2 Objetivos específicos	15
2 REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 Repolho roxo.....	17
2.2 Antocianinas	18
2.3 Encapsulação com maltodextrina	19
2.4 Textura e viscosidade.....	21
2.5 Secagem.....	22
2.5.1 Secagem por aspersão e suas vantagens	22
2.5.2 Liofilização e suas vantagens	23
2.5.3 Secagem de hortaliças	24
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29
3 CAPÍTULO 1 – CARACTERIZAÇÃO, PERFIL DE TEXTURA E VISCOSIDADE DINÂMICA DO SUMO DE REPOLHO ROXO	37
Resumo.....	38
Abstract.....	38
3.1 Introdução.....	39
3.2 Material e Métodos.....	40
3.2.1 Local de realização dos experimentos	40
3.2.2 Matérias-primas	40
3.2.3 Processamento do repolho roxo e elaboração das formulações	40
3.2.4 Caracterização físico-química do sumo repolho roxo.....	41
3.2.5 Caracterização química do sumo repolho roxo in natura.....	42
3.2.6 Análise do perfil de textura do sumo integral e formulados	43
3.2.7 Viscosidade dinâmica	43
3.2.8 Análise estatística	43
3.3 Resultados e Discussão.....	44
3.4 Conclusões.....	48
Referências Bibliográficas	49
4 CAPÍTULO 2- REPOLHO ROXO EM PÓ OBTIDO EM SECADOR POR ASPERSÃO.....	53
Resumo.....	54
Abstract.....	54
4.1 Introdução.....	55

4.2	Material e Métodos.....	56
4.2.1	Local de realização dos experimentos	56
4.2.2	Matérias-primas	56
4.2.3	Processamento do repolho para obtenção do sumo	56
4.2.4	Elaboração e secagem do sumo formulado de repolho roxo.....	57
4.2.5	Caracterização físico-química dos pós de repolho roxo	57
4.2.6	Caracterização química dos pós de repolho roxo	58
4.2.7	Caracterização física dos pós de repolho roxo.....	59
4.2.8	Isotermas de adsorção de água	61
4.2.9	Análise morfológica dos pós	62
4.2.10	Análise estatística	62
4.3	Resultados e Discussão.....	63
4.4	Conclusões.....	80
	Referências Bibliográficas	80
5	CAPITULO 3- EFEITOS DA MALTODEXTRINA NO SUMO REPOLHO ROXO LIOFILIZADO	87
	Resumo.....	88
	Abstract.....	88
5.1	Introdução.....	89
5.2	Material e Métodos.....	90
5.2.1	Local de realização dos experimentos	90
5.2.2	Matérias-Primas.....	90
5.2.3	Processamento do repolho para obtenção do sumo	90
5.2.4	Elaboração e secagem do sumo formulado de repolho roxo.....	91
5.2.5	Caracterização físico-química dos pós de repolho roxo	91
5.2.6	Caracterização química dos pós de repolho roxo	92
5.2.7	Caracterização física dos pós de repolho roxo.....	93
5.2.8	Isotermas de adsorção de água	95
5.2.9	Análise morfológica dos pós	96
5.2.10	Análise estatística	96
5.3	Resultados e Discussão.....	97
5.4	Conclusões.....	108
	Referências Bibliográficas	108
	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	114

1 INTRODUÇÃO GERAL

O repolho roxo (*Brassica oleracea* var. *capitata* f. *rubra*) pertencente à família *Brassicaceae*, é uma hortaliça de sabor, cor e odor agradáveis, baixo custo, fácil acesso, com alto valor de antioxidante, rica em minerais e compostos fenólicos, sendo o mais privilegiado entre os vegetais crucíferos ao apresentar uma ótima fonte de antocianinas, que se classificam não exclusivamente como nutrientes antioxidantes, mas também como nutrientes anticancerígenos (DRAGHICI et al., 2013), atraindo atenção por causa de sua potencial aplicação no funcionamento fisiológico (CHIGURUPATI et al., 2002), colaborando para redução da miopia (LEE et al., 2011), apoptose, diabetes, obesidade (IGARASHI et al., 2000), ação anti-inflamatória (LIN et al., 2008) e antibacteriana (PARK et al., 2004).

A comercialização do repolho roxo é realizada principalmente na forma in natura, e em menor escala, na forma minimoprocessado e como chucrute. Na forma in natura ocorre problemas durante o armazenamento como o ressecamento e descoloração das folhas, acelerado processo de senescência, provocando odor desagradável e redução do tempo de vida útil. Dessa forma, torna-se interessante a aplicação de processos como a secagem, que promovam uma maior estabilidade microbiológica, devido à perda de água e que também não provoque muita alteração quanto as suas características sensoriais e nutritivas. Porém, na maioria dos métodos de secagem, faz-se o uso de altas temperaturas por tempos prolongados, podendo afetar negativamente o produto, acarretando a degradação de alguns constituintes como as antocianinas que, de acordo com Chitarra e Chitarra (2005), são afetadas por ação da temperatura, pH, oxigênio, ácido ascórbico, luz, íons metálicos e diversos outros fatores.

Além dos problemas relatados acima, segundo Fabra et al. (2011), um dos maiores enfrentados na secagem é a elevada higroscopicidade e a aglomeração das partículas de pó, podendo provocar baixos rendimentos durante o processo de secagem. No entanto, o uso de encapsulantes estabiliza e auxilia na solubilidade e higroscopicidade do pó, proporciona mais proteção dos compostos bioativos de agentes adversos, como temperatura, oxigênio e luz. Diversos materiais já são utilizados para estes fins, como os agentes antiaglomerantes, as proteínas isoladas e maltodextrinas com diferente dextrose equivalente (DE) (MOSQUERA et al., 2010).

Torna-se necessário escolher adequadamente o material encapsulante. De acordo com Santos et al. (2000), o ideal deve apresentar baixa higroscopicidade, capacidade de dispersar, proporcionar maior proteção ao material ativo contra condições externas, ser solúvel em

solventes frequentemente utilizados na indústria de alimentos, não apresentar sabor desagradável, de baixo custo, entre outros.

Além do conhecimento do tipo do encapsulante, a concentração empregada no processo é interessante para a indústria, pois o comportamento do fluido com adição de aditivos e expostos a diferentes temperaturas, influenciará no projeto e desenvolvimento de equipamentos e processos que envolvam transferência de calor, pois estes fatores podem intervir na viscosidade, textura, formação das gotas e seu gotejamento, velocidade do bombeamento para o interior da câmara de secagem, pressão do spray, aderência da amostra às paredes da câmara de secagem, evaporação e rendimento. Segundo Fernandes et al. (2014), a maltodextrina é muito utilizada como agente transportador devido a sua performance satisfatória de custo razoavelmente baixo, com sabor e aroma suaves e que atua como uma proteção efetiva aos sabores.

Um dos equipamentos utilizados para a secagem é o secador por aspersão, que apresenta um processo contínuo e transforma um líquido em um produto seco, na forma de pó, em um tempo de secagem muito curto (FERRARI; RIBEIRO; AGUIRRE, 2012), apresentando algumas vantagens como: a qualidade do pó produzido; partículas de tamanho reduzido e uniforme; sem necessidade de moagem no final do processo; pouco tempo de exposição entre produto a ser secado e a temperatura empregada no processo, o que possibilita a obtenção de um pó atrativo visualmente e com qualidade nutricional.

Outro equipamento muito utilizado para secagem de vegetais é o liofilizador, equipamento que opera em baixas temperaturas, o que torna o método considerado vantajoso, pois os compostos instáveis a temperaturas elevadas tendem a manter-se ou terem uma menor degradação quando comparados aos processos de secagem que empregam altas temperaturas.

Dessa forma, a produção de repolho roxo em pó é uma alternativa para reduzir as perdas pós-colheita, agregar valor ao mesmo, disponibilizando-o de outra forma no mercado, com intuito de diversificar o seu uso, onde os mesmos podem ser adicionados em sopas, temperos, farinhas, sorvetes, bebidas lácteas, sucos, molhos, além da possibilidade de ser utilizado também como corante natural, aditivo nutricional, entre outros, com o intuito de adicionar coloração aos produtos, além de enriquecê-los nutricionalmente.

1.1 Objetivo geral

Obter repolho roxo em pó pelo método de secagem por aspersão e liofilização.

1.2 Objetivos específicos

Capítulo 1

- Extrair e caracterizar o sumo integral quanto aos parâmetros físico-químicos (atividade de água, teor de água, pH, acidez total titulável (ATT), sólidos solúveis totais (°Brix) (SST), ratio SST/ATT, cinzas e minerais), químicos (antocianinas, flavonoides, antioxidantes e compostos fenólicos totais);
- Realizar análise colorimétrica dos pós (L*- Luminosidade, a*-intensidade de vermelho e b*- intensidade de azul, croma e ângulo Hue);
- Avaliar o perfil de textura das formulações com adição de maltodextrina; Analisar a influência da concentração de maltodextrina e temperatura no sumo de repolho roxo na viscosidade dinâmica.

Capítulo 2

- Secar o sumo de repolho roxo em secador por aspersão sob diferentes temperaturas (60, 70 e 80 °C) e diferentes concentrações de adjuvante de secagem (10, 15 e 20%) ao sumo de repolho roxo;
- Avaliar a influência dessas variáveis sobre os parâmetros físico-químicos (atividade de água, teor de água, pH, acidez total titulável (ATT), sólidos solúveis totais (°Brix) (STT), ratio SST/ATT, cinzas e minerais) e químicos (antocianinas, flavonoides, antioxidantes e compostos fenólicos totais);
- Realizar análise colorimétrica dos pós (L*- Luminosidade, a*-intensidade de vermelho e b*- intensidade de azul);
- Determinar as características físicas dos pós (higroscopicidade, solubilidade, molhabilidade, densidade aparente, densidade compactada, fator de Hausner, índice de Car e rendimento);
- Analisar as micropartículas dos pós;
- Determinar as isotermas de adsorção de água dos pós.

Capítulo 3

- Liofilizar em diferentes concentrações de adjuvante de secagem (10, 15 e 20%) o sumo de repolho roxo;

- Avaliar a influência dessas variáveis sobre os parâmetros físico-químicos (atividade de água, teor de água, pH, acidez total titulável (ATT), sólidos solúveis totais (°Brix) (SST), ratio SST/ATT, cinzas, minerais) e (antocianinas, flavonoides, antioxidantes e compostos fenólicos totais);
- Realizar análise colorimétrica dos pós (L*- Luminosidade, a*-intensidade de vermelho e b*- intensidade de azul, croma, ângulo Hue e índice de escurecimento);
- Determinar as características físicas dos pós (higroscopicidade, solubilidade, molhabilidade, densidade aparente, densidade compactada, fator de Hausner, índice de Car e rendimento);
- Analisar as micropartículas dos pós;
- Determinar as isotermas de adsorção de água dos pós.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Repolho roxo

O repolho roxo (*Brassica oleracea* L. var. *capitata* f. *rubra*) pertence à família de Brassicaceae, e é nativo da região do Mediterrâneo e Sudoeste da Europa, mas é cultivado em várias regiões do mundo (ARAPITSA; TURNER, 2008). Em relação à produção e comercialização do repolho, São Paulo é o maior produtor do País. Por ano, segundo o último levantamento realizado pela Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento (SEAB), o Estado chega a produzir, em média, 322,7 mil toneladas da hortaliça, o que corresponde por cerca de 22% de toda a safra nacional (ABCSEM, 2020).

De acordo a ABCSEM (2020), o repolho é uma das hortaliças favoritas dos brasileiros. Concorrendo com a alface, ele além de ser muito nutritivo, é empregado, principalmente, nos preparos de diversas saladas. Ressaltando que no Brasil, há diversas variedades existentes pelo tipo de cabeça: arredondado achatado, apenas arredondado, cônico e globoso, sendo encontrados nas cores verdes e roxas.

É uma hortaliça formada por folhas espessas, cerosas, conchoidais e sobrepostas. É fonte de vitamina C, mas também fornece vitaminas B1, B2, E e K, além de sais minerais (SILVA et al., 2007).

Existem duas espécies de repolho, caracterizadas pela textura da folha em lisa (*B. oleracea* L. var. *capitata* L.) e crespa (*B. oleracea* L. var. *sabauda* Martens). O formato da cabeça é determinado pela relação entre os diâmetros longitudinal e transversal da cabeça do repolho, denominados como achatado, pontudo e redondo e a cor da cabeça, que pode variar em verde ou branca e roxa (PBMH, 2014).

Sendo um dos vegetais mais importantes cultivados para consumo em todo o mundo, durante muitos anos, também foi usado para propósitos terapêuticos (WICZKOWSKI et al., 2013). Os estudos mostram que a influência das espécies de *Brassica*, na saúde humana, promove uma capacidade de prevenir acometimento de câncer e doenças cardiovasculares, em que as substâncias responsáveis por estas propriedades são polifenóis (MCDUGALL et al., 2007), sendo as antocianinas, a classe mais abundante (ARAPITSA; TURNER, 2008). Conforme Wu et al. (2006), acima de 30 compostos antociânicos já foram identificados no repolho roxo, sendo possível obter aproximadamente, 322 mg de antocianinas por 100 g de peso fresco de repolho roxo.

Na Tabela 2.1 encontram-se os valores da composição centesimal, minerais, vitaminas e colesterol do repolho roxo in natura estabelecido pela TACO (2011).

Tabela 2.1 Caracterização do repolho roxo cru por 100 g de parte comestível

Umidade (%)	90,1
Energia (Kcal)	31
Proteína (g)	1,9
Lipídeos (g)	0,1
Colesterol (mg)	NA
Carboidrato (g)	7,2
Fibra alimentar (g)	2,0
Cinzas (g)	0,7
Vitamina C (mg)	43,2
Cálcio (mg)	44
Manganês (mg)	0,25
Fósforo (mg)	58
Ferro (mg)	0,5
Sódio (mg)	2
Potássio (mg)	328
Cobre (mg)	0,90
Zinco (mg)	0,3
Magnésio (mg)	18

Fonte: TACO (2011).

2.2 Antocianinas

As antocianinas são pigmentos solúveis em água, que são largamente difundidos em plantas, sendo responsáveis pelas cores de muitos vegetais, frutas e flores. Pertencem ao grupo dos polifenóis e são os principais compostos bioativos encontrados no repolho roxo (SODAGARI et al., 2015).

Comumente são responsáveis por tons vermelhos, azuis e púrpuras encontrados na natureza e são uma classe de alimento naturalmente derivado de pigmentos que também podem conferir benefícios à saúde (POTERA, 2010). Em seres humanos, elas apresentam atividade antioxidante, anticancerígena, reduz a miopia, conforme o estudo de Lee et al. (2011). Além disso, promove a proteção contra o declínio das funções do cérebro relacionado à idade, apoptose, diabetes e obesidade, além da redução de processos inflamatórios (LAU et al., 2006; TALL et al., 2004; TSUDA, 2012).

São compostos instáveis durante o processamento e armazenamento, e podem sofrer descoloração por ação de sistemas enzimáticos e oxigênio. A decomposição é afetada pela temperatura, pH, presença de outros compostos fenólicos, açúcares e seus produtos de degradação, oxigênio, ácido ascórbico, luz, íons metálicos (CHITARRA; CHITARRA, 2005), solventes e sulfito (CAVALCANTI et al., 2011).

O teor de antocianinas presente no repolho roxo difere de forma significativa em todas as variedades e sofre influência do período vegetativo, assim como, o tipo e condições de processamento e armazenamento (WICZKOWSKI et al., 2014). Dessa forma, diversas pesquisas vêm sendo realizadas com o repolho roxo, tendo em foco principalmente as antocianinas. Como exemplo, tem-se a caracterização físico-química do repolho roxo e do seu extrato obtido por maceração em etanol 70% acidificado com HCl 1N e concentrado em evaporador rotatório com intuito de ser utilizado para a obtenção de um corante natural (SANTOS et al., 2013); antocianinas de repolho roxo como inibidores do estresse oxidativo induzido por lipopolisacarídeos em plaquetas sanguíneas (SALUK et al., 2016); caracterização de compostos fenólicos e propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias de repolho roxo e extratos de cenoura roxa (MIZGIER et al., 2016); biossíntese de extrato de repolho roxo direcionado a NPsAg (nanopartículas de prata) e seu efeito na perda de atividade antioxidante (DEMIRBAS et al., 2016); conservação de repolho minimamente processado sob efeito de diferentes embalagens, tempo de estocagem e temperatura (MORENO et al., 2016); extração e estabilidade de antocianinas do repolho roxo (SCHAFRANSKI; RODRIGUES, 2017); filmes sensíveis ao pH contendo antocianinas extraídas de cascas de semente de feijão preto e repolho roxo (PRIETTO et al., 2017); desenvolvimento de um indicador de pH colorimétrico baseado em nanofibras de celulose bacteriana e extrato de repolho roxo (POURJAVAHHER et al., 2017).

2.3 Encapsulação com maltodextrina

O principal objetivo do encapsulamento é a proteção do material do núcleo de condições ambientais adversas, tais como: efeitos indesejáveis de luz, umidade e oxigênio, contribuindo para uma melhor estabilidade do ingrediente funcional e, ao mesmo tempo, promover sua liberação controlada ou direcionada (FANG; BHANDARI, 2010).

O produto microencapsulado oferece algumas vantagens quando comparado à sua forma original, se tratando do transporte, manipulação, ao seu emprego em matrizes alimentícias e facilidade de armazenamento (BOTREL et al., 2015; JIMÉNEZ-MARTIN et al., 2015). Além

disso, o uso do encapsulamento pode contribuir com o aumento da qualidade nutricional dos alimentos, aumentar a solubilidade ou a dispersibilidade dos compostos lipofílicos, disfarçar os sabores, sem afetar desfavoravelmente o sabor, aroma ou textura (AUGUSTIN; HEMAR, 2009), sendo desejável para a estabilidade do pó (ANANDHARAMAKRISHNAN; PADMA, 2015).

Para que um sistema de encapsulamento seja realizado com êxito, é indispensável um adequado conhecimento sobre a estabilidade dos componentes selecionados, como biomoléculas ou células a ser encapsuladas (núcleo); as propriedades dos materiais usados para encapsulação (matriz encapsulante); e o ajuste do sistema de entrega (microcápsula) para a sua aplicação final (NAZARRO et al., 2012).

Segundo Santos et al. (2000), para o material encapsulante ser considerado ideal deve: apresentar baixa viscosidade em altas concentrações e ser de fácil manipulação durante o processo produtivo; possuir baixa higroscopicidade, para facilitar a manipulação e impedir formação de aglomerados; não ser reativo com o material a ser encapsulado; ser capaz de selar e manter o material ativo no interior da estrutura da cápsula; liberar por completo o solvente ou outros materiais empregados durante o processo de encapsulação; proporcionar a maior proteção ao material ativo das condições adversas, como oxigênio, luz, pH e ingredientes reativos; ser solúvel em solventes geralmente utilizados; ter as propriedades almejadas de liberação do material ativo e não possuir sabor desagradável, caso seja consumido via oral, além de ser econômico.

De acordo com Suave et al. (2006), os materiais mais utilizados para encapsulação são: carboidratos: amido, dextrinas, açúcar, xarope de milho, celuloses, goma arábica, alginato de sódio, carragena e quitosana; lipídeos: cera, parafina, triestearina, ácido esteárico, mono e diglicerídeos, óleos e gorduras hidrogenadas; poliésteres naturais: poli (hidroxialcanoatos), tais como poli (3-hidroxi butirato) P (3HB), poli (3-hidroxi valerato) P (3HV) e seus copolímeros; polímeros sintéticos: poli (D, L-ácido láctico) (PDLA), poliacrilatos, copolímeros de polietilenoco- propileno e poli (M-caprolactona) (PCL); e proteínas: glúten, caseína, gelatina e albumina.

Entre os agentes transportadores disponíveis, a maltodextrina, por exemplo, é um polissacarídeo muito utilizado devido a sua performance satisfatória de custo razoavelmente baixo, com sabor e aroma suaves, e que atua como uma proteção efetiva aos sabores. Porém, o método de secagem e o material utilizado como revestimento podem afetar a capacidade de retenção de compostos dentro da matriz. Dessa forma, é de grande valia selecionar corretamente

tanto o material de revestimento, como o método de encapsulamento para maximizar a incorporação e retenção dos compostos funcionais dentro da matriz de encapsulamento (FERNANDES et al., 2014). Além disso, geralmente, a elevada solubilidade em água da maltodextrina colabora para uma diminuição significativa da viscosidade aparente das gotículas, o que é adequada à atomização e a secagem do líquido (VLADIĆ et al., 2016).

Para Tonon, Brabet, Hubinger (2009), no processo de viabilizar o processo de secagem, a maltodextrina tem sido amplamente adicionada à polpa, antes de ser submetida ao processo de secagem. Os fatores são apontados por Souza et al. (2015), como o baixo custo, auxílio na secagem de alimentos difíceis de desidratar (como sumos de frutos), baixa higroscopicidade, possuírem propriedades antioxidantes e retenção de compostos voláteis.

2.4 Textura e viscosidade

A maltodextrina é um dos principais aditivos utilizados para auxiliar na secagem, porém, o uso em grande quantidade acarreta descaracterização sensorial, reduz o valor nutricional do produto final e aumenta a viscosidade do produto, o que não é desejável para a secagem (BHANDARI et al., 1997), uma vez que a viscosidade da emulsão e a distribuição do tamanho de partículas na câmara de secagem tem efeitos significativos sobre a microencapsulação na secagem por aspersão, pois altas viscosidades levam a formação de gotas alongadas e grandes que afetam negativamente a taxa de secagem (ROSENBERG; KOPELMAN; TALMON, 1990). Além disso, pode provocar o entupimento do equipamento ou o gotejamento da amostra, além de exercer influência nas etapas do processo como a velocidade do bombeamento para o interior da câmara de secagem, pressão do spray, aderência da amostra as paredes da câmara de secagem, evaporação, rendimento, entre outros (GIANFRANCESCO et al., 2010).

A análise do perfil de textura é uma técnica instrumental utilizada para medir a resistência de diferentes materiais, mediante a utilização do texturômetro, que pode analisar diversos tipos de alimentos (RAMOS; GOMIDE, 2007). Os parâmetros de dureza ou firmeza relaciona-se com a força necessária para que o produto atinja uma dada deformação, segundo Chitarra e Chitarra (2005). Também é apontado como parâmetro a coesividade, que é a resistência das uniões internas que formam o corpo do produto, segundo Bourne (2002). A consistência é outro critério presente, e é uma função da viscosidade, uma vez que a temperatura e a temperatura macroscópica dos componentes do sistema líquido têm um efeito muito

acentuado na consistência de produtos alimentares (HOLDSWORTH, 1971). E por fim, temos o índice de viscosidade que mede a estabilidade da viscosidade de um líquido em relação à sua temperatura, sendo que quanto maior o índice de viscosidade, mais estável ela será (YU et al., 2016).

Também foi estudada a viscosidade dinâmica que é a propriedade dos fluidos que permite equilibrar, dinamicamente, forças tangenciais externas quando os fluidos estão em movimento, ou seja, é a propriedade que indica a maior ou menor dificuldade do fluido escoar (BRUNETTI, 2008).

Essa grandeza é altamente influenciada por mudanças na temperatura (OLIVEIRA; BARROS; ROSSI, 2009). A redução da viscosidade dinâmica nos líquidos devido ao aumento da temperatura, é atribuída ao aumento das distâncias intermoleculares provocadas durante o aquecimento, pois reduz as forças de atração entre as moléculas, diminuindo a viscosidade dinâmica (GRANJEIRO et al., 2007).

2.5 Secagem

2.5.1 Secagem por aspersão e suas vantagens

A tecnologia do secador por aspersão é amplamente conhecida e utilizada para transformar soluções, emulsões, suspensões, lamas e pastas em pós sólidos. Apresenta aplicabilidade mais representativa nas indústrias de produtos alimentícios, químicos e para aumentar a conservação de ingredientes, propriedades de partícula, manuseamento do pó e armazenagem, entre outros (LI et al., 2010).

Este processo tem se apresentado quando aplicado nas condições ideais, eficaz na obtenção de vários produtos. Porém, sua otimização é indispensável para a obtenção de produtos na forma de pó, com características sensoriais e nutricionais adequadas, assim como um bom rendimento (ROCHA et al., 2014).

O processo de secagem por aspersão envolve a atomização de um líquido em pequenas partículas que entram em contato com um ar aquecido no interior de uma câmara de secagem, resultando em um pó fino. O seu benefício, em relação à secagem por desidratação, está relacionado ao curto tempo de exposição do produto à elevada temperatura, fazendo com que a temperatura no interior da gotícula permaneça baixa, o que pode levar a uma menor degradação nutricional do produto (AZEREDO, 2004).

Segundo Fellows (2006), a secagem é rápida (1 a 10 s) devido à área superficial das gotículas. A taxa de alimentação é controlada para produzir uma temperatura de bulbo úmido (e temperatura do produto) de 40 a 50 °C, produzindo poucos danos pelo calor no alimento. O pó seco é coletado na base do secador e removido por parafuso transportador ou sistema pneumático com separador de ciclone. As principais vantagens desses secadores são a secagem rápida, a produção contínua em larga escala, baixos custos de mão-de-obra e operação e manutenção relativamente simples. As principais limitações são o alto custo inicial e a necessidade de um teor de umidade relativamente alto de alimentação, para garantir que o alimento possa ser bombeado até o atomizador. Isso resulta em custos de energias mais altos (para remover a umidade) e elevadas perdas de compostos voláteis.

De acordo com Goula e Adamopoulos (2010), a secagem por aspensão de polpas e sucos tem um grande potencial econômico, pois a transformação desses produtos na forma seca e em pó promove uma redução de volume, de embalagens, facilita o manuseio, transporte e prolonga a vida útil dessas matérias-primas. A obtenção dos produtos diretamente na forma de pó, é um ponto distintivo da tecnologia, pois elimina as etapas posteriores de trituração que são comuns em outros equipamentos de secagem (SILVA et al., 2014).

2.5.2 Liofilização e suas vantagens

O processo de secagem por liofilização (freeze drying) é um método bastante utilizado quando se trata de secagem de vegetais e preservação dos constituintes do produto inicial. Segundo Nireesha et al. (2013), é dividido em três estágios: no primeiro, o material a ser secado é congelado e, em seguida, submetido a um ambiente de temperatura e pressão abaixo do ponto triplo da água, permitindo assim a remoção da água primeiramente por sublimação (secagem primária) e, logo após, por dessorção (secagem secundária) até o alcance do teor de umidade final esperado. Sendo este processo bem sucedido, preserva-se as propriedades iniciais da matérias-primas, tais como: forma, dimensões, aparência, sabor, cor, textura e atividade biológica. O produto resultante da secagem, geralmente é muito poroso, quebradiço, higroscópico e com capacidade de reidratação excelente (CEBALLOS et al., 2012).

Além de todas as propriedades citadas acima, a secagem por congelamento, mantém níveis mais altos do total de compostos bioativos em comparação com secagem ao ar quente (SOGI et al., 2013), sendo este método, geralmente mais recomendado para secagem de

produtos que contêm componentes antioxidantes sensíveis ao calor tais como: tocoferóis, ácido ascórbico, carotenoides e fenólicos (SHOFIAN et al., 2011).

Assim, o processo de secagem por liofilização ratifica ser um método viável para aproveitar o excedente da produção das hortaliças, disponibilizando-as para o mercado consumidor uma forma mais estável e segura (TERRONI et al., 2013).

2.5.3 Secagem de hortaliças

Alguns estudos baseados na secagem de hortaliças vêm sendo realizado, devido o interesse nas suas propriedades nutricionais, terapêuticas, além de reduzir perda excessiva pós-colheita e prolongar a vida útil desses vegetais. Em seguida estão descritas algumas pesquisas baseadas nestes princípios.

Duarte et al. (2008) estudaram farinhas de quatro cultivares da *Brassica* secadas em ar convectivo a 80 °C, durante 2h, com branqueamento, e verificaram a diminuição nos valores de CE50 (atividade de eliminação de radicais), o que significa que a atividade antioxidante foi maior quando comparado as amostras frescas. Os valores de EC50 ainda eram mais baixos no caso de amostras liofilizadas, e os valores mais baixos foram encontrados para farinhas da “Penca da Póvoa” e “Galega” (CE50 = 0,47 - 0,48 mg mL⁻¹). Com os resultados obtidos, foi possível concluir que ambos os métodos de secagem possuem vantagens nas características físico-químicas das farinhas quando comparadas às amostras frescas. No que diz respeito à atividade antioxidante, ambos os métodos de secagem têm um efeito positivo. Assim, as farinhas de *Brassica*, apresentaram potencial antioxidante e, portanto, podem constituir uma importante fonte de antioxidantes a ser aplicada em diferentes matrizes alimentares.

Oliveira e Soares (2012) trabalharam na elaboração e caracterização físico-química, microbiológica e sensorial de alfavaca e o coentro desidratados em estufa com circulação de ar quente forçada a 60 °C. Houve redução do pH (7,21- 6,17 e 7,95- 5,67) e teor de água (90,20- 8,78 e 87,16- 16,71%) tanto nas amostras de alfavaca quanto nas de coentro, quando comparadas as amostras in natura e desidratadas, respectivamente. Porém, os teores de carboidratos, lipídeos, proteínas, cinzas e fibra se concentraram com o processo de secagem.

Santos et al. (2012) avaliariam a influência dos processos de liofilização e secagem em leito fixo a uma temperatura 50 °C durante 16 h, com uma velocidade de ar de 2 m s⁻¹ sobre os constituintes físico-químicos do coentro. No processo de secagem em leito fixo, a porcentagem de teor de água foi de 6,23%, menor do que o liofilizado com 8,63%, o que também é

perceptível por sua baixa atividade de água (0,35), quando comparado ao produto liofilizado (0,48). Percebeu-se que o processo de liofilização, quando comparado a secagem em estufa, apresentou menor perda de carotenóides (2,47 e 2,02 mg. g⁻¹ respectivamente), fenóis totais (0,09 e 0,06 mg. g⁻¹). Ambos os tratamentos promoveram degradação da clorofila, seja devido à exposição ao calor e/ou oxigênio; no entanto, os teores de clorofila A e B foram superiores no coentro em seco em secador (2,90 e 1,97 mg. g⁻¹) se comparado ao coentro liofilizado (1,65 e 1,22 mg. g⁻¹), a temperatura que foi exposto o coentro durante a secagem concentrou a clorofila e favoreceu a pigmentação do produto.

Lekcharoenkul et al. (2014) pesquisaram o aumento do teor de sulforafano em folhas externas de repolho usando técnica de secagem híbrida e mudança gradual da temperatura de secagem, onde a amostra preparada foi seca em um forno de ar quente a 45 °C, 60 °C ou 60 °C, seguido de 45 °C a uma velocidade de ar constante de 2 m s⁻¹ e umidade relativa do ar ambiente na faixa de 55-70%. Foram realizadas experiências de secagem a vácuo, a uma pressão absoluta de 5 kPa e uma temperatura de 60 °C. No caso da secagem híbrida, uma amostra foi primeiro seca por secagem de vapor superaquecida com baixa pressão (LPSSD), a uma pressão absoluta de 5 kPa e um vapor superaquecido na temperatura de 60 °C até a temperatura da amostra atingir 50 °C; então, o processo foi trocado para secagem a vácuo a 5 kPa e 45 °C, simplesmente fechando uma válvula de entrada de vapor. Entre os métodos e condições de secagem testados, a secagem híbrida com LPSSD (Low-pressure superheated steam drying- Secagem a vapor sobreaquecida a baixa pressão) a 60 °C, seguido de secagem a vácuo a 45 °C, levou à maior retenção de sulforafano no pó de repolho final.

Bernstein e Noreña (2015) realizaram o encapsulamento de antocianinas do repolho roxo (*Brassica oleracea* L. var. *capitata* L. f. *rubra*) através secagem por pulverização, usando diferentes agentes encapsulantes, temperatura do ar de secagem (140 e 160 °C) e concentração de agentes encapsulantes de goma arábica e polidextrose (10 e 15%). A concentração de antocianina resultante da extração com água acidificada foi de 261,02 mg.100 g⁻¹ e a atividade antioxidante do extrato em água acidificada foi de aproximadamente 34,6%. Tratando-se das amostras secas, houve menor retenção de antocianinas com o aumento da temperatura, e com o aumento da concentração de goma arábica houve uma maior retenção (10% de goma arábica: 140 °C- 90,85%; 160 °C- 82,86%); (15% de goma arábica: 140 °C- 97,10%; 160 °C- 91,54%); (10% polidextrose: 140 °C- 80,63%; 160 °C-78,72%);(15% polidextrose: 140 °C- 93,17%; 160 °C- 91,19%). Quanto a atividade antioxidante, houve maior retenção com o aumento da temperatura e uma menor com o aumento da concentração de maltodextrina (10% de goma

arabica: 140 °C- 21,72%; 160 °C- 22,48%); (15% de goma arabica: 140 °C- 14,42%; 160 °C- 16,12%); (10% polidextrose: 140 °C- 21,71%; 160 °C- 22,10%); (15% polidextrose: 140 °C- 14,01%; 160 °C-14,67%).

Lins et al. (2016) avaliaram a influência da temperatura de secagem de 60, 70 e 80 °C em secador de leito de jorro nas características físico-químicas do repolho roxo. Verificou-se que a utilização de temperaturas superiores favoreceu um aumento na taxa de transferência de calor para as partículas, o que induziu a uma maior evaporação da água do produto, resultando em pós com uma atividade de água mais baixa. Um aumento da temperatura do leito de 60 °C para 70°C e depois para 80 °C, provocou uma redução na atividade de água de 69, 78 e 83%, respectivamente; teor de água de 20,2, 18,7 e 16,8%, respectivamente; houve aumento do pH e conseqüentemente redução da acidez; os sólidos solúveis totais (°Brix) apresentaram um aumento (8,72 (in natura), 20 (60 °C), 25 (70 °C) e 27 (80 °C) com o aumento da temperatura, fato ocorrido pela diminuição do teor de água no meio, ocasionado por um aumento da precipitação de compostos que se encontravam originalmente em solução. O aumento da temperatura resultou no aumento do parâmetro L* e redução dos valores de a* e b*, causando uma redução nas tonalidades de vermelha e aumento na intensidade de azul.

Martinazzo et al. (2016) realizaram a cinética de secagem de folhas de cebolinha em secador elétrico de ar quente nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C e uma avaliação da qualidade microbiológica. Considerando os coeficientes de determinação e os erros padrões de ajuste, o modelo modificado de Page descreveu o melhor ajuste para a cinética de secagem das cebolas verdes a 40, 50 e 60 °C. As análises microbiológicas mostraram que a secagem das folhas de cebola verde a 60 °C proporcionou os melhores resultados em Unidade Formadora de Colônia por grama ($1,09 \times 10^4$ UFC/g) para mesofilo aeróbico, o que assegura qualidade microbiológica do produto e atendem às exigências da legislação vigente da Organização Mundial da Saúde, que estabelece o limite aceitável de 10^5 UFC/g para esses micro-organismos (WHO, 1998).

Rajkumar et al. (2017) fizeram uma avaliação comparativa de propriedades físicas e perfil voláteis de repolho submetidas ao ar quente à uma temperatura de 45 °C, através de um secador de ar quente convencional e liofilização. O teor inicial de água encontrado do repolho fresco foi 83,27 % em base seca, e para o secador ao ar quente foi de 2,81% e 2,43% para produto liofilizado. Os valores de a_w para repolhos secados ao ar quente e liofilizado foram baixos, variando entre 0,2210 e 0,2535, respectivamente; em comparação com as amostras frescas que foi de 0,6192. Em relação aos parâmetros de cor, não houve diferenças significativas nos valores L* entre as amostras frescas e desidratadas por ambos os métodos de secagem. Em

relação a^* (vermelho) e b^* (cor azul), foi insignificante para a^* , no entanto, b^* dominou na secagem ao ar quente e liofilização (33,50 e 32,66, respectivamente), enquanto em repolhos frescos foi de 29,47. Isto se dá, provavelmente, porque o ar intercelular preso no repolho obstruiu o verde da clorofila.

Crocetti et al. (2017) determinaram a composição centesimal a partir de métodos de secagem em liofilizador e estufa, empregando temperatura de 50 °C para a produção da farinha de beterraba. Os autores observaram que na farinha seca em estufa, houve um escurecimento do produto, pois como a mesma apresenta açúcares e proteínas, e por estes componentes terem sido expostos a altas temperaturas, deduziram que este escurecimento ocorreu devido aos processos de caramelização e/ou reação de Maillard. Em contrapartida, a farinha obtida por liofilização, manteve sua coloração, odor e sabor similares a beterraba in natura. Notou-se que ambas as farinhas eram higroscópicas, destacando-se a obtida por liofilização. A composição centesimal em % em 100g para as farinhas obtidas em estufa e por liofilização respectivamente: teor de água (10,44 e 15,11%), proteínas (16,92 e 14,58%), lipídios (0,36 e 0,90%), carboidratos (48,58 e 41,20%), fibras (14,80 e 20,51%), minerais (8,94 e 7,68), kcal (265,03 e 231,23%).

Novos métodos também vêm sendo desenvolvidos, como o estudo de Zhang e Long (2017) sobre a uniformidade de secagem da caixa de secagem estática de tamanho pequeno para frutas e vegetais. Esta caixa foi composta por área de secagem, câmara de pressão do ar, câmara de pressão do ar, duto de circulação e dispositivo de aquecimento. Nessa experiência, a caixa de secagem estática de frutas e vegetais em pequena escala foi feita sob a forma de fluxo de ar do tipo contínuo em paralelo com a placa de material. A taxa de aumento de temperatura de cada placa de material foi semelhante, a temperatura média foi de 38,8, 37,1, 38,7, 2,3, 1,7 e 3,9 °C, assim o material secou uniformemente. Em comparação com a superfície tradicional da caixa de secagem de bandeja de material, o tempo de secagem da caixa de secagem de bandeja de material na presente experiência é menor e a uniformidade de secagem é melhor, sendo mais propício à economia de energia.

Xu et al. (2020) realizaram uma avaliação comparativa das propriedades nutricionais, capacidade antioxidante e características físicas do repolho (*Brassica oleracea* var. *Capitata* var L.), submetido a diferentes métodos de secagem como a liofilização (FD), secagem por ar quente (HAD), secagem a vácuo por microondas (MVD), secagem a vácuo (VD), MVD combinada com HAD (MVD + HAD) e VD (MVD + VD). Os resultados demonstraram que o HAD conduziu a um efeito pior, com taxa de perda de componentes nutricionais > 45%. No entanto, dois métodos combinados apresentaram maior retenção de composições nutricionais,

melhor atividade antioxidante e menor consumo de energia que o HAD individual. Além disso, os produtos MVD + HAD exibiram maior capacidade de reidratação e estrutura porosa mais uniforme do favo de mel, mas menor dureza em relação ao HAD. Consequentemente, o MVD combinado com o HAD ou VD pode ser uma tecnologia promissora para desidratar repolhos devido ao seu menor consumo de energia, menor tempo de secagem e maior qualidade. E também, teria um ótimo desenvolvimento na perspectiva de mercado potencial e ampla produção em escala comercial.

Como exposto acima, além do aproveitamento de toda a parte do vegetal e redução de perdas pós-colheita, pesquisas estão sendo realizadas com base em estudos comparativos de métodos de secagem, testando o emprego de altas e baixas temperaturas a fim de disponibilizar um produto com uma melhor concentração de suas propriedades nutricionais, características iniciais e definir os melhores métodos e condições de secagem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBAS, S.; WEI, C.; HAYAT, K.; XIAOMING, Z. Ascorbic acid: microencapsulation techniques and trends – a review. **Food Reviews International**, v.28, p.343-374, 2012.

ABCSEM - Associação Brasileira do Comércio de Sementes e Mudanças - webdesign - CG Propaganda, 2020. **São Paulo é o maior produtor de repolho do País**. Disponível em: <<http://www.abcsem.com.br/noticias/3350/-sao-paulo-e-o-maior-produtor-de-repolho-do-pais>>. Acesso em: 07 de jan. 2020.

ANANDHARAMAKRISHNAN, C.; PADMA, I. S. Spray drying techniques for food ingredient encapsulation. **Wiley Blackwell: New York**, 2015.

ARAPITSAS, P.; TURNER, C. Pressurized solvent extraction and monolithic column-HPLC/DAD analysis of anthocyanins in red cabbage. **Talanta**, v.74, p.1218-1223, 2008.

AUGUSTIN, M. A.; HEMAR, Y. Nano- and microstructured assemblies for encapsulation of food ingredients. **Chemical Society Reviews**, v.38, n.4, p.902-912, 2009.

AULTON, M. E. **Delineamento de formas farmacêuticas**. Porto Alegre: Artmed, 2005. 667p.

AZEREDO, H. M. C. de. **Fundamentos de estabilidade de alimentos**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical. 2. ed. 2004. 195 p. Disponível em: <<http://livimagens.sct.embrapa.br/amostras/00075550.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2017.

BERNSTEIN, A.; NOREÑA, C. P. Z. Encapsulation of red cabbage (*Brassica oleracea* L. var. *capitata* L. f. *rubra*) anthocyanins by spray drying using different encapsulating Agents. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.58, n.6, p.944-952, 2015.

BOURNE, M. **Food texture and viscosity: Concept and measurement**. Food science and technology international series, 2 ed. Academic Press, p. 416, 2002.

BOTREL, D. A.; FERNANDES, R. V. B.; BORGES, S. V.; YOSHIDA, M. I. Influence of wall matrix systems on the properties of spray-dried microparticles containing fish oil. **Food Research International**, v.62, p.344-352, 2014.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC n. 269, de 22 Setembro de 2005. **Aprova o regulamento técnico sobre a Ingestão Diária Recomendada (IDR) de proteína, vitaminas e minerais**. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 23 de Setembro de 2005. Disponível em: <<http://e-legis.anvisa.gov.br/leisref/public/showAct.php?id=18828&word=>>>. Acesso em: 15 set. 2017.

CAI, Y. Z.; CORKE, H. Production and properties of spray-dried *Amaranthus* betacyanin pigments. **Journal of Food Science**, v.65, n.6, p.1248-1252, 2000.

CANO-CHAUCA, M.; STRINGHETA, P.C.; RAMOS, A.M.; CAL-VIDAL, C. 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, p.420-428, 2005.

CAPRISTE, G. H.; ROTSTEIN, E. Prediction of sorptional equilibrium data for starch-containing foodstuffs. **Journal of Food Science**, v.47, n.8, p.1501-1507, 1982.

CAVALCANTI, R. N.; SANTOS, D. T.; MEIRELES M. A. Non-thermal stabilization mechanisms of anthocyanins in model and food systems - An overview. **Food Research International**, v.44, p.499-509, 2011.

CEBALLOS, A. M.; GIRALDO, G. I.; ORREGO, C. E. Effect of freezing rate on quality parameters of freeze dried sour sop fruit pulp. **Journal of Food Engineering**, v.111, n.2012, p.360-365, 2011.

CHIGURUPATI, N.; SAIKI, L.; GAYSER, J. R. C.; DASH A. K. Evaluation of red cabbage dye as a potential natural color for pharmaceutical use. **International Journal of Pharmaceutics**, v.241, p.293=299, 2002.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2. ed. Lavras: UFLA, p. 785, 2005.

CROCETTI, A.; OGLEARI, C. H.; GOMES, G.; SARE, I.; CAMPOS, F. R.; BALBI, M. E. Determinação da composição centesimal a partir de dois métodos de secagem para a produção da farinha de beterraba (*Beta vulgaris*, L. Família Amaranthaceae). **Visão Acadêmica**, v.17, n.4, p.x-x, 2017.

DEMIRBAS, A.; WELT, B. A.; OCSOY, I. Biosynthesis of red cabbage extract directed Ag NPs and their effect on the loss of antioxidant activity. **Materials Letters**, v.179, p.20-23, 2016.

DRAGHICI, G. A.; LUPU, M. A.; BOROZAN, A.; NICA, D.; ALDA, S.; ALDA, L.; GOGOASA, I.; GERGEN, I.; BORDEAN, D. M. Red cabbage, millennium's functional food. **Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology**, v.17, n.4, p.52-55, 2013.

DRAPER, H. H.; SQUIRES, E. J.; MAHMOODI, H.; WU, J.; AGARWAL, S.; HADLEY, M. A. comparative evaluation of thiobarbituric acid methods for the determination of malondialdehyde in biological materials. **Free Radical Biology and Medicine**, v.15, n.4, p.353-363, 1993.

DUARTE C.; SOUSA P.; ROCHA S.; PINHEIRO R.; VAZ VELHO M. The effect of different drying processes on physicochemical characteristics and antioxidant activity of *Brassica* spp. Cultivars from Northern Atlantic Portugal. **Chemical Engineering Transactions**, v.75, p.421-426, 2019.

EASTMAN, J. E.; MOORE, C. O. **Cold water soluble granular starch for gelled foodcComposition**. U.S. Patent 4465702, 14 ago. 1984.

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

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: Princípio e prática**, 2ª ed., editora Artmed, São Paulo, 2006.

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

FRANCIS, F. J. **Analysis of anthocyanins**. In: MARKAKIS, P. (Ed.). Anthocyanins as food colors. New York: Academic Press, p.181-207, 1982.

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

FREUDIG, B.; HOGEKAMP, S.; SCHUBERT, H. Dispersion of powders in liquids in a stirred vessel. **Chemical Engineering and Processing: Process intensification**, v.38, n.4-6, p.525-532, 1999.

FABRA, M. J.; MÁRQUEZ, E.; CASTRO, D.; CHIRALT, A. Effect of maltodextrins in the water-content-water activity-glass transition relationships of noni (*Morinda citrifolia* L.) pulp powder. **Journal of Food Engineering**, v.103, p.47-51, 2011.

FROTA, M. L. JR.; BRAGANHOL, E.; CANEDO, A. D.; KLAMT, F.; APEL, M.A.; MOTHE, B.; LERNER, C.; BATTASTINI, A. M.; HENRIQUES, A. T.; MOREIRA, J. C. Brazilian marine sponge *Polymastia janeirensis* induces apoptotic cell death in human U138MG glioma cell line, but not in a normal cell culture. **Investigational new drugs**, v.27, n.1, p.13-20, 2009.

GOULA, A. M.; ADAMOPOULOS, K. G. Spray drying of tomato pulp: Effect of feed concentration. **Drying Technology**, v.22, n.10, p.2309-2330, 2004.

GOULA, A. M.; ADAMOPOULOS, K. G. A new technique for spray drying orange juice concentrate. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v.11, p.342-351, 2010.

GRANJEIRO, A. A.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; MATA, M. E. R. M. C. Viscosidades de polpas concentradas de figo-da-Índia. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.13, n.2, p.219-224, 2007.

HOLDSWORTH, S. D. Aplicabilidade de modelos reológicos à interpretação do comportamento de fluxo e processamento de produtos alimentícios de fluido. **Journal of Texture Studies**, v. 2 n. 4, p. 393-418, 1971.

IAL- Instituto Adolfo Lutz. **Método físico químicos para análise de alimentos**. 6ª Ed, 1ª Edição Digital, São Paulo, 2008. 1020p.

IGARASHI, K.; KIMURA, Y.; TAKENAKA, A. Preventive effects of dietary cabbage acylated anthocyanins on paraquat-induced oxidative stress in rats. **Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry**, v.64, n.8, p.1600-1607, 2000.

JIMÉNEZ-MARTIN, E.; GHARSALLAOU, A.; PÉREZ-PALACIOS, T; CARRASCAL, J. R; ROJAS, T. A. Suitability of using monolayered and multilayered emulsions for microencapsulation of ω -3 fatty acids by spray drying: Effect of storage at different temperatures. **Food and Bioprocess Technology**, v.8, n.1, p.100-111, 2015.

LABUZA, T. P.; KAAANANE, A.; CHEN, J. Y. Effect of temperature on the moisture sorption isotherms and water activity shift of two dehydrated foods. **Journal of Food Science**, v.50, p.358-392, 1985.

LAU, F.C.; SHUKITT-HALE, B.; JOSEPH, J. A. Beneficial effects of berry fruit polyphenols on neuronal and behavioral aging. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.86, n.14, p.2251-2255, 2006.

LEE, I. S. L.; BOYCE, M. C.; BREADMORE, M. C. A rapid quantitative determination of phenolic acids in Brassica oleracea by capillary zone electrophoresis. **Food Chemistry**, v.127, p.797-801, 2011.

LEKCHAROENKUL, P.; TANONGKANKIT, Y.; CHIEWCHAN, N.; DEVAHASTIN, S. Enhancement of sulforaphane content in cabbage outer leaves using hybrid drying technique and stepwise change of drying temperature. **Journal of Food Engineering**, v.122, p.56-61, 2014.

LI, X.; ANTON, N.; ARPAGAUS, C.; BELLETEIX, F.; VANDAMME, T. F. Nanoparticles by spray drying using innovative new technology: The Büchi Nano Spray Dryer B-90. **Journal of Controlled Release**, v.147, n.2, p.304-310, 2010.

LIN, J. Y., LIA, C.Y., HWANG, I.F. Characterisation of the pigment components in red cabbage (*Brassica oleracea* L. var.) juice and their anti-inflammatory effects on LPS-stimulated murine splenocytes. **Food Chemistry**, v.109, n.4, p.771-781, 2008.

LINS, A. D. F.; SILVA, F. B.; NUNES, J. S.; ROCHA, A. P. T.; ARAÚJO, G. T. Influência da temperatura de secagem em leite de jorro sob as características físicoquímicas do repolho roxo. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.11, n.2, p.5-8, 2016.

MARTINAZZO, A. P.; CORREA FILHO, L. C.; TEODORO, C. E. S.; BERBERT, P. A. Drying kinetics and microbiological quality of green onions. **Revista Ceres**, v.63, n.6, p.769-774, 2016.

MCDUGALL, G. J.; FYFFE S.; DOBSON, P.; STEWART, D. Anthocyanins from red cabbage - Stability to simulated gastrointestinal digestion. **Phytochemistry**, v.68, p.1285-1294, 2007.

MELO, M. G. D.; SANTOS, J. P. A.; SERAFINI, M. R.; CAREGNATO, F. F.; PASQUALI, M. A.; RABELO, T. K.; ROCHA, R. F.; QUINTANS, L. JR.; ARAÚJO, A. A.; SILVA, F. A.; MOREIRA, J. C; GELAIN D. P. Redox properties and cytoprotective actions of atranorin, a lichen secondary metabolite. **Toxicology in Vitro**, v.25, n.2, p.462-468, 2011.

MIZGIER, P.; KUCHARSKA, A. Z.; SOKÓŁ-ŁĘTOWSK, A.; KOLNIAK-OSTEK, J.; KIDOŃ, M.; FECKA, I. Characterization of phenolic compounds and antioxidant and anti-inflammatory properties of red cabbage and purple carrot extracts. **Journal of Functional Foods**, v.21, p.133-146, 2016.

MORENO, L. B.; SCHERWINSKI, R.; SILVA, J. M. T.; SCALON, S. P. Q.; CARNEVALLI, T. O. Conservação de repolho minimamente processado sob efeito de diferentes embalagens,

tempo de estocagem e temperatura. **Revista de Agricultura Neotropical**, v.3, n.2, p.68-74, 2016.

MOSQUERA, L. H.; MORAGA, G.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. Effect of maltodextrin on the stability of freeze-dried borjón (*Borojoa patinoi* Cuatrec.) powder. **Journal of Food Engineering**, v.97, p.72-78, 2010.

NAZARRO, F.; ORLANDO, P.; FRATIANNI, F.; COPPOLA, R. Microencapsulation in food science and biotechnology. **Current Opinion in Biotechnology**, v.23, p.182-186, 2012.

NIREESHA, G. R.; DIVYA, L.; SOWMYA, C.; VENKATESHAN, N. NIRANJAN BABU, M.; LAVAKUMAR, V. Liophilization/freeze drying - An review. **International journal of novel trends in pharmaceutical Science**, v.3, n.4, p.87-98, 2013.

OLIVEIRA, D. C. R.; SOARES, E. K. B. Elaboração e caracterização físico-química, microbiológica e sensorial de produtos desidratados obtidos a partir de matérias-primas amplamente consumidas na Amazônia. **Scientia Plena**, v.8, n.5, p.1-7, 2012.

OLIVEIRA, R. C.; BARROS, S. T. D.; ROSSI, R. M. Aplicação da metodologia Bayesiana para o estudo reológico da polpa de uva. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.11, n.1, p.73-80, 2009.

PARK, Y. J.; JEON, K. H.; KIM, S. H.; BAE S. J. The effect on antimicrobial and cytotoxicity of *Brassica oleracea* L. **Fractions. Journal of Life Sciences**, v.14, n.4, p.567-72, 2004.

PBMH - Programa Brasileiro para a Modernização da Horticultura. **Normas de Classificação - Repolho**. v. 12, n. 1, 2014, 8p. – São Paulo: PBMH, 2003- Semestral, ISSN 2237-6666.

PEARSON, D. **Técnicas de laboratório para el análisis de alimentos**. Zaragoza, Españã: Acribia, 1976. 331p.

PELEG, M. Assessment of a semi-empirical four parameter general model for sigmoid moisture sorption isotherms. **Journal of Food Processing Engineering**, v.16, p.21-37, 1993.

POTERA, C. The artificial food dye blues. **Environ. Health Concerns**, v.118, n.10, p.118-428, 2010.

POURJAVAHER, S.; ALMASI, H.; MESHKINI, S.; PIRSA, S.; PARANDI, E. Development of a colorimetric pH indicator based on bacterial cellulose nanofibers and red cabbage (*Brassica oleraceae*) extract. **Carbohydrate Polymers**, v.156, p.193-201, 2017.

PRIETTO, L.; MIRAPALHETE, T. C.; PINTO, V. Z.; HOFFMANN, J. F.; ZAVAREZE, E. R. pH-sensitive films containing anthocyanins extracted from black bean seed coat and red cabbage. **LWT - Food Science and Technology**, v.80, p.492-500, 2017.

RAJKUMAR, G.; SHANMUGAM, S.; GALVÃO, M. de S.; SANDES, R. D. D.; LEITE NETA, M. T. S.; NARAIN, N.; MUJUMDAR, A. S. Comparative evaluation of physical properties and volatiles profile of cabbages subjected to hot air and freeze drying. **LWT- Food Science and Technology**, v.80, p.501-509, 2017.

RAMOS, E. M.; GOMIDE, L. A. M. **Avaliação da qualidade de carnes: fundamentos e metodologias**. Viçosa, 2007.

ROBERTSON, G., L. **Food packaging: Principles and practice**. New York: Marcel Drekker; 1993. p.680.

ROCHA, É. M. F. F.; SOUSA, S. L.; COSTA, J. P.; RODRIGUES, S.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. Obtenção de suco de caju atomizado através do controle das condições de secagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.6, p.646-651, 2014.

SANTOS, A. B.; FERREIRA, V. P.; GROSSO, C. R. F. Microcápsulas: Uma alternativa viável. Microencapsulação de produtos sensíveis à oxidação óleo-resina de páprica. **Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento**, v.3, p.26-30, 2000.

SANTOS, G.; OLIVEIRA, M. da C.; MORAES, M. H.; PAGANI, A. A. C. Estudo comparativo do coentro (*Coriandum sativum* L.) seco obtido em diferentes métodos de secagem. **Revista GEINTEC**, v.2, n.3, p.236-244, 2012.

SANTOS, G. R.; DIAS, S. S.; CONSTANT, P. B. O. L.; SANTOS, J. A. B. Caracterização físico-química do repolho roxo (*Brassica oleracea*). **Revista GEINTEC**, v.3, n.5, p.1-12, 2013.

SALUK, J.; BIJAK, M.; POSMYK, M. M.; ZBIKOWSKA, H. M. Red cabbage anthocyanins as inhibitors of lipopolysaccharide-induced oxidative stress in blood platelets. **International Journal of Biological Macromolecules**, v.80, p.702-709, 2015.

SCHAFRANSKI, K.; RODRIGUES, S. Á. Extração e estabilidade de antocianinas do repolho roxo (*Brassica oleracea*). **Revista Espacios**, v.38, n.27, p.1-8, 2017.

SILVA, R.; PIRES, E. A.; FILHO, A. R. M.; SANTOS, J. A. B.; Análise prospectiva do uso de spray drying na obtenção de desidratados de frutas tropicais. **Caderno Prospecção**, v.7, n.2, p.187-197, 2014.

SILVA, E. O.; CARNELOSSI, M. A. G.; PUSCHMANN, R.; SOARES, N. F. F.; VANETTI, M. C. D.; MININ, V. P. R.; CAMPOS, R. S. Processamento mínimo de repolho. **Manual de Processamento de Frutas e Hortaliças**. Cap 25. pág. 465-482. Embrapa. Brasília, DF. 2007.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. Principal components analysis in the software assistat statistical attendance. In: World Congress on Computers in Agriculture, 7, 2016, Reno-NV-USA. **Proceedings...** St Joseph: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2016.

SODAGARI, H. R.; FARZAEI, M. H.; BAHRAMSOLTANI, R.; ABDOLGHAFFARI, A. H.; MAHMOUDI, M.; REZAEI, N. Dietary anthocyanins as a complementary medicinal approach for management of inflammatory bowel disease. **Expert Review of Gastroenterology & Hepatology**, v.9, p.807-820, 2015.

SHOFIAN, N. M.; HAMID, A. A.; OSMAN, A.; SAARI, N.; ANWAR, F.; DEK, M. S. P. Effect of freeze-drying on the antioxidant compounds and antioxidant activity of selected tropical fruits. **International Journal of Molecular Sciences**, v.12, p.4678-4692, 2011.

SOGI, D. A.; SIDDIQ, M.; GREIBY, I.; DOLAN, K. D. Total phenolics, antioxidant activity, and functional properties of 'Tommy Atkins' mango peel and kernel as affected by drying methods. **Food Chemistry**, v.141, p2649-2655, 2013.

SOUZA, A. L. R.; RODRIGUES, F. M.; SILVA, G. V.; SANTOS, R. R. Microencapsulação de sucos e polpas de frutas por spray drying: Uma revisão. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.17, n.3, p.327-338, 2015.

SUAVE, J.; DALL`AGNOL, E. C.; PEZZIN, A. P. T.; SILVA, D. A. K.; MEIER, M. M.; SOLDI, V. Microencapsulação: Inovação em diferentes áreas. **Revista Saúde e Ambiente/Health and Environment Journal**, v.7, p.12-20, 2006.

TACO - Tabela Brasileira de Composição de Alimentos. 4. ed. revisada e ampliada - Campinas: NEPA- UNICAMP, 2011. 161p.

TALL, J. M.; SEERAM, N. P.; ZHAO, C.; NAIR, M. G.; MEYER, R. A.; RAJA, S. N. Tart chrry anthocyanins suppress inflammation-induced pain behavior in rat. **Behavioural Brain Research**, v.153, p.181-188, 2004.

TERRONI, H. C.; JESUS, J. M. de; ARTUZO, L.T.; VENTURA, L. V.; SANTOS, R. F. Liofilização. **Revista Científica UNILAGO**, v.1, p.271-274, 2013.

TSUDA, T. Dietary anthocyanin-rich plants: biochemical basis and recent progress in health benefits studies. **Molecular Nutrition Food Research**, v.56, p.159-170, 2012.

VLADIĆ, J.; AMBRUS, R.; SZABÓ-RÉVÉSZ, P.; VASIĆ, A.; CVEJIN, A.; PAVLIĆ, B.; VIDOVIĆ, S. Recycling of filter tea industry by-products: Production of *A. millefolium* powder using spray drying technique. **Industrial Crops and Products**, v.80, p.197-206, 2016.

WANCZINSKI, B. J.; FELIPE, D. F.; CARDOSO, M. L. C.; CAVALCANTI, O. A.; Desenvolvimento de comprimidos de AAS 500 mg: Influência do Amido 1500® na compressão direta. **Acta Scientiarum**, v.24, n.3, p.649-655, 2002.

WHO - World Health Organization. **Quality control methods for medicinal plant materials**. New York, WHO. 1998. 122p.

WICZKOWSKI, W.; SZAWARA-NOWAK, D.; TOPOLSKA, J. Red cabbage anthocyanins: Profile, isolation, identification, and antioxidant activity. **Food Research International**, v.51, p.303-309, 2013.

WICZKOWSKI, W.; OPOLSKA, J.; HONKE, J. Anthocyanins profile and antioxidant 797 capacity of red cabbages are influenced by genotype and vegetation period. **Journal of Functional Foods**, v.7, p.201-211, 2014.

WU, X; BEECHER, G.R.; HOLDEN, J. M.; HAYTOWITZ, D. B.; GEBHARDT, S. E.; PRIOR, R. L. Concentrations of anthocyanins in common foods in the United States and estimation of normal consumption, **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.54, p.4069-4075, 2006.

XU, Y., XIAO, Y., LAGNIKA, C., LI, D., LIU, C., JIANG, N., CANÇÃO J., ZHANG, M. A comparative evaluation of nutritional properties, antioxidant capacity and physical characteristics of cabbage (*Brassica oleracea* var. *Capitate* var L.) subjected to different drying methods. **Food Chemistry**, v.309, p.1- 8, 2020.

YU, Q.; HWANG, G.; CAI, M.; ZHOU, F.; LIU, W. In situ zwitterionic supramolecular Gel for significantly improved tribological properties. **Tribology International**, v. 95, p. 55- 65, 2016

ZHANG, R.; LON, J. Study on drying uniformity of static small-sized drying box for fruits and vegetables. **Procedia Engineering**, v.205, p.2615-2622, 2017.

**3 CAPÍTULO 1 – CARACTERIZAÇÃO, PERFIL DE TEXTURA E VISCOSIDADE
DINÂMICA DO SUMO DE REPOLHO ROXO**

Caracterização, perfil de textura e viscosidade dinâmica do sumo de repolho roxo

Resumo

A maltodextrina é um dos principais aditivos utilizados na secagem aspersão, porém, o uso de grande quantidade acarreta descaracterização sensorial, reduz o valor nutricional e aumenta a viscosidade do produto, o que não é desejável para a secagem. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência de diferentes empregos de temperatura e concentrações de maltodextrina sobre a viscosidade dinâmica e perfil de textura do sumo de repolho roxo. Os repolhos foram processados para obtenção do sumo e foram realizadas determinações de atividade de água, teor de água, pH, acidez total titulável (ATT), ratio SST/ATT, cinzas, minerais, luminosidade (L^*), intensidade de vermelho ($+a^*$), intensidade da azul ($-b^*$), croma (C^*), ângulo da tonalidade, teor de antocianinas, flavonoides, antioxidantes, compostos fenólicos, perfil de textura e viscosidade dinâmica. Os resultados da caracterização físico-química do sumo integral foram avaliados por estatística descritiva, utilizando-se de média e desvio-padrão. Os dados experimentais do perfil de textura foram analisados em triplicata e os resultados submetidos à análise de fator único de variância (ANOVA), submetidas a teste de Tukey a nível de 0,05 de probabilidade, utilizando-se o Programa computacional ASSISTAT, versão 7.7 Beta. Os dados da viscosidade dinâmica foram submetidos à análise no software Statistica® 7.0, utilizando a metodologia de superfície de resposta. Como resultados, observou-se que repolho roxo é uma boa fonte de minerais, compostos fenólicos e antocianinas, traduzindo assim em sua capacidade antioxidante. O emprego da maltodextrina ao sumo de repolho roxo proporcionou o aumento da firmeza, consistência, coesividade, índice de viscosidade e da viscosidade dinâmica, o que do ponto de vista industrial, dificulta o escoamento e a troca de calor durante o processo. Porém, o aumento da temperatura proporcionou redução na viscosidade dinâmica, o que é favorável para facilitar o escoamento do fluido, resultando em menos gasto de energia, menos aderência da amostra as paredes da câmara de secagem, favorecendo o rendimento do produto final.

Palavras-chave: *Brassica oleracea* L. var. *capitata* f. *rubra*, maltodextrina, temperatura, consistência, fluido.

Abstract

Maltodextrin is one of the main additives used in spray drying, however, the use of a large quantity leads to sensorial de-characterization, reduces the nutritional value and increases the viscosity of the product, which is not desirable for drying. Thus, the objective of this work was to evaluate the influence of different uses of temperature and concentrations of maltodextrin on the dynamic viscosity and texture profile of red cabbage juice. The cabbages were processed to obtain the juice and determinations of water activity, water content, pH, titratable total acidity (ATT), SST / ATT ratio, ash, minerals, luminosity (L^*), red intensity ($+a^*$), blue intensity ($-b^*$), chroma (C^*), pitch angle, anthocyanins, flavonoids, antioxidants, phenolic compounds, texture profile and dynamic viscosity content. The results of the physical-chemical characterization of the whole juice were evaluated by descriptive statistics, using means and standard deviations. The experimental data of the texture profile were analyzed in triplicate and the results submitted to the analysis of single variance factor (ANOVA), submitted to the Tukey test at the level of 0.05 of probability, using the ASSISTAT computer program, version 7.7 Beta. The dynamic viscosity data were subjected to analysis in the Statistica® 7.0 software, using the response surface methodology. As a result, it was observed that red cabbage is a good source of minerals, phenolic compounds and anthocyanins, thus translating into its antioxidant

capacity. The use of maltodextrin to red cabbage juice provided an increase in firmness, consistency, cohesiveness, viscosity index and dynamic viscosity, which from an industrial point of view, hinders the flow and heat exchange during the process. Porém, o aumento da temperatura proporcionou redução na viscosidade dinâmica, o que é favorável para facilitar o escoamento do fluido, resultando em menos gasto de energia, menos aderência da amostra as paredes da câmara de secagem, favorecendo o rendimento do produto final.

Keywords: *Brassica oleracea* L. var. *capitata* f. *rubra*, maltodextrin, temperature, consistency, fluid.

3.1 Introdução

O repolho roxo pertence à família *Brassicaceae*, tem alta capacidade antioxidante, é rico em minerais, vitaminas, antocianinas e polifenóis (DASGUPTA et al., 2019).

Sua principal forma de comercialização é in natura, que implica em curta vida útil com problemas relacionados ao murchamento, queima das folhas, odor desagradável e conseqüentemente perda de nutrientes. Assim, torna-se importante diversificar sua forma de comercialização, viabilizando-o como um produto seco com maior estabilidade. Na secagem de vegetais, geralmente utiliza-se como adjuvante a maltodextrina, por ser de baixo custo e fácil acesso. Segundo Mcpherson (1997), maltodextrinas são biopolímeros gerados da hidrólise parcial do amido e tem extensa utilização como ingrediente por proporcionar características desejáveis a alimentos processados. São classificadas pelo seu grau de hidrólise, expresso em dextrose equivalente (DE), que é a porcentagem de açúcares redutores calculados como glicose em relação ao peso seco do amido.

A maltodextrina é um dos principais adjuvantes utilizados para auxiliar a secagem por aspersão, porém, o uso de grande quantidade acarreta descaracterização sensorial, reduz o valor nutricional e aumenta a viscosidade do produto, o que não é desejável para a secagem (BHANDARI et al., 1997), uma vez que a viscosidade da emulsão e a distribuição do tamanho de partículas na câmara de secagem tem efeitos significativos sobre a microencapsulação na secagem por aspersão, pois altas viscosidades interferem no processo, levam a formação de gotas alongadas e grandes, que afetam negativamente a taxa de secagem (ROSENBERG, KOPELMAN; TALMON, 1990). Além disso, pode provocar entupimento do equipamento ou gotejamento da amostra, bem como, exercer influência nas etapas do processo como a velocidade do bombeamento para o interior da câmara de secagem, pressão do spray, aderência da amostra as paredes da câmara de secagem, evaporação, rendimento, entre outros (GIANFRANCESCO et al., 2010).

A análise do perfil de textura é uma técnica instrumental utilizada para medir a resistência de diferentes materiais, mediante a utilização do texturômetro, que pode analisar diversos tipos de alimentos (RAMOS; GOMIDE, 2007). A viscosidade dinâmica é a propriedade dos fluidos que permite equilibrar, dinamicamente, forças tangenciais externas quando os fluidos estão em movimento, ou seja, é a propriedade que indica a maior ou menor dificuldade do fluido escoar (BRUNETTI, 2008). Muitas pesquisas têm corroborado que essa grandeza é altamente influenciada por mudanças na temperatura (OLIVEIRA; BARROS; ROSSI, 2009). Assim, objetivou-se com este trabalho caracterizar o sumo de repolho roxo quanto aos parâmetros físico-químicos e químicos, avaliar a influência de diferentes de temperaturas e concentrações de maltodextrina sobre o perfil de textura e viscosidade dinâmica do sumo de repolho roxo.

3.2 Material e Métodos

3.2.1 Local de realização dos experimentos

O experimento foi realizado no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas (LAPPA), Laboratório de Engenharia de Alimentos (LEA) e Laboratório de Fontes Renováveis de Energia (LABFREN) pertencentes à Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, Paraíba (PB), Laboratório de Tecnologia de Grãos e Cereais, pertencente à UFCG, Pombal, PB, Laboratório de Eletroquímica e Corrosão, pertencente à UFCG, Cuité, PB.

3.2.2 Matérias-primas

Foi utilizado ‘repolhos roxos’, em estágio de maturação maduro, oriundos da cidade de Espírito Santo- PB, e transportados para o Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas (LAPPA). O agente encapsulante utilizado foi a maltodextrina (MD) MOR-REX 1910 da empresa Ingredion do Brasil Ltda.

3.2.3 Processamento do repolho roxo e elaboração das formulações

Os repolhos foram recepcionados no laboratório, selecionados e retirados as eventuais folhas deterioradas. Logo após, as folhas foram lavadas em água corrente para a remoção de sujidades, sanitizadas em solução de hipoclorito de sódio a 50 ppm por 15 min, enxaguadas em água corrente e dispostas em peneira para drenagem da água. Posteriormente, foram cortadas em pequenos pedaços e, em seguida, triturados em multiprocessador storcator fructe (Panasonic MJ-DJ01STQ). O sumo obtido foi homogeneizado e submetido ao processo de refino em peneiras com malha de 0,5 mm; em seguida, envasado em sacos plásticos de polietileno de baixa densidade (15 x 30) cm transparentes e estocados em freezer horizontal (-18 ± 2) °C, até a realização dos experimentos.

As formulações foram elaboradas com concentrações de 10, 15 e 20% de maltodextrina e sumo de repolho roxo.

3.2.4 Caracterização físico-química do sumo repolho roxo

A determinação da atividade de água foi realizada através de leitura direta, com o auxílio do equipamento Aqualab 3TE (Decagon) a 25 °C. As análises utilizadas seguiram os métodos analíticos descritos pelo IAL (2008): o teor de água foi determinado em estufa a 105 °C durante 24h e os resultados foram expressos em percentagem (%); o pH foi obtido pelo método potenciométrico com o medidor de pH, previamente calibrado com soluções tampão de pH 4,0 e 7,0; a acidez total titulável foi determinada por titulometria, com os resultados expressos em percentagem de ácido cítrico; o teor de sólidos solúveis totais expresso em °Brix, foi determinado pelo método refratométrico; a relação SST/ATT foi obtida pelo quociente entre os resultados das análises de sólidos solúveis totais e acidez total titulável; e a determinação de cinzas foi feita através da mufla a 600 °C durante 6h, cujos resultados foram expressos em percentagem (%).

Os minerais contidos nas cinzas foram identificados e quantificados por Espectrômetro de Fluorescência de Raios-X por Energia Dispersiva (Shimadzu EDX-7000).

A cor foi determinada por leitura direta no sumo de repolho utilizando-se espectrofotômetro, Hunter Lab Mini Scan XE Plus, modelo 4500 L com sistema de cor Cielab. Os parâmetros determinados foram: L^* que representa a luminosidade, a transição do branco (0) para o preto (100); a^* que representa a transição da intensidade da cor verde ($-a^*$) para a cor vermelha ($+a^*$); e b^* a transição da intensidade da cor azul ($-b^*$) para a cor amarela ($+b^*$). Com os dados de a^* e b^* foram calculados o croma (C^*), que corresponde à saturação ou intensidade

da cor, sendo 0- cor impura e 60- cor pura (Equação 3.1) e o ângulo de tonalidade, que expressa a cor perceptível da amostra sendo dependentes dos valores de a^* e b^* , em que 0° - vermelho; 90° - amarelo; 180° - verde; 270° - azul e 360° - preto (Equação 3.2):

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (3.1)$$

$$h = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad (3.2)$$

3.2.5 Caracterização química do sumo repolho roxo in natura

As antocianinas totais e flavonoides foram determinados segundo a metodologia descrita por Francis (1982), adicionando-se à amostra a solução extratora de etanol- HCl 1,5 N na proporção 85:15 (v/v). As leituras foram feitas no comprimento de onda de 535 nm para as antocianinas, e 374 nm para flavonoides. Os resultados foram expressos em $\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ e calculados através da Equação 3.3 e 3.4 respectivamente:

$$\text{Antocianinas totais} = \frac{Fd \times Abs}{98,2} \quad (3.3)$$

Onde:

Fd - fator de diluição; e,

Abs - absorbância a 535 nm.

$$\text{Flavonoides} = \frac{Fd \times Abs}{76,6} \quad (3.4)$$

Onde:

Fd - fator de diluição; e,

Abs - absorbância a 374 nm.

A capacidade antioxidante foi determinada pela redução do radical estável DPPH através da ação dos antioxidantes presentes na amostra, de acordo com Brand-Willams,

Cuvelier e Berset (1995), com modificações de Qewelw et al. (2013) e Fernandes et al. (2015). Os resultados foram expressos em mg de equivalente de trolox 100 por g da amostra.

Os compostos fenólicos totais foram determinados em espectrofotômetro, de acordo com o método de Folin-Ciocalteu descrito por Waterhouse e Laurie (2006). Os resultados foram expressos em mg de equivalente de ácido gálico por 100 g de amostra.

3.2.6 Análise do perfil de textura do sumo integral e formulados

A análise do perfil de textura (APT) do sumo integral e formulado com 10, 15 e 20% de maltodextrina, foi realizada no analisador de textura TATX plus - STABLE MICRO SYSTEMS. As quatro amostras foram analisadas com altura de 4,0 cm; velocidade de teste: 1,0 mm. s⁻¹; e distância de retorno: 30 mm, com o probe A/BE, cilindro de alumínio com diâmetro de 45 mm de diâmetro, na temperatura de 25 ± 2 (°C). No perfil de textura, os atributos estudados foram: firmeza, consistência, coesividade e índice de viscosidade.

3.2.7 Viscosidade dinâmica

Foi utilizado o viscosímetro da marca Schott, modelo AVS 350 com capilar de nº 300 e constante K: 0,2407 mm². s² para realização das leituras de determinação da viscosidade dinâmica do sumo integral e formulado com 10, 15 e 20% de maltodextrina, com variação de diferentes temperaturas (25, 30, 35, 40 e 45 °C), onde para cada temperatura houve a contagem do tempo da estabilização do equipamento, em triplicata, para que fosse construído o gráfico de superfície de resposta

3.2.8 Análise estatística

Os dados da caracterização físico-química do sumo integral foram avaliados por estatística descritiva, utilizando-se de média e desvio-padrão.

Os dados experimentais do perfil de textura foram analisados em triplicata e os resultados submetidos à análise de fator único de variância (ANOVA), submetidas a teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade, utilizando-se o Programa computacional ASSISTAT, versão 7.7 Beta (SILVA; AZEVEDO, 2016).

Os dados da viscosidade dinâmica foram submetidos à análise no software Statistica® 7.0, utilizando a metodologia de superfície de resposta, na qual foram analisadas as variáveis independentes: viscosidade (Pa.s), temperatura (T °C), concentração de maltodextrina (%).

3.3 Resultados e Discussão

Na Tabela 3.1 estão expressos os dados do sumo de repolho roxo in natura, onde se confirmam a alta perecibilidade demonstrada através da alta atividade de água (0,99), com valor próximo encontrado por Lins et al. (2016) de 0,95 e do alto teor de água (93,21%), próximo ao valor exibido na Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO, 2011) de 90,1%, ao citado por Siri wattananon e Maneerate (2016) de 92,09% e por Lins et al. (2016) que reportaram valor de 94,8% de teor de água do repolho roxo in natura.

Tabela 3.1 Caracterização físico-química do sumo de repolho roxo in natura

Parâmetros	Média e Desvio Padrão
Atividade de água (a_w)	0,99 ± 0,002
Teor de água (%)	93,21 ± 0,12
pH	6,41 ± 0,23
Acidez total titulável (% ácido cítrico)	0,02 ± 0,01
Sólidos solúveis totais (°Brix)	4,87 ± 0,12
Ratio (SST/ATT)	1,64 ± 0,15
Cinzas (%)	0,62 ± 0,5
Sódio (Na) (mg.100 g ⁻¹)	58,22 ± 0,01
Magnésio (Mg) (mg.100 g ⁻¹)	31,84 ± 0,01
Fósforo (P) (mg.100 g ⁻¹)	46 ± 0,01
Potássio (K) (mg.100 g ⁻¹)	292,26 ± 0,01
Cálcio (Ca) (mg.100 g ⁻¹)	30,10 ± 0,01
Manganês (Mn) (mg.100 g ⁻¹)	0,14 ± 0,01
Ferro (Fe) (mg.100 g ⁻¹)	2,5 ± 0,01
Cobre (Cu) (mg.100 g ⁻¹)	0,04 ± 0,01
Zinco (Zn) (mg.100 g ⁻¹)	0,32 ± 0,01

O valor obtido do pH foi próximo ao relatado por Lins et al. (2016), que obtiveram 6,01, e também do valor encontrado por Santos et al. (2013), sendo igual a 5,91. Este resultado pode classificar o sumo de repolho roxo como um produto pouco ácido e mais propício à presença e desenvolvimento de micro-organismos patogênicos (CHITARRA; CHITARRA, 1990), sendo confirmado também pelo valor da acidez total titulável de 0,02% de ácido cítrico, corroborando

com os dados da literatura mencionados por Lins et al. (2016) e Santos et al. (2013), com 0,04 e 0,03% de ácido cítrico, respectivamente.

O conteúdo de sólidos solúveis totais foi próximo ao valor exposto por Almeida et al. (2015) que encontraram sólidos solúveis totais de 3,2 °Brix, podendo variar devido aos fatores climáticos, variedade, solo, entre outros (SANTOS et al., 2004).

As cinzas apresentaram teor próximo ao reportado pela TACO (2011) com valor de 0,7 g. 100g⁻¹ de cinzas. O sumo de repolho roxo apresentou boa fonte de minerais, principalmente de potássio (292,26 mg.100 g⁻¹), sódio (58,22 mg.100 g⁻¹), fósforo (46 mg.100 g⁻¹), cálcio (30,10 mg.100 g⁻¹) e magnésio (31,84 mg.100 g⁻¹), como informado pelos dados da TACO (2011), que expressa 328 mg.100 g⁻¹ de potássio, 58 mg.100 g⁻¹ de fósforo, 44 mg.100 g⁻¹ de cálcio e 18 mg.100 g⁻¹ de magnésio.

Os dados colorimétricos expostos na Tabela 3.2 indicam que o sumo de repolho roxo apresentou baixa luminosidade (L* 20,70), tendo em vista que o valor do parâmetro L quanto mais próximo de 0 mais escura é a amostra (SANT'ANNA et al., 2013). Quanto às coordenadas a* e b*, valores positivos de a* (+22,94) indicaram coloração na escala do vermelho e a coordenada b*(-10,48), com valores negativos com intensidade de azul (PATHARE; OPARA; AL-SAID, 2013). Os dados obtidos por Lins et al. (2016) e Santos et al. (2013) exibiram o mesmo comportamento em repolho roxo respectivamente: L* 10,84, a* 27,073 e b* -2,43; L* 22,4, a* 33,6 e b*-16,06.

Tabela 3.2 Caracterização colorimétrica do sumo de repolho roxo in natura

Parâmetros	Média e Desvio Padrão
Luminosidade (L*)	20,70 ± 0,04
Intensidade de vermelho (+a*)	22,94 ± 0,25
Intensidade de azul (-b*)	-10,48 ± 0,34
Croma (C*)	25,22 ± 0,28
Ângulo Hue (°)	24,55 ± 0,72

O valor do croma obtido indica uma amostra pouco vívida, pois a saturação, C*, é definida como a distância radial do centro do espaço de cor. No centro do espaço L* C* h°, possuem os valores mínimos de saturação e, à medida que se caminha para as extremidades, aumenta-se este valor (PATHARE; OPARA; AL-SAID, 2013).

O ângulo Hue é considerado o atributo qualitativo de cor com as cores definidas tradicionalmente como avermelhada, esverdeada, amarelada, azulada, etc. (PATHARE; OPARA; AL-SAID, 2013). Assim, a amostra apresentou-se arroxeadada, com ângulo de 24,55°.

Na Tabela 3.3 estão expostos os dados das análises químicas realizados no sumo de repolho roxo in natura.

Tabela 3.3 Caracterização química do sumo de repolho roxo in natura

Parâmetros	Média e Desvio Padrão
Antocianinas totais (mg.100 g ⁻¹)	56,76 ± 0,06
Flavonoides (mg.100 g ⁻¹)	25,74 ± 0,19
Antioxidantes (mg Trolox.100 g ⁻¹)	22,71 ± 0,00
Fenólicos totais (mg ácido gálico.100 g ⁻¹)	280,35 ± 0,26

O sumo de repolho roxo in natura apresentou elevado de teor de compostos fenólicos totais (280,35 mg.100 g⁻¹), como reportado por Kapusta-Duch, Leszczyńska, Filipiak-Florkiewicz (2012) com valor de 242,7 mg.100 g⁻¹. Mélo, Lima e Maciel (2006) encontraram 213,19 mg.100 g⁻¹ de compostos fenólicos, 72,83 mg.100 g⁻¹ de antocianinas totais e 22,99 mg.100 g⁻¹ de flavonoides em repolho roxo, valores estes próximos aos encontrados nesse estudo para antocianinas totais (56,76 mg.100 g⁻¹) e flavonoides (25,74 mg.100 g⁻¹). Os antioxidantes presentes no sumo de repolho roxo foram de 22,71 mg.100 g⁻¹; na literatura, estão relatados valores de 47 µmol de trolox por grama (WICZKOWSKI, SZAWARA-NOWAK E TOPOLSKA, 2015), equivalente a 1,129 mg.100 g⁻¹ e 26,8 µmol Trolox por grama (KAPUSTA-DUCH, LESZCZYŃSKA, FILIPIAK-FLORKIEWICZ, 2012), equivalente a 6,440 mg.100 g⁻¹.

Na Tabela 3.4 estão os dados do perfil de textura do sumo de repolho roxo.

Tabela 3.4 Dados do perfil textura do sumo de repolho roxo integral e formulado

Parâmetros	Concentração de maltodextrina (%)			
	Sumo Integral	10	15	20
Firmeza (N)	0,18 ± 0,006b	0,19 ± 0,002b	0,20 ± 0,002a	0,21 ± 0,010a
Consistência (N)	3,56 ± 0,211b	3,98 ± 0,128b	4,66 ± 0,234a	4,87 ± 0,066a
Coabilidade (N)	0,14 ± 0,007a	0,14 ± 0,008a	0,17 ± 0,004a	0,19 ± 0,037a
Índice de Viscosidade (N)	0,04 ± 0,001b	0,04 ± 0,001b	0,10 ± 0,0378a	0,10 ± 0,022ab

Letras minúsculas iguais na mesma linha não diferem significativamente entre as concentrações de maltodextrina estudadas por Teste de Tukey a nível de 0,05 de probabilidade.

Os dados não diferiram estatisticamente entre a amostra integral e com 10% de MD, assim como entre a amostra com 15 e 20% de MD, nos parâmetros de firmeza, consistência e índice de viscosidade. Quanto a coesividade, os resultados não apresentaram diferença significativas entre si. Apesar disso, notou-se uma tendência de aumento na firmeza, consistência, coesividade e índice de viscosidade do sumo de repolho roxo com o aumento da concentração de maltodextrina. Esse comportamento pode ser explicado, tendo em vista que a maltodextrina constitui-se de sacarídeos derivados da hidrólise do amido, conforme aponta os estudos de Krumreich, Freda e Chim (2016). Além disso, podem formar géis fracos resultantes de interações entre frações de amilose, caracterizadas por regiões helicoidais e cadeias ramificadas e lineares de moléculas de amilopectina (CHRONAKIS, 1998). Esse comportamento pode ser observado também pelos dados da viscosidade dinâmica em função da concentração de maltodextrina e da temperatura (Figura 3.1).

$$\text{Viscosidade} = 2,0731 - 0,0439 * x + 0,1683 * y + 0,0006 * x * x - 0,0059 * x * y + 0,0115 * y * y$$

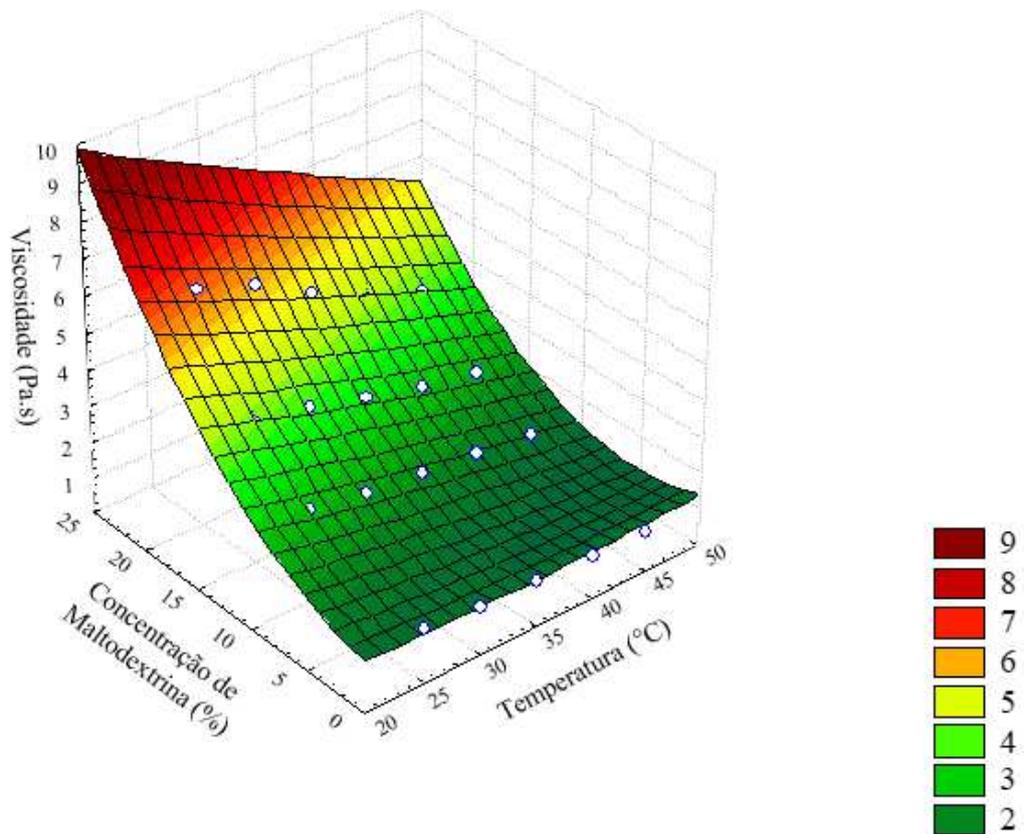


Figura 3.1 Viscosidade dinâmica em função da concentração de maltodextrina e da temperatura.

Notou-se na Figura 3.1 o aumento da viscosidade em relação ao aumento da concentração de maltodextrina, e a redução da viscosidade ao aumentar a temperatura empregada. Assim, na menor temperatura e maior concentração de maltodextrina adicionada, mais viscosa é a amostra. Na temperatura mais alta e maior concentração de maltodextrina, a viscosidade da amostra foi considerada intermediária.

A redução da viscosidade dinâmica nos líquidos devido ao aumento da temperatura é atribuída ao aumento das distâncias intermoleculares provocadas durante o aquecimento. O aumento das distâncias intermoleculares reduz as forças de atração entre as moléculas, diminuindo a viscosidade (GRANJEIRO et al., 2007).

Em baixas concentrações de maltodextrina, há pouca influência da elevação da temperatura, dessa forma, as amostras foram pouco viscosas. Feitosa et al. (2018) afirmaram que quanto menor a viscosidade do fluido, menor a perda de carga durante o escoamento, diminuindo os custos de potência com bombeamento e, conseqüentemente, os custos energéticos.

A viscosidade da formulação é um fator importante a ser considerado, em razão da mesma interferir na formação de gotas esféricas. Sendo assim, quanto mais baixa a viscosidade da formulação, menos energia ou menor pressão são aplicadas, conseqüentemente, melhor é para a formação adequada das gotículas durante a secagem por aspersão (OLIVEIRA; PETROVICK, 2010).

Goula e Adamopoulos (2004) e Masters (1979), afirmaram que diferentes concentrações de maltodextrina à temperatura constante, em geral, aumenta a viscosidade da solução, e com isso, maiores são as gotículas formadas na atomização, o que resulta na formação de partículas maiores.

3.4 Conclusões

1. O repolho roxo é uma fonte de minerais, compostos fenólicos e antocianinas, refletindo na sua capacidade antioxidante e no potencial para prevenção de muitas doenças.

2. O emprego da maltodextrina ao sumo de repolho roxo, proporciona aumento da firmeza, consistência, coesividade, índice de viscosidade e da viscosidade dinâmica nas formulações com 15 e 20% de maltodextrina, o que do ponto de vista industrial pode dificultar o escoamento e a troca de calor durante o processo.

3. O aumento da temperatura reduz a viscosidade dinâmica, o que é favorável por facilitar o escoamento do fluido, resultar em menos gasto de energia, menos aderência da amostra nas paredes da câmara de secagem e favorecer o rendimento do produto final.

Referências Bibliográficas

ALMEIDA, J. da C.; SEVERO, D. de S.; ARAÚJO, A. dos S.; CORDEIRO, M. A. de S.; DEODATO, J. N. V. 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.

BHANDARI, B.R.; DATTA, N.; HOWES, T. Problems associated with spray drying of sugar-rich foods. **Drying Technology**, v.15, p.671-685, 1997.

BRAGA, A. C. C.; RODRIGUES, A. M. C.; SILVA, L. H. M.; ARAÚJO, L. A. Evaluation of influence from temperature and enzymatic treatment in the rheological behavior of pineapple (*Ananas comosus* L. Merr.) juice. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.35, n.1, p.226-237, 2013.

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

BRUNETTI, FRANCO. **Mecânica dos fluidos**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2. Ed. rev., 2008.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças**. Lavras, MG: Escola Superior de Agricultura de Lavras, 1990.

CHRONAKIS, I. S. On the molecular characteristics, compositional properties and structural-functional mechanisms of maltodextrins: a review. **Critical Reviews in Food Science**, v. 38, p. 599-673, 1998

DASGUPTA R.; CHAKRABORTY C.; BANDYOPADHYAY, K.; GANGULY A. Development and characterization of biocolor (*Brassica oleracea* var. *capitata* F. rubra) fortified lime squash. **The Pharma Innovation Journal**, v.8, n.1, p.42-47, 2019.

FEITOSA, R. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. de; QUEIROZ, A. J. de M.; OLIVEIRA, E. N. A. de. Comportamento reológico da polpa de murta com maltodextrina. **Engenharia na Agricultura**, v.26, n.5, p.391-398, 2018.

FERNANDES, R. P. P.; TRINDADE, M. A.; TONIN, F. G.; LIMA, C. G.; PUGINE, S. M. P.; MUNEKATA, P. E. S.; LORENZO, J. M.; MELO, M. P. de. Evaluation of antioxidante capacity of 13 plant extracts by three diferente methods: cluster analyses applied for selection of the natural extracts winth higher antioxidante capacity to replace synthetic antioxidante im lamb burgers. **Jornal od food scienc and Technology**, p. 1-10, 2015.

FRANCIS, F. J. **Analysis of anthocyanins**. In: MARKAKIS, P. (Ed.). Anthocyanins as food colors. New York: Academic Press, p.181-207, 1982.

GIANFRANCESCO, A.; TURCHIULI, C.; FLICK, D.; DUMOUNLIN, E. CFD modeling and simulation of maltodextrin solutions spray drying to control stickiness. **Food and Bioprocess Technology**, v.3, n.6, p.946-955, 2010.

GRANJEIRO, A. A.; QUEIROZ, A. J. de M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. de; MATA, M. E. R. M. C. Viscosidades de polpas concentradas de figo-da-Índia. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.13, n.2, p.219-224, 2007.

GOULA, A. M.; ADAMOPOULOS, K. G. Spray drying of tomato pulp: effect of feed concentration. **Journal Drying Technology**, v.22, n.10, p.2309-2330, 2004.

IAL - Instituto Adolfo Lutz. **Método físico químicos para análise de alimentos**. 6ª Ed, 1ª Edição Digital, São Paulo, 2008. 1020p.

KAPUSTA-DUCH J.; LESZCZYŃSKA T.; FILIPIAK-FLORKIEWICZ, A. Comparison of total polyphenol contents and antioxidant activity in cruciferous vegetables grown in diversified ecological conditions. **Acta Scientiarum Polonorum, Technologia Alimentaria**, v.11, n.4, p.335-346, 2012.

KRUMREICH, F.; D'AVILA, R. F.; FREDI, S. A.; CHAVES, F. C.; CHIM, J. F.; Análises físico-químicas e estabilidade de compostos bioativos presentes em polpa de uvaia em pó obtidos por métodos de secagem e adição de maltodextrina e goma arábica. **Revista Thema**, v.13, n.2, p.4-17, 2016.

LINS, A. D. F.; SILVA, F. B.; NUNES, J. S.; ROCHA, A. P. T.; ARAÚJO, G. T. Influência da temperatura de secagem em leite de jorro sob as características físicoquímicas do repolho roxo. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.11, n.2, p.5-8, 2016.

LOPES, T. J.; QUADRI, M. B.; QUADRI, M. G. N. Estudo experimental da adsorção de antocianinas comercial de repolho-roxo em argilas no processo de batelada. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.9, p.49-56, 2006.

MASTERS, K. **Spray-air contact (mixing and flow), in "spray drying handbook**. In: Masters, K. (Ed.). Halsted Press, New York, p. 286-290, 1979.

MCPHERSON, A. E.; SEIB, P. A. Preparation and properties of wheat and corn starch maltodextrins with a low dextrose equivalent. **Cereal Chemistry**, v.74, n.4, p.424-430, 1997.

MÉLO, E. de A.; LIMA, V. L. A. G.; MACIEL, M. I. S. Polyphenol, ascorbic acid and total carotenoid contents in common fruits and vegetables. **Brazilian Journal Food Technology**, v.9, n.2, p.89-94, 2006.

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

PATHARE, P. B.; OPARA, U. L.; AL-SAID, F. A. J. Colour Measurement and Analysis in Fresh and Processed Foods: A Review. **Food and Bioprocess Technology**, v. 6, n. 1, p. 36-60, 2013.

QEWELW, K.; HUGO, A.; OYEDEMI, S. O.; MOYO, B.; MASIKA, P. J.; MUCHENJE, V. Chemical composition, fatty acid content and antioxidant potential of meat from goats supplemented with Moringa (*Moringa Oleifera*) leaves, sunflower cake and grass hay. **Meat Science**, v. 93, p. 455-462, 2013.

RAMOS, E. M.; GOMIDE, L. A. M. **Avaliação da qualidade de carnes: fundamentos e metodologias**. Viçosa, 2007.

ROSENBER, M. G.; KOPELMANY, I. J.; TALMON, Y. Fatores que afetam a retenção na microencapsulação por secagem por pulverização de materiais voláteis. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 38, n. 5, p. 1288-1294, 1990.

SANT'ANNA, V.; GURAK, P. D.; MARCZAK, L. D. F.; TESSARO, I. C. Tracking bioactive compounds with colour changes in foods- A review. **Dyes and Pigments**, v. 98, n. 3, p. 601-608, 2013.

SANTOS, F. A.; SALLES, J. R. J.; CHAGAS FILHO, E.; RABELO, R. N. Análise qualitativa das polpas congeladas de frutas produzidas pela SUFRUTS, MA. **Revista Higiene Alimentar**, v.18, n.119, p.14-22, 2004.

SANTOS, G. R.; DIAS, S. S.; CONSTANT, P. B. L.; SANTOS, J. A. Caracterização físico-química do repolho roxo (*Brassica oleracea*). **Revista GEINTEC**, v.3, n.5, p.1-12, 2013.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. de. Principal components analysis in the software assistat statistical attendance. In: World Congress on Computers in Agriculture, 7, 2016, Reno-NV-USA. **Proceedings...** St Joseph: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2016.

SIRIWATTANANON, L.; MANEERATE, J. Effect of drying methods on dietary fiber content in dried fruit and vegetable from non-toxic agricultural field. **International Journal of Geomate**, v.11, p.2896-2900, 2016.

TACO - **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos**. 4. ed. revisada e ampliada - Campinas: NEPA- UNICAMP, 2011. 161p.

TEIXEIRA, L. N.; STRINGHETA, P. C.; OLIVEIRA, F. A. Comparação de métodos para quantificação de antocianinas. **Revista Ceres**, v. 55, n. 4, p. 297-304, 2008.

WATERHOUSE, A. Folin-ciocalteau micro method for total phenol in wine. **American Journal of Enology and Viticulture**, p. 3-5, 2006.

WICKOWSKI, W.; SZAWARA-NOWAK, D.; TOPOLSKA, J. Changes in the content and composition of anthocyanins in red cabbage and its antioxidant capacity during fermentation, storage and stewing. **Food Chemistry**, v.167, p.115-123, 2015.

**4 CAPÍTULO 2- REPOLHO ROXO EM PÓ OBTIDO EM SECADOR POR
ASPERSÃO**

Repolho roxo em pó obtido em secagem por aspersão

Resumo

O repolho roxo possui boa fonte de fitoquímicos, antioxidantes, vitaminas, minerais, entre outros que torna seu consumo importante para prevenção de doenças. A sua oferta no mercado é na maioria das vezes in natura, o que pode acarretar em perdas devido a muitos fatores. Diante disso, torna-se interessante a disponibilidade do repolho roxo em outra forma através de práticas que não provoquem elevadas perdas e mudanças sensoriais e nutricionais. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos de diferentes concentrações de maltodextrina (10, 15 e 20%) e temperaturas (60, 70 e 80 °C) empregadas sobre os parâmetros físico-químicos, químicos e físicos do sumo de repolho roxo em pó obtidos em secador por aspersão. Nos resultados obtidos, observou-se que o aumento da concentração de maltodextrina e temperatura de secagem provocou a redução da atividade de água, teor de água, acidez, cinzas, minerais, diluição e degradação dos pigmentos, refletindo na redução da tonalidade de vermelho e azul e degradação dos compostos bioativos, higroscopicidade, solubilidade, molhabilidade, densidade aparente e compactada; gerou o aumento dos sólidos solúveis totais, rendimento, amostras mais luminosas, partículas irregulares, maiores e com menor aspecto de encolhimento. Os dados das isotermas foram melhores representados pelo modelo de Peleg, apresentando comportamento do tipo II e revelaram que o aumento da temperatura e atividade de água resultou em redução no teor de água de equilíbrio dos pós.

Palavras-chave: *Brassica oleracea* L. var. *capitata* f. *rubra*, atomização, maltodextrina, temperatura.

Abstract

Red cabbage has a good source of phytochemicals, antioxidants, vitamins, minerals, among others, which makes its consumption important for disease prevention. Its offer in the market is mostly in natura, which can cause losses due to many factors. Therefore, it becomes interesting the availability of red cabbage in another way through practices that do not cause high losses and sensory and nutritional changes. Thus, the objective of this work was to evaluate the effects of different concentrations of maltodextrin (10, 15 and 20%) and temperatures (60, 70 and 80 °C) used on the physical-chemical, chemical and physical parameters of red cabbage juice powder obtained in a spray dryer. In the results obtained, it was observed that the increase in the concentration of maltodextrin and drying temperature caused the reduction of water activity, water content, acidity, ash, minerals, dilution and degradation of pigments, reflecting in the reduction of the shade of red and blue and degradation of bioactive compounds, hygroscopicity, solubility, wettability, apparent and compacted density; generated an increase in total soluble solids, yield, more luminous samples, irregular particles, larger and with less aspect of shrinkage. The isotherm data were better represented by the Peleg model, showing type II behavior and revealed that the increase in temperature and water activity resulted in a reduction in the equilibrium water content of the powders.

Keywords: *Brassica oleracea* L. var. *capitata* f. *rubra*, atomization, maltodextrin, temperature.

4.1 Introdução

O repolho roxo (*Brassica oleracea* L. var. *capitata* f. *rubra*) pertence à família de *Brassicaceae*, nativo da região do Mediterrâneo e Sudoeste da Europa, mas atualmente é cultivado em várias regiões do mundo (ARAPITSA; TURNER, 2008). Os principais problemas que interferem na qualidade durante o armazenamento são a perda da coloração, ressecamento, cheiro desagradável e consequente curto tempo de vida útil pós-colheita, por causa do acelerado processo de senescência (CARNELOSSI; SILVA, 2000).

Este vegetal vem sendo utilizado para propósitos terapêuticos (WICZKOWSKI et al., 2013), por ser rico em conteúdo de fitoquímicos, antioxidantes, vitaminas (C, E, A, K) e minerais (cálcio, manganês, magnésio, ferro e potássio). Vitaminas B, por exemplo tiamina (B1), riboflavina (B2) e folato (B2) também são encontrados nesta cultura (HASAN; SOLAIMAN, 2012).

Diante desses atributos, práticas que tornem a matéria-prima em produtos mais atrativos para o mercado consumidor tornam-se interessantes, uma vez que não provoquem drásticas alterações sensoriais e nutricionais. Dentre várias práticas, a secagem promove algumas vantagens, como o prolongamento da vida útil, ressalta o sabor, diminui o custo com embalagem, além de preparar o produto para uso como ingrediente. A secagem por pulverização é uma das técnicas mais comuns aplicadas, devido ao seu custo relativamente baixo de instalação de equipamentos, alto rendimento da produção e rápido processo de desidratação (ZHANG et al., 2019). Porém, por utilizar-se de altas temperaturas de processo, pode provocar danos sensoriais e nutricionais, como a degradação de compostos termosensíveis, perda de compostos voláteis, mudança nas propriedades físicas como textura, viscosidade, consistência, entre outros.

Produtos secos podem ser muito higroscópicos, pegajosos, formar aglomerados, não possuir fluidez e alto poder de coesão. Esses problemas podem ser superados com a adição de um agente transportador como a maltodextrina, antes da secagem, pois esta pode afetar as propriedades físico-químicas dos pós (OBEROI; SOGI, 2015). É um dos coadjuvantes mais empregados devido sua alta solubilidade em água fria, baixa higroscopicidade e custo mais baixo. Além disso, devido ao seu alto peso molecular, a adição de maltodextrina aumenta a temperatura de transição vítrea da suspensão, promovendo rendimentos mais altos e facilitando o transporte e o manuseio subsequente em operações de armazenamento (BHANDARI et al., 1997).

Assim, objetivou-se nesse trabalho avaliar os efeitos de diferentes concentrações de maltodextrina e temperaturas empregadas no processo sobre os parâmetros físico-químicos, químicos e físicos do sumo de repolho roxo em pó obtidos em secador por aspersão.

4.2 Material e Métodos

4.2.1 Local de realização dos experimentos

O experimento foi realizado no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas (LAPPA), Laboratório de Engenharia de Alimentos (LEA), pertencentes à Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, Paraíba (PB), Laboratório de Tecnologia de Grãos e Cereais, pertencente à UFCG, Pombal, PB, Laboratório de Eletroquímica e Corrosão, pertencente à UFCG, Cuité, PB.

4.2.2 Matérias-primas

Foi utilizado ‘repolhos roxos’ oriundos da cidade de Espírito Santo, PB, em estágio de maturação maduro e transportados para o Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas (LAPPA). O agente encapsulante utilizado foi a maltodextrina (MD) MOR-REX 1910 da empresa Ingredion do Brasil Ltda.

4.2.3 Processamento do repolho para obtenção do sumo

Os repolhos foram recepcionados no laboratório, selecionados e retirados as eventuais folhas deterioradas. Posteriormente, as folhas foram lavadas em água corrente para a remoção de sujidades e sanitizadas em solução de hipoclorito de sódio a 50 ppm por 15 min, enxaguadas em água corrente e dispostas em peneira para drenagem da água. Posteriormente foram cortadas em pequenos pedaços e, logo após, triturados em multiprocessador storcator fructe (Panasonic MJ-DJ01STQ). O sumo obtido foi homogeneizado e submetido ao processo de refino em peneiras com malha de 0,5 mm. Em seguida, foi envasado em sacos plásticos de polietileno de baixa densidade (15 x 30) cm transparentes e estocados em freezer horizontal (-18 ± 2) °C, até a realização dos experimentos.

4.2.4 Elaboração e secagem do sumo formulado de repolho roxo

As formulações foram elaboradas com concentrações de 10, 15 e 20% de maltodextrina e sumo de repolho roxo, em seguida foram submetidas a secagem por aspersão marca Labmaqdo Brasil, modelo FBD 1.0, indicado para a secagem, granulação, mistura e revestimento com capacidade de 150 mL até 1 L, aplicando-se temperaturas de 60, 70 e 80 °C e para cada uma dessas temperaturas permaneceram constantes os valores de vazão de ar (Var): jorro mínimo de 2,7 m³. min⁻¹; vazão de suspensão do bico atomizador (Ws): 2 mL. min⁻¹ e pressão interna: 3 bar; e bomba: 5 mL. min⁻¹.

4.2.5 Caracterização físico-química dos pós de repolho roxo

A determinação da atividade de água foi realizada através de leitura direta, com o auxílio do equipamento Aqualab 3TE (Decagon) a 25 °C. As análises adotadas seguiram os métodos analíticos descritos pelo IAL (2008): o teor de água foi determinado em estufa a 105 °C durante 24h e os resultados foram expressos em percentagem (%); o pH foi obtido pelo método potenciométrico com o medidor de pH, previamente calibrado com soluções tampão de pH 4,0 e 7,0; a acidez total titulável foi determinada por titulometria, com os resultados expressos em percentagem de ácido cítrico; o teor de sólidos solúveis totais expresso em °Brix, foi determinado pelo método refratométrico; a relação SST/ATT foi obtida pelo quociente entre os resultados das análises de sólidos solúveis totais e acidez total titulável; e a determinação de cinzas foi feita através da mufla a 600 °C durante 6h, cujos resultados foram expressos em percentagem (%).

Os minerais contidos nas cinzas foram identificados e quantificados por Espectrômetro de Fluorescência de Raios-X por Energia Dispersiva, da marca Shimadzu EDX-7000.

A cor foi determinada por leitura direta nos pós, utilizando-se espectrofotômetro, Hunter Lab Mini Scan XE Plus, modelo 4500 L com sistema de cor Cielab. Os parâmetros determinados foram: L* que representa a luminosidade, a transição do branco (0) para o preto (100); a* que representa a transição da intensidade da cor verde (-a*) para a cor vermelha (+a*); e b* a transição da intensidade da cor azul (-b*) para a cor amarela (+b*).

4.2.6 Caracterização química dos pós de repolho roxo

As antocianinas totais e flavonoides foram determinados segundo a metodologia descrita por Francis (1982), adicionando-se à amostra a solução extratora de etanol- HCl 1,5 N na proporção 85:15 (v/v). As leituras foram feitas no comprimento de onda de 535 nm para as antocianinas, e 374 nm para flavonoides. Os resultados foram expressos em mg.100 g⁻¹ e calculados através da Equação 4.1 e 4.2 respectivamente:

$$\text{Antocianinas totais} = \frac{\text{Fd} \times \text{Abs}}{98,2} \quad (4.1)$$

Onde:

Fd- fator de diluição; e

Abs- absorvância a 535 nm.

$$\text{Flavonoides} = \frac{\text{Fd} \times \text{Abs}}{76,6} \quad (4.2)$$

Onde:

Fd- fator de diluição; e

Abs- absorvância a 374 nm

A capacidade antioxidante foi determinada pela redução do radical estável DPPH através da ação dos antioxidantes presentes na amostra, de acordo com Brand-Willams, Cuvelier e Berset (1995), com modificações de Qewelw et al. (2013) e Fernandes et al. (2015). Os resultados foram expressos em mg de equivalente de trolox por 100 g da amostra.

Os compostos fenólicos totais foram determinados em espectrofotômetro, de acordo com o método de Folin-Ciocalteu descrito por Waterhouse e Laurie (2006). Os resultados foram expressos em mg de equivalente de ácido gálico por 100 g de amostra.

O potencial antioxidante reativo total (TRAP) é um método não enzimático in vitro, baseado na ação de antioxidantes no decaimento de fluorescência da quimioluminescência aumentada por luminol gerada pela reação do luminol (o-aminoftáloilidrazida) com os radicais peroxil produzidos pela decomposição térmica do gerador de radicais livres AAPH (Moresco et al. 2017). A metodologia para realização da análise seguiu as recomendações de Moresco et al. (2017) e os dados obtidos foram transformados na área sob curva usando o software (software GraphPad ® San Diego, CA, EUA; versão 5.0). As leituras de reatividade antioxidante total (TAR) foram adquiridas no mesmo experimento e os dados foram calculados

como a razão da intensidade da luz na ausência de amostras (I_0) / intensidade da luz após a adição da mistura.

4.2.7 Caracterização física dos pós de repolho roxo

A higroscopicidade foi determinada de acordo com o método proposto por Cai e Corke (2000), com algumas modificações. As amostras, com aproximadamente 1g cada, foram colocadas em um recipiente hermético contendo uma solução saturada de NaCl (umidade relativa de 75,29%) a 25°C e, após uma semana foram pesadas. Os resultados foram expressos em percentagem (%).

A solubilidade foi determinada pelo método de Eastman e Moore (1984) e modificado por Cano-Chauca et al. (2005), calculada segundo a Equação 4.3:

$$S = \left[\left(\frac{M_s}{M_a} \right) \cdot 4 \right] \cdot 100 \quad (4.3)$$

Onde:

S- solubilidade (%);

M_s - massa dos sólidos dissolvidos no sobrenadante, g; e

M_a - massa da amostra, g.

Foi utilizado o método de molhabilidade estático proposto por Freudig, Hogeckamp e Schubert (1999), com algumas modificações. O método consistiu em depositar, suavemente, 1 g de amostra sobre 100 mL de água destilada a 25 ± 2 (°C) e determinou visualmente o tempo necessário para que todas as partículas molhassem. A molhabilidade foi calculada de acordo com a Equação 4.4:

$$M = \frac{N}{t} \quad (4.4)$$

Em que:

M- molhabilidade (g min^{-1});

N- massa da amostra, g; e

t- tempo, min.

Na determinação da densidade aparente (ρ_a) pesou-se 1 g do pó em proveta graduada de 25 mL, sem compactação para determinação do volume total ocupado pelo sólido, calculada conforme a Equação 4.5:

$$\rho_a = \frac{m_s}{V_t} \quad (4.5)$$

Em que:

ρ_a - densidade aparente g/ cm³;
 m_s - massa do sólido, g; e
 V_t - Volume total, cm³.

Para a determinação da densidade compactada usou-se a metodologia proposta por Goula e Adamopoulos (2004), onde pesou-se cerca de 1g da amostra e transferiu-se para uma proveta graduada de 25 mL. A densidade compactada foi calculada a partir da massa de pó contida na proveta, depois de ser compactada através de movimentos manuais de 100 vezes sobre a superfície de uma bancada de altura de 10 cm, conforme a Equação 4.6:

$$\rho_c = \frac{m_s}{V_{sc}} \quad (4.6)$$

Onde:

ρ_c - densidade compactada g/ cm³;
 m_s - massa do sólido, g; e
 V_{sc} - Volume do sólido após compactação, cm³.

A partir das densidades aparente e compactada, foi determinado o fator de Hausner aplicando-se a Equação 4.7, segundo a metodologia de Aulton (2005):

$$FH = \frac{\rho_c}{\rho_a} \quad (4.7)$$

Onde:

FH- Fator de Hausner;
 ρ_c - densidade compactada g/ cm³;
 ρ_a - densidade aparente g/ cm³.

A partir das densidades aparente e compactada, foi determinado o índice de Car (IC) aplicando-se a Equação 4.8, segundo a metodologia de Wanczinski et al. (2002):

$$IC = \frac{\rho_c - \rho_a}{\rho_c} \times 100 \quad (4.8)$$

Em que:

IC- índice de Car;

ρ_c - densidade compactada g/ cm³;

ρ_a - densidade aparente g/ cm³.

O rendimento do processo de secagem foi calculado a partir da Equação 4.9:

$$RE = \frac{M_f}{M_i} \times 100 \quad (4.9)$$

Onde:

RE- Rendimento (%);

M_i - Massa inicial de alimentação, (g); e

M_f - Massa final (g).

4.2.8 Isotermas de adsorção de água

As isotermas de adsorção de água das amostras em pó foram determinadas utilizando-se o método descrito por Crapiste e Rotstein (1982), na temperatura de 25 °C.

Os modelos matemáticos de GAB, Oswin e Peleg representados na Tabela 4.1 foram ajustados aos dados experimentais das isotermas de adsorção de água das amostras em pó, fazendo-se uso de regressão não linear e se utilizando o programa Statistica 7.0.

Tabela 4.1 Modelos utilizados para representação dos dados experimentais.

Modelo	Equação	Equações
GAB	$U_{eq} = \frac{X_m \cdot C \cdot k \cdot a_w}{(1 - k \cdot a_w) \cdot (1 - k \cdot a_w + C \cdot k \cdot a_w)}$	(4.10)
Oswin	$U_{eq} = a \left(\frac{a_w}{1 - a_w} \right)^b$	(4.11)
Peleg	$U_{eq} = k_1 \cdot a_w^{n_1} + k_2 \cdot a_w^{n_2}$	(4.12)

U_{eq} - Umidade de equilíbrio, kg/kg; X_m - Umidade na monocamada molecular, kg/kg; a_w - Atividade de água, adimensional; $k_1, k_2, n_1, n_2, C, K, a, b$ - Constantes das equações.

O teor de água de equilíbrio em base seca foi determinado empregando a Equação 4.13:

$$U_{eq} = \frac{m_{eq} - m_s}{m_s} \cdot 100 \quad (4.13)$$

Onde:

U_{eq} - umidade de equilíbrio (%) em base seca;
 m_{eq} - massa da amostra no equilíbrio (g); e
 m_s - massa seca da amostra (g).

Os critérios usados para determinação do melhor ajuste dos modelos à isoterma foram o coeficiente de determinação (R^2) e o desvio percentual médio (P), este último, calculado conforme a Equação 4.14:

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|(U_{exp} - U_{teor})|}{U_{exp}} \quad (4.14)$$

Em que:

P - desvio percentual médio (%);
 U_{exp} - valores obtidos experimentalmente;
 U_{teor} - valores preditos pelo modelo; e
 n - número de dados experimentais.

4.2.9 Análise morfológica dos pós

A análise morfológica das partículas dos pós foi realizada sem recobrimento, através de microscopia eletrônica de varredura (MEV) com um TESCAN VEGA 3, operado a 5 kV e com ampliação de 2000x.

4.2.10 Análise estatística

A análise estatística dos dados obtidos experimentalmente ao longo do trabalho foi feita através do programa computacional ASSISTAT versão 7.7 Beta (SILVA; AZEVEDO, 2009); na análise de variância- (ANOVA), aplicou-se o delineamento inteiramente causalizado fatorial 3x3 com 2 fatores e 3 repetições, sendo o 1º fator com três tratamentos (concentração de maltodextrina de 10, 15 e 20%) e o 2º fator com três tratamentos (temperaturas de secagem de 60, 70 e 80 °C), comparados através do teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade, através do programa ASSISTAT versão 7.7 Beta.

4.3 Resultados e Discussão

Os resultados referentes aos parâmetros físico-químicos relacionados a influência da concentração de maltodextrina (MD) e o emprego de diferentes temperaturas no sumo de repolho roxo em pó obtido em secador por aspersão estão expressos na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 Caracterização físico-química dos pós obtidos em secador por aspersão

Concentração de maltodextrina (%)	Temperatura °C		
	60	70	80
	Atividade de água (a_w)		
10	0,313 ± 0,002aA	0,295 ± 0,016aB	0,264 ± 0,003aC
15	0,303 ± 0,007aA	0,273 ± 0,003bB	0,239 ± 0,008bC
20	0,300 ± 0,001aA	0,254 ± 0,011cB	0,237 ± 0,003bB
	Teor de água (%)		
10	9,36 ± 0,21aA	7,84 ± 0,82aB	6,52 ± 0,06aC
15	3,62 ± 0,18bA	3,43 ± 0,05bA	2,77 ± 0,92bA
20	3,02 ± 0,12bA	2,56 ± 0,18bA	2,38 ± 0,23bA
	pH		
10	5,92 ± 0,07	5,92 ± 0,02	6,24 ± 0,02
15	5,88 ± 0,11	5,98 ± 0,04	6,35 ± 0,02
20	6,07 ± 0,14	6,33 ± 0,02	6,52 ± 0,04
	Acidez total titulável (% ácido cítrico)		
10	6,69 ± 0,07aA	4,99 ± 0,00aB	3,49 ± 0,00aC
15	4,32 ± 0,08bA	3,69 ± 0,04bAB	3,34 ± 0,00aB
20	4,99 ± 0,07bA	3,51 ± 0,00bB	1,19 ± 0,00bC
	Sólidos solúveis totais (°Brix)		
10	23,03 ± 0,10cB	23,58 ± 0,15cB	25,54 ± 0,12cA
15	31,97 ± 0,10bB	32,47 ± 0,06bB	34,05 ± 0,12bA
20	42,92 ± 0,06aB	45,55 ± 0,06aA	46,50 ± 0,23aA
	Ratio (SST/ATT)		
10	3,45 ± 0,24bB	4,70 ± 0,16cB	7,30 ± 0,19cA
15	7,49 ± 0,16aB	8,78 ± 0,99bAB	10,40 ± 0,20bA
20	8,63 ± 0,70aC	12,96 ± 0,15aB	38,96 ± 0,98aA
	Cinzas (%)		
10	2,76 ± 0,37aB	3,47 ± 0,17aAB	3,59 ± 0,31aA
15	2,01 ± 0,15bB	2,08 ± 0,03bB	2,92 ± 0,04bA
20	1,75 ± 0,45bB	1,78 ± 0,07bB	2,89 ± 0,20bA

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

A atividade da água (a_w) das amostras analisadas apresentou valores entre 0,313 e 0,237 para as amostras obtidas a 60 °C com adição de 10% de MD, e 80 °C com 20% de MD respectivamente, estando entre os valores desejados pela indústria de produtos à base de pó, que estabelecem valor de a_w de 0,3, uma vez que estes indicam a disponibilidade de água livre para reações químicas e microbianas (DAMODARAN; PARKIN, 2017).

O teor de água das amostras variou de 9,36 a 2,38% para as amostras obtidas a 60 °C com adição de 10% de MD e 80 °C com 20% de MD, respectivamente. Estes valores encontram-se dentro das normas da legislação brasileira para produtos secos e processados sob a forma de pó e farinha, que estabelece conteúdo de água de até 15% (BRASIL, 2005).

A tendência de redução nos valores da a_w e teor de água, com o aumento da concentração de maltodextrina e temperatura, fez desse processo importante e poderá conferir uma maior estabilidade aos pós, aumentando a vida útil dos mesmos, devido aos baixos valores de a_w e teor de água.

Tratando do emprego da maltodextrina, esse comportamento de redução provavelmente ocorreu devido ao aumento de sólidos e quantidade reduzida de água livre (CALISKAN; DIRIM, 2016). Em relação as temperaturas mais altas do ar de entrada, isso sucedeu devido ao maior gradiente de temperatura entre a alimentação e o ar de secagem, provocando rápida vaporização da água com maior taxa de transferência de calor, gerando pós com menor teor de água (KHA et al., 2010).

Os valores de pH das amostras apresentaram tendência a aumentar com o acréscimo da maltodextrina e elevação temperatura, com conseqüente tendência de redução da acidez total titulável. Este comportamento relacionado ao emprego de maltodextrina, está associado a redução da concentração dos ácidos orgânicos, aumentando o pH (CHITARRA; CHITARRA, 2005). Com o aumento da temperatura a acidez total titulável diminuiu, tendo em vista que esse aumento provoca a evaporação da água e os ácidos orgânicos podem oxidar com a temperatura (ARAÚJO et al., 2015).

Chitarra e Chitarra (2005) descreveram que os sólidos solúveis são constituídos de compostos solúveis em água, compreendendo principalmente açúcares, ácidos orgânicos e outros. O aumento dos sólidos solúveis totais com adição de MD pode ser devido a constituição da MD que é formada por sacarídeos derivados da hidrólise do amido, que consiste de unidades de D-glicose unidas por ligações α (1-4) e apresenta DE (dextrose equivalente) menor que 20 (KRUMREICH; FREDI; CHIM, 2016). Com o aumento da temperatura, pode ter ocorrido

maior retirada do conteúdo de água, conseqüentemente promoveu a concentração dos açúcares que se encontravam diluídos (ARAÚJO et al., 2015).

Nas amostras de pó do sumo de repolho roxo, tanto o aumento da concentração de MD e temperatura empregada no processo, elevou os valores de ratio (SST/ATT), que segundo Chitarra e Chitarra (2005), o ratio obtido pela relação entre sólidos solúveis totais e acidez total titulável, é usado para a avaliação do sabor, pois essa relação dá indução ao equilíbrio entre esses dois componentes, devendo-se explicitar o teor mínimo de sólidos e o máximo de acidez. O aumento dos valores de ratio (SST/ATT) é de interesse, pois de acordo com Berilli et al. (2011), os maiores valores de ratio estão associados a melhor aceitação em relação a doçura e acidez sensorial do produto analisado.

O conteúdo de cinzas reduziu com o aumento da concentração de MD e este comportamento é explicado pela diminuição da quantidade de sumo de repolho roxo na formulação e o aumento da quantidade de MD, que não acrescenta quaisquer compostos que contribuam com cinzas (CALISKAN; DIRIM, 2013).

Com a elevação da temperatura no processo, o teor de cinzas aumentou devido à perda de água na secagem e conseqüente concentração dos nutrientes (RESENDE et al., 2019). Essa concentração dos nutrientes também refletiu na quantificação do teor de minerais nas amostras dos pós de repolho roxo com diferentes concentrações de maltodextrina submetidos a secagem por aspersão sob diferentes temperaturas, expostos na Tabela 4.3.

O teor de cinzas nos alimentos é o resíduo inorgânico após a queima da matéria orgânica, podendo fornecer uma estimativa do tipo e quantidade de minerais no produto queimado (AJALA; IDOWU, 2016). Assim, os minerais sendo inorgânicos, não são destruídos pelo aquecimento e têm baixa volatilidade quando comparados a outros componentes alimentares (MORRIS et al., 2004). Este relato corroborou com os resultados observados nessa pesquisa, onde os pós obtidos na maior temperatura apresentaram um maior teor de minerais, devido a remoção do teor de água ter sido mais eficaz quando comparado com os pós obtidos a temperatura de 60 °C.

Tratando-se do emprego da maltodextrina nas diferentes formulações, notou-se a redução no teor de minerais, tendo em vista que houve a redução na quantidade de sumo de repolho roxo contidas nas amostras, e aumentou a de maltodextrina nas formulações, e esta não acrescenta nutriente que venha a contribuir com o teor de minerais nas amostras, como aponta os dados contidos na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 Perfil de minerais dos pós obtidos em secador por aspersão

Concentração de maltodextrina (%)	Temperatura °C		
	60	70	80
	Sódio (Na) (mg.100 g⁻¹)		
10	283,80 ± 0,01aC	307,13 ± 0,01aB	322,19 ± 0,01aA
15	242,48 ± 0,01bC	255,80 ± 0,01bB	318,68 ± 0,01bA
20	149,84 ± 0,01cC	234,310 ± 0,01cB	259,30 ± 0,01cA
	Magnésio (Mg) (mg.100 g⁻¹)		
10	134,08 ± 0,01aC	154,83 ± 0,01aB	159,00 ± 0,01aA
15	113,06 ± 0,01bC	133,49 ± 0,01bB	146,74 ± 0,01bA
20	44,08 ± 0,01cC	67,60 ± 0,01cB	94,35 ± 0,01cA
	Fósforo (P) (mg.100 g⁻¹)		
10	323,97 ± 0,01aC	354,92 ± 0,01aB	369,13 ± 0,01aA
15	223,86 ± 0,01bC	256,18 ± 0,01bB	323,09 ± 0,01bA
20	153,53 ± 0,01cC	157,49 ± 0,01cB	311,36 ± 0,01cA
	Potássio (K) (mg.100 g⁻¹)		
10	1678,36 ± 0,01aC	1930,41 ± 0,01aB	1946,18 ± 0,01aA
15	1009,36 ± 0,01bC	1250,10 ± 0,01bB	1822,63 ± 0,01bA
20	695,40 ± 0,01cC	938,48 ± 0,01cB	1581,27 ± 0,01cA
	Cálcio (Ca) (mg.100 g⁻¹)		
10	200,78 ± 0,01aC	237,79 ± 0,01aB	246,75 ± 0,01aA
15	116,75 ± 0,01bC	149,08 ± 0,01bB	215,38 ± 0,01bA
20	77,43 ± 0,01cC	111,51 ± 0,01cB	186,88 ± 0,01cA
	Manganês (Mn) (mg.100 g⁻¹)		
10	0,85 ± 0,01aB	0,97 ± 0,01aB	1,23 ± 0,01aA
15	0,49 ± 0,01bB	0,36 ± 0,01bB	0,80 ± 0,01bA
20	0,23 ± 0,01cB	0,34 ± 0,01bB	0,88 ± 0,01bA
	Ferro (Fe) (mg.100 g⁻¹)		
10	1,33 ± 0,01aC	1,49 ± 0,01aB	1,65 ± 0,01aA
15	0,79 ± 0,01bC	0,87 ± 0,01bB	1,51 ± 0,01bA
20	0,50 ± 0,01cC	0,68 ± 0,01cB	1,22 ± 0,01cA
	Cobre (Cu) (mg.100 g⁻¹)		
10	0,29 ± 0,01aA	0,30 ± 0,01aA	0,34 ± 0,01aA
15	0,24 ± 0,01abA	0,26 ± 0,01abA	0,30 ± 0,01abA
20	0,16 ± 0,01bA	0,19 ± 0,01bA	0,24 ± 0,01bA
	Zinco (Zn) (mg.100 g⁻¹)		
10	0,77 ± 0,01aC	0,87 ± 0,01aB	0,95 ± 0,01aA
15	0,40 ± 0,01bB	0,59 ± 0,01bB	0,71 ± 0,01bA
20	0,40 ± 0,01cC	0,53 ± 0,01bB	0,63 ± 0,01cA

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

Na Tabela 4.4 encontram-se os valores da caracterização colorimétrica dos pós de sumo de repolho roxo obtidos em secador por aspersão com diferentes temperaturas e concentrações de maltodextrina.

Tabela 4.4 Caracterização colorimétrica dos pós obtidos em secador por aspersão

Concentração de maltodextrina (%)	Temperatura °C		
	60	70	80
	Luminosidade (L*)		
10	43,87 ± 0,38cC	46,97 ± 0,76bB	51,21 ± 0,07cA
15	47,93 ± 0,18bC	55,16 ± 0,10aB	56,08 ± 0,08bA
20	50,26 ± 0,16aC	55,74 ± 0,16aB	62,29 ± 0,03aA
	Intensidade de vermelho (+a*)		
10	15,86 ± 0,14aA	14,85 ± 0,11aB	13,43 ± 0,29aC
15	14,97 ± 0,36bA	13,61 ± 0,30bB	10,39 ± 0,31bC
20	13,76 ± 0,17cA	11,73 ± 0,06cB	10,14 ± 0,29cC
	Intensidade de azul (-b*)		
10	-15,97 ± 0,02bC	-15,41 ± 0,11cB	-13,87 ± 0,29bA
15	-15,63 ± 0,36aB	-14,48 ± 0,30bB	-11,02 ± 0,31aA
20	-15,26 ± 0,17aC	-13,15 ± 0,06aB	-10,56 ± 0,29aA

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

O parâmetro L* expressa a luminosidade da amostra e varia de 0 a 100, assim quanto mais próximo de 100, mais clara é a amostra e quanto mais distante, mais escura (SANT'ANNA et al., 2013), deste modo o aumento da concentração de MD e da temperatura proporcionou aumento na luminosidade (L*) dos pós, apresentando-se mais claros. Sahim-Nadeem et al. (2013), Marques et al. (2014) e Nunes et al. (2015) relataram que o aumento da concentração de maltodextrina em pós favorece o aumento da luminosidade dos mesmos, uma vez que a maltodextrina possui cor branca. Quanto a temperatura, o aumento da luminosidade pode ser explicado pelo menor tamanho de partículas obtido no secador por pulverização, que provavelmente influenciou em uma maior degradação dos pigmentos durante a exposição à temperatura do ar de secagem (LUCAS; ZAMBIAZI; COSTA, 2018).

Quanto às coordenadas a* e b*, valores positivos de a* indicam a tendência à coloração vermelha e valores negativos da coordenada b* tendem a uma maior intensidade de azul (PATHARE; OPARA; AL-SAID, 2013). O aumento da concentração de MD e temperatura causou a redução do parâmetro +a* e aumento de -b* caracterizando a redução da tonalidade

do vermelho e do azul, comportamentos estes que estão relacionados também à diluição da cor, provocada pela presença do agente carreador utilizado (TONON, BRABET, HUBINGER, 2009) e a temperatura de entrada mais alta, pode provocar a degradação térmica e oxidação rápida que resultam em baixos valores de a^* e b^* (LUCAS; ZAMBIAZI; COSTA, 2018).

Na Tabela 4.5 estão expostos os dados das análises químicas realizados nos pós de sumo de repolho roxo acrescidos de maltodextrina e obtidos sob diferentes temperaturas em secador por aspersão.

Tabela 4.5 Caracterização química dos pós obtidos em secador por aspersão

Concentração de maltodextrina (%)	Temperatura °C		
	60	70	80
Antocianinas totais (mg.100 g⁻¹)			
10	228,19 ± 0,06aA	147,82 ± 0,07aB	137,59 ± 0,04aC
15	215,24 ± 0,05bA	129,88 ± 0,09bB	128,75 ± 0,34bC
20	206,52 ± 0,15cA	111,78 ± 0,06cB	103,98 ± 0,03cC
Flavonoides (mg.100 g⁻¹)			
10	120,75 ± 0,24aA	75,06 ± 0,13aB	64,70 ± 0,01aC
15	101,30 ± 0,06bA	61,05 ± 0,03bB	50,60 ± 0,22bC
20	100,80 ± 0,07bA	57,26 ± 0,04cB	49,68 ± 0,16bC
Capacidade antioxidante (mg Trolox 100 g⁻¹)			
10	332,11 ± 0,19aA	210,59 ± 0,13aB	175,61 ± 0,19aC
15	330,09 ± 0,38bA	135,77 ± 0,25bB	88,28 ± 0,26bC
20	325,84 ± 0,58bA	48,24 ± 0,19cB	36,26 ± 0,26cC
Fenólicos totais (mg ácido gálico g⁻¹)			
10	43,12 ± 0,58aA	26,29 ± 0,03aB	20,58 ± 0,02aC
15	42,30 ± 0,01aA	21,83 ± 0,03bB	17,35 ± 0,01bC
20	42,25 ± 0,01aA	18,10 ± 0,03cB	17,33 ± 0,01bB

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

O aumento da concentração de MD e temperatura provocou comportamento inversamente proporcional nos teores de compostos bioativos, ou seja, o aumento dessas variáveis no processo promoveu a redução nos teores desses compostos nos pós analisados.

Quanto ao aumento de temperatura e redução dos compostos bioativos, este comportamento é devido às altas temperaturas do ar durante o processo de secagem, causando grande degradação desses biocompostos (TONON, BRABET, HUBINGER, 2010). De acordo com Chitarra e Chitarra (2005), estes compostos são instáveis durante o processamento e

armazenamento, e podem sofrer degradação pela temperatura, pH, oxigênio e luz. Como afirmou Modesto Júnior et al. (2016), vários fatores interferem na estabilidade da antocianina, incluindo pH, ação do oxigênio, enzimas, variação de temperatura e incidência de luz. Vega-Gálvez et al. (2009) relataram que a temperatura geralmente tem um efeito negativo sobre os antioxidantes, podendo ser atribuído a processos oxidativos irreversíveis durante secagem.

Em relação ao emprego de maltodextrina, uma vez que reduziu a quantidade de sumo de repolho roxo e aumentou a quantidade do agente carreador, provocou a redução dos compostos bioativos. Segundo Nascimento et al. (2019), este fato pode ser explicado pela menor concentração de compostos reativos presentes em relação a concentração de maltodextrina utilizada. Ferrari, Ribeiro e Aguirre (2012) ainda explicaram que maiores concentrações de agente carreador na mistura provoca um efeito de diluição dos pigmentos presentes na amostra.

Para explorar o perfil redox, foram avaliados o potencial antioxidante reativo total (TRAP) e a reatividade antioxidante total (TAR) realizadas nas amostras dos pós de repolho roxo obtidas a 60 °C, por apresentarem os maiores teores de compostos bioativos, podendo ser visualizados nas Figuras 4.1 e 4.2.

De acordo com Dresch et al. (2009), a perda de quimioluminescência pode ser avaliada medindo a área sob a curva. Quando a extensão do decaimento da luminescência é grande, o valor esperado da área sob a curva é baixo, e a perda repentina de quimioluminescência e o valor da área sob a curva são inversamente proporcionais. Quanto menor o valor da área sob a curva, maior a atividade antioxidante das amostras. Assim, no parâmetro TRAP exposto na Figura 4.1, observa-se que na concentração de 50 µg / mL as amostras com 10, 15 e 20% de maltodextrina apresentaram maior reatividade, sendo que o menor valor na área sob a curva foi na amostra com 10% de MD (A), indicando maior atividade antioxidante.

Nota-se também que na Figura 4.1 A e 4.1 B as amostras com 10 e 15% de maltodextrina mostraram-se significativas em quatro concentrações, tendo início na concentração de 0,05 µg / mL e a 4.1 C significativa em três concentrações, começando a partir da concentração 0,5 µg / mL a apresentar efeito da sua atividade antioxidante.

O índice de reatividade antioxidante total (TAR) indica a diminuição instantânea da luminescência associada com a adição da amostra no sistema gerador de peróxido. Enquanto TRAP indica a quantidade de antioxidantes presentes nas amostras, o TAR indica sua eficácia antioxidante (GASPAROTTO et al., 2014). Dessa forma, na Figura 4.2 nota-se que na concentração de 50 µg / mL houve uma maior eficácia dos antioxidantes em todas as amostras,

sendo que a amostra com 20% de MD (4.2 C) apresentou resultado mais expressivo em relação a reatividade antioxidante total.

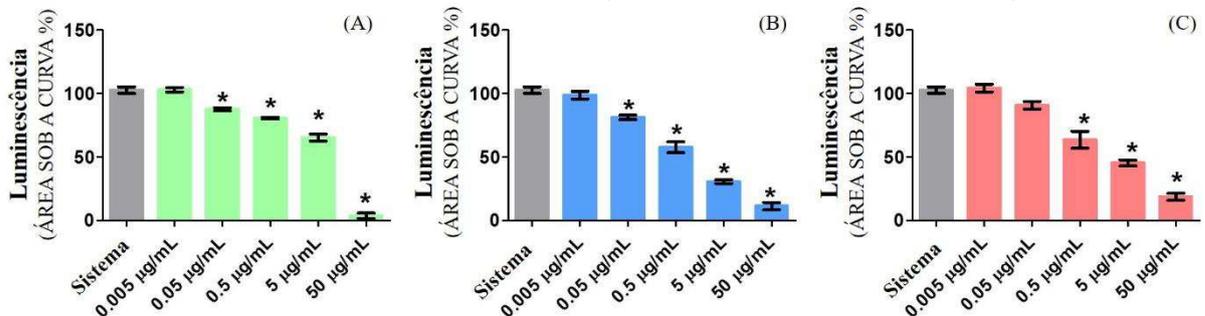


Figura 4.1 Análise do potencial antioxidante de radicais totais (TRAP) dos pós de repolho roxo obtidos a 60 °C com 10% de MD (A), 15% de MD (B) e 20% de MD (C) em secador por aspersão.

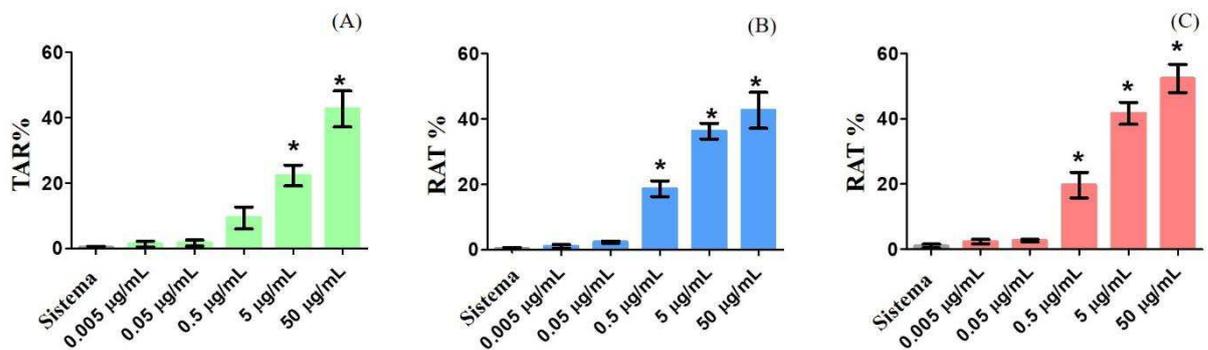


Figura 4.2 Reatividade antioxidante total (TAR) dos pós de repolho roxo obtidos a 60 °C com 10% de MD (A), 15% de MD (B) e 20% de MD (C) em secador por aspersão

Na Tabela 4.6 encontram-se os dados da caracterização física dos pós do sumo de repolho formulados com maltodextrina submetido a diferentes temperaturas em secador por aspersão.

Segundo Caparino et al. (2012), a higroscopicidade é um atributo importante para a estabilidade do pó, indicando a capacidade de absorver moléculas de água quando em contato com o ambiente úmido. Os dados da higroscopicidade dos pós de repolho roxo apresentaram uma tendência de redução de acordo com o aumento da concentração de MD e da temperatura. Tonon, Brabet e Hubinger (2009) afirmaram que este comportamento se deve ao fato da maltodextrina ser um material de baixa higroscopicidade, confirmando a eficiência do seu uso como agente carreador no sentido de reduzir a higroscopicidade dos produtos desidratados. Fernandes et al. (2014) observaram que a higroscopicidade está diretamente ligada ao teor de água, de modo que pós com menor conteúdo de água foram os menos higroscópicos.

Tabela 4.6 Caracterização física dos pós obtidos em secador por aspersão

Concentração de maltodextrina (%)	Temperatura °C		
	60	70	80
	Higroscopicidade (%)		
10	21,87 ± 0,70aA	20,03 ± 0,20aB	18,43 ± 0,9aC
15	17,67 ± 0,05bA	16,77 ± 0,03bA	14,85 ± 0,1bB
20	18,59 ± 0,03bA	12,75 ± 0,05cB	12,69 ± 0,5cB
	Solubilidade (%)		
10	84,78 ± 0,7aA	83,17 ± 0,4aA	83,07 ± 0,4aA
15	83,64 ± 0,6aA	83,40 ± 0,9aA	83,30 ± 0,7aA
20	82,68 ± 0,6aA	80,89 ± 0,4bA	80,50 ± 0,4bA
	Molhabilidade (g. min⁻¹)		
10	0,49 ± 0,02aA	0,45 ± 0,01aB	0,43 ± 0,01aB
15	0,41 ± 0,01bA	0,37 ± 0,01bB	0,39 ± 0,01bAB
20	0,28 ± 0,01cA	0,25 ± 0,01cB	0,23 ± 0,01cB
	Densidade aparente (g. cm⁻³)		
10	0,49 ± 0,01aA	0,43 ± 0,02aB	0,42 ± 0,02aB
15	0,48 ± 0,01aA	0,42 ± 0,01aB	0,41 ± 0,01aB
20	0,44 ± 0,01bA	0,40 ± 0,02aB	0,39 ± 0,01aB
	Densidade compactada (g. cm⁻³)		
10	0,60 ± 0,02aA	0,57 ± 0,01aAB	0,55 ± 0,02aB
15	0,61 ± 0,02aA	0,60 ± 0,01aA	0,58 ± 0,03aA
20	0,62 ± 0,01aA	0,58 ± 0,01aAB	0,57 ± 0,01aB
	Fator de Hausner		
10	1,32 ± 0,05bA	1,41 ± 0,05aA	1,41 ± 0,07aA
15	1,34 ± 0,01bB	1,48 ± 0,1aA	1,46 ± 0,1aAB
20	1,50 ± 0,02aA	1,49 ± 0,07aA	1,4 ± 0,7aA
	Índice de Car (%)		
10	28,53 ± 0,05bA	37,87 ± 0,05aA	37,97 ± 0,07aA
15	31,16 ± 0,01bB	46,87 ± 0,01aA	44,79 ± 0,1aA
20	47,62 ± 0,02aA	48,84 ± 0,07aA	47,54 ± 0,07aA
	Rendimento (%)		
10	5,94 ± 0,00bA	6,15 ± 0,17bA	6,93 ± 0,54cA
15	6,60 ± 0,54bB	6,92 ± 0,59bB	8,78 ± 1,22bA
20	9,24 ± 0,19aB	9,38 ± 0,28aB	10,86 ± 1,15aA

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

Os pós obtidos a 70 °C com adição de 20% de MD e 80 °C com adição de 15 e 20% de MD, apresentaram valores de higroscopicidade, entre 10,1 a 15%, classificados como

ligeiramente higroscópico; os pós obtidos a 60 °C com 15 e 20% de MD, 70 °C com adição de 10 e 15% de MD e 80 °C com adição de 10% de MD, apresentaram valores entre 15,1 a 20%, e são classificados como higroscópico; e o pó resultante da secagem a 60 °C com 10% de MD apresentou valor entre 20,1 a 25% sendo classificado como muito higroscópico de acordo com GEA NIRO Research Laboratory (2010).

A solubilidade dos pós apresentou uma redução significativa com o aumento da concentração de MD apenas nos pós obtidos a 70 e 80 °C e não apresentaram diferença significativa ($p>0,05$) com o aumento da temperatura. A molhabilidade, que representa a capacidade do pó em absorver um líquido sob a influência de forças capilares, apresentou uma diminuição com o aumento da concentração de MD e temperatura, o que pode ter sido favorecida pelo maior teor de água das amostras, a qual apresentou maior capacidade de instantaneidade e de reconstituição, ou seja, quanto maior a quantidade de MD adicionada e mais alta a temperatura empregada no processo, mais tempo leva para as partículas molharem e reconstituírem (FREUDIG; HOGEKAMP; SCHUBERT, 1999). Isso foi confirmado no estudo de Ozdikicierler et al. (2014), que relataram que a maltodextrina é um amido e seu tempo de dissolução na água é maior quando comparados com elementos naturalmente solúveis em água de um extrato vegetal, composto principalmente de açúcares simples. Assim, quanto maior a concentração de maltodextrina menor a solubilidade dos pós, como exposto na Tabela 4.6.

Quanto a temperatura, Fazaeli et al. (2012) observaram que a temperatura do ar de entrada muito alta pode formar uma camada superficial dura sobre a partícula de pó. Isso pode impedir as moléculas de água de difundir através da partícula e, conseqüentemente, diminuir a molhabilidade da partícula e reduzir a dissolução do pó, comportamento este observado nesse estudo nos parâmetros de solubilidade e molhabilidade.

A densidade aparente dos pós apresentou tendência de redução dos valores com o aumento da concentração de MD e temperatura, apresentando diferença significativa nas amostras obtidas a 60 °C e os valores da densidade compactada não diferiram estatisticamente ($p>0,05$) com o aumento da concentração de MD e apresentou uma tendência de redução com o aumento da temperatura nas amostras obtidas com 10 e 20% de MD. Tratando do emprego da MD, de acordo com Kwapinska e Zbicinski (2005), as partículas com formação de película em materiais secados por aspersão geralmente contêm bolhas de ar, que pode ocorrer como resultado da dessorção do ar que estava inicialmente presente na alimentação do líquido ou foi absorvido durante a atomização. Geralmente, um aumento no volume do ar causa uma diminuição na densidade aparente das partículas.

A tendência de redução da densidade aparente do pó com o aumento da temperatura, conforme indicado na Tabela 4.6, pode ser explicado segundo Fazaeli et al. (2012) em razão de que a maior temperatura de secagem, causa uma secagem mais rápida das partículas, provocando menos encolhimento das gotículas, resultando em menor densidade do pó. Além disso, esse comportamento pode ser devido a evaporação da água da superfície das partículas de pó provavelmente formando uma crosta na superfície e gerando vapor de água dentro da partícula devido à alta temperatura. Assim, a alta pressão desenvolvida no interior da partícula pode ter implicado na liberação de vapor deixando poros dentro da partícula, resultando em uma densidade aparente reduzida do pó (SAHA; NANDA; YADAV, 2019).

A natureza mais pegajosa de um pó pode estar associada a uma alta densidade aparente, pois as partículas que tendem a ficar juntas deixam menos interespaços entre elas e, conseqüentemente, resultam em menor volume (GOULA; ADAMOPOULOS, 2008). Assim, as amostras obtidas na temperatura de 60 °C podem ser mais pegajosas, quando comparadas com as obtidas a 70 e 80 °C.

A densidade compactada é sempre maior que a densidade aparente, uma vez que a ação de agitação tende a minimizar os interespaços entre as partículas e força o pó a ocupar volumes menores (GOULA; ADAMOPOULOS; KAZAKIS, 2004), como observado neste estudo.

De acordo com Santhalakshmy et al. (2015), o fator de Hausner (FH) avalia a coesividade do material. Baseado na classificação destes autores, os pós de repolho roxo obtidos a 60 °C com 10 e 15% de maltodextrina, classificaram-se com coesividade intermediária, pois os valores do FH situaram-se entre 1,2 e 1,4 e os demais pós classificaram-se com alta coesividade, pois apresentaram valores de FH > 1,4.

Ainda com base nos estudos de Santhalakshmy et al. (2015), valores de Índice de Car (IC) entre 20-35% indicam uma fluidez pobre, caracterizando os pós obtidos a 60 °C com 10 e 15% de MD; entre 35-45% fluidez ruim, classificando os pós a 70 °C com 10% de MD e 80 °C com 10 e 15% de MD e IC maior que 45% indicam fluidez muito ruim, caracterizando os pós obtidos a 70 °C com 15% de MD e os pós com 20% de MD nas temperaturas de 60,70 e 80 °C.

Além disso, de acordo com Schubert (1993), o aumento na temperatura do ar de entrada diminuiu a dispersibilidade do pó que pode ser devido à formação de partículas muito finas, causando a formação de grumos. Em geral, partículas muito finas não são facilmente dissolvidas na água devido à sua alta tensão superficial.

O rendimento do pó foi favorecido pelo aumento da concentração de MD e temperatura, confirmando com o que Cano-Chauca et al. (2005) relataram, onde o aumento da temperatura

promove altas taxas de transferência de calor, o que contribui para uma melhor secagem da pasta e aumento da taxa de formação de pó. Pastas com maiores concentrações de maltodextrina revelaram uma tendência para aumentar o rendimento de pó. Esse comportamento ocorre devido a um possível aumento da temperatura de transição vítrea da suspensão, causada pela adição de compostos de alto peso molecular como maltodextrina.

A Figura 4.3 ilustra as micrografias dos pós do sumo de repolho roxo obtidos em secador por aspersão sob diferentes concentrações de MD e temperaturas.

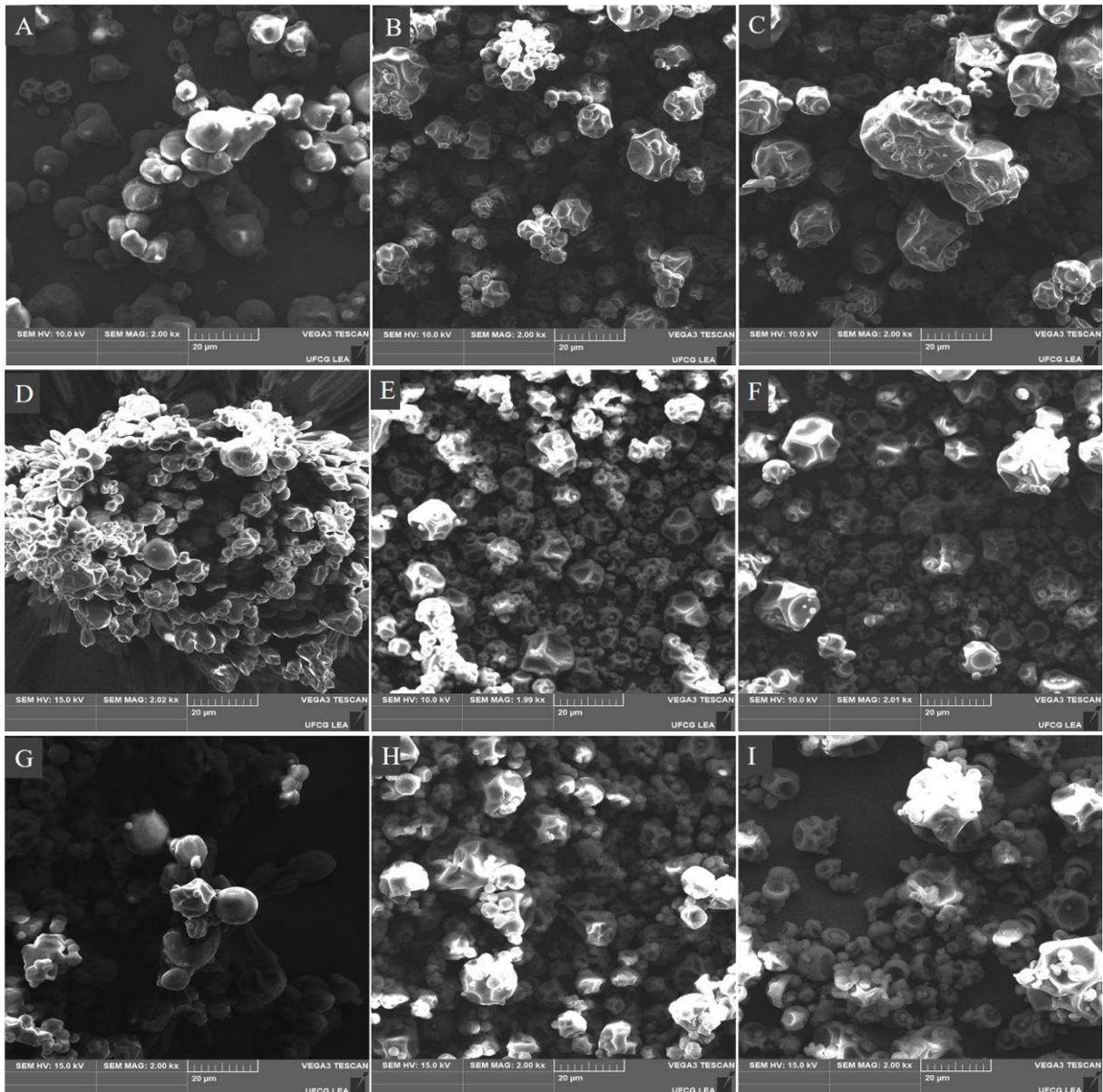


Figura 4.3 Micrografias dos pós de sumo de repolho roxo: A, B e C (60 °C com 10, 15 e 20% de MD); D, E e F (70 °C com 10, 15 e 20% de MD); G, H e I (80 °C com 10, 15, 20% de MD) com ampliação de 2000x.

As partículas de pós apresentaram formato esférico, rugosidades e partículas menores aderidas na superfície de partículas maiores, formando aglomerados. De acordo com Canochauca et al. (2005), a forte aderência das partículas menores em torno das maiores demonstra a ausência de superfícies cristalinas e é característica de produtos amorfos. A formação de aglomerados contribui para a classificação anteriormente citada de pós muito higroscópicos.

Nas micrografias apresentadas, nota-se que as partículas exibiram tamanhos diferentes e irregulares, onde segundo Lucas, Zambiasi e Costa (2018), esse formato pode estar coligado à deformidade mecânica causada pelo atrito entre as partículas e também contra a parede interna da câmara de secagem.

Temperaturas de entrada mais altas geralmente produzem partículas maiores, o que está ligado ao aumento de volume. Temperaturas de secagem mais altas proporcionam secagem mais rápida e menor encolhimento, resultando no desenvolvimento rápido da estrutura de partículas que induz a um tamanho de partícula maior. Na temperatura de entrada mais baixa, a partícula se torna mais encolhida e produz diâmetro menor (NIJDAM; LANGRISH, 2006).

De acordo com Masters (1979), diferentes concentrações de MD, mantendo a temperatura constante, em geral, aumentaram os diâmetros médios dos pós produzidos. No entanto, o aumento do tamanho das partículas se deve à maior viscosidade da alimentação, pois o acréscimo de MD, pode proporcionar a criação de gotículas maiores e, conseqüentemente, formação de partículas maiores durante a secagem por pulverização.

Na Tabela 4.7, 4.8 e 4.9 encontra-se os valores dos parâmetros dos modelos de GAB, Oswin e Peleg ajustados aos dados experimentais de isotermas de adsorção de água dos pós de repolho roxo com adição de 10, 15 e 20% de maltodextrina, respectivamente, obtidos em secador por aspersão nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C, e os coeficientes de determinação (R^2) e os desvios percentuais médios (P) para a temperatura de 25 °C.

Todos os modelos se ajustaram bem aos dados experimentais por apresentarem altos coeficientes de determinação e baixos desvios percentuais médios, porém o modelo de Peleg mostrou os melhores ajustes apresentando os maiores coeficientes de determinação ($R^2 \geq 0,99$) e os menores desvios percentuais médios ($P < 10\%$), podendo ser utilizados para prever as isotermas de adsorção de água dos pós de repolho roxo.

De acordo com Rocha et al. (2014), considera-se um modelo com ajuste aceitável quando apresenta desvios percentuais médios menores que 10%. Labuza et al. (1985) relataram que a representação de isotermas é extremamente boa quando os desvios percentuais médios

forem menores que 5%, uma vez que estes são os parâmetros utilizados para definir o modelo que melhor se ajusta a este estudo com pó de repolho roxo.

Tabela 4.7 Parâmetros dos modelos ajustados às isotermas de adsorção de água a 25 °C dos pós de repolho roxo com adição de 10% obtidos em secador por aspersão em diferentes temperaturas.

Modelo	T °C	Parâmetros					
		X _m	C	K	R ²	P (%)	
GAB	60	7,172182	1431280	0,958900	0,99417	7,73	
	70	11,45745	1039658	0,932001	0,99028	6,50	
	80	11,88010	5,702835	0,928835	0,99729	4,84	
OSWIN		A	B	R ²	P (%)		
	60	12,87347	0,774404	0,98625	12,03		
	70	21,80639	0,529813	0,98788	7,05		
	80	18,89512	0,593792	0,99738	4,89		
PELEG		k ₁	n ₁	k ₂	n ₂	R ²	P (%)
	60	33,21980	0,909717	225,6094	15,70862	0,99906	2,09
	70	44,04014	0,849776	175,8384	15,74728	0,99847	2,51
	80	42,52534	1,163655	91,69893	9,804572	0,99732	4,52

R²- Coeficiente de determinação; P - desvio percentual médio (%); X_m - Conteúdo de água na monocamada molecular (g H₂O.g⁻¹); n - Número de camadas moleculares; C, K - Constantes de sorção; a, b - Parâmetros de ajuste.

Tabela 4.8 Parâmetros dos modelos ajustados às isotermas de adsorção de água a 25 °C dos pós de repolho roxo com adição de 15% obtidos em secador por aspersão em diferentes temperaturas.

Modelo	T °C	Parâmetros					
		X _m	C	K	R ²	P (%)	
GAB	60	5,565161	392021,7	0,988664	0,99568	4,73	
	70	10,61236	7792179	0,888865	0,99231	3,19	
	80	6,807708	10,91945	0,965023	0,99829	3,44	
OSWIN		A	B	R ²	P (%)		
	60	10,30809	0,712400	0,99194	7,30		
	70	19,68655	0,447066	0,99266	3,65		
	80	11,72872	0,666373	0,99788	4,05		
PELEG		k ₁	n ₁	k ₂	n ₂	R ²	P (%)
	60	32,39171	1,445268	189,2725	19,88271	0,99896	3,00
	70	73,35152	1,146012	34,63788	0,724129	0,99472	3,64
	80	32,94870	1,345027	133,9224	16,72691	0,99858	4,92

R²- Coeficiente de determinação; P - desvio percentual médio (%); X_m - Conteúdo de água na monocamada molecular (g H₂O.g⁻¹); n - Número de camadas moleculares; C, K - Constantes de sorção; a, b - Parâmetros de ajuste.

Tabela 4.9 Parâmetros dos modelos ajustados às isotermas de adsorção de água a 25 °C dos pós de repolho roxo com adição de 20% obtidos em secador por aspersão em diferentes temperaturas.

Modelo	T °C	Parâmetros					
		X _m	C	K	R ²	P (%)	
GAB	60	5,592117	339688,7	0,977026	0,99290	4,76	
	70	6,318741	5,476602	0,963120	0,99059	6,10	
	80	6,491264	3,961499	0,917571	0,98608	5,60	
OSWIN		A	B	R ²	P (%)		
	60	10,24842	0,674751	0,99181	4,20		
	70	10,06853	0,690516	0,99167	5,37		
	80	9,618506	0,588542	0,98671	6,40		
PELEG		k ₁	n ₁	k ₂	n ₂	R ²	P (%)
	60	36,32202	1,811395	244,7563	25,78525	0,99724	3,44
	70	41,71121	2,127803	2637,984	50,53181	0,99708	4,93
	80	34,66031	1,956476	3095,873	66,75375	0,99132	8,28

R²- Coeficiente de determinação; P - desvio percentual médio (%); X_m - Conteúdo de água na monocamada molecular (g H₂O.g⁻¹); n - Número de camadas moleculares; C, K - Constantes de sorção; a, b - Parâmetros de ajuste.

De acordo com Pavan et al. (2012), o modelo de GAB fundamenta-se no conceito de teor de água na monocamada, um parâmetro importante para avaliação da estabilidade de alimentos, e de acordo com Alves et al. (2015), o teor de água na monocamada (X_m) corresponde à quantidade de água na monocamada, ou seja, fortemente adsorvida a sítios específicos na superfície dos alimentos, além de não participar de reações e ser de difícil eliminação pela secagem, como também não é congelável por estar ligada fortemente ao produto.

O teor de água na monocamada (X_m) apresentou uma tendência de aumento com a elevação da temperatura empregada no processo de secagem por aspersão. Apesar deste comportamento não ser muito comum, Ferreira e Pena (2003) relataram que um aumento na temperatura pode provocar acréscimo da pressão de vapor da água no ar e na superfície do produto, modificações na estrutura física do produto, disponibilizando um maior número de sítios ativos com afinidade entre moléculas de água ou um aumento na solubilidade de solutos intrínsecos ao produto, resultando em um maior número de moléculas de água retido na monocamada.

Segundo Alexandre et al. (2007), o parâmetro K representa o fator de correção das propriedades das moléculas nas multicamadas em relação ao volume do líquido, enquanto a

constante de sorção C é função das interações entre os locais ativos do produto e as moléculas de água. Quirijins et al. (2005) afirmaram que quanto maior for o valor de C , mais forte é a ligação da água na monocamada, indicando que na menor temperatura de secagem, a água permanece mais fortemente ligada às amostras. Comportamento este observado nesta pesquisa com o pó de repolho roxo, no qual os valores de C apresentaram maior nas temperaturas de 60 °C para todas as concentrações de maltodextrina adicionadas.

De acordo com os dados nos ajustes do modelo de GAB, verifica-se que os pós de repolho roxo se enquadram como isotermas do tipo II, sendo o $0 < k \leq 1$ e $C > 2$, segundo a classificação de Blahovec (2004).

Quanto ao modelo de Oswin, de acordo com Alcântara et al. (2009) e Blahovec (2004), para representação das isotermas de adsorção de um alimento, os valores de 'a' devem ser maiores que zero e 'b' estar entre 0 e 1,0, indicando que não há ponto de inflexão na curva e, sendo assim, não há mudanças na concavidade das funções, logo, tais parâmetros possuem consistência matemática e física. Assim, os dados desse estudo com pó de repolho roxo estão de acordo com esta afirmação.

Entre os modelos estudados, o modelo de Peleg foi selecionado como o melhor para representar as isotermas de adsorção dos pós de repolho roxo, devido aos melhores critérios estatísticos de coeficientes de determinação ($R^2 \geq 0,99$) e desvios percentuais médios ($P < 10\%$). Constatou-se também para o modelo de Peleg, que as constantes do modelo k_1 , n_1 , k_2 e n_2 não apresentaram nenhum tipo de tendência com o aumento da temperatura de secagem por aspersão.

Tem-se nas Figuras 4.4, 4.5 e 4.6 as isotermas de adsorção de água, na temperatura de 25 °C, dos pós de repolho roxo obtidos em secador por aspersão em diferentes temperaturas e com adição de 10, 15 e 20% de maltodextrina (MD), com modelo de Peleg ajustado aos dados experimentais.

Em geral, na mais alta temperatura de secagem, o teor de água de equilíbrio tendeu a ser mais baixo e verificou-se um aumento da atividade de água nos pós de repolho roxo com o acréscimo do teor de água de equilíbrio. Segundo Goula et al. (2008), a temperatura afeta a mobilidade das moléculas de água e o equilíbrio entre o vapor e a fase adsorvida. Um aumento de temperatura de secagem causa redução no teor de água de equilíbrio, que pode ser atribuído a diminuição no número total de sítios ativos disponíveis para ligação às moléculas de água, devido às alterações físicas e/ou natureza química.

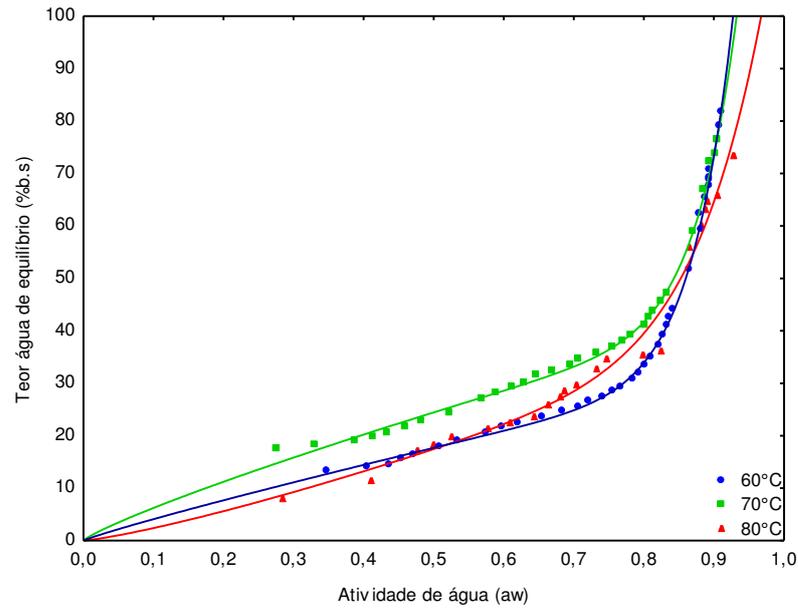


Figura 4.4 Isothermas de adsorção de água a 25 °C dos pós de repolho roxo obtidos em secador por aspersão com adição de 10% de MD nas temperaturas de secagem de 60,70 e 80 °C com ajustes ao modelo de Peleg.

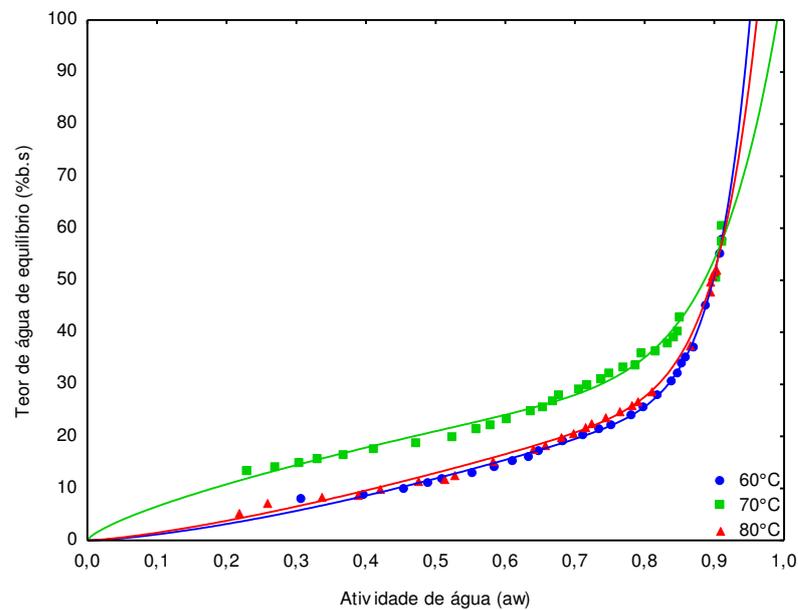


Figura 4.5 Isothermas de adsorção de água a 25 °C dos pós de repolho roxo obtidos em secador por aspersão com adição de 15% de MD nas temperaturas de secagem de 60, 70 e 80 °C com ajustes ao modelo de Peleg.

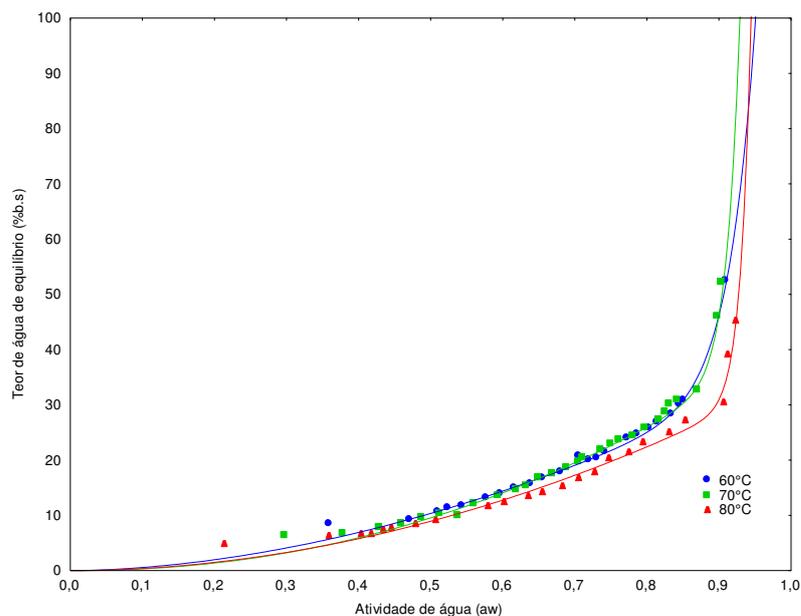


Figura 4.6 Isotermas de adsorção de água a 25 °C dos pós de repolho roxo obtidos em secador por aspersão com adição de 20% de MD nas temperaturas de secagem de 60,70 e 80 °C com ajustes ao modelo de Peleg.

4.4 Conclusões

1. O aumento da concentração de maltodextrina e temperatura de secagem implica na tendência de redução da atividade de água, teor de água, acidez total titulável, antocianinas, refletindo na redução da tonalidade de vermelho e azul, degradação dos compostos bioativos, higroscopicidade, solubilidade, molhabilidade, densidade aparente e compactada.

2. O teor de cinzas e perfil de minerais são influenciados negativamente e positivamente com o aumento da concentração de maltodextrina e da temperatura, respectivamente.

3. O aumento dessas variáveis gera aumento dos sólidos solúveis totais, rendimento, amostras mais luminosas, partículas irregulares, maiores e com menor aspecto de encolhimento.

4. As isotermas dos pós de repolho roxo em diferentes temperaturas e concentrações de maltodextrina obtidos em secador por aspersão foram mais bem representados pelo modelo de Peleg, apresentando comportamento do tipo II.

Referências Bibliográficas

AJALA, A. S.; AJAGBE, O. A.; ABIOYE A. O.; BOLARINWA, I. F. Investigating the effect of drying factors on the quality assessment of plantain flour and wheat- plantain bread. **International Food Research Journal**, v.25, n.4, p.1566-1573, 2018.

ALEXANDRE, H. V.; FIGUEIREDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Moisture adsorption isotherms of red brazilian cherry powder. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 7, p. 11-20, 2007.

ALCÂNTARA, S. R.; ALMEIDA, F. A. C.; SILVA, F. L. H.; GOMES, J. P. Isotermas de adsorção do pedúnculo seco do caju. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 1, p. 81-87, 2009.

ALVES, T. P.; FÓZ, H. D.; NICOLETI, J. F. Isotermas de desorção de pimentão verde e energia envolvida no processo. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 18, n. 2, p. 137-145, 2015.

ARAPTSAS, P.; TURNER, C. Pressurized solvent extraction and monolithic column-HPLC/DAD analysis of anthocyanins in red cabbage. **Talanta**, v. 74, p. 1218-1223, 2008.
L.

ARAÚJO, C. S. P.; ANDRADE, F. H. A.; GALDINO, P. O.; PINTO, M. S. C. Desidratação de batata-doce para produção de farinha. **Agropecuária Científica do Semiárido**, v. 11, n. 4, p. 33-41, 2015.

AULTON, M. E. **Delineamento de formas farmacêuticas**. Porto Alegre: Artmed, 2005. 667p.

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

BHANDARI, B. R.; DATTA, N.; HOWES, T. Problems associated with spray drying of sugar-rich foods. **Drying Technology**, v. 15, n. 2, p. 671-684, 1997.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução nº 263, de 22 de setembro de 2005. **Dispõe sobre o regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 22 set. 2005. Seção 1. Disponível em: Acesso em: 15 set. 2019.

BERILLI, S. da S.; ALMEIDA, S. B.; CARVALHO, A. J. C.; FREITAS, S. de J.; BERILLI, A. P. C. G.; SANTOS, P. C. Avaliação sensorial dos frutos de cultivares de abacaxi para consumo in natura. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.33, p.592-598, 2011.

CAI, Y. Z.; CORKE, H. Production and properties of spray-dried *Amaranthus* betacyanin pigments. **Journal of Food Science**, v.65, n.6, p.1248-1252, 2000.

CALISKAN, G.; DIRIM, S. N. The effect of different drying processes and the amounts of maltodextrin addition on the powder properties of sumac extract powders. **Powder Technology**, v.287, p.308-314, 2016.

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

CANO-CHAUCA, M.; STRINGHETA, P. C.; RAMOS, A. M.; CAL-VIDAL, J. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional

characterization. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v.6, n.4, p.420-428, 2005.

CAPARINO, O.; TANG, J.; NINDO, C.; SABLANI, S.; POWERS, J.; FELLMAN, J. Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (*Philippine 'Carabao' var.*) powder. **Journal of Food Engineering**, v.11, n.1, p.135-148, 2012.

CAPRISTE, G. H.; ROTSTEIN, E. Prediction of sorptional equilibrium data for starch-containing foodstuffs. **Journal of Food Science**, v.47, n.8, p.1501-1507, 1982.

CARNELOSSI, M. A. G.; SILVA, E. O. Processamento mínimo de couve e repolho. In: **Encontro Nacional sobre Processamento Mínimo de Frutas e Hortaliças**, Viçosa. Palestras, Universidade Federal de Viçosa. p.125-131, 2000.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. Lavras: UFLA, 2005, 785.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L. **Fennema's food chemistry**: CRC press, 2017.

DRESCH, M. T. L.; ROSSATO, S. B.; KAPPEL, V. D.; BIEGELMEYER, R.; HOFF, M. L.; MAYORGA, P.; ZUANAZZI, J. A.; HENRIQUES, A. T.; MOREIRA, J. C. Optimization and validation of an alternative method to evaluate total reactive antioxidant potential. **Analytical Biochemistry**, v.1, p.107-114, 2009.

EASTMAN, J. E.; MOORE, C. O. **Cold water soluble granular starch for gelled food composition**. U.S. Patent 4465702, 14 ago, 1984.

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

FERNANDES, R. V. B.; QUEIROZ, F.; BOTREL, D. A.; ROCHA, V. V.; SOUZA, V. R.; LIMA, C. F. Study of the albumin addition and drying temperature on the characteristics of tomato pulp powder. **Semina: Ciências Agrárias**, v.35, p.1267-1278, 2014.

FERNANDES, R. P. P.; TRINDADE, M. A.; TONIN, F. G.; LIMA, C. G.; PUGINE, S. M. P.; MUNEKATA, P. E. S.; LORENZO, J. M.; MELO, M. P. de. Evaluation of antioxidante capacity of 13 plant extracts by three diferente methods: cluster analyses applied for selection of the natural extracts winth higher antioxidante capacity to replace synthetic antioxidante im lamb burgers. **Jornal od food Science and Technology**, p.1-10, 2015.

FERREIRA, C. D.; PENA, R. S. Comportamento higroscópico da farinha de pupunha (*Bactris gasipaes*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.23, n.2, p.251-255, 2003.

FERREIRA, M. de F. P.; PENA, R. da S. Estudo da secagem da casca do maracujá amarelo. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.12, n.1, p.15-28, 2010.

FRANCIS, F. J. **Analysis of anthocyanins**. In: MARKAKIS, P. (Ed.). Anthocyanins as food colors. New York: Academic Press, p.181-207, 1982.

FREUDIG, B.; HOGEKAMP, S.; SCHUBERT, H. Dispersion of powders in liquids in a stirred vessel. **Chemical Engineering and Processing: Process intensification**, v.38, n.4-6, p.525-532, 1999.

GASPAROTTO, J.; SOMENSI, N.; BORTOLIN, R. C.; MORESCO, K. S.; GIRARDI, C. S.; KLAFKE, K.; RABELO, T. K.; MORRONE, M. S.; VIZZOTTO, M.; RASEIRA, M. C.; MOREIRA, J. C.; GELAIN, D. P. Effects of different products of peach (*Prunus persica* L. Batsch) from a variety developed in southern Brazil on oxidative stress and inflammatory parameters in vitro and ex vivo. **Clinical Biochemistry and Nutrition**, v. 55, n.2, p.110-119, 2014.

GEA Niro - Research Laboratory. (2010). **Gea Niro analytical methods**. Disponível em: <<http://www.niro.com/methods>>. Acesso em: 01 de abr. 2019

GOULA, A. M.; ADAMOPOULOS, K. G. Spray drying of tomato pulp: Effect of feed concentration. **Drying Technology**, v.22, n.10, p.2309-2330, 2004.

GOULA, A. M.; ADAMOPOULOS, K. G. Effect of maltodextrin addition during spray drying of tomato pulp in dehumidified air: I. Powder properties. **Drying Technology**, v.26, p.726-737, 2008b.

GOULA, A. M.; ADAMOPOULOS, K. G.; KAZAKIS, N. A. Influence of spray drying conditions on tomato powder properties. **Drying Technology**, v.22, p.1129-1151. 2004.

GOULA, A. M.; KARAPANTSIOS, T. D.; ACHILIAS, D. S.; ADAMOPOULOS, K. G. Isotermas de sorção de água e temperatura de transição vítrea da polpa de tomate seca por pulverização. **Jornal de Engenharia de Alimentos**, v.85, n.1, p73-83, 2008.

GEA Niro- Research Laboratory. (2010). **Gea Niro analytical methods**. Disponível em: <<http://www.niro.com/methods>>. Acesso em: 01 de abr. 2019.

HASAN, M. R.; SOLAIMAN, A. Efficacy of organic and organic fertilizer on the growth of Brassica oleracea L. (Cabbage). **International Journal of Agriculture and Crop Sciences**, v.4, n.3, p.128-138, 2012.

KHA, T. C.; NGUYEN, M. H.; ROACH, P. D. Effects of spray drying conditions on the physico chemical and antioxidant properties of the Gac (*Momordica cochinchinensis*) fruit aril powder. **Journal of Food Engineering**, v.98, n.3, p.385-392. 2010

KRUMREICH, F.; FREDA, S. A.; CHIM, J. F. Análises físico-químicas e estabilidade de compostos bioativos presentes em polpa de uvaia em pó obtidos por métodos de secagem e adição de maltodextrina e goma arábica. **Revista Thema**, v.13, n.2, p.4-17, 2016.

KWAPINSKA, M.; ZBICINSKI, I. Prediction of final product properties after cocurrent spray drying. **Drying Technology**, v.23, p.1653-1665, 2005.

LABUZA, T. P.; KAAANANE, A.; CHEN, J. Y. Effects of temperature on moisture sorption isotherms and water activity shift of two dehydrated foods. **Journal of Food Science**, v.50, n.2, p.385-392, 1985.

LUCAS, B. F.; ZAMBIAZI, R. C.; COSTA, J. A. V. Biocompounds and physical properties of açai pulp dried by different methods. **LWT- Food Science and Technology**, v.98, p.335-340, 2018.

IAL- Instituto Adolfo Lutz. **Método físico químicos para análise de alimentos**. 6ª Ed, 1ª Edição Digital, São Paulo, 2008. 1020p.

MORESCO, K. S.; SILVEIRA, A. K.; SCHNORR, C. E.; ZEIDAN-CHULIA, F.; BORTOLIN, R. C.; BITTENCOURT, L. D. S.; MINGORI, M.; HEIMFARTH, L.; RABELO, T. K.; MORRONE, M. D. S.; CARINI, J. P.; GELAIN, D. P.; BASSAIN, V. L.; MOREIRA, J. C. F. Suplementação com achioclina saturioides extratos de inflorescência para ratos prenhes e amamentando induz alterações específicas do tecido na atividade enzimática e menor sobrevida neonatal. **Biomedicina**, v.5, n.3, p. 53, 2017.

MORRIS, A. A.; BARNETT, B. Effects of processing on nutrient content of foods. **Cajarticles**, v.37, p.160-164, 2004.

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

MASTERS, K. **Spray-air contact (mixing and flow)**, in “**spray drying handbook**”. In: Masters, K. (Ed.). Halsted Press, New York, p. 286-290, 1979.

MODESTO JÚNIOR, E. N.; SOARES, S. da S. GOMES, P. W. P.; RIBEIRO, C. D. F. A.; SILVA, R. M. V. da. Estudo do armazenamento da polpa do fruto ginja Eugênia uniflora L. e sua influência nos teores de ácido ascórbico e antocianinas. **Scientia Plena**, v.12, n.6, p.1-8, 2016.

NASCIMENTO, R. A. D.; ANDRADE, E. L.; SANTANA, E. B.; RIBEIRO, N. F. D. P.; COSTA, C. M. L.; FARIA, L. J. G. D. Bacaba em pó produzido em leito de jorro: uma fonte alternativa de compostos bioativos e um produto alimentar energético. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.22, p.1-15, 2019.

NIJDAM, J. J.; LANGRISH, T. A. J. The effect of surface composition on the functional properties of milk powders. **Journal of Food Engineering**, v.77, p.19-925, 2006.

NUNES, G. L.; BOAVENTURA, B. C. B; PINTO, S. S.; VERRUCK, S.; MURAKAMI, F. S.; PRUDÊNCIO, E. S., AMBONI, R. D. M. C. Microencapsulation of freeze concentrated Ilex paraguariensis extract by spray drying. **Journal of Food Engineering**, v.151, p.60-68, 2015.

OBEROI, D. P. S.; SOGI, D. S. Effect of drying methods and malt dextrin concentration on pigment content of watermelon juice powder. **Journal of Food Engineering**, v. 165, p.172-178, 2015.

OZDIKICIERLER, O.; DIRIM, S. N.; PAZIR, F. The effects of spray drying process parameters on the characteristic process indices and rheological powder properties of microencapsulated plant (*Gypsophila*) extract powder. **Powder Technology**, v.253, p.474-480, 2014.

PAVAN, M. A.; SCHMIDT, S. J.; FENG, H. Water sorption behavior and thermal analysis of freeze-dried, refractance window dried and hot-air dried açai (*Euterpe oleracea* Martius) juice. **LWT- Food Science and Technology**, v.48, p.75-81, 2012.

PATHARE, P. B.; OPARA, U. L.; AL-SAID, F. A. Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: A review. **Food Bioprocess Technology**, v.6, p.36-60, 2013.

PELEG, M. Assessment of a semi-empirical four parameter general model for sigmoid moisture sorption isotherms. **Journal of Food Processing Engineering**, v.16, p.21-37, 1993.

QEWELW, K.; HUGO, A.; OYEDEMI, S. O.; MOYO, B.; MASIKA, P. J.; MUCHENJE, V. Chemical composition, fatty acid content and antioxidant potential of meat from goats supplemented with Moringa (*Moringa Oleifera*) leaves, sunflower cake and grass hay. **Meat Science**, v.93, p.455-462, 2013.

QUIRIJNS, E. J.; BOXTEL, A. J. B. V.; LOON, W. K. P. V.; TRATEN, G. V. Sorption isotherms, GAB parameters and isosteric heat of sorption. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.85, p.1805-1814, 2005.

RESENDE, K. K. O.; SILVA, S. S.; GUEDES, S. F.; LOSS, R. A. Cinética de secagem e avaliação físico-química de fruta-pão (*Artocarpus altilis*) variedade seminífera. **Revista de Agricultura Neotropical**, v.6, n.1, p. 74-81, 2019.

ROCHA, E. M. F. F.; RODRIGUES, S.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. Mathematical modeling for isotherms of mango pulp powder, obtained by atomization. **Journal of Encapsulation and Adsorption Science**, v.4, n.1, p.8-14, 2014.

SAHA, D.; NANDA, S. K.; YADAV, D. N. Optimization of spray drying process parameters for production of groundnut milk powder. **Powder Technology**, v.355, p. 417-424, 2019.

SAHIN-NADEEN, H.; DINÇER, C.; TORUN, M.; TOPUZ, A., ÖZDEMİR, F. Influence of inlet air temperature and carrier material on the production of instant soluble sage (*Salvia fruticosa* Miller) by spray drying. **LWT- Food Science and Technology**, v. 52, n. 1, p. 31-38, 2013.

SANT'ANNA, V.; GURAK, P. D.; MARCZAK, L. D. F.; TESSARO, I. C. Tracking bioactive compounds with colour changes in foods- A review. **Dyes and Pigments**, v.98, n.3, p.601-608, 2013.

SANTHALAKSHMY, S.; BOSCO, S. J. D.; FRANCIS, S.; SABEENA, M. Effect of inlet temperature on physicochemical properties of spray-dried jamun fruit juice powder. **Powder Technology**, v.274, n.1, p.37-43, 2015.

SCHUBERT, H. Instantization of powdered food products, **International Chemical Engineering**, v.33, p.28-45, 1993.

SILVA, F. de A. S.; AZEVEDO, C. A. V. de. Principal components analysis in the software assistat statistical attendance. In: World Congress on Computers in Agriculture, 7, 2016, Reno-NV-USA. **Proceedings...** St Joseph: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2016.

TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Influência da temperatura do ar de secagem e da concentração de agente carreador sobre as propriedades físico-químicas do suco de açaí em pó. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.29, n.2, p.444-450, 2009.

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

VEGA-GÁLVEZ, A.; DI SCALA, K.; RODRÍGUEZ, K.; LEMUS-MONDACA, R.; MIRANDA, M.; LÓPEZ, J.; PEREZ-WONA, M. Effect of Air-Drying Temperature on Physico-Chemical Properties, Antioxidant Capacity, Colour, and Total Phenolic Content of Red Pepper (*Capsicum Annuum*, L. Var. *Hungarian*). **Food Chemistry**, v. 117, p. 647–653, 2009.

WANCZINSKI, B. J.; FELIPE, D. F.; CARDOSO, M. L. C.; CAVALCANTI, O. A. Desenvolvimento de comprimidos de AAS 500 mg: influência do Amido 1500® na compressão direta. **Acta Scientiarum**, v.24, n.3, p.649-655, 2002.

WATERHOUSE, A. Folin-ciocalteau micro method for total phenol in wine. **American Journal of Enology and Viticulture**, p.3-5, 2006.

WICZKOWSKI, W.; SZAWARA-NOWAK, D.; TOPOLSKA, J. Red cabbage anthocyanins: profile, isolation, identification, and antioxidant activity. **Food Research International**, v.51, p.303-309. 2013.

ZHANG, X.; ZENG, J.; QIU, J.; DU, X.; CAO, X.; TANG, Y.; SUN, S.; LI, T.; LEI, S.; LIU, T. Spray-dried xylooligosaccharides carried by gum Arabic. **Industrial Crops and Products**, v.135, p.330-343, 2019.

**5 CAPITULO 3- EFEITOS DA MALTODEXTRINA NO SUMO REPOLHO ROXO
LIOFILIZADO**

Efeitos da maltodextrina no sumo repolho roxo liofilizado

Resumo

O repolho roxo é consumido majoritariamente in natura e é utilizado para propósitos terapêuticos devido ser fonte em antocianinas, o que o torna interessante para o emprego de processos que não provoquem drásticas alterações nutricionais. Assim, objetivou-se com este trabalho obter o repolho roxo em pó obtido pelo processo de liofilização e avaliar os efeitos de diferentes concentrações de maltodextrina (10, 15 e 20%) sobre os parâmetros físico-químicos, físicos e químicos. Como resultados observou-se que o aumento da concentração de maltodextrina ao sumo de repolho submetido a secagem em liofilizador, influenciou na redução da atividade de água, teor de água, acidez, cinzas e minerais dos pós. Quanto a colorimetria, houve redução da intensidade de vermelho e amarelo, e aumentou a luminosidade. Influenciou negativamente nos teores dos compostos bioativos, porém favoreceu a redução da higroscopicidade, densidade aparente e compactada, o que se torna interessante para a indústria. Proporcionou a obtenção de partículas maiores, com variações de tamanho e presença de irregularidades, além de poros, típico de produtos liofilizados. As isotermas foram bem representadas por todos os modelos estudados, porém o modelo de Peleg apresentou os melhores ajustes aos dados experimentais, apresentando comportamento do tipo II e revelaram que o aumento da concentração de maltodextrina a uma mesma temperatura e atividade de água resultou na redução do teor de água de equilíbrio dos pós.

Palavras-chave: *Brassica oleracea* var. *capitata* f. *rubra*, liofilização, adjuvante de secagem, caracterização físico-química.

Abstract

Red cabbage is consumed mostly in natura and is used for therapeutic purposes because it is a source of anthocyanins, which makes it interesting for the use of processes that do not cause drastic nutritional changes. Thus, the objective of this work was to obtain the powdered red cabbage obtained by the lyophilization process and to evaluate the effects of different concentrations of maltodextrin (10, 15 and 20%) on the physical-chemical, physical and chemical parameters. As a result, it was observed that the increase in the concentration of maltodextrin in cabbage juice submitted to freeze drying, influenced the reduction of water activity, water content, acidity, ash and minerals of powders. As for colorimetry, there was a reduction in the intensity of red and yellow, and the luminosity increased. It negatively influenced the contents of bioactive compounds, but favored the reduction of hygroscopicity, apparent and compacted density, which is interesting for the industry. It provided the obtaining of larger particles, with variations in size and presence of irregularities, in addition to pores, typical of lyophilized products. Isotherms were well represented by all the models studied, however the Peleg model showed the best adjustments to the experimental data, showing type II behavior and revealed that the increase in the concentration of maltodextrin at the same temperature and water activity resulted in the reduction of equilibrium water content of powders.

Keywords: *Brassica oleracea* var. *capitata* f. *rubra*, lyophilization, drying aid, physicochemical characterization.

5.1 Introdução

O repolho roxo (*Brassica oleracea* var. *capitata* f. *rubra*) pertencente à família *Brassicaceae*, é um vegetal com alta capacidade antioxidante, rico em minerais, fibras alimentares, carboidratos, vitaminas, polifenóis e antocianinas. Ele é o mais exclusivo entre os vegetais crucíferos ao fornecer uma grande quantidade de antocianinas, que se classificam não exclusivamente como nutrientes antioxidantes, mas também como nutrientes anticancerígenos (DRAGHICI et al., 2013). O repolho roxo atraiu muita atenção por causa de sua potencial aplicação no funcionamento fisiológico (CHIGURUPATI et al., 2002), colaborando para redução da miopia (LEE et al., 2011), apoptose, diabetes, obesidade (IGARASHI et al., 2000), ação anti-inflamatória (LIN et al., 2008), antibacteriano (PARK et al., 2004), proteção contra a aterosclerose e propriedades afrodisíacas (DUKE; DUCCELLIER, 1993).

O seu consumo pode ser na forma crua ou processada. No entanto, o alto teor de água compromete sua preservação, com perdas de qualidade ocorrendo imediatamente após a colheita e, conseqüentemente, não pode ser preservado por muitos dias sob condições ambientais (OLIVEIRA et al., 2015). Dessa forma, torna-se interessante a aplicação de processos que promovam uma maior estabilidade microbiológica, devido à perda de água e pouca alteração quanto as suas características sensoriais e nutritivas.

A liofilização é um método que utiliza baixas temperaturas e pressão, tendo como princípio a desidratação por sublimação da água. Assim, o uso dessas condições permite que as propriedades nutricionais e sensoriais da matéria-prima praticamente não se alterem (BOCKSTAL et al., 2018), apresentem maiores teores de antocianinas, dependendo do tipo de matéria-prima (LEONG; OEY, 2012), preservação das propriedades iniciais das mesmas, tais como forma, dimensões, aparência, sabor, cor, textura e atividade biológica. Além disso, o produto resultante da secagem, geralmente é muito higroscópico, poroso, quebradiço e com excelente capacidade de reidratação (CEBALLOS et al., 2012).

Para obtenção de determinadas características acima citadas, o uso de adjuvante de secagem como a maltodextrina pode ser essencial como relataram Tonon, Bradet e Hubinger (2009), que a maltodextrina, foi eficiente, para a preservação de moléculas funcionais; Patil, Chauhan e Singh (2014) observaram que a concentração de maltodextrina mostrou influência sobre a solubilidade e a dispersibilidade do produto; Peng et al. (2013) obtiveram um produto com melhor fluidez; e Bhandari et al. (1997) relatam que a maltodextrina é o coadjuvante mais utilizado em função da baixa higroscopicidade e valor mais baixo. Além disso, devido ao alto

peso molecular, a adição de maltodextrina pode promover rendimentos mais altos e facilitar o transporte subsequente em operações de armazenamento.

Sendo a liofilização geralmente o método mais recomendado para secagem de produtos que contêm componentes sensíveis ao calor e os relatos das características positivas do uso de adjuvante de secagem, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da concentração de maltodextrina sobre os parâmetros físico-químicos, químicos e físicos do sumo de repolho roxo liofilizado (SHOFIAN et al. 2011).

5.2 Material e Métodos

5.2.1 Local de realização dos experimentos

O experimento foi realizado no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas (LAPPA), Laboratório de Engenharia de Alimentos (LEA), pertencentes à Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, Paraíba (PB); Laboratório de Tecnologia de Grãos e Cereais, pertencente à UFCG, Pombal, PB; e Laboratório de Eletroquímica e Corrosão, pertencente à UFCG, Cuité, PB.

5.2.2 Matérias-Primas

Foi utilizado ‘repolhos roxos’, em estágio de maturação maduro, oriundos da cidade de Espírito Santo-PB, e transportados para o Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas (LAPPA). O agente encapsulante utilizado foi a maltodextrina (MD) MOR-REX 1910 da empresa Ingredion do Brasil Ltda.

5.2.3 Processamento do repolho para obtenção do sumo

Os repolhos foram recepcionados no laboratório, selecionados e retirados as eventuais folhas deterioradas. Logo após foram lavadas em água corrente para a remoção de sujidades e sanitizadas em solução de hipoclorito de sódio a 50 ppm por 15 min, enxaguadas em água corrente e dispostas em peneira para drenagem da água. Posteriormente, foram cortadas em pequenos pedaços e trituradas em multiprocessador storcator fructe (Panasonic MJ-DJ01STQ). O sumo obtido foi homogeneizado e submetido ao processo de refino em peneiras com malha

de 0,5 mm, em seguida envasado em sacos plásticos de polietileno de baixa densidade (15 x 30) cm transparentes e estocados em freezer horizontal (-18 ± 2) °C, até a realização dos experimentos.

5.2.4 Elaboração e secagem do sumo formulado de repolho roxo

As formulações foram elaboradas com concentrações de 10, 15 e 20% de maltodextrina e sumo de repolho roxo; em seguida, foram acondicionadas em formas plásticas e submetidas a congelamento lento através do contato direto das mesmas com o ambiente resfriado em freezer à -25 °C por 24 h. Posteriormente, foram submetidas ao processo de secagem em um liofilizador de bancada da marca Christ, modelo ALPHA 1-2 LDplus, onde as amostras congeladas foram dispostas em bandeijas e balões de vidro com fundo redondo com capacidade para 500 mL e liofilizadas durante 48 h.

5.2.5 Caracterização físico-química dos pós de repolho roxo

A determinação da atividade de água foi realizada através de leitura direta, com o auxílio do equipamento Aqualab 3TE (Decagon) a 25 °C. As análises a seguir seguiram os métodos analíticos descritos pelo IAL (2008): o teor de água foi determinado em estufa a 105 °C durante 24h e os resultados foram expressos em percentagem (%); o pH foi obtido pelo método potenciométrico com o medidor de pH, previamente calibrado com soluções tampão de pH 4,0 e 7,0; a acidez total titulável foi determinada por titulometria, com os resultados expressos em percentagem de ácido cítrico; o teor de sólidos solúveis totais expresso em °Brix, foi determinado pelo método refratométrico; o ratio SST/ATT foi obtido pelo quociente entre os resultados das análises de sólidos solúveis totais e acidez total titulável; e a determinação de cinzas foi feita através da mufla a 600 °C durante 6h, cujos resultados foram expressos em percentagem (%).

Os minerais contidos nas cinzas foram identificados e quantificados por Espectrômetro de Fluorescência de Raios-X por Energia Dispersiva, da marca Shimadzu EDX-7000.

A cor foi determinada por leitura direta nos pós, utilizando-se espectrofotômetro, Hunter Lab Mini Scan XE Plus, modelo 4500 L com sistema de cor Cielab. Os parâmetros determinados foram: L^* que representa a luminosidade, a transição do branco (0) para o preto (100); a^* que representa a transição da intensidade da cor verde ($-a^*$) para a cor vermelha ($+a^*$); e b^* a transição

da intensidade da cor azul (-b*) para a cor amarela (+b*). Com os dados de a* e b* foram calculados o croma (C*), que corresponde à saturação ou intensidade da cor, sendo 0- cor impura e 60- cor pura (Equação 5.1); o ângulo da tonalidade, que expressa a cor perceptível da amostra sendo dependentes dos valores de a* e b*, em que 0°- vermelho; 90°- amarelo; 180°- verde; 270°- azul e 360°- preto (Equação 5.2); e o índice de escurecimento (IE) (Equação 5.3 e 5.4):

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (5.1)$$

$$h = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad (5.2)$$

$$IE = \frac{100 (X - 0,31)}{0,172} \quad (5.3)$$

Sendo:

$$X = \frac{a^* + 1,75L^*}{5,64L^* + a^* - 3,01b^*} \quad (5.4)$$

5.2.6 Caracterização química dos pós de repolho roxo

As antocianinas totais e flavonoides foram determinados segundo a metodologia descrita por Francis (1982), adicionando-se à solução extratora de etanol- HCl 1,5 N na proporção 85:15 (v/v). As leituras foram feitas no comprimento de onda de 535 nm para as antocianinas, e 374 nm para flavonoides. Os resultados foram expressos em mg.100 g⁻¹ e calculados através da Equação 5.5 e 5.5 respectivamente:

$$\text{Antocianinas totais} = \frac{Fd \times Abs}{98,2} \quad (5.5)$$

Onde:

Fd- fator de diluição; e
Abs- absorvância a 535 nm.

$$\text{Flavonoides} = \frac{Fd \times Abs}{76,6} \quad (5.6)$$

Onde:

Fd- fator de diluição; e
Abs- absorvância a 374 nm.

A capacidade antioxidante foi determinada pela redução do radical estável DPPH através da ação dos antioxidantes presentes na amostra, de acordo com Brand-Willams, Cuvelier e Berset (1995), com modificações de Qewelw et al. (2013) e Fernandes et al. (2015). Os resultados foram expressos em mg de equivalente de trolox por 100 g da amostra.

Os compostos fenólicos totais foram determinados em espectrofotômetro, de acordo com o método de Folin-Ciocalteu descrito por Waterhouse e Laurie (2006). Os resultados foram expressos em mg de equivalente de ácido gálico por 100 g de amostra.

O potencial antioxidante reativo total (TRAP) é um método não enzimático in vitro, baseado na ação de antioxidantes no decaimento de fluorescência da quimioluminescência aumentada por luminol gerada pela reação do luminol (o-aminoftáloilidrazida) com os radicais peroxil produzidos pela decomposição térmica do gerador de radicais livres AAPH (Moresco et al. 2017). A metodologia para realização da análise seguiu as recomendações de Moresco et al. (2017) e os dados obtidos foram transformados na área sob curva usando o software (software GraphPad ® San Diego, CA, EUA; versão 5.0). As leituras de reatividade antioxidante total (TAR) foram adquiridas no mesmo experimento e os dados foram calculados como a razão da intensidade da luz na ausência de amostras (I0) / intensidade da luz após a adição da mistura.

5.2.7 Caracterização física dos pós de repolho roxo

A higroscopicidade foi determinada de acordo com o método proposto por Cai e Corke (2000), com algumas modificações. As amostras, com aproximadamente 1g cada, foram colocadas em um recipiente hermético contendo uma solução saturada de NaCl (umidade relativa de 75,29%) a 25°C e, após uma semana foram pesadas. Os resultados foram expressos em percentagem (%).

A solubilidade foi determinada pelo método de Eastman e Moore (1984), e modificado por Cano-Chauca et al. (2005), calculada segundo a Equação 5.7:

$$S = \left[\left(\frac{M_s}{M_a} \right) \cdot 4 \right] \cdot 100 \quad (5.7)$$

Onde:

S- solubilidade (%);

M_s - massa dos sólidos dissolvidos no sobrenadante, g; e
 M_a - massa da amostra, g.

O teste de molhabilidade estático foi o método proposto por Freudig, Hoge Kamp e Schubert (1999), com algumas modificações. O método consistiu em depositar, suavemente, 1 g de amostra sobre 100 mL de água destilada a 25 ± 2 °C e determinou visualmente o tempo necessário para que todas as partículas molhassem. A molhabilidade foi calculada de acordo com a Equação 5.8:

$$M = \frac{N}{t} \quad (5.8)$$

Em que:

M - molhabilidade (g min^{-1});
 N - massa da amostra, g; e
 t - tempo, min.

Na determinação da densidade aparente (ρ_a) pesou-se 1 g do pó em proveta graduada de 25 mL, sem compactação para determinação do volume total ocupado pelo sólido, calculada conforme a Equação 5.9:

$$\rho_a = \frac{m_s}{V_t} \quad (5.9)$$

Em que:

ρ_a - densidade aparente (g/ cm^3);
 m_s - massa do sólido, g; e
 V_t - Volume total, cm^3 .

Para a determinação da densidade compactada usou-se a metodologia proposta por Goula e Adamopoulos (2004), onde pesou-se cerca de 1g da amostra e transferiu-se para uma proveta graduada de 25 mL. A densidade compactada foi calculada a partir da massa de pó contida na proveta depois de ser compactada através de movimentos manuais de 100 vezes sobre a superfície de uma bancada de altura de 10 cm, calculada conforme a Equação 5.10:

$$\rho_c = \frac{m_s}{V_{sc}} \quad (5.10)$$

Onde:

ρ_c - densidade compactada (g/ cm^3);
 m_s - massa do sólido, g; e
 V_{sc} - Volume do sólido após compactação, cm^3 .

A partir das densidades aparente e compactada, foi determinado o fator de Hausner aplicando-se a Equação 5.11, segundo a metodologia de Aulton (2005):

$$FH = \frac{\rho_c}{\rho_a} \quad (5.11)$$

A partir das densidades aparente e compactada, também determinado o índice de Car (IC) aplicando-se a Equação 5.12, segundo a metodologia de Wanczinski et al. (2002):

$$IC = \frac{\rho_c - \rho_a}{\rho_c} \times 100 \quad (5.12)$$

O rendimento do processo de secagem foi calculado a partir da Equação 5.13:

$$RE = \frac{M_f}{M_i} \times 100 \quad (5.13)$$

Onde:

RE- Rendimento (%);

M_i- Massa inicial de alimentação, (g); e

M_f- Massa final (g).

5.2.8 Isotermas de adsorção de água

As isotermas de adsorção de água das amostras em pó foram determinadas utilizando-se o método descrito por Crapiste e Rotstein (1982), na temperatura de 25 °C.

O teor de água de equilíbrio em base seca foi determinado utilizando-se a Equação 5.14:

$$U_{eq} = \frac{m_{eq} - m_s}{m_s} \cdot 100 \quad (5.14)$$

Onde:

U_{eq} - umidade de equilíbrio (%) em base seca;

m_{eq} - massa da amostra no equilíbrio (g); e

m_s - massa seca da amostra (g).

Os modelos matemáticos de GAB, Oswin e Peleg foram ajustados aos dados experimentais das isotermas de adsorção de água das amostras em pó, fazendo-se uso de regressão não linear e se utilizando o programa Statistica 7.0.

Na Tabela 5.1 estão representados os modelos que foram utilizados para os ajustes dos dados experimentais obtidos das isotermas de adsorção de água.

Tabela 5.1 Modelos utilizados para representação dos dados experimentais.

Modelo	Equação	Referências
GAB	$U_{eq} = \frac{X_m \cdot C \cdot k \cdot a_w}{(1 - k \cdot a_w) \cdot (1 - k \cdot a_w + C \cdot k \cdot a_w)}$	(5.15)
Oswin	$U_{eq} = a \left(\frac{a_w}{1 - a_w} \right)^b$	(5.16)
Peleg	$U_{eq} = k_1 \cdot a_w^{n_1} + k_2 \cdot a_w^{n_2}$	(5.17)

U_{eq} - Umidade de equilíbrio, kg/kg; X_m - Umidade na monocamada molecular, kg/kg; a_w - Atividade de água, adimensional; k_1 , k_2 , n_1 , n_2 , C , K , a , b - Constantes das equações

Os critérios usados para determinação do melhor ajuste dos modelos à isoterma, foram o coeficiente de determinação (R^2) e o desvio percentual médio (P), este último calculado conforme a Equação 5.18:

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|(U_{exp} - U_{teor})|}{U_{exp}} \quad (5.18)$$

Em que:

P - desvio percentual médio (%);

U_{exp} - valores obtidos experimentalmente;

U_{teor} - valores preditos pelo modelo; e

n - número de dados experimentais.

5.2.9 Análise morfológica dos pós

A análise morfológica das partículas dos pós foi realizada sem recobrimento através de microscopia eletrônica de varredura (MEV) com um TESCAN VEGA 3, operado a 5 kV e com ampliações variando de 500x e 1000x.

5.2.10 Análise estatística

O experimento foi organizado em Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), cada tratamento foi repetido três vezes, aplicando-se o Teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade, através o programa ASSISTAT versão 7.7 Beta.

5.3 Resultados e Discussão

Os dados referentes aos parâmetros físico-químicos relacionados a influência da concentração de maltodextrina no sumo de repolho roxo liofilizado estão expressos na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 Caracterização físico-química dos pós obtidos em liofilizador

Parâmetros	Concentração de maltodextrina (%)		
	10	15	20
Atividade de água (a_w)	0,159 ± 0,010a	0,147 ± 0,011a	0,107 ± 0,011b
Teor de água (%)	9,99 ± 0,87a	5,92 ± 0,77b	4,81 ± 0,22b
pH	6,16 ± 0,03	6,17 ± 0,00	6,18 ± 0,01
Acidez total titulável (%ácido cítrico)	3,63 ± 0,07a	3,61 ± 0,08a	3,49 ± 0,00a
Sólidos solúveis totais (°Brix)	28,35 ± 0,06c	37,40 ± 0,00b	48,31 ± 0,06a
Ratio (SST /ATT)	7,85 ± 1,42c	10,36 ± 3,78b	13,82 ± 0,05a
Cinzas (%)	3,31 ± 0,46a	2,78 ± 0,38a	1,70 ± 0,41b
Sódio (Na) (mg.100 g ⁻¹)	309,70 ± 0,01a	236,66 ± 0,01b	128,23 ± 0,01c
Magnésio (Mg) (mg.100 g ⁻¹)	164,36 ± 0,01a	120,66 ± 0,01b	101,4 ± 0,01c
Fósforo (P) (mg.100 g ⁻¹)	375,58 ± 0,01a	282,80 ± 0,01b	226,64 ± 0,01c
Potássio (K) (mg.100 g ⁻¹)	1973,04 ± 0,01a	1469,07 ± 0,01b	1122,87 ± 0,01c
Cálcio (Ca) (mg.100 g ⁻¹)	250,29 ± 0,01a	177,13 ± 0,01b	136,05 ± 0,01c
Manganês (Mn) (mg.100 g ⁻¹)	1,10 ± 0,01a	0,81 ± 0,01b	0,40 ± 0,01c
Ferro (Fe) (mg.100 g ⁻¹)	1,86 ± 0,01a	1,30 ± 0,01b	0,96 ± 0,01c
Cobre (Cu) (mg.100 g ⁻¹)	0,35 ± 0,01a	0,30 ± 0,01b	0,22 ± 0,01c
Zinco (Zn) (mg.100 g ⁻¹)	1,03 ± 0,01a	0,80 ± 0,01b	0,66 ± 0,01c

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

A atividade da água (a_w) é um parâmetro importante, relacionado ao prazo de validade e segurança dos alimentos, pois implica a água livre disponível para reações químicas e microbianas. Um valor menor que 0,3 é desejado pela indústria para produtos à base de pó (DAMODARAN E PARKIN, 2017), sendo estes valores atingidos nesta pesquisa com base nos resultados expostos na Tabela 5.2.

O aumento da concentração de maltodextrina provocou redução dos valores da a_w e teor de água, provavelmente devido ao aumento de sólidos e quantidade reduzida de água livre (CALISKAN; DIRIM, 2016). Siritwattananon e Maneerate (2016) obtiveram valor de teor de água de 9,54% em repolho roxo liofilizado, dado este, próximo ao encontrado nesta pesquisa no pó liofilizado com adição de 10%, com resultado igual a 9,99%.

Os valores de pH das amostras liofilizadas apresentaram uma tendência de aumento, refletindo na redução significativa da acidez total titulável das amostras com o aumento do conteúdo de maltodextrina, sendo este comportamento esperado, tendo em vista que Chitarra e Chitarra (2005) reportaram que a maltodextrina reduz a concentração dos ácidos orgânicos, aumentando assim o pH.

Os teores de sólidos solúveis totais apresentaram diferença significativa entre as amostras com diferentes concentrações de maltodextrina, apresentando aumento, considerando que a maltodextrina é constituída de sacarídeos derivados da hidrólise do amido, que consiste de unidades de D-glicose unidas por ligações α (1-4) e que apresenta dextrose equivalente menor que 20, aumentando assim o teor de sólidos solúveis totais nas amostras liofilizadas (KRUMREICH; FREDÁ; CHIM, 2016).

Os valores de ratio (SST/ATT) que refere-se a relação entre sólidos solúveis totais e acidez total titulável é uma das formas mais utilizadas para a avaliação do sabor, pois essa relação dá inferência ao equilíbrio entre esses dois componentes, devendo-se especificar o teor mínimo de sólidos e o máximo de acidez (CHITARRA; CHITARRA, 2005). Assim, aumento da concentração de maltodextrina nas amostras liofilizadas proporcionou elevação significativa nos valores de ratio (SST/ATT), mostrando comportamento interessante, pois, de acordo Berilli et al. (2011), os maiores valores de ratio (SST/ATT) estão associados a melhor aceitação em relação ao sabor.

O conteúdo de cinzas e minerais reduziram no sumo de repolho roxo liofilizado, uma vez que diminuiu a quantidade de sumo e aumentou a quantidade de maltodextrina na formulação, e segundo Caliskan e Dirim (2016), a maltodextrina não inclui quaisquer compostos que contribuem com formação de cinzas. Siritwattananon e Maneerate (2016) encontraram teores de cinzas em repolho roxo liofilizado inferiores a 10%, como obtido neste estudo e vistos na Tabela 5.2.

Na Tabela 5.3 encontram-se os valores da caracterização colorimétrica dos pós de sumo de repolho roxo liofilizados com diferentes concentrações de maltodextrina.

Tabela 5.3 Caracterização colorimétrica dos pós obtidos em liofilizador

Parâmetros	Concentração de maltodextrina (%)		
	10	15	20
Luminosidade (L*)	33,50 ± 0,04c	48,69 ± 0,01b	52,81 ± 0,01a
Intensidade de vermelho (a*)	14,90 ± 0,10a	12,50 ± 0,05b	12,59 ± 0,01b
Intensidade de azul (-b*)	-1,27 ± 0,01a	-4,80 ± 0,02b	-5,60 ± 0,17c
Croma (C*)	14,90 ± 0,1a	13,39 ± 0,05c	13,78 ± 0,07b
Ângulo Hue (°)	4,91 ± 0,01c	17,32 ± 0,01b	17,63 ± 0,63a
Índice de escurecimento	25,62 ± 0,18a	8,15 ± 0,03b	6,30 ± 0,29c

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

O parâmetro L* expressa a luminosidade da amostra e varia de 0 e 100, deste modo, quanto mais próximo de 100 mais clara é a amostra e quanto mais distante, mais escura (SANT'ANNA et al., 2013). Assim, a luminosidade (L*) do pó adicionado de 20% de maltodextrina apresentou maior valor, ou seja, mais luminoso. De acordo com os estudos de Sahim-Nadeem et al. (2013), Marques et al. (2014) e Nunes et al. (2015) relatam que o aumento da concentração de maltodextrina em pós favorece o aumento da luminosidade dos mesmos, uma vez que a maltodextrina apresenta cor branca. Sendo também comprovada pela redução do índice de escurecimento, uma vez que o aumento da concentração de maltodextrina no sumo de repolho roxo deixou as amostras mais claras.

Quanto às coordenadas a* e b*, os valores positivos de a* indicam a tendência à coloração vermelha e na coordenada b*, os valores negativos tendem a uma maior intensidade para o azul (PATHARE; OPARA; AL-SAID, 2013). Observou-se redução do parâmetro a* e b* e esta redução da tonalidade do vermelho e do azul, também está relacionada à diluição da cor, provocada pela presença do adjuvante de secagem utilizado (TONON; BRABET; HUBINGER, 2009).

A saturação C* (croma) é definida como a distância radial do centro do espaço até o ponto da cor. No centro do espaço L* C* h°, estão os valores mínimos de saturação e, à medida que se caminha para as extremidades, aumenta-se este valor (PATHARE; OPARA; AL-SAID, 2013). Para Trigo et al. (2012) quanto menor o valor do croma, menos pura é a cor. Segundo Pathare, Opara e Al-Said (2013), como os valores de C* representam a intensidade cromática de uma cor particular (saturação) e quanto maior o seu valor, mais intensa a cor do produto, justifica-se a redução deste parâmetro pela diluição dos pigmentos com o emprego de maiores concentrações de maltodextrina no sumo de repolho roxo, assim como pelos resultados do índice de escurecimento das amostras.

O ângulo Hue é considerado o atributo qualitativo de cores, definidas tradicionalmente como avermelhada, esverdeada, entre outros (PATHARE; OPARA; AL-SAID, 2013). Segundo Sant'anna et al. (2013), o ângulo afere a percepção de cor: quanto menor o ângulo, mais próximo estará do eixo a* e, portanto, mais vermelha será a coloração do material avaliado. Desse modo, os pós apresentaram-se nas regiões de cores avermelhadas e azuladas.

Na Tabela 5.4 estão expostos os dados das análises químicas realizados nos pós de sumo de repolho roxo acrescidos de maltodextrina.

Tabela 5.4 Caracterização química dos pós obtidos em liofilizador

Parâmetros	Concentração de maltodextrina (%)		
	10	15	20
Antocianinas totais (mg.100 g ⁻¹)	3298,99 ± 1,58a	2160,53 ± 0,59b	1972,3 ± 1,08c
Flavonoides (mg.100 g ⁻¹)	2003,36 ± 2,52a	1584,30 ± 1,44b	1547,52 ± 1,76b
Antioxidantes (mg Trolox. 100 g ⁻¹)	34,20 ± 1,20a	28,72 ± 0,11b	18,94 ± 0,06c
Fenólicos totais (mg ac. gálico. g ⁻¹)	3507,98 ± 0,01a	3489,54 ± 1,25b	3191,09 ± 0,01c

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

O emprego da maltodextrina provocou um comportamento inversamente proporcional nos teores de bioativos, ou seja, o aumento da concentração de maltodextrina no sumo de repolho roxo promoveu a redução significativa dos compostos bioativos nos pós analisados. Esse comportamento pode ser explicado pela menor concentração de compostos reativos presente em relação à concentração de maltodextrina, uma vez que reduz a quantidade de sumo e aumenta a quantidade do agente carreador (NASCIMENTO et al., 2019).

Corroborando com este comportamento, Ferrari, Ribeiro e Aguirre (2012) explicaram que maiores concentrações de agente carreador na mistura provocaram um efeito de diluição dos pigmentos presentes na amostra, havendo perda de nutrientes e da cor do produto, o que diminui a qualidade dos pós produzidos.

Essa redução da qualidade quanto aos compostos bioativos, pode ser atribuída também com o processamento do repolho para torná-lo sumo, armazenamento congelado por longo período de tempo, descongelamento, preparo das formulações, secagem e estocagem dos pós, pois, segundo Chitarra e Chitarra (2005), são compostos instáveis durante o processamento e armazenamento e podem sofrer degradação pela temperatura, pH, oxigênio e luz.

O potencial antioxidante reativo total (TRAP) e a reatividade antioxidante total (TAR) foram analisados nas amostras dos pós de repolho roxo obtidos por liofilização e o comportamento desses parâmetros podem visualizados através das Figuras 5.1 e 5.2.

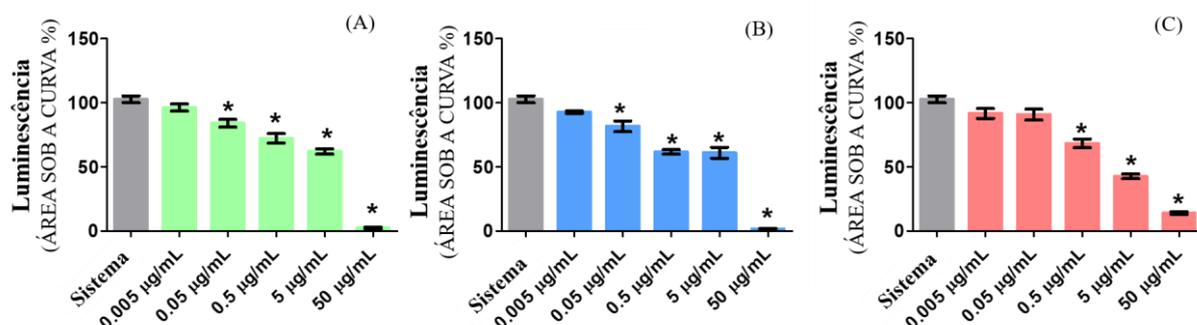


Figura 5.1 Análise do potencial antioxidante de radicais totais (TRAP) dos pós de repolho roxo com 10 % de MD (A), 15 % de MD (B) e 20 % de MD (C) obtidos por liofilização.

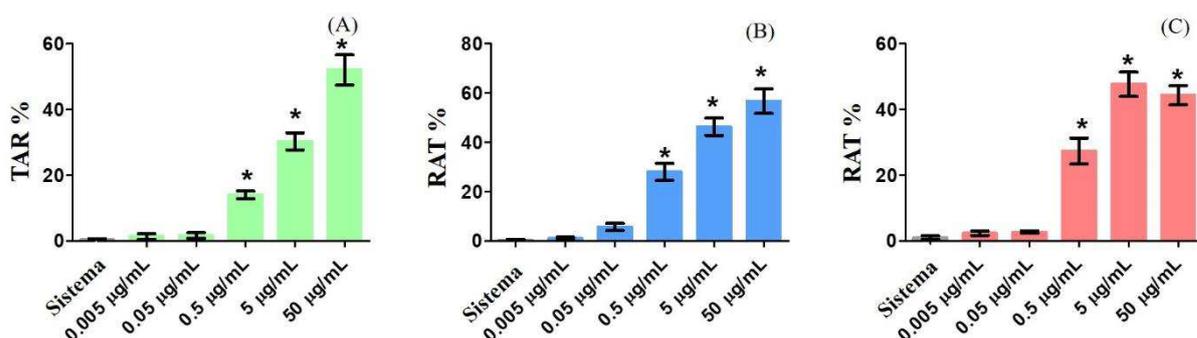


Figura 5.2 Reatividade antioxidante total (TAR) dos pós de repolho roxo com 10 % de MD (A), 15 % de MD (B) e 20 % de MD (C) obtidos por liofilização.

Segundo Dresch et al. (2009), a perda de quimioluminescência pode ser analisada por meio da área sob a curva. Quando a extensão do declínio da luminescência é grande, o valor esperado da área sob a curva é baixo, e a perda repentina de quimioluminescência e o valor da área sob a curva são inversamente proporcionais. Quanto menor o valor da área sob a curva, maior a atividade antioxidante das amostras. Desse modo, no parâmetro TRAP exposto na Figura 5.1, notou-se que na concentração de 50 µg / mL as amostras com 10, 15 e 20% de maltodextrina apresentaram maior reatividade, sendo que o menor valor na área sob a curva foi na amostra com 10 e 15 % de MD (5.1 A e 5.1 B), logo, as mesmas apresentaram maior atividade antioxidante, corroborando com os resultados expostos na Tabela 5.4.

Observa-se também que na Figura 5.1 A e 5.1 B as amostras com 10 e 15% de maltodextrina mostraram-se significativas em quatro concentrações, tendo início na

concentração de 0,05 $\mu\text{g} / \text{mL}$ e a 5.1 C significativa em três concentrações, começando a partir da concentração 0,5 $\mu\text{g} / \text{mL}$ a demonstração da sua atividade antioxidante.

De acordo com Gasparotto et al. (2014), o índice de reatividade antioxidante total (TAR) indica a diminuição instantânea da luminescência associada com a adição da amostra no sistema gerador de peroxil. Enquanto TRAP indica a quantidade de antioxidantes presentes nas amostras, o TAR indica sua eficácia antioxidante. Assim, na Figura 5.2 nota-se que a partir da concentração de 0,5 $\mu\text{g} / \text{mL}$ as concentrações utilizadas foram significativas, sendo que na concentração de 50 $\mu\text{g} / \text{mL}$ houve uma maior eficácia dos antioxidantes em todas as amostras, porém o pó com 10% de MD (5.2 A) apresentou resultado mais expressivo em relação à reatividade antioxidante total.

Na Tabela 5.5, encontra-se os dados da caracterização física dos pós do sumo de repolho formulados com maltodextrina submetido à liofilização.

Tabela 5.5 Caracterização física dos pós obtidos em liofilizador

Parâmetros	Concentração de maltodextrina (%)		
	10	15	20
Higroscopicidade (%)	23,97 \pm 0,06a	19,54 \pm 0,29b	19,27 \pm 0,23b
Solubilidade (%)	92,66 \pm 6,17a	91,18 \pm 2,55a	89,63 \pm 1,70a
Molhabilidade ($\text{g} \cdot \text{min}^{-1}$)	0,512 \pm 0,03a	0,35 \pm 0,20b	0,31 \pm 0,01b
Densidade aparente ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	0,30 \pm 0,01a	0,29 \pm 0,01a	0,27 \pm 0,01b
Densidade compactada ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	0,40 \pm 0,00a	0,38 \pm 0,01b	0,36 \pm 0,00c
Fator de Hausner	1,48 \pm 0,02a	1,39 \pm 0,01b	1,40 \pm 0,04ab
Índice de Car (%)	28,42 \pm 1,58a	26,22 \pm 1,10a	27,69 \pm 2,6a
Rendimento (%)	18,25 \pm 1,33c	23,08 \pm 2,96b	31,96 \pm 2,15a

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

A higroscopicidade é um atributo importante para a estabilidade do pó, sugerindo a capacidade de absorver moléculas de água quando em contato com o ambiente úmido (CAPARINO et al., 2012). Os valores da higroscopicidade dos pós de repolho roxo liofilizados apresentaram uma redução significativa de acordo com o aumento da concentração de maltodextrina, em que de acordo TONON, BRABET, HUBINGER (2009), este comportamento está ligado a baixa higroscopicidade da maltodextrina, o que confirma a eficiência da sua utilização como agente carreador no intuito de reduzir a higroscopicidade dos produtos desidratados. De acordo com a classificação de GEA NIRO Research Laboratory (2010), o pó de repolho com 10% de maltodextrina classifica-se como muito higroscópico, pois

apresentou valor igual a 23,97%, encontrando-se entre 20,1 e 25%, e os adicionados de 15 e 20% de maltodextrina apresentaram 19,54 e 19,27%, respectivamente, sendo classificados como higroscópicos, pois apresentaram valores de 15,1 a 20%.

A molhabilidade, que representa a habilidade do pó em absorver um líquido sob a influência de forças capilares, pode ter sido favorecida pelo maior teor de água da amostra com adição de 10% de maltodextrina, a qual apresentou maior capacidade de instantaneidade e de reconstituição, em comparação com as amostras com 15 e 20% de maltodextrina, ou seja, quanto maior a quantidade adicionada, mais tempo leva para as partículas molharem e reconstituírem (FREUDIG; HOGEKAMP; SCHUBERT, 1999). Isso é confirmado por Ozdikicierler et al. (2014), em que relataram que a maltodextrina é um amido, e seu tempo de dissolução da água é maior que os dos elementos naturalmente solúveis em água de um extrato vegetal, composto principalmente de açúcares simples. Assim, quanto maior a concentração de maltodextrina menor a solubilidade dos pós, como exposto na Tabela 5.5.

As densidades aparente e compactada apresentaram uma ligeira redução com o aumento da concentração de maltodextrina. Kwapinska e Zbicinski (2005) mostraram que aditivos com propriedades de formação de película como maltodextrina continham frequentemente bolhas de ar, nas quais com aumento do uso, provocavam menor densidade aparente dos pós. Yousefi et al. (2011) também afirmaram que à medida que a concentração de aditivos aumentou, a densidade do pó diminuiu.

Segundo Santhalakshmy et al. (2015), o fator de Hausner (FH) tem a finalidade de avaliar a coesividade do material. De acordo com a classificação destes autores, o pó de repolho roxo com adição de 10% exibiu valor de 1,48 apresentando alta coesividade, pois possui valor de $FH > 1,4$ e os pós com 15 e 20% de maltodextrina apresentaram valores de 1,39 e 1,40, classificando-os com coesividade intermediária, pois o FH apresentou valores entre 1,2 e 1,4.

De acordo com Caliskan e Dirim (2016), para pós liofilizados, o aumento da concentração de maltodextrina causa melhor fluidez e menor comportamento de coesão. De acordo com Santhalakshmy et al. (2015), os valores IC entre 15-20% indicam boa fluidez; entre 20-35% fluidez pobre; entre 35-45% fluidez ruim; e IC maior que 45% indicam fluidez muito ruim, assim os pós do sumo de repolho roxo com diferentes concentrações de maltodextrina apresentaram uma fluidez pobre.

Cano-Chauca et al. (2005) relataram que amostras com maiores concentrações de maltodextrina revelaram uma tendência para aumentar o rendimento de pó, uma vez que isto

significa adição de compostos de alto peso molecular como maltodextrina, comportamento este favorável e também observado nesta pesquisa.

Na Figura 5.3 encontra-se as micrografias obtidas em Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) dos pós do sumo de repolho roxo obtidos por liofilização com diferentes concentrações de maltodextrina.

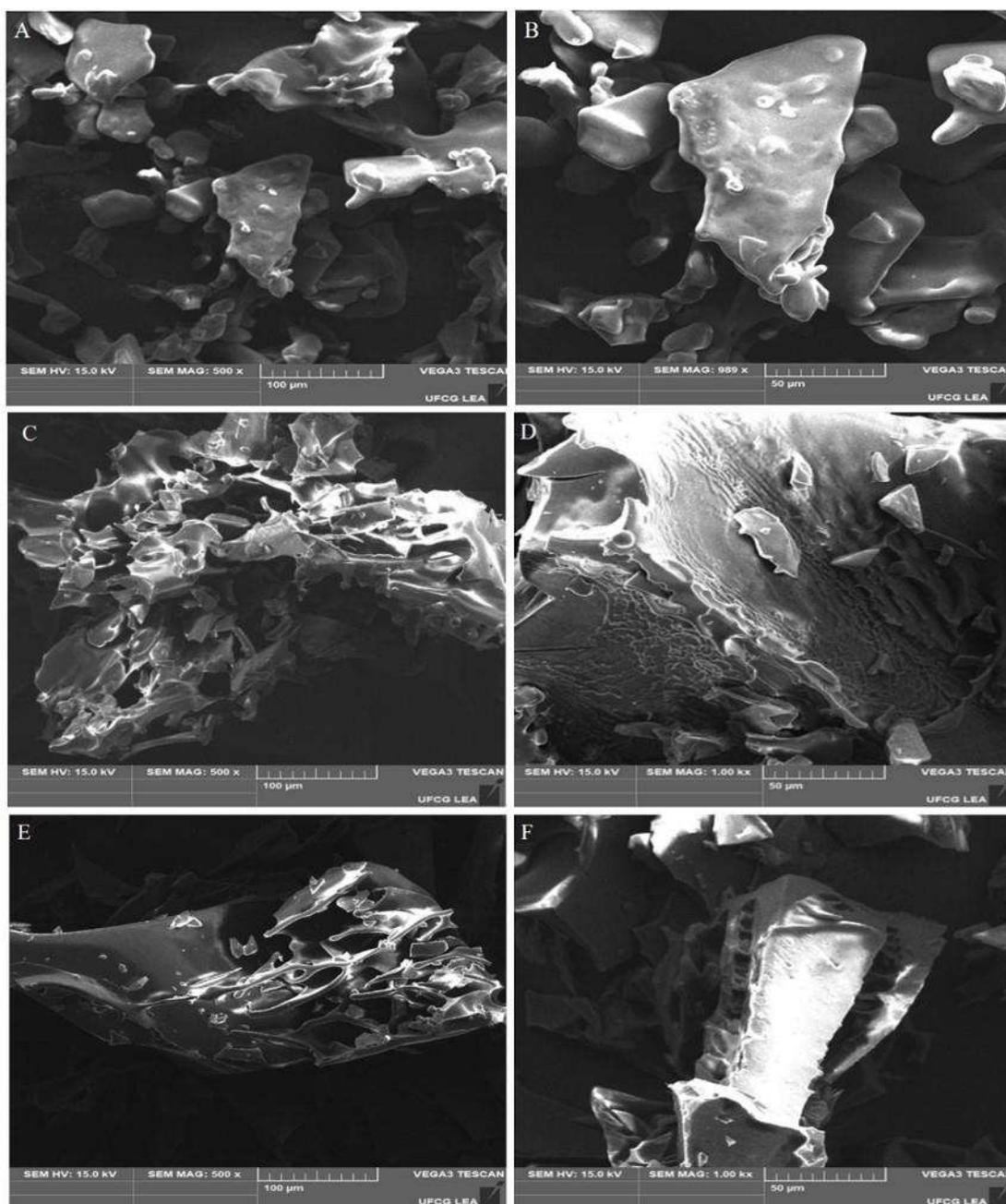


Figura 5.3 Micrografias dos pós de sumo de repolho roxo com 10 % de maltodextrina (A, B), 15% de maltodextrina (C, D) e 20% de maltodextrina (E, F) obtidos por liofilização, ampliações de 500x e 1000x.

È possível visualizar em alguns pontos das imagens, rugosidade e partículas menores aderidas na superfície de partículas maiores, formando aglomerados (B). Segundo Canocha et al. (2005), a forte aderência das partículas menores em torno das maiores mostra a carência de superfícies cristalinas, sendo atributo de produtos amorfos. A formação de aglomerados contribui para a classificação anteriormente citada dos pós como muito higroscópico (pó com 10% de MD) e higroscópico (pós com 15 e 20% de MD).

As estruturas são irregulares com a presença de alguns achatamentos pode estar associado às deformações mecânicas às quais os pós são submetidos. Os furos na superfície de algumas partículas indicam a presença de estruturas ocas (vazias) nas partículas secas (NASCIMENTO et al., 2019).

As microestruturas dos pós obtidos com diferentes concentrações de maltodextrina, exibiram variações e irregularidades, além da presença de poros, típico de produtos liofilizados (AFONSO et al., 2019). Já Conceição et al. (2016) afirmaram que os pós obtidos por liofilização têm uma estrutura porosa devido ao estado sólido da água durante o processo de liofilização, que protege a estrutura primária do alimento.

Na Tabela 5.6 encontra-se os valores dos parâmetros dos modelos de GAB, Oswin e Peleg ajustados aos dados experimentais de adsorção de água dos pós de repolho roxo obtidos por liofilização com adição de 10, 15 e 20% de maltodextrina.

Tabela 5.6 Parâmetros dos modelos ajustados às isotermas de adsorção de água a 25 °C dos pós de repolho roxo liofilizados com adição de 10, 15 e 20%.

Modelo	M%	Parâmetros					
		X _m	C	K	R ²	P (%)	
GAB	10	6,899632	1740328	0,987351	0,99561	5,34	
	15	7,860320	3,479609	0,965944	0,99254	9,68	
	20	7,178571	10,07365	0,940168	0,99473	5,35	
OSWIN		A	B	R ²	P (%)		
	10	12,79782	0,705450	0,99078	8,03		
	15	11,63070	0,727340	0,99331	9,23		
	20	12,25793	0,594830	0,99600	4,32		
PELEG		k ₁	n ₁	k ₂	n ₂	R ²	P (%)
	10	35,98234	1,281349	189,9637	17,02196	0,99915	2,46
	15	43,01871	1,444597	52,05460	2,282430	0,99746	6,6
	20	39,60214	1,706637	157,6643	25,70210	0,99585	5,88

R² - Coeficiente de determinação; P - desvio percentual médio (%); X_m - Conteúdo de água na monocamada molecular (g H₂O.g⁻¹); n - Número de camadas moleculares; C, K - Constantes de sorção; a, b - Parâmetros de ajuste.

Todos os modelos se ajustaram aos dados experimentais por apresentarem altos coeficientes de determinação e baixos desvios percentuais médios, porém o modelo de Peleg exibiu os melhores ajustes apresentando os maiores coeficientes de determinação ($R^2 \geq 0,99$) e menores desvios percentuais médios ($P < 10\%$), podendo ser utilizados para prever as isotermas de adsorção de água dos pós de repolho roxo com diferentes concentrações de maltodextrina.

No modelo de GAB, Blahovec (2004) mostrou que os parâmetros K e C deve cumprir as seguintes relações: $0 < K \leq 1$, enquanto C deve ser maior que 0. Para $C \geq 2$, a equação "GAB" fornece uma curva sigmoideal com um ponto de inflexão, classificada como tipo II, segundo Brunauer, Deming e Teller (1940), enquadrando os dados desse trabalho nesta classificação.

Comunian et al. (2011) afirmaram que o teor de água na monocamada (X_m) corresponde à quantidade de água fortemente adsorvida a sítios específicos na superfície dos alimentos e considera-se um valor crítico acima do qual aumentam as taxas de algumas reações de degradação e diminui a estabilidade da matriz alimentar. Os dados de X_m apresentados na tabela acima, demonstraram que o aumento da concentração de maltodextrina provocou no pó, uma tendência à obtenção de maiores valores de X_m , mostrando-se assim, mais estáveis quando expostas a ambientes com maiores umidades relativas. Esse comportamento também foi relatado por Oliveira et al. (2012) em estudo do comportamento das isotermas do pó de macaúba, com a adição de 8% de maltodextrina comparada com a integral, e Oliveira et al. (2014) em pesquisa com polpa de cajá integral liofilizada e adicionada de 17% de maltodextrina.

As constantes C e K do modelo de GAB são um indicativo do tipo de isoterma, de acordo com a classificação de Brunauer, Emmett e Teller (1938). Os valores de K obtidos foram menores que 1, estando dentro da faixa descrita por Syamaladevi et al. (2009) que afirmaram que os valores de K geralmente variam entre 0,7 e 1 para materiais alimentícios. Esses parâmetros, segundo Alexandre et al. (2007), representam o fator de correção das propriedades das moléculas nas multicamadas em relação ao volume do líquido (k), enquanto a constante de sorção C é uma função das interações entre os locais ativos do produto e as moléculas de água. Assim, essas interações foram maiores com o aumento da concentração de maltodextrina, uma vez que os valores de C aumentaram, e de acordo com Quirijins et al. (2005), quanto maior for o valor de C mais forte é a ligação da água na monocamada.

No modelo de Oswin, os valores dos parâmetros devem apresentar o $a > 0$ e $0 < b < 1$, para representação das isotermas de adsorção de um alimento, indicando que não há ponto de

inflexão na curva e, sendo assim, não há mudanças na concavidade das funções, logo, tais parâmetros possuem consistência matemática e física (ALCÂNTARA et al., 2009; BLAHOVEC, 2004). Assim, os dados dos parâmetros de a e b deste estudo encontraram-se dentro do intervalo citado.

Entre os modelos de GAB, Oswin e Peleg, o último foi o selecionado como o melhor para representar as isotermas de adsorção dos pós de repolho roxo, devido a melhores critérios estatísticos de coeficientes de determinação ($R^2 \geq 0,99$) e desvios percentuais médios ($P < 10\%$). Observou-se que as constantes do modelo k_1 , n_1 , k_2 e n_2 não apresentaram nenhum tipo de tendência com o aumento da concentração de maltodextrina.

A Figura 5.4 demonstra as isotermas de adsorção de água, na temperatura de 25 °C, dos pós de repolho roxo liofilizados com adição de 10, 15 e 20% de maltodextrina (MD).

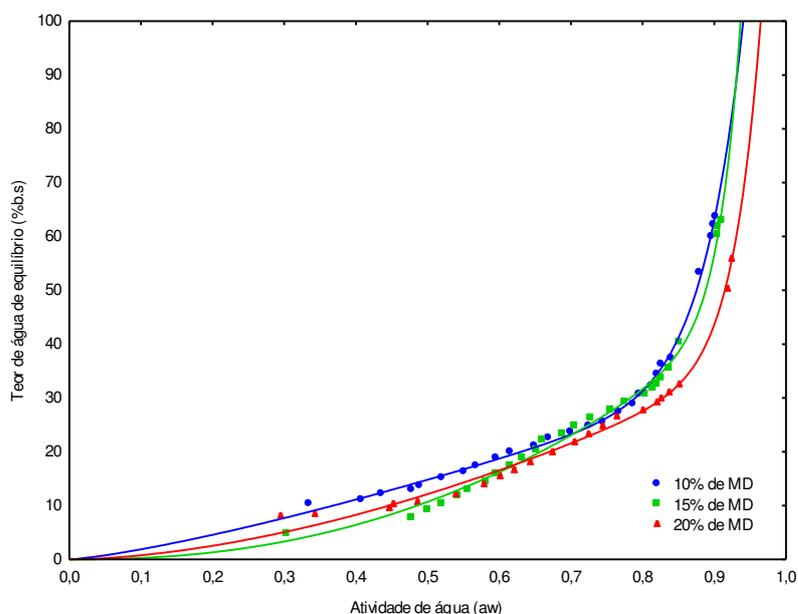


Figura 5.4 Isotermas de adsorção de água, na temperatura de 25 °C, dos pós de repolho roxo liofilizados com adição de 10, 15 e 20% de maltodextrina (MD).

Em todas as isotermas, o aumento da atividade de água representa aumento do conteúdo de água dos pós do sumo de repolho roxo com maltodextrina. A isoterma apresentou forma característica do tipo II para todas as amostras, de acordo com a classificação de Brunauer, Deming e Teller (1940). Observou-se nas isotermas que variações da atividade de água representaram alteração no teor de água do pó. Porém, a partir de atividade de água ao redor de 0,8 este comportamento foi mais expressivo, em que um pequeno aumento da atividade de água representou um ganho de água bem representativo dos pós de repolho roxo.

Os valores do teor de água de equilíbrio diminuiram com o aumento da concentração de maltodextrina ao pó, demonstrando que a adição deste adjuvante reduz a higroscopicidade com o aumento da sua concentração. Esse comportamento pode explicar o efeito do encapsulamento, que diminuiu a superfície exposta às moléculas de água, provocando uma menor adsorção.

5.4 Conclusões

1. O aumento concentração de maltodextrina ao sumo de repolho submetido a secagem em liofilizador, influencia na redução da atividade de água, teor de água, acidez, cinzas e minerais dos pós.

2. Quanto a colorimetria, houve redução da intensidade de vermelho e amarelo e aumentou a luminosidade. Influenciou negativamente nos teores dos compostos bioativos, porém favoreceu a redução da higroscopicidade, densidade aparente e compactada, o que se torna interessante para a indústria.

3. O aumento da concentração de maltodextrina proporciona a obtenção de partículas maiores, com variações de tamanho e presença de irregularidades, além de poros, típico de produtos liofilizados.

4. As isotermas dos pós de repolho roxo com maltodextrina foram bem representadas por todos os modelos estudados, porém o modelo de Peleg apresenta os melhores ajustes aos dados experimentais, exibindo comportamento do tipo II.

Referências Bibliográficas

AFONSO, M. R. A.; RODRIGUES, B. K. M.; COSTA, J. M. C.; RYBKA, A. C. P.; WURLITZER, N. J. Microestrutura e propriedades de fluxo de polpa de manga liofilizada com maltodextrina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.23, n.2, p.133-137, 2009.

ALCÂNTARA, S. R.; ALMEIDA, F. de A. C.; SILVA, F. L. H. da; GOMES, J. P. Isotermas de adsorção do pedúnculo seco do caju. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.1, p.81-87, 2009.

ALEXANDRE, H. V.; FIGUEIREDO, R. M. F. de; QUEIROZ, A. J. de M. Moisture adsorption isotherms of red brazilian cherry powder. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.7, p. 11-20, 2007.

BHANDARI, B. R.; DATTA, N.; HOWES, T. Problems associated with spray drying of sugar-rich foods. **Drying Technology**, v.15, n.2, p.671-684, 1997.

BLAHOVEC, J. Sorption isotherms in materials of biological origin mathematical and physical approach. **Journal of Food Engineering**, v.65, n.4, p.489-495, 2004.

BOCKSTAL, P. J. V.; CORVER, J.; MORTIER, S. T. F. C.; MEYER, L.; NOPENS, I.; GERNAEY, K. V.; BEER, T. Developing a framework to model the primary drying step of a continuous freeze-drying process based on infrared radiation. **European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics**, v.127, p.159-170, 2018.

BRUNAUER, S.; EMMETT, P. H.; TELLER, E. Adsorption of gases in multi molecular layers. **Journal of the American Chemical Society**, v.60, p.309-319, 1938.

BRUNAUER, S.; DEMING, L. S.; TELLER, E. On a theory of van der Waals adsorption of gases. **Journal of the American Chemical Society**, v.62, p.1723-1732, 1940.

CALISKAN, G.; DIRIM, S. N. The effect of different drying processes and the amounts of maltodextrin addition on the powder properties of sumac extract powders. **Powder Technology**, v. 287, p. 308- 314, 2016.

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

CAPARINO, O.; TANG, J.; NINDO, C.; SABLANI, S.; POWERS, J.; FELLMAN, J.). Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (*Philippine 'Carabao' var.*) powder. **Journal of Food Engineering**, v.11, n.1, p.135-148, 2012.

CEBALLOS, A. M.; GIRALDO, G. I.; ORREGO, C. E. Effect of freezing rate on quality parameters of freeze dried sour sop fruit pulp. **Journal of Food Engineering**, v. 111, n.2012, p.360-365, 2011.

CHIGURUPATI, N.; SAIKI, L.; GAYSER, J. R. C.; DASH A. K. Evaluation of red cabbage dye as a potential natural color for pharmaceutical use. **International Journal of Pharmaceutics**, v.241, p.293=299, 2002.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: Fisiologia e manuseio**. 2. ed. rev. e ampl. Lavras: UFLA, 2005. 783p.

COMUNIAN, T. A.; MONTERREY-QUINTERO, E. S.; THOMAZINI, M.; BALIEIRO, J. C. C.; PICCONE, P.; PITTIA, P.; FAVARO-TRINDADE, C. S. Assessment of production efficiency, physicochemical properties and storage stability of spray-dried chlorophyllide, a natural food colourant, using gum arabic, maltodextrin and soy protein isolate-based carrier systems. **International Journal of Food Science and Technology**, v.46, p.1259-1265, 2011.

CONCEIÇÃO, M. C.; FERNANDES, T. N.; RESENDE, J. V. Stability and microstructure of freeze-dried guava pulp (*Psidium guajava* L.) with added sucrose and pectin. **Journal of Food Science and Technology**, v. 53, p. 2654-2663, 2016.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L. Fennema's food chemistry: CRC press, 2017.

DRAGHICI, G. A.; LUPU, M. A.; BOROZAN, A.; NICA, D.; ALDA, S.; ALDA, L.; GOGOASA, I.; GERGEN, I.; BORDEAN, D. M. Red cabbage, millennium's functional food. **Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology**, v.17, n.4, p.52-55, 2013.

DRESCH, M. T. L.; ROSSATO, S. B.; KAPPEL, V. D.; BIEGELMEYER, R.; HOFF, M. L.; MAYORGA, P.; ZUANAZZI, J. A.; HENRIQUES, A. T.; MOREIRA, J. C. Optimization and validation of an alternative method to evaluate total reactive antioxidant potential. **Analytical Biochemistry**, v.1, p.107-114, 2009.

DUKE, J. A.; DUCCELLIER, M. J. B. J. **CRC handbook of medicinal spices**, 53-55. 1993.

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

FREUDIG, B.; HOGEKAMP, S.; SCHUBERT, H. Dispersion of powders in liquids in a stirred vessel. **Chemical Engineering and Processing: Process intensification**, v.38, n.4-6, p.525-532, 1999.

GASPAROTTO, J.; SOMENSI, N.; BORTOLIN, R. C.; MORESCO, K. S.; GIRARDI, C. S.; KLAFKE, K.; RABELO, T. K.; MORRONE, M. S.; VIZZOTTO, M.; RASEIRA, M. C.; MOREIRA, J. C.; GELAIN, D. P. Effects of different products of peach (*Prunus persica* L. *Batsch*) from a variety developed in southern Brazil on oxidative stress and inflammatory parameters in vitro and ex vivo. **Clinical Biochemistry and Nutrition**, v. 55, n.2, p.110-119, 2014.

GEA Niro Research Laboratory (2010) - **GEA Niro analytical methods**. [cit. 2016.05.24].

IGARASHI, K.; KIMURA, Y.; TAKENAKA, A. Preventive effects of dietary cabbage acylated anthocyanins on paraquat-induced oxidative stress in rats. **Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry**, v.64, n.8, p.1600-1607, 2000.

KRUMREICH, F.; FREDA, S. A.; CHIM, J. F. Análises físico-químicas e estabilidade de compostos bioativos presentes em polpa de uvaia em pó obtidos por métodos de secagem e adição de maltodextrina e goma arábica. **Revista Thema**, v.13, n.2, p.4-17, 2016.

KWAPINSKA, M.; ZBICINSKI, I. Prediction of final product properties after cocurrent spray drying. **Drying Technology**, v.23, p.1653-1665, 2005.

LABUZA, T. P.; KAAANANE, A.; CHEN, J. Y. Effects of temperature on moisture sorption isotherms and water activity shift of two dehydrated foods. **Journal of Food Science**, v.50, n.2, p.385-392, 1985.

LEE, K. J.; SOK, D. E.; KIM, Y. B.; KIM, M. R. Protective effect of vegetable extracts on stress in brain of mice administered with NMDA. **Food Research International**, v.35, n.1, p.55-63, 2002.

LEONG, S. Y.; OEY, I. Effects of processing on anthocyanins, carotenoids and vitamin C in summer fruits and vegetables. **Food Chemistry**, v.133, n.4, p.1577-1587, 2012.

LIN, J. Y.; LIA, C. Y.; HWANG, I. F. Characterisation of the pigment components in red cabbage (*Brassica oleracea* L. var.) juice and their anti-inflammatory effects on LPS-stimulated murine splenocytes. **Food Chemistry**, v.109, n.4, p.771-781, 2008.

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

MORESCO, K. S.; SILVEIRA, A. K.; SCHNORR, C. E.; ZEIDAN-CHULIA, F.; BORTOLIN, R. C.; BITTENCOURT, L. D. S.; MINGORI, M.; HEIMFARTH, L.; RABELO, T. K.; MORRONE, M. D. S.; CARINI, J. P.; GELAIN, D. P.; BASSAIN, V. L.; MOREIRA, J. C. F. Suplementação com achiroclina saturioides extratos de inflorescência para ratos prenhes e amamentando induz alterações específicas do tecido na atividade enzimática e menor sobrevivência neonatal. **Biomedicina**, v.5, n.3, p. 53, 2017.

NASCIMENTO, R. A. D.; ANDRADE, E. L.; SANTANA, E. B.; RIBEIRO, N. F. D. P.; COSTA, C. M. L.; FARIA, L. J. G. D. Bacaba em pó produzido em leite de jorro: Uma fonte alternativa de compostos bioativos e um produto alimentar energético. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.22, e2018229, 2019.

NUNES, G. L.; BOAVENTURA, B. C. B.; PINTO, S. S.; VERRUCK, S.; MURAKAMI, F. S.; PRUDÊNCIO, E. S.; AMBONI, R. D. M. C. Microencapsulation of freeze concentrated *Ilex paraguariensis* extract by spray drying. **Journal of Food Engineering**, v.151, p.60-68, 2015.

OLIVEIRA, G. S.; COSTA, J. M. C.; 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, D. M.; CLEMENTE, E.; COSTA, J. M. C. Hygroscopic behavior and degree of caking of grugru palm (*Acrocomia aculeata*) powder. **Journal of Food Science and Technology**, v.1, p.1-7, 2012.

OLIVEIRA, S. M.; RAMOS, I. N.; BRANDÃO, T. R. S.; SILVA, C. L. M. Effect of air-drying temperature on the quality and bioactive characteristics of dried galega kale (*Brassica Oleraceae* L. var. acephala). **Journal of Food and Preservation**, v.39, p.2485-2496, 2015.

OZDIKICIERLER, O.; DIRIM, S. N.; PAZIR, F. The effects of spray drying process parameters on the characteristic process indices and rheological powder properties of microencapsulated plant (*Gypsophila*) extract powder. **Powder Technology**, v.253, p.474-480, 2014.

PARK, Y. J.; JEON, K. H.; KIM, S. H.; BAE S. J. The effect on antimicrobial and cytotoxicity of *Brassica oleracea* L. **Fractions**. **Journal of Life Sciences**, v.14, n.4, p.567-72, 2004.

PATHARE, P. B.; OPARA, U. L.; AL-SAID, F. A. Colour Measurement and Analysis in Fresh and Processed Foods: A Review. **Food Bioprocess Technology**, v.6, p.36-60, 2013.

PATIL, V.; CHAUHAN, A. K.; SINGH, R. P. Optimization of the spray-drying process for developing guava powder using response surface methodology. **Powder Technology**, v.253, p.230-236, 2014.

PELEG, M. Assessment of a semi-empirical four parameter general model for sigmoid moisture sorption isotherms. **Journal of Food Processing Engineering**, v.16, p.21-37, 1993.

PENG, Z.; LIA, J.; GUANA, Y.; ZHAO, G. Effect of carriers on physicochemical properties, antioxidant activities and biological components of spray-dried purple sweet potato flours. **LWT - Food Science and Technology**, v.51, n.1, p.348-355, 2013.

QUIRIJNS, E. J.; BOXTEL, A. J. B. V.; LOON, W. K. P. V.; TRATEN, G. V. Sorption isotherms, GAB parameters and isosteric heat of sorption. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.85, p.1805-1814, 2005.

SAHIN-NADEEN, H.; DINÇER, C.; TORUN, M.; TOPUZ, A., ÖZDEMİR, F. Influence of inlet air temperature and carrier material on the production of instant soluble sage (*Salvia fruticosa* Miller) by spray drying. **LWT – Food Science and Technology**, v.52, n.1, p.31-38, 2013.

SANT'ANNA, V.; GURAK, P. D.; MARCZAK, L. D. F.; TESSARO, I. C. Tracking bioactive compounds with colour changes in foods- A review. **Dyes and Pigments**, v.98, n.3, p.601-608, 2013.

SANTHALAKSHMY, S.; BOSCO, S.J.D.; FRANCIS, S.; SABEENA, M. Effect of inlet temperature on physicochemical properties of spray-dried jamun fruit juice powder. **Powder Technology**, v.274, n.1, p.37-43, 2015.

SIRIWATTANANON, L.; MANEERATE, J. Effect of drying methods on dietary fiber content in dried fruit and vegetable from non-toxic agricultural field. **International Journal of Geomate**, v.11. n.28, p.2896-2900, 2016.

SHOFIAN, N. M.; HAMID, A. A.; OSMAN, A.; SAARI, N.; ANWAR, F.; DEK, M. S. P. Effect of freeze-drying on the antioxidant compounds and antioxidant activity of selected tropical fruits. **International Journal of Molecular Sciences**, v.12, p.4678-4692, 2011.

TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Influência da temperatura do ar de secagem e da concentração de agente carreador sobre as propriedades físico-químicas do suco de açaí em pó. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.29, p.444-450, 2009.

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

TRIGO, J. M.; ALBERTINI, S.; SPOTO, M. H. F; SARMENTO, S. B. S. Efeito de revestimentos comestíveis na conservação de mamões minimamente processados. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.15, n.2, p.125-133, 2012.

YOUSEFI, S.; EMAM-DJOMEH, Z.; MOUSAVI, S. M. Effect of carrier type and spray drying on the physicochemical properties of powdered and reconstituted pomegranate juice (*Punica Granatum* L.). **Journal of Food Science and Technology**, v.48, n.6, p.677-684, 2011.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O repolho roxo apresenta boa fonte de minerais, compostos fenólicos e antocianinas, traduzindo assim em sua capacidade antioxidante e seu uso para prevenção de muitas doenças, como relatado em diversos estudos.

A utilização de baixas concentrações de adjuvante de secagem como a maltodextrina, é mais interessante do ponto vista industrial, pois facilita o escoamento e a troca de calor durante o processo, o que resultará em menos gasto de energia, menos aderência da amostra as paredes da câmara de secagem, favorecendo o rendimento do produto final.

Concentrações de maltodextrina elevadas e temperaturas altas, provocam diluição e degradação respectivamente dos pigmentos, resultando em produtos com baixos teores de compostos bioativos, o que não é atrativo para indústria alimentícia e farmacêutica, tampouco para os consumidores, tendo em vista que esses compostos são fontes antioxidantes e promovem a proteção e promoção da saúde.