



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS

EMÍLIA MARIA FRANÇA LIMA

**MICROENCAPSULAMENTO POR SPRAY DRYER DE ANTOCIANINAS E
POLIFENÓIS DE JUSSARA (*Euterpe edulis* MARTIUS) E INCORPORAÇÃO EM
SISTEMAS-MODELO DE BEBIDAS LÁCTEAS**

ALEGRE - ES

JULHO - 2016

EMÍLIA MARIA FRANÇA LIMA

**MICROENCAPSULAMENTO POR SPRAY DRYER DE ANTOCIANINAS E
POLIFENÓIS DE JUSSARA (*Euterpe edulis* MARTIUS) E INCORPORAÇÃO EM
SISTEMAS-MODELO DE BEBIDAS LÁCTEAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientadora: Prof^a. Pollyanna Ibrahim Silva
Coorientador: Prof. Sérgio Henriques Saraiva
Coorientadora: Prof^a. Patrícia Campos Bernardes

ALEGRE - ES

JULHO - 2016

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Setorial de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

L732m Lima, Emília Maria França, 1991-
Microencapsulamento por spray dryer de antocianinas e polifenóis de jussara (*Euterpe edulis* Martius) e incorporação em sistemas-modelo de bebidas lácteas / Emília Maria França Lima. – 2016.
116 f. : il.

Orientadora: Pollyanna Ibrahim Silva.

Coorientadores: Sérgio Henriques Saraiva ; Patrícia Campos Bernardes.

Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias.

1. Bebidas lácteas. 2. Microcápsulas. 3. Corantes naturais. 4. Antioxidantes. 5. Fenólicos. I. Silva, Pollyanna Ibrahim. II. Saraiva, Sérgio Henriques. III. Bernardes, Patrícia Campos. IV. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. V. Título.

CDU: 664

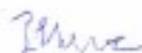
EMÍLIA MARIA FRANÇA LIMA

**MICROENCAPSULAMENTO POR SPRAY DRYER DE ANTOCIANINAS
E POLIFENÓIS DE JUSSARA (*Euterpe edulis* Martius) E INCORPORAÇÃO
EM SISTEMAS-MODELO DE BEBIDAS
LÁCTEAS .**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Aprovada em 08 de Julho de 2016.

COMISSÃO EXAMINADORA



Prof.^a. Dr.^a. Pollyanna Ibrahim Silva
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientadora



Prof. Dr. Sérgio Henrique Saraiva
Universidade Federal do Espírito Santo
Coorientador



Profa. Dra. Patrícia Campos Bernardes
Universidade Federal do Espírito Santo
Examinadora



Prof. Dr. Tarcísio Lima Filho
Universidade Federal do Espírito Santo
Examinador

***Aos meus amados pais,
Davison e Maria da Conceição.***

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pelo dom da vida e aos anjos guardiães por sempre me guiarem no melhor caminho.

Ao Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da UFES e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, pela oportunidade de desenvolvimento deste trabalho. À CAPES pelo concessão da bolsa e ao CNPq, pelo financiamento do projeto em que este trabalho está inserido.

Às empresas CLARIANT e Cargill Agrícola S.A, pela gentil concessão de inulina e maltodextrina, respectivamente, utilizadas no microencapsulamento.

À Penha, pela concessão do soro de leite utilizado nas bebidas lácteas.

À minha orientadora Pollyanna Ibrahim Silva pela ideia inicial desta pesquisa, pela troca de conhecimentos, atenção e confiança.

Aos coorientadores Sérgio Saraiva e Patrícia Bernardes, pela disponibilidade em me atenderem e colaboração no trabalho sempre que foi necessário.

Aos professores Sukarno Ferreira e René Silva do Departamento de Física da UFV, pelo auxílio nas análises de Difração de Raios-X e MEV.

Aos estagiários Daiane Benincá e Walter Corrêa, pelo auxílio no laboratório.

Aos colegas do PCTA pela troca de experiências, momentos de distração em Alegre e companheirismo, em especial à Marina Carvalho, Marianna Junger, Letícia Ricieri, Talita Vidon, Mila Marques, Tamires Vieira e à Priscila Brigide, pela amizade e convivência.

Aos funcionários e técnicos laboratoristas pela disponibilidade em ajudar sempre que solicitados, em especial Toninho, Edvana e Amanda.

Aos Alegrenses que me acolheram e ajudaram com conversas e prestação de serviços. Às famílias de amigas que me acolheram com carinho, diminuindo a saudade de casa.

Ao meu avô Geraldo, que sempre quis me ver como professora. Aos tios, tias, avós e primas pelas orações, carinho e incentivo para obter o título de mestre. Aos meus pais, pelo amor incondicional e por acreditarem no meu trabalho. Ao meu irmão, Cássio, pelo carinho e atenção. Ao Gabriel, meu namorado, por toda ajuda e ouvidos. Mesmo a distância, vocês sempre estiveram muito presentes. Gratidão! Eu amo vocês!

BIOGRAFIA

EMÍLIA MARIA FRANÇA LIMA, filha de Davison Lopes Lima e Maria da Conceição França Lima, nasceu em Itabirito – Minas Gerais, em 24 de janeiro de 1991. Iniciou seus estudos no Colégio Arquidiocesano de Ouro Preto e concluiu o Ensino Médio Técnico em 2009, no Instituto Federal de Minas Gerais – Campus Ouro Preto.

Em julho de 2009, iniciou o curso de graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos na Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) e graduou-se em julho de 2014. Em agosto do mesmo ano, iniciou o Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos na Universidade Federal do Espírito Santo - Centro de Ciências Agrárias e Engenharias (CCAUE/UFES), submetendo-se a defesa da dissertação em julho de 2016.

SUMÁRIO

RESUMO	ix
ABSTRACT	xi
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	4
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
3.1 O fruto da palmeira jussara (<i>Euterpe edulis</i> Martius).....	5
3.2 Compostos fenólicos	6
3.3 Antocianinas.....	6
3.4 Antioxidantes.....	8
3.5 Corantes alimentícios.....	9
3.6 Microencapsulação por spray dryer.....	11
3.6.1 Maltodextrina	14
3.6.2 Goma arábica	15
3.6.3 Inulina	15
3.7 Bebidas lácteas	16
4. REFERÊNCIAS	17
CAPÍTULO I: MICROENCAPSULAMENTO POR SPRAY DRYER DE ANTOCIANINAS DE JUSSARA (<i>Euterpe edulis</i> MARTIUS): INFLUÊNCIA DOS AGENTES ENCAPSULANTES E TEMPERATURA DO AR DE SECAGEM.....	22
RESUMO.....	23
1. INTRODUÇÃO.....	24
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	25
2.1 Material	26
2.2 Otimização de parâmetros para o microencapsulamento por spray dryer de extratos de jussara	26
2.2.1 Extração de antocianinas de jussara.....	26
2.2.2 Obtenção dos extratos concentrados.....	26
2.2.3 Agentes encapsulantes e preparo das microcápsulas	27
2.2.4 Delineamento experimental e análises estatísticas.....	27
2.2.5 Caracterização físico-química das microcápsulas.....	29
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
3.1 Obtenção dos extratos de antocianina concentrados em rotavapor.....	33
3.2 Análise da temperatura para cada agente encapsulante.....	35
3.2.1 Maltodextrina	36
3.2.2 Goma arábica	39
3.2.3 Inulina	41
3.3 Análise conjunta dos fatores para otimização simultânea das respostas.....	43
3.3.1 Retenção de antocianinas.....	43

3.3.2	Conteúdo fenólico total	44
3.3.3	Atividade antioxidante	45
3.3.4	Higroscopicidade	47
3.3.5	Molhabilidade	49
3.3.6	Atividade de água	52
3.3.7	Umidade	54
3.3.8	Diferença global de cor (ΔE)	55
3.4	Otimização simultânea das respostas – Desejabilidade	56
3.5	Microscopia eletrônica de varredura	59
3.6	Difração de Raios-X	64
4.	CONCLUSÃO	66
5.	REFERÊNCIAS	67
CAPÍTULO II: INCORPORAÇÃO DE ANTOCIANINAS DE JUSSARA (<i>Euterpe edulis</i> MARTIUS) MICROENCAPSULADAS EM SISTEMAS-MODELO DE BEBIDA LÁCTEA FERMENTADA E NÃO FERMENTADA.....		71
RESUMO		72
1. INTRODUÇÃO		73
2 MATERIAL E MÉTODOS.....		74
2.1	Material	74
2.2	Obtenção das microcápsulas de antocianinas.....	75
2.3	Formulação dos sistemas-modelo de bebidas lácteas.....	75
2.4	Incorporação das microcápsulas de antocianina nas bebidas lácteas	77
2.5	Estudo da estabilidade	78
2.5.1	Análises físico-químicas nas bebidas lácteas	78
2.5.1.1	Teor de antocianinas	78
2.5.1.2	Conteúdo fenólico total.....	79
2.5.1.3	Atividade Antioxidante – ABTS.....	79
2.5.1.4	Atividade Antioxidante – DPPH•	79
2.5.1.5	Análise colorimétrica	80
2.5.1.6	Determinação da acidez total titulável	81
2.5.1.7	Determinação do potencial hidrogeniônico	81
2.6	Delineamento experimental e análise estatística	81
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	82
3.1	Incorporação do pigmento em pó nas bebidas lácteas	82
3.2	Análises físico-químicas na bebida láctea fermentada	83
3.3	Análises físico-químicas na bebida láctea não fermentada	93
4.	CONCLUSÃO	100
5.	REFERÊNCIAS	101
CONSIDERAÇÕES FINAIS		104

RESUMO

LIMA, Emília Maria França. **Microencapsulamento por spray dryer de antocianinas e polifenóis de jussara (*Euterpe edulis* Martius) e incorporação em sistemas-modelo de bebidas lácteas**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre – ES. Orientador: Prof^a. DSc. Pollyanna Ibrahim Silva. Coorientadores: Prof. DSc. Sérgio Henriques Saraiva e Prof^a. DSc. Patrícia Campos Bernardes

A cor é um atributo sensorial que exerce grande influência na aceitação de um produto, sendo necessário utilizar corantes para obter alimentos com cores atrativas. As antocianinas são pigmentos naturais que conferem cores atrativas e potencial benéfico à saúde, estando presentes em grande quantidade no jussara, fruto da palmeira *Euterpe edulis* Martius. No entanto, apresentam instabilidade frente a alguns processos tecnológicos, dificultando sua utilização em grande escala. A microencapsulação surge como uma alternativa para melhorar a estabilidade de pigmentos e viabilizar sua incorporação em produtos. O objetivo deste trabalho foi avaliar a adição de antocianinas microencapsuladas em sistemas-modelo de bebidas lácteas. As microcápsulas foram obtidas por secagem em spray dryer com diferentes agentes encapsulantes (maltodextrina, goma arábica e inulina) e temperaturas de secagem do ar de saída (50, 55, 60, 65 e 70 °C) e avaliadas quanto à retenção de antocianinas, compostos fenólicos, atividade antioxidante, higroscopicidade, molhabilidade, atividade de água, umidade, cor, microscopia eletrônica de varredura (MEV) e difração de Raios-X. Utilizou-se a função desejabilidade para definir as condições ótimas para obtenção dos pós com características desejáveis. Os pós produzidos nessas condições (maltodextrina e temperatura do ar de saída de 50 °C) foram incorporados nos sistemas-modelo de bebidas lácteas, avaliando a estabilidade de seus compostos bioativos frente ao tempo e ao armazenamento em diferentes embalagens. Constatou-se que as microcápsulas obtidas com maltodextrina a 50 °C, goma arábica a 70 °C e inulina a 70 °C apresentaram as características mais desejáveis (maximização da retenção de antocianinas, do teor de compostos fenólicos e da atividade antioxidante, e minimização da higroscopicidade e tempo de molhamento), sendo que o tratamento com maltodextrina apresentou a maior desejabilidade. Pelas análises de MEV e difração de Raios-X, comprovou-se a eficiência do microencapsulamento, ao

observar cápsulas esféricas com tamanho uniforme e estrutura amorfa. Concluiu-se que é viável extrair, microencapsular e incorporar antocianinas de jussara em bebidas lácteas, uma vez que o teor de antocianinas manteve-se constante ($p > 0,05$) para os dois tipos de bebidas armazenadas em embalagens opacas e transparentes. Além disso, não foi observado decaimento dos compostos fenólicos e da atividade antioxidante. Quanto a cor, foi observada apenas uma pequena variação durante os 28 dias de armazenamento sob refrigeração.

Palavras-chave: corantes, microcápsulas, desejabilidade, lácteos, atividade antioxidante.

ABSTRACT

LIMA, Emília Maria França. **Spray drying microencapsulation of anthocyanins and polyphenols of jussara (*Euterpe edulis* Martius) and incorporation into milk drinks model systems**. 2016. Dissertation (Master's degree in Food Science and Technology) – Federal University of Espírito Santo, Alegre – ES. Advisor: Prof. DSc. Pollyanna Ibrahim Silva. Co-advisors: Prof. DSc. Sérgio Henriques Saraiva and Prof. DSc. Patrícia Campos Bernardes

The color is a sensory attribute that has great influence on the acceptance of a product, being necessary to use colorants for food with attractive colors. Anthocyanins are natural pigments that give attractive colors and potentially beneficial to health, being present in large quantities in jussara, fruit of *Euterpe edulis* Martius palm. However, they present instability to some technological processes, making them difficult to use in large scale. Microencapsulation is an alternative to improve the stability of the pigment and facilitate its incorporation into products. This work aimed to evaluate the addition of microencapsulated anthocyanins in model systems of dairy beverages. The microcapsules were obtained by spray drying with different encapsulating agents (maltodextrin, gum arabic and inulin) and outlet air drying temperatures (50, 55, 60, 65 and 70 °C) and evaluated for retention of anthocyanins, compounds phenolics, antioxidant activity, water activity, hygroscopicity, wettability, moisture, color, scanning electron microscopy (SEM) and X-ray diffraction. The desirability statistical tool was used to define the optimum conditions for obtaining powders having desirable characteristics. Powders produced in these conditions (maltodextrin and temperature air outlet 50 °C) were incorporated into the milk beverage model systems, evaluating the stability of their bioactive compounds against the time and different storage package. It was found that the microcapsules obtained with maltodextrin at 50 °C, gum arabic at 70 °C and inulin at 70 °C showed the most desirable characteristics (maximization of anthocyanins retention, phenolic content and antioxidant activity, and reduction of hygroscopicity and immersion time), whereas treatment with maltodextrin showed the highest desirability. SEM and X-Ray diffraction proved the efficiency microencapsulation by observing spherical capsules of uniform size and an amorphous structure. It was concluded that it is feasible to extract and incorporate microencapsulated anthocyanins of jussara in dairy beverages, each anthocyanin content remained

constant ($p > 0.05$) for the two kinds of beverage stored in opaque and transparent packages. Furthermore, there was no decay of phenolics and antioxidant activity. The color was observed only a little variation over the 28 days of storage under refrigeration.

Keywords: colorants, microcapsules, desirability, dairy, antioxidant activity.

1. INTRODUÇÃO

A cor de um produto alimentício é uma das primeiras características sensoriais reconhecidas pelos consumidores, exercendo influência decisiva na aceitação e intenção de compra. Assim, o setor alimentício busca a obtenção de produtos com aparência atrativa, utilizando-se da aplicação de corantes – artificiais ou naturais – que despertem o interesse dos consumidores (CONSTANT, 2003; KAIMAINEN et al., 2015).

O interesse no desenvolvimento de produtos alimentícios utilizando corantes naturais como alternativas aos corantes sintéticos vem ganhando espaço no mercado brasileiro, estimulando pesquisadores a investigar a sua estabilidade para posterior aplicação em alimentos (MAHDAVI et al., 2014; NACHTIGALL et al., 2009), uma vez que pesquisas demonstram a correlação entre o consumo de aditivos artificiais e danos à saúde (“Dossiê corantes”, 2009; KAIMAINEN et al., 2015; POLÔNIO; PERES, 2009; ROCHA, 2013).

Existe um grande interesse na utilização de antocianinas como corante natural na indústria alimentícia (GE; MA, 2013) uma vez que proporcionam cores atrativas e características funcionais que exercem efeitos benéficos à saúde (MAHDAVI et al., 2014; PASSOS, 2011; ZAIDEL et al., 2014). Uma fonte promissora deste pigmento é o fruto da palmeira jussara (*Euterpe edulis* Martius), nativa da Floresta Atlântica e utilizada comumente para a extração de palmito.

A utilização de antocianinas pode ser dificultada devido à alta instabilidade frente a alguns processos tecnológicos. Assim, a microencapsulação surge como uma alternativa para aumentar a estabilidade de pigmentos durante o processamento e estocagem frente a fatores como calor, luz, pH e oxigênio, aumentando, assim, sua vida útil (BARROS; STRINGHETA, 2006; MAHDAVI et al., 2014; RUTZ, 2013; SILVA et al., 2014; ZAIDEL et al., 2014). A secagem por atomização, pulverização ou spray dryer é o método mais comum e econômico de encapsulação de ingredientes alimentícios (MAHDAVI et al., 2014), e a aplicação deste processo pode resultar em um produto rico nutricionalmente, ao favorecer a retenção de antocianinas e a preservação da atividade antioxidante durante o processamento e armazenamento (TONON; BRABET; HUBINGER, 2010).

O êxito nessa tecnologia deve-se à correta escolha do material encapsulante, temperatura de secagem e demais parâmetros do processo (BARROS; STRINGHETA, 2006; ROBERT; FREDES, 2015). Os polissacarídeos vêm sendo bastante utilizados como agentes encapsulantes em técnicas de secagem por pulverização (SILVA et al., 2014), dentre eles, destacam-se: a maltodextrina, obtida pela hidrólise ácida de diferentes amidos e utilizada extensivamente na indústria alimentícia ("MALTODEXTRINAS", [s.d.]); a goma arábica, uma resina natural, extraída de duas espécies de acácias de região subsaariana, utilizada frequentemente como espessante e estabilizante na indústria de alimentos ("GOMA ARÁBICA OU GOMA ACÁCIA", [s.d.]); e a inulina, um polissacarídeo do grupo das frutanas, extraído principalmente da raiz de chicória (*Chicorium intybus*), que apresenta efeitos prebióticos, alta solubilidade em água e pode melhorar a textura de produtos lácteos (FERNANDES; BORGES; BOTREL, 2014; PRUDENCIO et al., 2008; SAÉNZ et al., 2009).

A incorporação de antocianinas em produtos lácteos é de grande interesse, por tornar mais atrativo um produto bem consolidado no mercado e consumido em larga escala. Nesta classe de produtos, as bebidas lácteas merecem destaque pela utilização do soro proveniente da fabricação de queijo, sendo uma maneira de eliminar seu impacto ambiental e disponibilizar um produto nutritivo, com boa aceitação sensorial e de baixo custo ao mercado consumidor (MASSON; VIGANÓ, 2013).

1.1 REFERÊNCIAS

BARROS, F. A. R. D.; STRINGHETA, P. C. Microencapsulamento de antocianinas. **Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento**, v. 36, p. 18–24, 2006.

CONSTANT, P. B. L. **Extração, caracterização e aplicação de antocianinas de açaí (*Euterpe oleracea*, M.)**. 2003. 183 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

Dossiê corantes. **Food ingredients Brasil**, v. 1, n. 9, p. 40–59, 2009.

FERNANDES, R. V. D. 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, n. 1, p. 524–532, 2014.

GE, Q.; MA, X. Composition and antioxidant activity of anthocyanins isolated from Yunnan edible rose (*An ning*). **Food Science and Human Wellness**, v. 2, n. 2, p. 68–74, 2013.

- GOMA ARÁBICA OU GOMA ACÁCIA: Um grande clássico. **Aditivos e Ingredientes**, p. 30–35, [s.d.].
- KAIMAINEN, M. LAAKSONEN, O.; JÄRVENPÄÄ, E.; SANDELL, M.; HUOPALAHTI, R. Consumer acceptance and stability of spray dried betanin in model juices. **Food Chemistry**, v. 187, p. 398–406, 2015.
- MAHDAVI, S. A.; JAFARI, S. M.; GHORBANI, M.; ASSADPOOR, E. Spray-Drying Microencapsulation of Anthocyanins by Natural Biopolymers: A Review. **Drying Technology**, v. 32, n. 5, p. 509–518, 2014.
- MALTODEXTRINAS: Características estruturais e aplicações. **Aditivos e Ingredientes**, p.42-47, [s.d.].
- MASSON, A. P.; VIGANÓ, O. J. Bebida Láctea Com Amaranato. **E-Tech: Tecnologias para Competitividade Industrial**, v. 7, n. 2, p. 165–185, 2013.
- NACHTIGALL, A. M. I.; SILVA, A. G.; STRINGHETA, P. C.; SILVA, P. I.; BERTOLDI, M. C. Correlação entre métodos espectrofotométricos e colorimétricos na determinação da foto e termossensibilidade dos carotenoides de tomate. **Boletim CEPPA**, v. 27, n. 1, p. 11–18, 2009.
- PASSOS, A. P. S. **Antocianina obtida de fruto de palmeira juçara (*Euterpe edulis* Mart.): estabilização com maltodextrina e aplicação em alimentos**. 2011. 40 f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2011.
- POLÔNIO, M. L. T.; PERES, F. Consumo de aditivos alimentares e efeitos à saúde: desafios para a saúde pública brasileira. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 25, n. 8, p. 1653–1666, 2009.
- PRUDENCIO, I. D.; PRUDÊNCIO, E. S.; GRIS, E. F.; TOMAZI, T.; BORDIGNON-LUIZ, M. T. Petit suisse manufactured with cheese whey retentate and application of betalains and anthocyanins. **LWT - Food Science and Technology**, v. 41, n. 5, p. 905–910, 2008.
- ROBERT, P.; FREDES, C. The Encapsulation of Anthocyanins from Berry-Type Fruits. Trends in Foods. **Molecules**, v. 20, n. 4, p. 5875–5888, 2015.
- ROCHA, J. C. G. **Adição dos corantes naturais antocianinas e luteína em bebidas formuladas com proteínas de soro de leite**. 2013. 111 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.
- RUTZ, J. K. **Caracterização e microencapsulação de suco de pitanga roxa *Eugenia uniflora* L.**. 2013. 107 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2013.
- SAÉNZ, C.; TAPIA, S.; CHÁVEZ, J.; ROBERT, P. Microencapsulation by spray drying of bioactive compounds from cactus pear (*Opuntia ficus-indica*). **Food Chemistry**, v. 114, n. 2, p. 616–622, 2009.
- SILVA, P. T.; FRIES, L. L. M.; MENEZES, C. R.; HOLKEM, A. T.; SCHAWAN, C. L.; WIGMANN, E. F.; BASTOS, J. O.; SILVA, C. B. Microencapsulation: concepts, mechanisms, methods and some applications in food technology. **Ciência Rural**, v. 44, p. 1304–1311, 2014.
- TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Anthocyanin stability and antioxidant activity of spray-dried açai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice produced with different carrier agents. **Food Research International**, v. 43, n. 3, p. 907–914, 2010.
- ZAIDEL, D. N. A.; SAHAT, N. S.; JUSOH, Y. M. M.; MUHAMAD, I. I. Encapsulation of Anthocyanin from Roselle and Red Cabbage for Stabilization of Water-in-Oil Emulsion. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**, v. 2, p. 82–89, 2014.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Realizar o microencapsulamento por spray dryer de antocianinas e polifenóis de Jussara (*Euterpe edulis* Martius) e avaliar a sua adição em sistemas modelo de bebidas lácteas fermentada e não fermentada.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o efeito das diferentes temperaturas do ar de secagem e de diferentes agentes encapsulantes no microencapsulamento de antocianinas e polifenóis de jussara
- Otimizar as variáveis-resposta simultaneamente para obtenção dos pós com melhores características, visando posterior aplicação
- Incorporar o pigmento em pó em sistemas-modelo de bebidas lácteas fermentadas e não fermentadas, analisando a estabilidade do pigmento frente ao tempo (28 dias) e às condições de armazenamento (embalagens opaca e transparente).

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 O fruto da palmeira jussara (*Euterpe edulis* Martius)

A espécie *Euterpe edulis* Martius, conhecida popularmente como palmeira jussara, juçara, ou içara, é pertencente à família Arecaceae e nativa da Floresta Atlântica, sendo encontrada desde o sul da Bahia até o litoral norte do Rio Grande do Sul. Por sua reconhecida beleza e elegância, a palmeira possui valor ornamental, é utilizada em material de construção e em artesanato, mas sua forma de exploração principal fundamenta-se na obtenção de palmito (PASSOS, 2011; SÃO PAULO, 2007). Devido ao produto de excelente qualidade apreciado na culinária nacional e internacional, à facilidade de extração, comercialização e aumento da demanda pela indústria de conservas, a exploração da palmeira muitas vezes ocorre de maneira ilegal. Para manutenção desta cultura, é necessário o corte de palmeiras nativas levando ao decréscimo das populações naturais e devido à dificuldade de fiscalização pelos órgãos competentes, a espécie está ameaçada de extinção (CURSI, 2013; LIMA et al., 2012; SÃO PAULO, 2007)

O fruto da palmeira jussara, conhecido popularmente como açai jussara, possui características semelhantes ao fruto produzido pela espécie *Euterpe oleracea* Martius, o açai da região Amazônica. São esféricos, compostos por sementes duras que representam a maior parte do fruto e recobertas por uma fina camada de polpa, apresentando coloração verde quando jovens e roxa escura quando maduros, cor característica das antocianinas, o pigmento presente em abundância. Apesar da sua ampla distribuição no país, o jussara é bem menos reconhecido e processado para consumo que o açai da Amazônia (AGUIAR et al., 2002). No entanto, o cultivo e o consumo deste fruto têm aumentado na região Sul do Espírito Santo e pesquisas recentes mostram a utilização promissora da polpa como alimento funcional, viabilidade para aplicação em produtos alimentícios e como fonte de pigmentos naturais (BICUDO, 2014; CURSI, 2013; LEITE, 2015; LIMA et al., 2012; PASSOS, 2011; SAITO, 2014).

Dessa forma, a extração dos frutos para obtenção da polpa é considerada ecologicamente viável, uma vez que é desnecessário o corte da palmeira e assim, contribui para a preservação, valorização da espécie e recuperação de áreas de

floresta, além de utilizar toda a potencialidade apresentada pelo fruto devido à presença de antocianinas, compostos fenólicos e atividade antioxidante.

3.2 Compostos fenólicos

Os compostos fenólicos compreendem um grande grupo de substâncias aromáticas hidroxiladas com grande diversidade estrutural, variando de uma simples molécula a polímeros, sendo encontrados amplamente em alimentos, principalmente em frutas, contribuindo com propriedades sensoriais como coloração e adstringência (ARAUJO, 2015; O'CONNELL; FOX, 2001). São metabólitos secundários de plantas sintetizados durante o desenvolvimento ou como resposta ao stress ambiental ou infecções. Pelo fato de possuírem elevada atividade antioxidante, a ingestão regular destes compostos fenólicos tem sido altamente recomendada, embora não sejam considerados nutrientes essenciais (ARAUJO, 2015; CHOUCOULI et al., 2013).

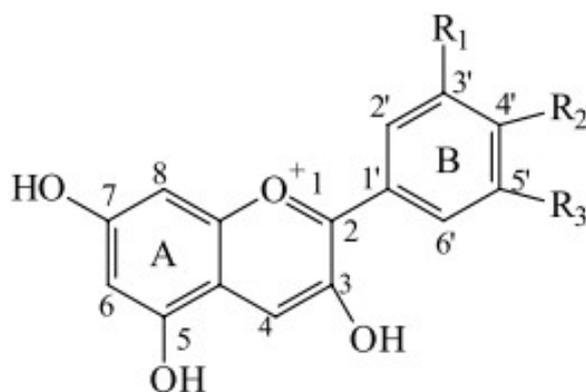
Os compostos fenólicos são classificados em dois principais tipos: flavonoides e não flavonoides. O primeiro grupo apresenta a estrutura básica C6-C3-C6, com dois anéis benzênicos ligados ao anel heterocíclico pirano, sendo a variação dos anéis a base para a classificação de seis subclasses, com destaque para as antocianidinas, um dos grupos de pigmento de maior distribuição no reino vegetal (ARAUJO, 2015; ZORIĆ et al., 2014). No entanto, a estabilidade do pigmento bem como dos compostos fenólicos depende das condições do processamento e de estocagem, como o tempo de processo, atividade de água, pH, incidência de luz, oxigênio, íons metálicos, enzimas, e principalmente, da temperatura. A degradação térmica de compostos bioativos pode resultar em uma variedade de espécies e subprodutos, dependendo da intensidade e da natureza de aquecimento (TAKIKAWA, 2014; ZORIĆ et al., 2014).

3.3 Antocianinas

As antocianinas, palavra derivada do grego *anthos* (flor) e *kyanos* (azul), são reconhecidas como o maior e mais importante grupo de pigmentos hidrossolúveis na natureza. Diferentemente dos outros flavonoides, são capazes de absorver a luz na região do espectro visível, conferindo uma infinidade de cores entre o laranja, o

vermelho, o roxo e o azul a diversos frutos e flores, dependendo do meio em que se encontram (CONSTANT et al., 2002; MAHDAVI et al., 2014).

As antocianinas ocorrem como glicosídeos poli-hidroxilados e/ou polimetoxilados de antocianidinas, constituída por duas ou três porções: uma aglicona (antocianidina), um grupo de açúcares e, frequentemente, um dos grupos de ácido orgânico. Embora existam vários tipos encontrados na natureza, mais de 90% são baseados nas seis principais antocianidinas importantes em alimentos, apresentadas na Figura 1. (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010; MALACRIDA; MOTTA, 2006; WANG; HE; LI, 2010).



Antocianidina	R1	R2	R3
Cianidina	OH	OH	H
Delfinidina	OH	OH	OH
Pelargonidina	H	OH	H
Petunidina	OMe	OH	OH
Malvidina	OMe	OMe	OMe
Peonidina	OMe	OH	H

Figura 1: Estrutura geral das antocianidinas comumente encontradas na natureza
 Fonte: Ibrahim Silva, 2011

As antocianinas são conhecidas como uma alternativa para substituição de corantes sintéticos (ESPÍN et al., 2000) e o crescente interesse no seu estudo deve-se ao descobrimento das suas propriedades nutraceuticas. Os potenciais efeitos benéficos à saúde estão relacionados com presença dos antioxidantes naturais, que atuam na captura de radicais livres, responsáveis, dentre outras ações, pela

proliferação de células tumorais e pelo envelhecimento precoce (SILVA et al., 2010; WANG; HE; LI, 2010). No entanto, como os demais corantes naturais, as antocianinas apresentam problemas de estabilidade. A degradação pode ocorrer desde a extração, purificação dos pigmentos até o processamento e estocagem, sendo que os principais fatores que afetam a estabilidade são a estrutura química do pigmento, temperatura, tipo de solvente e principalmente o pH (CONSTANT; STRINGHETA; SANDI, 2002; CURSI, 2013; LIMA et al., 2012). Em pH ácido (abaixo de 3,5) as antocianinas são estáveis e apresentam coloração vermelha, enquanto são degradadas em pH neutro a alcalino, sendo convertidas na sua base carbinol, com ausência de cor (O'CONNELL; FOX, 2001).

Diversas pesquisas têm demonstrado o grande potencial das antocianinas para aplicação em alimentos, estando seu uso vinculado à quantidade suficiente para obtenção do efeito desejado sem determinação do limite máximo por ser um pigmento seguro e não tóxico (GE; MA, 2013; MARFIL, 2014; OLIVEIRA et al., 2015; ROCHA, 2013; SILVA et al., 2010; WALLACE; GIUSTI, 2008).

3.4 Antioxidantes

Estudos nas áreas clínicas e epidemiológicas estabelecem uma correlação inversa entre o consumo de frutas e vegetais e a ocorrência de doenças inflamatórias, cardiovasculares e alguns tipos de câncer, caracterizadas por perturbações relacionadas à idade e à produção de radicais de oxigênio (LIMA et al., 2012; WILLET, 2001). Estes compostos são produzidos naturalmente durante reações enzimáticas, metabolismo celular e exposição a fatores exógenos, tendo um papel importante nas reações normais bioquímicas e fisiológicas do corpo humano. No entanto, quando produzidos em excesso, podem gerar o estresse oxidativo, caracterizado pelo desequilíbrio entre os sistemas prooxidantes e antioxidantes, levando a circunstâncias nas quais os radicais livres podem causar profundos danos teciduais (DUARTE-ALMEIDA et al., 2006; HUANG; OU; PRIOR, 2005; NASCIMENTO, 2011). As substâncias antioxidantes são capazes de retardar a velocidade da oxidação, através de mecanismos como a inibição de radicais livres e complexação de metais, sendo encontradas em alimentos na forma sintética ou natural, com destaque para o ácido ascórbico, vitamina E, β -caroteno e compostos fenólicos naturalmente presentes em frutas (DUARTE-ALMEIDA et al., 2006; ESPÍN

et al., 2000). Dessa forma, a palavra “antioxidante” está cada vez mais popular na sociedade, conforme a comprovação e divulgação dos benefícios conferidos à saúde (HUANG; OU; PRIOR, 2005).

A capacidade antioxidante em frutas pode ser determinada por diversas metodologias. Com base nas reações químicas envolvidas, a maioria dos ensaios são classificados em duas categorias: aqueles baseados na transferência de um átomo de hidrogênio (HAT) e aqueles baseados na transferência de elétrons (ET). Os ensaios baseados em HAT fundamentam-se no esquema de reação competitiva, no qual o antioxidante e o substrato competem pelos radicais peroxil, sendo a quantificação determinada por meio de curvas de cinética (exemplos: capacidade de absorção de oxigênio radical (ORAC) e o potencial antioxidante reativo total (TRAP)). Os métodos baseados na transferência de elétrons envolvem uma reação redox com o composto oxidante que muda de cor quando é reduzido - indicando o ponto final da reação - sendo que o grau de descoloração do oxidante está relacionado com as concentrações de antioxidantes da amostra. Alguns exemplos incluem o ensaio de polifenóis totais pelo método de Folin-Ciocalteu, capacidade antioxidante como equivalência de Trolox (TEAC) ou ensaio do radical ABTS, poder antioxidante pela redução do ferro (FRAP) e o método de sequestro do radical estável DPPH• (HUANG; OU; PRIOR, 2005).

A capacidade antioxidante determinada por diferentes metodologias é de difícil comparação, devido aos diferentes mecanismos e fontes de radicais ou oxidantes utilizados. Além disso, podem ocorrer reações sinérgicas ou antagônicas de suma importância entre os compostos antioxidantes com os demais componentes do alimento. Outra dificuldade para a determinação da atividade antioxidante é o fato dos compostos fenólicos estarem ligados a açúcares ou ésteres, e a maior parte dos antioxidantes foram testados quanto às suas formas livres (TAKIKAWA, 2014).

3.5 Corantes alimentícios

A coloração de um produto alimentício é um dos primeiros atributos reconhecidos pelos sentidos dos consumidores, constituindo um fator fundamental para o marketing do produto, exercendo influência na aceitação sensorial e decisão de compra (PRADO; GODOY, 2007). Assim, o setor alimentício busca a obtenção de

produtos com aparência atrativa, utilizando-se da aplicação de cores que despertem o interesse dos consumidores (CONSTANT, 2003; PATHARE et al., 2012).

Existem duas classes de corantes utilizadas em alimentos: os artificiais e os naturais. Os artificiais são amplamente utilizados em balas, coberturas, caramelos, gelados, refrescos, recheios, etc., apresentam menores custos de produção e geralmente são estáveis ao calor, à luz e ao ácido (“Dossiê corantes”, 2009). Contudo, pesquisas comprovam que o consumo da maioria de corantes desta classe pode causar danos à saúde, conforme pode ser observado na Tabela 1, que apresenta corantes sintéticos pertencentes ao grupo Azo -N=N-, um derivado nitroso reconhecido como uma substância capaz de causar reações alérgicas como asma e urticária, alvo de estudos de mutagênese e carcinogênese por produzir aminas aromáticas (POLÔNIO; PERES, 2009; PRADO; GODOY, 2007).

Tabela 1: Principais tipos de corantes sintéticos, origem e efeitos adversos

Corantes	Origem	Efeitos adversos
Amarelo crepúsculo	Tinta do alcatrão de carvão e tintas azóicas	Alergia a tinta azóica: urticária, angioedema e problemas gástricos.
Vermelho Bordeaux	Tinta do alcatrão de carvão	Deve ser evitado por sensíveis à aspirina. Já apresentou toxicidade em animais de laboratório.
Vermelho Ponceau 4R	Tinta do alcatrão de carvão	Deve ser evitado por pessoas sensíveis à aspirina e asmáticos.
Vermelho eritrosina	Tinta do alcatrão de carvão	Pode ser fototóxico. Consumo excessivo pode causar aumento de hormônio tireoidiano.
Vermelho 40	Sintetizado quimicamente	Pode causar hiperatividade em crianças, eczema e dificuldades respiratórias.
Amarelo tartrazina	Tinta do alcatrão de carvão	Reações alérgicas em pessoas sensíveis à aspirina e asmáticos. Sugere-se que pode causar insônia em crianças.

Adaptado de “Dossiê corantes”, 2009.

Em estudo bibliográfico realizado por Polônio e Peres (2009), foi relatada a relação entre o consumo de aditivos alimentares e os efeitos na saúde pública, informando que diversos estudos apontam reações tóxicas no metabolismo desencadeantes de alergias, alterações no comportamento e carcinogenicidade, esta última observada a longo prazo, recorrente do consumo de aditivos alimentares.

Cabe salientar que os aditivos são inofensivos à saúde, desde que se obedecem aos percentuais máximos estabelecidos pela ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária) e/ou pelo Codex Alimentarius. No entanto, em trabalho realizado por Prado e Godoy (2007), foram encontradas quantidades e misturas de corantes sintéticos que ultrapassaram os limites determinados nos produtos analisados, como balas, gomas de mascar, confeitos de chocolate coloridos artificialmente e cereais matinais.

Devido a estas questões, o número de aditivos sintéticos permitidos nos países desenvolvidos está diminuindo a cada ano em favor dos pigmentos naturais (CONSTANT; STRINGHETA; SANDI, 2002). O interesse da população em geral pela substituição dos corantes sintéticos e pelo consumo de produtos naturais cresceu significativamente nos últimos anos (MAHDAVI et al., 2014), estimulando pesquisadores a avaliar a viabilidade da aplicação de pigmentos naturais em alimentos (CONSTANT; STRINGHETA; SANDI, 2002; NACHTIGALL et al., 2009). Esta incorporação enfrenta diferentes desafios, tais como a estabilidade relativamente baixa a condições de processamento e armazenamento.

Dentre os pigmentos naturais, as antocianinas são de interesse devido a sua capacidade antioxidante, cor atraente e alta estabilidade em alimentos ácidos (WALLACE; GIUSTI, 2008).

3.6 Microencapsulação por spray dryer

A maioria dos pigmentos naturais, incluindo as antocianinas, são facilmente afetados por diversos fatores (CAI; CORKE, 2000; ROBERT; FREDES, 2015) e para aumentar a sua estabilidade e viabilizar a aplicação em alimentos, alguns métodos devem ser utilizados.

A microencapsulação surge como uma alternativa para amenizar as modificações sofridas pelos corantes naturais ao longo do tempo, durante o processamento e estocagem (LANDIM, 2008; PASSOS, 2011), preservando a sua

atividade antioxidante e promovendo maior estabilidade ao calor, luz, pH, além de aumentar a vida útil (RUTZ, 2013; ZAIDEL et al., 2014). Na indústria de alimentos, a microencapsulação é utilizada para incorporar ingredientes, polifenóis, aditivos voláteis, corantes, enzimas e bactérias em pequenas cápsulas a fim de estabilizar, proteger e preservá-las de perdas nutricionais e tecnológicas (MAHDAVI et al., 2014).

A secagem por atomização, pulverização ou spray dryer é o método mais comum e econômico de encapsulação de ingredientes alimentícios (BARROS; STRINGHETA, 2006). O processo consiste basicamente na emulsificação do material ativo com uma solução aquosa e posterior bombeamento da mistura através de um bico atomizador a uma câmara com corrente de ar a alta temperatura. A água evapora rapidamente ao entrar em contato com o ar aquecido e as partículas tomam forma esférica, “empacotando” o composto bioativo. O pó se direciona para a parte inferior da câmara e passa por um ciclone, onde então serão coletados os pós finos (Figura 2). O tempo de exposição das partículas ao calor é muito curto, tornando possível a conservação de compostos termossensíveis (ABREU; FERREIRA, 2013; LANDIM, 2008; MAHDAVI et al., 2014).

As principais vantagens são a secagem rápida, a produção contínua em larga escala, baixos custos de mão de obra e operação relativamente simples. Enquanto as principais limitações são o alto investimento inicial e a necessidade de um material com umidade alta o suficiente para garantir o bombeamento até o atomizador (FELLOWS, 2006). A Figura 2 esquematiza as etapas envolvidas na técnica de microencapsulação por spray dryer.

As características finais do pó dependem de algumas variáveis do processo, tais como características do líquido atomizado, temperatura do ar de secagem, vazão de alimentação e fluxo de ar (OLIVEIRA; PETROVICK, 2009; TONON; BRABET; HUBINGER, 2009), além da correta escolha do material encapsulante, fator determinante para a estabilidade da microcápsula e eficiência do microencapsulamento.

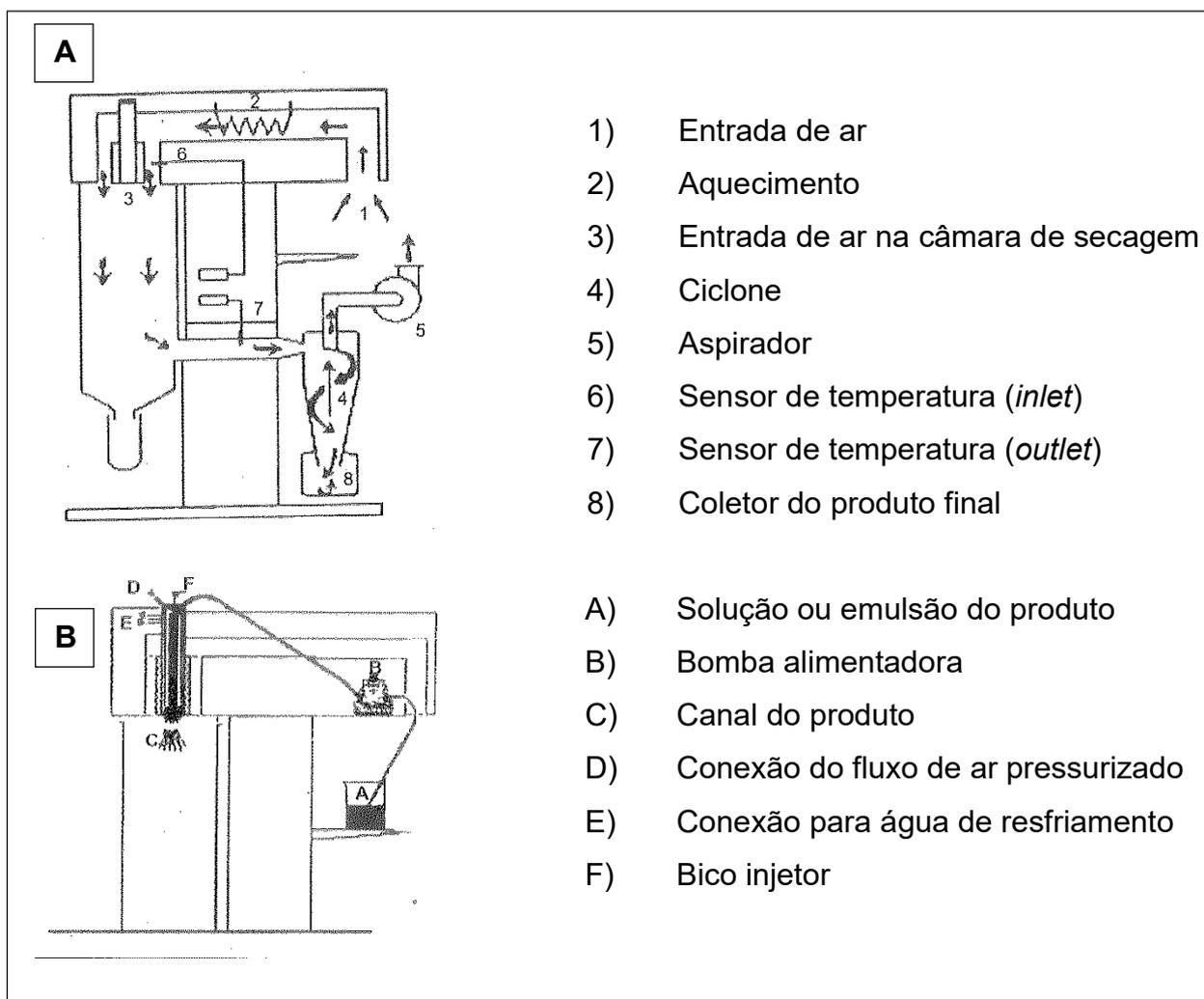


Figura 2: Diagramas dos fluxos de ar (A) e do produto (B) seco em spray dryer
Adaptado de: Stringheta e Silva (2008)

A secagem de amostras com alto conteúdo de açúcares pode acarretar a obtenção de produtos com alta pegajosidade e higroscopicidade, diminuindo o rendimento do processo. Dessa forma, a utilização de agentes com alto peso molecular (como polímeros e gomas) é recomendada, visando facilitar o processo de secagem e as operações de transporte e armazenamento (FERRARI; RIBEIRO; AGUIRRE, 2012). Além disso, o material encapsulante deve apresentar capacidade de formar filmes, solubilizar em solvente de grau alimentício, apresentar baixa higroscopicidade, ter poder de emulsificação, ser viável economicamente, de fácil manipulação e ser biodegradável (AZEREDO, 2005; BARROS; STRINGHETA, 2006; SILVA et al., 2014).

Dentre os materiais utilizados, a maltodextrina, goma arábica, amidos modificados, inulina, proteína isolada de soja e proteínas do soro vêm ganhando destaque no microencapsulamento de antocianinas (MAHDAVI et al., 2014). Os diferentes materiais criam paredes com espessura e densidade específicas, proporcionando diferentes proteções ao composto bioativo (CAI; CORKE, 2000), e como nem todos os agentes satisfazem às características desejáveis, podem ser utilizadas combinações e outros modificadores, como eliminadores de oxigênio, antioxidantes, agentes quelantes e tensoativos (MAHDAVI et al., 2014; OLIVEIRA; PETROVICK, 2009; SILVA et al., 2014).

3.6.1 Maltodextrina

As maltodextrinas são produtos da hidrólise parcial do amido, amplamente utilizadas na indústria de alimentos devido às suas propriedades espessante, de substitutos de gordura e para aumentar os sólidos solúveis. Em geral, são solúveis em água, possuem baixa densidade, boa relação custo benefício e sabor suave (ABREU; FERREIRA, 2013; SAÉNZ et al., 2009). São classificadas de acordo com seu grau de hidrólise, expresso em dextrose equivalente (DE), uma medida essencialmente empírica da quantidade de açúcar redutor presente no produto, indicando uma média do peso molecular. Com o aumento do grau de hidrólise, a média do peso molecular diminui, a dextrose usada como padrão é o amido (DE=0) e a glicose (DE=100) (MALTODEXTRINAS, [s.d.]).

O papel das maltodextrinas como agentes de secagem de produtos alimentícios situa-se em três níveis: antes da secagem, como auxiliar de dispersão para evitar a aglomeração do produto nas tubulações; durante a secagem, para a obtenção de uma granulometria homogênea dos pós; e depois da secagem, para a dispersão dos pós em água ou solvente (MALTODEXTRINAS, [s.d.]).

A utilização de maltodextrinas com diferentes DE's como agente encapsulante no processo de microencapsulamento de pigmentos naturais tem sido amplamente estudada, e em sua maioria, os autores obtiveram resultados promissores indicando a estabilidade do pigmento (BAKOWSKA-BARCZAK; KOLODZIEJCZYK, 2011; FERNANDES; BORGES; BOTREL, 2014; FERRARI; RIBEIRO; AGUIRRE, 2012; IBRAHIM SILVA et al., 2013; JAYA; DAS, 2004; ROSENBERG; KOPELMAN; TALMON, 1985; SAÉNZ et al., 2009; TONON; BRABET; HUBINGER, 2010).

3.6.2 Goma arábica

A goma arábica é uma resina natural extraída das espécies de *Acacia senegal* e *Acacia seyal* da região subsaariana, quando sujeita a condições de seca ou quando ferida. É uma mistura complexa e ramificada constituída de duas frações: a primeira, composta de cadeias de polissacarídeos (unidades de galactose, arabinose, ramnoses, alguns ácidos derivados, como os glucurônicos) que corresponde a cerca de 70% da molécula; e a segunda, com alto peso molecular, possui múltiplas proteínas como parte integral de sua estrutura, responsáveis pela propriedade emulsificante deste material. Trata-se de um material praticamente inodoro, insípido, hidrossolúvel, pouco ácido e atóxico (BICUDO, 2014; FERNANDES; BORGES; BOTREL, 2014; LANDIM, 2008; TONON, 2009).

A goma arábica é considerada um dos melhores materiais de parede para a microencapsulação por spray dryer (BERNSTEIN; NOREÑA, 2015), devido principalmente a suas propriedades emulsificantes e alta solubilidade em água, além da capacidade de aumentar a viscosidade, formar geis e acrescentarem características de textura e sensação bucal aos substitutos de gorduras (GOMA ARÁBICA OU GOMA ACÁCIA, [s.d.]; LANDIM, 2008). No entanto, alguns problemas estão associados com a sua utilização, como o elevado custo, fornecimento limitado e variações na capacidade emulsificante (teor de proteínas) nos diferentes lotes. Assim, a procura de substitutos completos ou parciais de goma arábica tem sido incentivada (BICUDO, 2014; FERNANDES; BORGES; BOTREL, 2014).

3.6.3 Inulina

A inulina é um polissacarídeo solúvel em água e pertence a um grupo de carboidratos não digeríveis, chamado frutanos. É composta de unidades de β -D-frutofuranosil unidas por ligações 2 \rightarrow 1 (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010). Está amplamente disponível em cerca de 36.000 espécies de plantas, como alcachofra de Jerusalém, tubérculos, dália, batata yacon, aspargos, alho-poró, com destaque para a raiz de chicória, principal fonte de extração (SHOAIB et al., 2016).

É encontrada na forma de pó branco, inodoro, de sabor neutro e com alta pureza, tornando possíveis as diversas aplicações sem alterar significativamente as

características de sabor e odor dos alimentos, aumentando a concentração de fibras no produto.

Possui alegação de propriedade funcional ou de saúde por estimular o crescimento de bactérias benéficas presentes no colón, sendo muito utilizado como prebiótico em alimentos (LEITE, 2015; SAITO, 2014), substitutos de macronutrientes como gordura, e modificador da textura, promovendo o aumento da viscosidade do produto (SHOAIB et al., 2016). Atualmente, vem sendo estudada como agente encapsulante no microencapsulamento por spray dryer, como forma de substituição de materiais convencionais, como gomas e maltodextrina. Diversos autores indicam que seu uso combinado pode ter um potencial para campos industriais, devido às características desejáveis obtidas, como aumento da molhabilidade dos pós, além de atender a demanda do mercado que busca alimentos com benefícios adicionais para a saúde (BERNSTEIN; NOREÑA, 2015; BAKOWSKA-BARCZAK; KOŁODZIEJCZYK, 2011; FERNANDES et al., 2014; SAÉNZ et al., 2009; ZABOT et al., 2016).

3.7 Bebidas lácteas

A extensa produção de queijos no Brasil tem como resíduo o soro do leite, que representa muitas vezes, um problema para os laticínios devido ao potencial poluidor, não podendo ser descartado no ambiente antes de receber correto tratamento. O soro apresenta propriedades bioativas, com destaque para as proteínas majoritárias alfa-lactoalbumina e beta-lactoglobulina, e minerais como o cálcio, fósforo e magnésio (EPAMIG, 2010; OLIVEIRA, 2006).

Assim, a utilização do soro de leite em bebidas lácteas se apresenta como uma alternativa para aproveitamento deste resíduo, ao eliminar seu impacto ambiental e disponibilizar um produto nutritivo, de boa aceitação sensorial, de baixo custo e sabor agradável, uma vez que são facilmente incorporadas de frutas e aromas diferenciados, tornando-as mais atrativas (MASSON; VIGANÓ, 2013; RAMOS et al., 2013; ROCHA, 2013; SIVIERI; OLIVEIRA, 2002; TAGLIARI, 2011).

As bebidas lácteas são facilmente preparadas pelos laticínios, uma vez que são utilizados os mesmos equipamentos para o beneficiamento do leite, baseando-se na mistura de leite e soro em proporções adequadas, seguida da adição de ingredientes como aromatizantes, corantes, acidulantes, espessantes, edulcorantes

e pedaços, polpa ou sucos de frutas. A base láctea deve representar pelo menos 51% (m/m) do total de ingredientes do produto, e para as bebidas fermentadas, a contagem total de bactérias lácticas viáveis deve ser no mínimo 10^6 UFC.g⁻¹ durante todo o prazo de validade (BRASIL, 2005; SIVIERI; OLIVEIRA, 2002).

Recentes estudos demonstram a viabilidade de adição de corantes e antioxidantes naturais em sistemas modelos de produtos lácteos (O'CONNELL; FOX, 2001), iogurtes (CHOUCHOULI et al., 2013; LEITE, 2015; OLIVEIRA et al., 2015; PASSOS, 2011; WALLACE; GIUSTI, 2008) e queijos petit suisse (PRUDENCIO et al., 2008; SAITO, 2014), demonstrando ser uma alternativa para substituição de corantes sintéticos e visando satisfazer os novos interesses do consumidor que busca alimentos mais naturais.

O estudo e desenvolvimento de produtos alimentícios que aproveitam resíduos (como o soro de leite) são de grande importância, devido à questão ambiental e à possibilidade de agregar valor nutritivo ao produto. Além do soro, as bebidas lácteas podem servir como veículo de aproveitamento de pigmentos presentes nas cascas de frutos, como as antocianinas da casca de jabuticaba (SAITO, 2014), como forma de aproveitamento nobre de um resíduo.

4. REFERÊNCIAS

- ABREU, H.; FERREIRA, S. M. R. Extração e encapsulação de antocianinas de Jabuticaba (*Myrciaria cauliflora*), Açaí (*Euterpe oleracea*) e Uva Isabel (*Vitis labrusca*). **Encontro de engenharia e tecnologia dos campos gerais**, p. 8, 2013.
- AGUIAR, F. F. A.; SCHAEFER, S. M.; LOPES, E. A.; TOLEDO, C. B. Produção de mudas de palmito juçara *Euterpe edulis* Mart. **Secretaria do estado do meio ambiente**. São Paulo: Instituto de Botânica, 2002, 16 p. ISBN: 85-7523-011-1.
- ARAUJO, J. M. A. **Química de alimentos - teoria e prática**. Viçosa: Editora UFV, 2015, 668 p., 28 cm. ISBN 978-85-7269-520-6.
- AZEREDO, H. M. C. Encapsulação: aplicação à tecnologia de alimentos. **Alimentos e Nutrição Araraquara**, v. 16, n. 1, p. 89–97, 2005.
- BAKOWSKA-BARCZAK, A. M.; KOLODZIEJCZYK, P. P. Black currant polyphenols: Their storage stability and microencapsulation. **Industrial Crops and Products**, v. 34, n. 2, p. 1301–1309, 2011.
- BARROS, F. A. R. D.; STRINGHETA, P. C. Microencapsulamento de antocianinas. **Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento**, v. 36, p. 18–24, 2006.
- 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, p. 1–9, 2015.

BICUDO, M. O. P. **Composição fenólica, atividade antioxidante e microencapsulação de frutos de juçara (*Euterpe edulis*): Aspectos de interesse para a indústria de alimentos**. 2014. 143 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

BRASIL. Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Bebidas Lácteas. **Instrução Normativa nº 16, de 23 de agosto de 2005**. Estabelece a identidade e os requisitos mínimos de qualidade que deverão atender as Bebidas Lácteas destinadas ao consumo humano. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF, p. 7, 24 ago. 2005. Seção 1.

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.

CHOUCHOULI, V.; KALOGEROPOULOS, N.; KONTELES, S. J.; KARVELA, E.; MAKRIS, D. P.; KARATHANOS, V. T. Fortification of yoghurts with grape (*Vitis vinifera*) seed extracts. **LWT - Food Science and Technology**, v. 53, n. 2, p. 522–529, 2013.

CONSTANT, P. B. L. **Extração, caracterização e aplicação de antocianinas de açaí (*Euterpe oleracea*, M.)**. 2003. 183 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

CONSTANT, P. B. L.; STRINGHETA, P. C.; SANDI, D. Corantes alimentícios. **Boletim CEPPA**, v. 20, p. 203–220, 2002.

CURSI, P. R. **Processamento da polpa de frutos e qualidade fisiológica de sementes de *Euterpe edulis* Martius**. 2013. 62 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Química de alimentos de Fennema**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010, 900 p., 28 cm. ISBN: 978-85-363-2248-3.

Dossiê corantes. **Food ingredients Brasil**, v. 1, n. 9, p. 40–59, 2009.

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

EPAMIG - Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais. Secretaria do Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Tecnologia de fabricação de bebida láctea fermentada e não fermentada**. 2010.

ESPÍN, J. C.; SOLER-RIVAS, C.; WICHERS, H. J.; GARCÍA-VIGUERA, C. Anthocyanin-Based Natural Colorants: A New Source of Antiradical Activity for Foodstuff. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 48, n. 5, p. 1588–1592, 2000.

FELLOWS, P. J. Desidratação. In: **Tecnologia do Processamento de Alimentos**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006, p. 323–352, 25 cm. ISBN: 978-85-363-0652-0.

FERNANDES, R. V. D. 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, n. 1, p. 524–532, 2014.

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.

GE, Q.; MA, X. Composition and antioxidant activity of anthocyanins isolated from Yunnan edible rose (*An ning*). **Food Science and Human Wellness**, v. 2, n. 2, p. 68–74, 2013.

GOMA ARÁBICA OU GOMA ACÁCIA: Um grande clássico. **Aditivos e Ingredientes**, p. 30–35, [s.d.].

HUANG, D.; OU, B.; PRIOR, R. L. The chemistry behind antioxidant capacity assays. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, n. 6, p. 1841–1856, 2005.

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

JAYA, S.; DAS, H. Effect of maltodextrin, glycerol monostearate and tricalcium phosphate on vacuum dried mango powder properties. **Journal of Food Engineering**, v. 63, p. 125–134, 2004.

LANDIM, E. M. C. **Obtenção, caracterização e avaliação da estabilidade de pigmentos naturais microencapsulados**. 2008. 90 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.

LEITE, S. T. **logurte simbiótico de açaí (*Euterpe edulis* Mart.): Caracterização físico-química e viabilidade de bactérias lácticas e probiótica**. 2015. 90 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2015.

LIMA, C. P. CUNICO, M. M.; MIYAZAKI, C. M. S.; MIGUEL, O. G.; CÔCCO, L. C.; YAMAMOTO, C. I.; MIGUEL, M. D. Conteúdo polifenólico e atividade antioxidante dos frutos da palmeira Juçara (*Euterpe edulis* Martius). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 14, p. 321–326, 2012.

MAHDAVI, S. A.; JAFARI, S. M.; GHORBANI, M.; ASSADPOOR, E. Spray-Drying Microencapsulation of Anthocyanins by Natural Biopolymers: A Review. **Drying Technology**, v. 32, n. 5, p. 509–518, 4 abr. 2014.

MALACRIDA, C. R.; MOTTA, S. Antocianinas em suco de uva: composição e estabilidade. **Boletim CEPPA**, v. 24, n. 1, p. 59–82, 2006.

MALTODEXTRINAS: Características estruturais e aplicações. **Aditivos e Ingredientes**, p. 42–47, [s.d.].

MASSON, A. P.; VIGANÓ, O. J. Bebida Láctea Com Amarantho. **E-Tech: Tecnologias para Competitividade Industrial**, v. 7, n. 2, p. 165–185, 2013.

NACHTIGALL, A. M.; SILVA, A. G.; STRINGHETA, P. C.; SILVA, P. I.; BERTOLDI, M. C. Correlação entre métodos espectrofotométricos e colorimétricos na determinação da foto e termossensibilidade dos carotenoides de tomate. **Boletim CEPPA**, v. 27, n. 1, p. 11–18, 2009.

NASCIMENTO, J. C. Determinação da atividade antioxidante pelo método DPPH e doseamento de flavonóides totais em extratos de folhas da *Bauhinia variegata* L. **Revista Brasileira de Farmácia**, v. 92, n. 4, p. 327–332, 2011.

O'CONNELL, J. E.; FOX, P. F. Significance and applications of phenolic compounds in the production and quality of milk and dairy products: a review. **International Dairy Journal**, v. 11, p. 103–120, 2001.

OLIVEIRA, A.; ALEXANDRE, E. M. C.; COELHO, M.; LOPES, C.; ALMEIDA, D. P. F.; PINTADO, M. Incorporation of strawberries preparation in yoghurt: Impact on phytochemicals and milk proteins. **Food Chemistry**, v. 171, p. 370–378, 2015.

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, 2009.

OLIVEIRA, V. M. D. O. **Formulação de bebida láctea fermentada com diferentes concentrações de soro de queijo, enriquecida com ferro: caracterização físico-química, análise bacteriológicas e sensoriais**. p. 78, 2006. 78 f. Dissertação (Mestrado em Medicina Veterinária) - Faculdade de Veterinária, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2006.

PASSOS, A. P. S. **Antocianina obtida de fruto de palmeira juçara (*Euterpe edulis* Mart.): estabilização com maltodextrina e aplicação em alimentos**. 2011. 40 f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual de Maringá, Maringá,

2011.

PATHARE, P. B.; OPARA, U. L.; AL-SAID, F. A. Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: A Review. **Food and Bioprocess Technology**, v. 6, p. 36-60, 2012.

POLÔNIO, M. L. T.; PERES, F. Consumo de aditivos alimentares e efeitos à saúde: desafios para a saúde pública brasileira. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 25, n. 8, p. 1653–1666, 2009.

PRADO, M. A.; GODOY, H. T. Teores de corantes artificiais em alimentos determinados por cromatografia líquida de alta eficiência. **Química Nova**, v. 30, n. 2, p. 268–273, 2007.

PRUDENCIO, I. D.; PRUDÊNCIO, E. S.; GRIS, E. F.; TOMAZI, T.; BORDIGNON-LUIZ, M. T. Petit suisse manufactured with cheese whey retentate and application of betalains and anthocyanins. **LWT - Food Science and Technology**, v. 41, n. 5, p. 905–910, 2008.

RAMOS, A. C. S. D. M.; STAMFORD, T. L. M.; MACHADO, E. C. L.; LIMA, F. R. B.; GARCIA, E. F.; ANDRADE, S. A. C.; SILVA, C. G. M. Elaboração de bebidas lácteas fermentadas: aceitabilidade e viabilidade de culturas probióticas. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, p. 2817 – 2828, 2013.

ROBERT, P.; FREDES, C. The Encapsulation of Anthocyanins from Berry-Type Fruits. Trends in Foods. **Molecules**, v. 20, n. 4, p. 5875–5888, 2015.

ROCHA, J. C. G. **Adição dos corantes naturais antocianinas e luteína em bebidas formuladas com proteínas de soro de leite**. 2013. 111 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

ROSENBERG, M.; KOPELMAN, I. J.; TALMON, Y. A Scanning Electron Microscopy Study of Microencapsulation. **Journal of Food Science**, v. 50, p. 139–144, 1985.

RUTZ, J. K. **Caracterização e microencapsulação de suco de pitanga roxa *Eugenia uniflora* L.**. 2013. 107 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2013.

SAÉNZ, C.; TAPIA, S.; CHÁVEZ, J.; ROBERT, P. Microencapsulation by spray drying of bioactive compounds from cactus pear (*Opuntia ficus-indica*). **Food Chemistry**, v. 114, n. 2, p. 616–622, 2009.

SAITO, T. **Efeito da adição de extrato de casca de jabuticaba nas características físico-químicas e sensoriais de queijo petit suisse**. 2014. 99 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2014.

SÃO PAULO. Fundação Florestal - Secretaria do Meio Ambiente. **Projeto Palmito Juçara: alternativas para o manejo sustentável da Palmeira Juçara**. 2007.

SHOAI, M.; SHEZAD, A.; OMAR, M.; RAKHA, A.; RAZA, H.; SHARIF, H. R.; SHAKEEL, A.; ANSARI, A.; NIAZI, S. Inulin: properties, health benefits and food applications. **Carbohydrate Polymers**, v. 147, p. 444–454, 2016.

SILVA, G. J. F.; CONSTANT, P. B. L.; FIGUEIREDO, R. W.; MOURA, S. M. Formulação e estabilidade de corantes de antocianinas extraídas das cascas de jabuticaba (*Myrciaria* ssp.). **Alimentos e Nutrição Araraquara**, v. 21, n. 3, p. 429–436, 2010.

SILVA, P. T.; FRIES, L. L. M.; MENEZES, C. R.; HOLKEM, A. T.; SCHAWAN, C. L.; WIGMANN, E. F.; BASTOS, J. O.; SILVA, C. B. Microencapsulation: concepts, mechanisms, methods and some applications in food technology. **Ciência Rural**, v. 44, p. 1304–1311, 2014.

SIVIERI, K.; OLIVEIRA, M. N. Avaliação da vida-de-prateleira de bebidas lácteas preparadas com “fat replacers” (Litesse e Dairy-lo). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 22, n. 1, p. 24–31, 2002.

STRINGHETA, P. C.; SILVA, P. I. **Pigmentos de Urucum: Extração, Reações Químicas, Usos e Aplicações**. 1. ed. Viçosa: Suprema, 2008, 166 p., 23 cm. ISBN:978-85-6024-925-1.

TAGLIARI, M. **Influência de diferentes hidrocolóides no comportamento reológico de bebidas lácteas não fermentadas**. 2011. 75 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Escola de Engenharia Mauá, Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, 2011.

TAKIKAWA, A. Y. **Cinética de degradação térmica de antocianinas e seu impacto na cor e na capacidade antioxidante in vitro em frutas vermelhas**. 2014. 53 p. Trabalho de Conclusão de Curso - Campus Campo Mourão, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Mourão, 2014.

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

TONON, R. V. **Secagem por atomização do suco de açai: Influência das variáveis de processo, qualidade e estabilidade do produto**. 2009. 212 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

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

WALLACE, T. C.; GIUSTI, M. M. Determination of color, pigment, and phenolic stability in yogurt systems colored with nonacylated anthocyanins from *Berberis boliviana* L. as compared to other natural/synthetic colorants. **Journal of Food Science**, v. 73, n. 4, 2008.

WANG, B. C.; HE, R.; LI, Z. M. The Stability and Antioxidant Activity of Anthocyanins from Blueberry. **Food Technology and Biotechnology**, v. 48, n. 1, p. 42–49, 2010.

WILLET, W. C. **Eat, Drink, and Be Healthy: The Harvard Medical School Guide to Healthy Eating**. Free Press, 2001, 352 p. ISBN: 978-0743266420

ZABOT, G. L.; SILVA, E. K.; AZEVEDO, V. M.; MEIRELES, M. A. A. Replacing modified starch by inulin as prebiotic encapsulant matrix of lipophilic bioactive compounds. **Food Research International**, v. 85, p. 26–35, 2016.

ZAIDEL, D. N. A.; SAHAT, N. S.; JUSOH, Y. M. M.; MUHAMAD, I. I. Encapsulation of Anthocyanin from Roselle and Red Cabbage for Stabilization of Water-in-Oil Emulsion. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**, v. 2, p. 82–89, 2014.

ZORIĆ, Z.; DRAGOVIC-UZELAC, V.; PEDISIC, S.; KURTANJEK, Z.; GAROFULIC, I. E. Kinetics of the degradation of anthocyanins, phenolic acids and flavonols during heat treatments of freeze-dried sour cherry Marasca paste. **Food Technology and Biotechnology**, v. 52, n. 1, p. 101–108, 2014.

CAPÍTULO I

MICROENCAPSULAMENTO POR SPRAY DRYER DE ANTOCIANINAS DE JUSSARA (*Euterpe edulis* MARTIUS): INFLUÊNCIA DOS AGENTES ENCAPSULANTES E TEMPERATURA DO AR DE SECAGEM

RESUMO

As antocianinas são pigmentos naturais que conferem cores atrativas e potencial benéfico à saúde, estando presentes em grande quantidade no jussara, fruto da palmeira *Euterpe edulis* Martius. No entanto, apresentam instabilidade frente a alguns processos tecnológicos, dificultando sua utilização em grande escala. A microencapsulação surge como uma alternativa para melhorar a estabilidade de pigmentos e viabilizar sua incorporação em produtos. O objetivo deste trabalho foi obter antocianinas de jussara microencapsuladas por spray dryer com diferentes agentes encapsulantes (maltodextrina, goma arábica e inulina) e temperaturas de secagem do ar de saída (50, 55, 60, 65 e 70 °C). As microcápsulas foram avaliadas quanto à retenção de antocianinas, compostos fenólicos, atividade antioxidante, atividade de água, higroscopicidade, molhabilidade, umidade e cor, além da microscopia eletrônica de varredura (MEV) e difração de Raios-X. Por meio da otimização simultânea das respostas, constatou-se que as microcápsulas obtidas com maltodextrina a 50 °C, goma arábica a 70 °C e inulina a 70 °C apresentaram as características mais desejáveis, sendo que o tratamento com maltodextrina apresentou a maior desejabilidade (0,85). A MEV comprovou a eficiência do microencapsulamento, ao observar cápsulas esféricas com tamanho uniforme, enquanto a difração de Raios-X demonstrou a estrutura amorfa das microcápsulas. Foi possível concluir sobre a viabilidade de extrair e microencapsular antocianinas da polpa de jussara por spray dryer, demonstrando ser uma técnica adequada para conferir proteção e estabilidade a pigmentos naturais, com potencial para aplicação em produtos alimentícios.

Palavras-chave: corantes, microcápsulas, encapsulantes, maltodextrina, desejabilidade.

1. INTRODUÇÃO

A demanda por pigmentos naturais vem ganhando espaço no mercado brasileiro, bem como o interesse no desenvolvimento de produtos alimentícios utilizando corantes naturais como substitutos aos corantes sintéticos, estimulando pesquisadores a investigar a sua estabilidade, para posterior aplicação em alimentos (MAHDAVI et al., 2014; NACHTIGALL et al., 2009).

As antocianinas são compostos fenólicos naturais presentes em plantas e são de grande interesse para a indústria alimentícia, uma vez que proporcionam cores atrativas e características funcionais que exercem efeitos benéficos à saúde (MAHDAVI et al., 2014; PASSOS, 2011; ZAIDEL et al., 2014), como a capacidade de eliminação de radicais livres e prevenção de doenças cardiovasculares (GE; MA, 2013). Uma fonte promissora deste pigmento é o fruto da palmeira jussara (*Euterpe edulis* Martius), que possui coloração roxa escura devido à presença de antocianinas, exibe características sensoriais e físico-químicas semelhantes ao açaí da Amazônia (*Euterpe edulis* oleracea) e pode ser utilizado como alimento funcional, devido à capacidade antioxidante (CURSI, 2013; LIMA et al., 2012). No entanto, a utilização deste pigmento pode ser dificultada devido à instabilidade frente a processos tecnológicos. Alguns métodos podem ser utilizados para aumentar ou melhorar a estabilidade de corantes naturais, e a técnica de microencapsulação surge como uma alternativa para amenizar as modificações sofridas pelos corantes naturais ao longo do tempo (LANDIM, 2008). É uma opção promissora para a estabilização de pigmentos durante o processamento e estocagem (PASSOS, 2011), preservando a sua atividade antioxidante e promovendo maior estabilidade ao calor, luz, pH, além de aumentar a vida útil (ZAIDEL et al., 2014; RUTZ, 2013).

O êxito nessa tecnologia deve-se à correta escolha do material encapsulante, temperatura de secagem e demais parâmetros do processo. O material encapsulante deve apresentar capacidade de formar filmes, solubilizar em solvente de grau alimentício, baixa higroscopicidade, ter poder de emulsificação, ser viável economicamente, de fácil manipulação e ser biodegradável (BARROS; STRINGHETA, 2006; ROBERT; FREDES, 2015). Os polissacarídeos vêm sendo bastante utilizados como agentes encapsulantes em técnicas de secagem por pulverização (SILVA et al., 2014), dentre eles, destacam-se: a maltodextrina, obtida

pela hidrólise ácida de diferentes amidos e utilizada extensivamente na indústria alimentícia; a goma arábica, uma resina natural, extraída de duas espécies de acácias de região subsaariana, utilizada frequentemente como espessante e estabilizante na indústria de alimentos (GOMA ARÁBICA OU GOMA ACÁCIA, [s.d.]), e a inulina, um polissacarídeo do grupo das frutanas, extraído principalmente da raiz de chicória (*Chicorium intybus*), que apresenta efeitos prebióticos, alta solubilidade em água, e pode melhorar a textura de produtos lácteos (FERNANDES; BORGES; BOTREL, 2014; PRUDENCIO et al., 2008; SAÉNZ et al., 2009). A secagem por atomização, pulverização ou spray dryer é o método mais comum e econômico de encapsulação de ingredientes alimentícios (MAHDAVI et al., 2014), e a aplicação deste processo pode resultar em um produto rico nutricionalmente, ao favorecer a retenção de antocianinas e a preservação da atividade antioxidante durante o processamento e armazenamento (TONON; BRABET; HUBINGER, 2010).

O objetivo deste trabalho foi realizar o microencapsulamento de antocianinas extraídas da polpa de jussara (*Euterpe edulis* Martius) variando os parâmetros agentes encapsulantes (maltodextrina, goma arábica e inulina) e temperatura do ar de saída do spray dryer (50, 55, 60, 65 e 70 °C), de forma a selecionar os melhores parâmetros para obtenção do pó com características desejáveis.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O microencapsulamento foi realizado no laboratório de Operações Unitárias do Departamento de Engenharia de Alimentos, localizado no Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCAUE/UFES), Alegre – ES.

As análises físico-químicas foram realizadas nos laboratórios de Química de Alimentos e Operações Unitárias da mesma instituição. As análises de morfologia dos pós foram realizadas nos laboratórios de Microscopia e Difração de Raios-X do Departamento de Física da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa – MG.

2.1 Material

A polpa de jussara (*Euterpe edulis* Martius) foi adquirida na forma congelada de uma Agroindústria artesanal rural, localizada em Rio Novo do Sul, região Sul do Estado do Espírito Santo. O produto foi estocado a -18 ± 2 °C até o momento das análises.

Para o microencapsulamento, foram utilizados três agentes encapsulantes: maltodextrina (Maltogill® 10), inulina (ORAFTI (Beneo) GR), gentilmente cedidas pelas empresas Cargill Agrícola S.A e CLARIANT, respectivamente, e goma arábica em pó pura (Synth).

2.2 Otimização de parâmetros para o microencapsulamento por spray dryer de extratos de jussara

2.2.1 Extração de antocianinas de jussara

A extração das antocianinas foi realizada de acordo com a metodologia descrita por Francis (1982), com modificações. Em um béquer envolvido com papel laminado, uma alíquota da polpa de jussara foi colocada em maceração com álcool de cereais 70% e acidificada a pH 2,5 com solução de ácido cítrico 70%. O recipiente ficou armazenado à temperatura de refrigeração (8 ± 2 °C) em geladeira durante 24 h. Decorrido este tempo, o extrato foi filtrado em papel Whatman 1 em funil de Buchner acoplado a uma bomba a vácuo, e armazenado em freezer (-18 ± 2 °C) ao abrigo da luz, utilizando frascos âmbar.

2.2.2 Obtenção dos extratos concentrados

O extrato bruto (filtrado) foi levado a um evaporador rotatório (marca Fisaton, modelo 801) em cinco temperaturas diferentes (40, 45, 50, 55 e 60 °C) para concentração a vácuo, decorrente da evaporação do álcool de cereais, até atingir um volume concentrado de 40% do volume inicial. Os tempos de evaporação diferiram conforme a temperatura utilizada. Posteriormente, quantificou-se o teor de antocianinas (LEES, FRANCIS; 1972) nos extratos obtidos nas diferentes temperaturas, a fim de determinar a temperatura ideal a ser utilizada neste processo.

2.2.3 Agentes encapsulantes e preparo das microcápsulas

Foram utilizados três agentes encapsulantes: maltodextrina 10 DE, goma arábica e inulina, preparados em soluções na concentração final de 30% (m/v). Os extratos concentrados obtidos em 2.2.2 foram adicionados aos agentes encapsulantes na proporção de 1:3 (v/v), segundo Ibrahim Silva et al. (2013). As misturas foram homogeneizadas em agitador magnético por aproximadamente 20 minutos, tiveram seu Brix medido para realização de posteriores análises e foram submetidas à secagem em um mini spray dryer (marca Yamato, modelo ADL 311S) com pressão manométrica máxima do ar comprimido de 0,1 MPa, vazão de alimentação de 2,0 mL/min e fluxo do ar de secagem igual a 0,21 m³/min.

Para cada agente encapsulante, foram utilizadas cinco temperaturas do ar de saída do spray dryer: 50, 55, 60, 65 e 70 °C. Os pós obtidos foram acondicionados em embalagens de polietileno contendo camada laminada e armazenados em freezer (-18 ± 2 °C) até o momento da realização das análises.

2.2.4 Delineamento experimental e análises estatísticas

Foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado (DIC) conduzido por um esquema fatorial com dois fatores e três repetições, totalizando 45 observações. Os fatores e os níveis correspondentes foram: tipo de agente encapsulante, variável qualitativa, variando três níveis (maltodextrina, inulina e goma arábica); e temperatura do ar de saída do spray dryer, variável quantitativa, variando cinco níveis (50, 55, 60, 65 e 70 °C), como pode ser observado na Tabela 1.

Foi realizada análise de desejabilidade para se otimizar simultaneamente as variáveis resposta utilizando o software STATISTICA® versão 10.

Tabela 1: Variáveis e níveis estudados no processo de otimização de parâmetros do microencapsulamento de antocianinas de jussara

Fatores	Níveis				
Agente encapsulante (30%)	Maltodextrina		Goma arábica		Inulina
Temperatura do ar de saída (°C)	50	55	60	65	70

A função “desejabilidade” é uma técnica estatística útil para a determinação dos níveis dos fatores (variáveis independentes) que propiciam a otimização simultânea das variáveis resposta (dependentes) do estudo, transformando-as em uma única medida (DERRINGER; SUICH, 1980; IBRAHIM SILVA et al., 2013; ISLAM; SAKKAS; ALBANIS, 2009).

O procedimento adotado para a função de desejabilidade envolveu duas etapas, a seguir: (i) encontrar os níveis das variáveis independentes que simultaneamente produzem as respostas mais desejadas nas variáveis dependentes e (ii) obter, de posse das respostas mais desejadas de cada variável dependente, a desejabilidade global, considerando todas as variáveis dependentes.

Cada variável resposta, y_i , foi convertida em uma função desejabilidade individual, d_i , dentro do intervalo $0 \leq d_i \leq 1$ usando as seguintes equações (1 e 2) para as variáveis que devem ser maximizadas ou minimizadas.

Se o objetivo for maximizar as respostas, temos:

$$d_i = \begin{cases} 0 & \hat{y}_i < L_i \\ \left(\frac{y_i - L_i}{T_i - L_i}\right)^{r_i} & L_i \leq \hat{y}_i \leq T_i \\ 1 & \hat{y}_i > T_i \end{cases} \quad (\text{Eq. 1})$$

Se o objetivo for minimizar as respostas, temos:

$$d_i = \begin{cases} 1 & \hat{y}_i < T_i \\ \left(\frac{y_i - T_i}{U_i - T_i}\right)^{r_i} & L_i \leq \hat{y}_i \leq T_i \\ 0 & \hat{y}_i > T_i \end{cases} \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que:

T: valores alvo

L: valores mínimos para as respostas que serão maximizadas

U: valores máximos para as respostas que serão minimizadas

As desejabilidades individuais foram então combinadas usando a média geométrica que fornece a desejabilidade global, D :

$$D = \left(\prod_{i=1}^k d_i\right)^{1/k} \quad (\text{Eq. 3})$$

Em que “k” é o número de variáveis respostas que se deseja otimizar.

Foram realizadas oito análises nos pós obtidos a partir de diferentes agentes encapsulantes e temperaturas de secagem. Dessas respostas, três (atividade de água, umidade e diferença global de cor) foram utilizadas para caracterização do pó. As demais foram otimizadas simultaneamente para fornecer um pó com propriedades desejáveis, sendo elas: (1) retenção de antocianinas, (2) conteúdo fenólico total, (3) atividade antioxidante, (4) higroscopicidade e (5) molhabilidade. Para este estudo, as respostas retenção de antocianinas, atividade antioxidante e conteúdo fenólico total foram maximizadas, enquanto as demais foram minimizadas, uma vez que o objetivo foi produzir pós com elevado teor de compostos bioativos com ação antioxidante, baixa higroscopicidade e baixo tempo de molhamento.

2.2.5 Caracterização físico-química das microcápsulas

2.2.5.1 Retenção de antocianinas

As antocianinas totais da polpa de jussara foram extraídas de acordo com o método espectrofotométrico descrito por Francis (1982) com modificações (item 2.2.1). Os extratos foram obtidos conforme item 2.2.2.

A quantificação das antocianinas foi realizada pelo método do pH único, de acordo com Lees e Francis (1972), com modificações. Foram realizados pré-testes para definição das alíquotas do extrato utilizadas na diluição. Para a quantificação no extrato concentrado, uma alíquota de 0,2 mL foi diluída em um balão volumétrico de 10 mL, tendo seu volume completado com solução extratora de Etanol:HCl 1,5N (85:15 v/v). Em seguida, foi realizada leitura em espectrofotômetro (marca BEL photonics, modelo SP 2000 UV) no comprimento de onda de 510 nm. Para a quantificação das antocianinas nos pós, primeiramente, reconstituiu-se 1,0 g do produto em 16 mL de água acidificada, seguida da diluição com a solução extratora e os demais procedimentos.

Para o cálculo da retenção de antocianinas em cada condição de atomização, utilizou-se o conteúdo total de antocianinas do extrato concentrado em $\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ de matéria seca e este foi comparado com os teores de antocianinas obtidos em cada pó produzido, de acordo com Tonon et al. (2010) e Ibrahim Silva et al. (2013). Os teores foram obtidos pela Equação 4.

$$A = \varepsilon \cdot b \cdot c \quad (\text{Eq. 4})$$

Em que:

A = absorvância em 510 nm

ε = coeficiente de absorvidade ($98,2 \text{ L} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$)

b = espessura da cubeta (1 cm)

c = concentração ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)

2.2.5.2 Conteúdo fenólico total

O índice de polifenóis totais (IPT) foi determinado pelo ensaio do reagente Folin-Ciocalteu, com base em metodologia adaptada de Singleton e Rossi (1965). O extrato obtido pela reconstituição do pó (item 2.2.5.1) foi diluído em balão volumétrico de 10 mL com etanol 70% e centrifugado a 5000 rpm por 15 minutos. Uma alíquota de 0,6 mL deste extrato foi misturada em 3,0 mL de reagente Folin-Ciocalteu diluído em água destilada (1:10 v/v); após 3 minutos de repouso ao abrigo da luz, foram adicionados 2,4 mL de solução saturada de Na_2CO_3 (7,5% m/v). A absorvância foi determinada a 760 nm por espectrofotometria, após 1 hora de repouso em ausência de luz. O IPT foi determinado utilizando curva padrão de ácido gálico (0-150 ppm) e os resultados foram expressos em mg ácido gálico equivalente por 100 gramas de amostra ($\text{mg AGE} \cdot 100\text{g}^{-1}$).

2.2.5.3 Atividade antioxidante – ABTS

Dentre os métodos de avaliação da capacidade antioxidante, optou-se pelo ensaio do radical ABTS (2,2'-azinobis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid), descrito por Re et al. (1999). Primeiramente, preparou-se o radical $\text{ABTS}^{+\cdot}$, ao misturar 10 mL da solução aquosa de ABTS 7 mM e 10 mL de solução persulfato de potássio 2,45 mM, mantendo esta mistura por 16 horas no escuro, para reação. Após este período, a absorvância foi corrigida para 0,700 a 734 nm com adição de etanol 80% em espectrofotômetro.

O extrato obtido pela reconstituição do pó (item 2.2.5.1) foi diluído em balão volumétrico de 10 mL com etanol 80% e centrifugado a 5000 rpm por 15 minutos. Foram adicionados 3,5 mL da solução radical $\text{ABTS}^{+\cdot}$ a 0,5 mL de cada extrato, e realizada leitura espectrofotométrica após 6 minutos de reação. A atividade

antioxidante foi determinada utilizando curva padrão de Trolox (0-150 μM) e os resultados foram expressos em equivalente de Trolox (mM Trolox.g^{-1}).

2.2.5.4 Atividade de água

A atividade de água dos pós foi obtida utilizando o medidor de atividade de água LabMaster, da marca Novasina, por meio da leitura direta da umidade relativa de equilíbrio utilizando um sensor eletrolítico, conforme Ditchfield (2000).

2.2.5.5 Higroscopicidade

A higroscopicidade dos pós foi determinada com base em Cai; Corke (2000), Tonon et al. (2010) e Ibrahim Silva et al. (2013). Aproximadamente 2,5 g das amostras secas, utilizadas para determinação da umidade do pó, foram acondicionadas em dessecadores contendo soluções saturadas de NaCl (75% de umidade relativa, $A_w = 0,75$) a 25 °C. Após uma semana, as amostras foram pesadas e a higroscopicidade foi expressa como gramas de umidade absorvida por 100 g de sólidos secos (g.100g^{-1}).

2.2.5.6 Molhabilidade

A molhabilidade foi determinada pelo tempo de molhamento, que é o tempo necessário para que uma amostra de pó fique completamente submersa após ser colocada sobre a superfície de um líquido (TONON et al., 2009). A análise foi realizada segundo metodologia proposta por Hla e Kogekamp (1999) e modificada por Vissotto et al. (2006). Consistiu na queda de 2,0 g de amostra do pó sobre 400 mL de água destilada a 25 °C, disposta em um béquer de 1 L, contabilizando com um cronômetro, o tempo necessário para que todas as partículas ficassem molhadas, determinado visualmente.

2.2.5.7 Umidade

As análises de umidade foram conduzidas por gravimetria, em estufa (marca Nova Ética) a 105 °C até peso constante, conforme as Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz (2004), no extrato antes de ser atomizado e nos pós produzidos.

2.2.5.8 Diferença global de cor

As análises foram realizadas pela leitura direta de reflectância do sistema de coordenadas retangulares “L*” (luminosidade), “a*” (intensidade de vermelho e verde) e “b*” (intensidade de amarelo e azul), empregando-se a escala de cor CIELAB, com iluminante D65 e ângulo de observação de 10°, utilizando-se colorímetro Minolta (Konica Minolta, modelo CM-5) com objetivo de se verificar a perda de cor resultante do processo de secagem, em relação ao extrato antes de ser atomizado. Após a secagem, o pigmento em pó foi reconstituído com água destilada para equivaler à condição inicial de entrada no spray dryer, atingindo os teores de sólidos solúveis do extrato, de acordo com Ibrahim Silva et al. (2013).

A perda da cor resultante do processo de secagem foi calculada mediante a Equação 5.

$$\Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (\text{Eq. 5})$$

Em que:

ΔE = diferença global de cor

ΔL = variação da coordenada L*

Δa = variação da coordenada a*

Δb = variação da coordenada b*

2.2.5.9 Microscopia eletrônica de varredura

A morfologia e o tamanho das microcápsulas foram analisados por meio da microscopia eletrônica de varredura (MEV). Uma pequena quantidade das amostras foram fixadas em um suporte metálico (*stubs*) com uma fita adesiva dupla-face de carbono. Em seguida, foram recobertas com uma fina camada de ouro sob vácuo, em metalizador (marca Balzers, modelo FDU-010). As amostras foram então observadas em ampliações de 220 a 10000 vezes em microscópio eletrônico de varredura, com uma voltagem de excitação de 20 kV (RUTZ, 2013; IBRAHIM SILVA et al., 2013).

2.2.5.10 Difração de Raios-X

A caracterização da estrutura das micropartículas (cristalina ou amorfa) foi realizada em difratômetro de Raios-X (marca BRUCKER, modelo D8 Discover),

tendo como fonte de Raios-X, a radiação de cobre, alimentado a 40 kV, 40 mA, com passos de 0,05°, 1 segundo por passo. A medida foi realizada sob o ângulo 2 θ variando de 4 a 45 ° (RUTZ, 2013).

Para as análises de MEV e Difração de R-X, foram selecionadas as amostras provenientes do experimento de otimização, sendo escolhidas as temperaturas de 50 °C para maltodextrina, 70 °C para goma arábica e 70 °C para inulina.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Obtenção dos extratos de antocianina concentrados em rotavapor

Para otimizar a etapa de concentração dos extratos de jussara, foram utilizadas cinco temperaturas no rotavapor. Os resultados da ANOVA apresentados na Tabela 2 evidenciam que existe diferença significativa ($p < 0,05$) entre os tratamentos aplicados. Ou seja, o uso de diferentes temperaturas para concentração exerceu influência significativa no teor de antocianina no extrato concentrado.

Tabela 2: Análise de variância para teor de antocianinas dos extratos concentrados

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Soma Quadrados	Quadrado Médio	F	p
Tratamentos	4	62436,71	15609,18	5,9900*	0,0383
Resíduo	10	26058,58	2605,86		
Total	14	88495,29			

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$)

A análise de regressão possibilitou identificar a melhor temperatura para concentração do extrato, com relação ao teor de antocianina (Figura 1). Observou-se que a menor e a maior quantificação do pigmento ocorreu nas temperaturas extremas, ou seja, 40 °C e 60 °C, respectivamente. O coeficiente de determinação (R^2) encontrado informa que 80,70% da variação do teor de antocianina é proveniente da variação da temperatura, podendo-se considerar que o modelo linear é apropriado para relacionar estas duas variáveis.

Em estudo realizado por Constant (2003), o extrato etanólico de antocianina de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) foi concentrado à temperatura de 38 ± 1 °C, enquanto Passos (2011) utilizou temperatura de 45 °C para concentrar o mesmo

pigmento, atingindo 30% do volume inicial. Saézn et al. (2009), concentraram extrato de betalaína extraída da fruta do cacto (*Opuntia ficus-indica*) utilizando temperatura de 45 °C, obtendo rendimento de 46%. Valduga et al. (2008) obtiveram extrato concentrado de antocianinas do bagaço de uva Isabel (*Vitis labrusca*) utilizando 80 °C, para posterior avaliação da microencapsulação. No entanto, não foi encontrado na literatura nenhum trabalho comparando o teor de antocianinas em extratos concentrados a diferentes temperaturas. É aconselhável utilizar temperatura máxima de extração de 60 °C, pois acima desta, pode ocorrer degradação térmica do pigmento e conseqüente redução da sua estabilidade (PESSOA; TEIXEIRA, 2012).

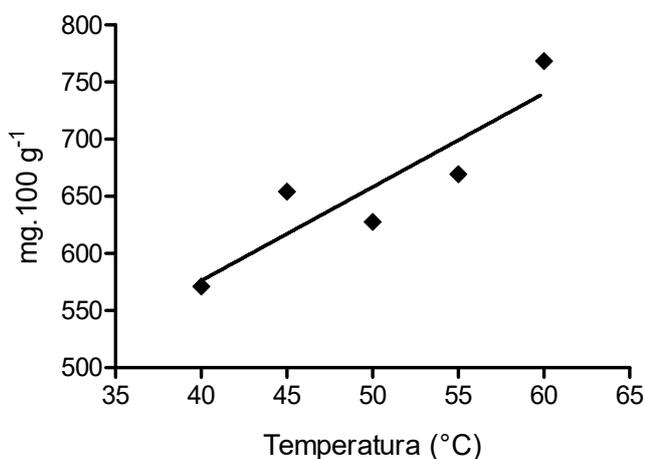


Figura 1: Representação gráfica da regressão linear do teor de antocianina (mg de cianidina-3-glicosídeo.100g⁻¹ de jussara) em função da temperatura (°C).

Foi observada uma grande variação do tempo de concentração em função da temperatura utilizada. Como a pressão da bomba a vácuo foi mantida constante para todos os experimentos, pode-se explicar que o aumento na temperatura do banho térmico favoreceu a transferência de calor para o extrato, aumentando a taxa de evaporação do solvente e conseqüentemente, reduzindo o tempo de concentração do extrato. Diante disto, a menor quantificação de antocianinas na temperatura de 40 °C (571,07 mg.100g⁻¹) pode ser devido ao maior tempo de exposição do extrato às condições do meio, visto que o pigmento em estudo possui instabilidade ao calor, incidência de luz e exposição ao oxigênio (CONSTANT et al., 2002; PASSOS, 2011). Dessa forma, com base nos resultados encontrados, optou-se pela utilização da temperatura de 60 °C para a concentração do extrato de

antocianina em evaporador rotatório, temperatura na qual foi quantificada 768,41 mg cianidina-3-glicosídeo.100g⁻¹.

Na Figura 2 está apresentada uma fotografia do extrato concentrado e das microcápsulas obtidas a partir dos diferentes materiais encapsulantes.

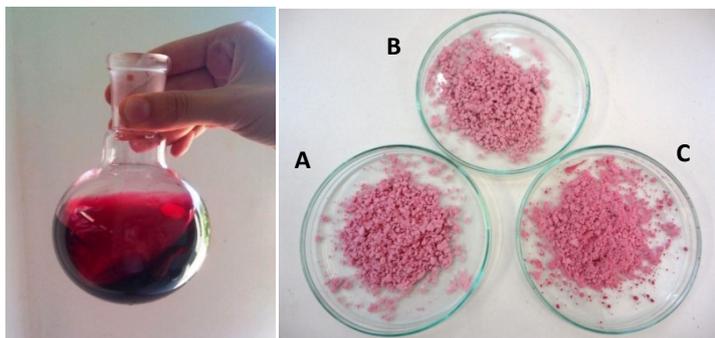


Figura 2: Fotografia do extrato concentrado de antocianinas e dos pós obtidos com maltodextrina 10 DE (A), goma arábica (B) e inulina (C)

3.2 Análise da temperatura para cada agente encapsulante

Foi avaliado o efeito das diferentes temperaturas do ar de saída do spray dryer na retenção de antocianinas, teor de compostos fenólicos, atividade antioxidante, atividade de água, higroscopicidade, molhabilidade, umidade e variação global de cor, para cada agente encapsulante testado (maltodextrina, goma arábica e inulina).

Para fins de comparação com demais autores que estabeleceram a temperatura do ar de entrada no spray dryer, optou-se por apresentar na Tabela 3, as temperaturas de entrada equivalentes às temperaturas de saída estabelecidas no presente estudo, e seus respectivos desvios padrão.

Tabela 3: Temperaturas do ar de entrada correspondentes às temperaturas do ar de saída estabelecidas na secagem por spray dryer

T saída estabelecida (°C)	50	55	60	65	70
T entrada equivalente (°C)	136,00	140,17	153,14	163,37	179,25
Desvio padrão	5,29	6,82	12,99	9,52	6,80

Como optou-se pela fixação da temperatura do ar de saída, esta variação na temperatura de entrada era esperada, da mesma forma que haveriam variações na temperatura de saída, caso se optasse pela fixação da temperatura do ar de entrada do equipamento.

3.2.1 Maltodextrina

Na Tabela 4 observa-se os valores de F e p obtidos da análise de variância, e os modelos ajustados seguidos dos respectivos R^2 , quando a resposta apresentou diferença significativa ($p < 0,05$).

Tabela 4: Valores de F e p obtidos na ANOVA e modelos ajustados para maltodextrina

Respostas	F	p	Modelo ajustado	R^2
Retenção de antocianinas	0,6096 ^{ns}	0,6651		
Compostos fenólicos	1,596 ^{ns}	0,2497		
Atividade antioxidante	17,424*	0,0002	$\hat{A} = 12,9755 - 0,1152 T$	0,8455
Atividade de água	17,691*	0,0002	$\hat{A} = - 4,7965 + 0,1786 T - 0,001511 T^2$	0,9866
Higroscopicidade	1,220 ^{ns}	0,3618		
Molhabilidade	3,9981*	0,0344	$\hat{A} = 57,8786 - 1,9295 T + 0,001680 T^2$	0,8971
Umidade	1,773 ^{ns}	0,2108		
Variação de cor	9,788*	0,0017	$\hat{A} = 29,2406 - 0,8156 T + 0,006254 T^2$	0,9260

^{ns}: Não significativo ($p > 0,05$); *: Significativo ($p < 0,05$); A: variável resposta; T: temperatura.

No presente estudo, observou-se que o uso de diferentes temperaturas do ar de saída não exerceu influência significativa ($p > 0,05$) pelo teste F, nas respostas retenção de antocianinas, compostos fenólicos, higroscopicidade e umidade dos pós obtidos com maltodextrina como agente encapsulante. No entanto, a temperatura de secagem influenciou significativamente ($p < 0,05$) nas demais respostas, sendo possível ajustar um modelo matemático adequado para a predição das variáveis respostas, ao observar os elevados valores de R^2 . Dessa forma, estão representados a seguir (Figura 3), os gráficos constituídos pelos valores das respostas (atividade antioxidante, atividade de água, variação global de cor e molhabilidade) *versus* as diferentes temperaturas utilizadas.

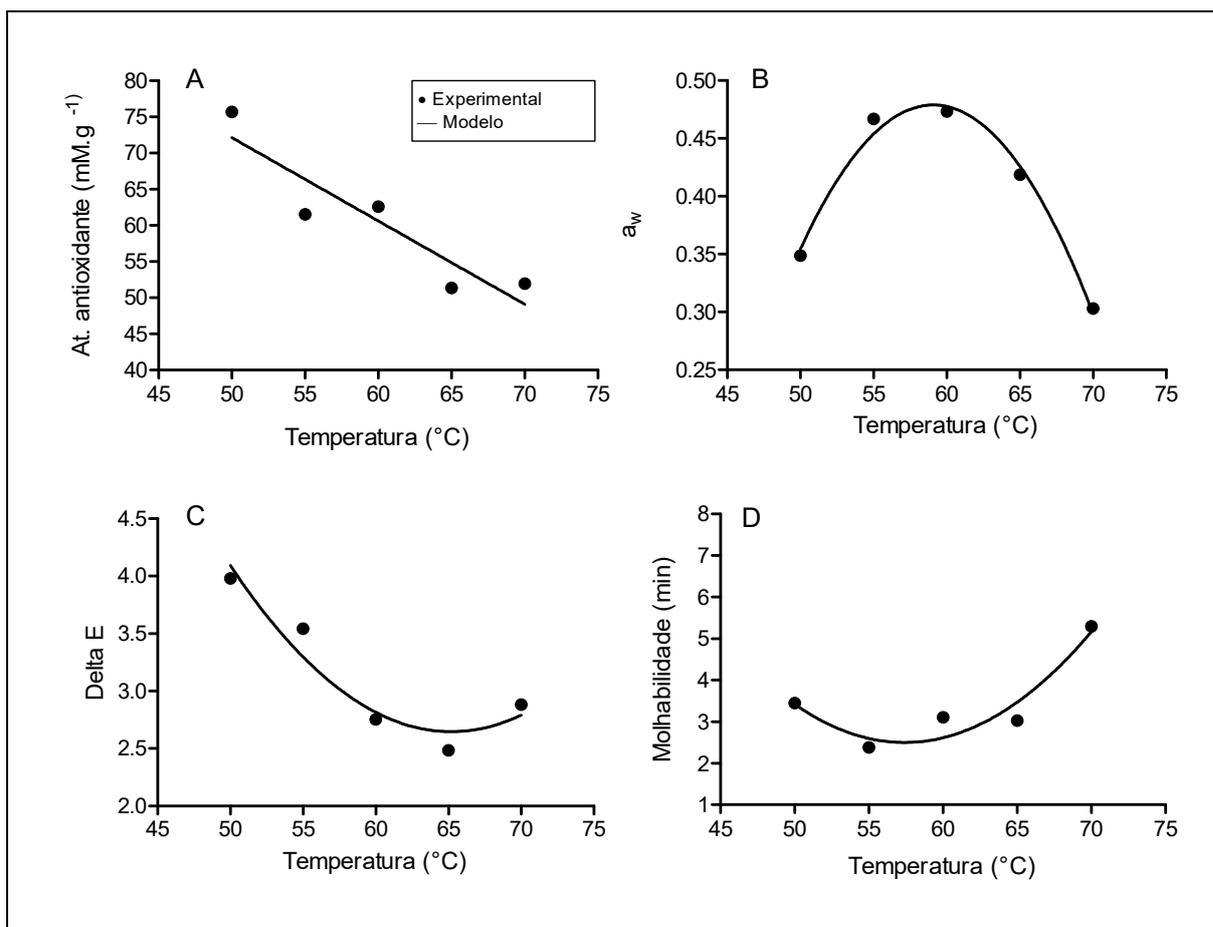


Figura 3: Representações gráficas das respostas atividade antioxidante, atividade de água, variação global de cor (ΔE) e molhabilidade, frente às diferentes temperaturas utilizadas

Por meio da Figura 3-A, pode-se observar que, dentro de intervalo de temperatura testado, quanto menor a temperatura de secagem, maior a atividade antioxidante, indicando que temperaturas de trabalho mais baixas são mais indicadas para a manutenção da atividade antioxidante de microcápsulas de antocianinas de jussara obtidas com maltodextrina. A maior média foi encontrada na temperatura de 50 °C (75,68 mM Trolox.g⁻¹), enquanto a média mínima foi encontrada ao utilizar temperatura de 70 °C (51,96 mM Trolox.g⁻¹).

A atividade de água (Figura 3-B) foi máxima na temperatura de 59,08 °C (0,470), enquanto a mínima foi encontrada na temperatura de 70 °C, igual a 0,303. Os valores observados estão acima de 0,229, encontrado por Tonon (2009) em pó de suco de açaí utilizando maltodextrina 10DE e também, acima de 0,266, valor obtido por Valduga et al., (2008) em antocianinas de bagaço de uva Isabel (*Vitis*

labrusca) microencapsuladas com diferentes materiais. No entanto, os valores encontrados estão na faixa de 0,2 e 0,4, na qual a estabilidade de alimentos desidratados é considerada alta (ARAÚJO, 2015), como discutido anteriormente.

Na Figura 3-C, percebe-se que a diferença global de cor (ΔE), foi mínima na temperatura de 65,21 °C (2,48), enquanto a variação foi máxima na temperatura de 50 °C (3,98). A diferença entre a cor do extrato antes de ser atomizado e a cor do extrato obtido pela reconstituição dos pós pode ser descrita pela distância total entre as duas cores no espaço de cor tridimensional CIELab. Segundo Obón et al. (2009), uma diferença global de cor de 0 a 1,5 pode ser considerada pequena e as amostras quase idênticas pela observação visual. Na faixa de 1,5 a 5, esta diferença de cores já pode ser distinguida, tornando-se evidente quando ΔE é maior que 5. No presente estudo, todas as médias apresentaram ΔE menores que 5, indicando uma pequena variação de cor entre o extrato (antes de ser atomizado) e os pós obtidos. Este resultado indica, previamente, que a utilização da maltodextrina no processo de secagem contribuiu para a manutenção da cor das antocianinas.

A molhabilidade, determinada pelo tempo de molhamento, foi mínima na temperatura de 57,41 °C (2,74 minutos) e máxima na temperatura de 70 °C (5,30 minutos), conforme pode ser observado na Figura 3-D. Tonon (2009) encontrou tempo de molhamento do pó de suco de açaí com maltodextrina 10DE e 20DE iguais a 8,61 e 6,23 minutos, respectivamente, verificando redução deste tempo com o aumento da hidrólise dos amidos. Vissotto et al. (2006) afirmam que o espaço intersticial apresentado por partículas grandes e de forma irregular favorece a molhabilidade, enquanto que partículas pequenas acarretam uma redução dos interstícios, prejudicando a penetração de água e aumentando o tempo de molhamento. No decorrer da análise, foi observada a formação de grumos no momento em que a amostra entrou em contato com a água, resultando em tempos de molhamento relativamente longos, conforme também observado por Tonon (2009). Este fato pode ser explicado pela formação de uma camada hidrofóbica que impede o líquido de penetrar na amostra, no momento em que partículas finas entram em contato com a solução de dissolução (VISSOTTO et al., 2006).

3.2.2 Goma arábica

Na Tabela 5, pode-se observar os valores de F e p obtidos da análise de variância, e os modelos ajustados seguidos dos respectivos R^2 , quando a resposta apresentou diferença significativa ($p < 0,05$).

Tabela 5: Valores de F e p obtidos na ANOVA e modelos ajustados para goma arábica

Respostas	F	p	Modelo ajustado	R^2
Retenção de antocianinas	2,2440 ^{ns}	0,136759		
Compostos fenólicos	0,93 ^{ns}	0,483205		
Atividade antioxidante	3,4310 ^{ns}	0,051793		
Atividade de água	9,008*	0,002378	$\hat{a}_w = - 2,5663 + 0,09405T - 0,0007452 T^2$	0,6363
Higroscopicidade	4,372*	0,0423	Nenhum modelo foi significativo	
Molhabilidade	2,381 ^{ns}	0,121275		
Umidade	46,190*	0,000002	Nenhum modelo foi significativo	
Variação de cor	0,31499 ^{ns}	0,861585		

^{ns}: Não significativo ($p > 0,05$); *: Significativo ($p < 0,05$)

Observou-se que o uso de diferentes temperaturas de secagem não exerceu influência significativa ($p > 0,05$) nas respostas retenção de antocianinas, compostos fenólicos, atividade antioxidante, molhabilidade e diferença global de cor nos pós obtidos utilizando goma arábica como agente encapsulante, pelo teste F. No entanto, a temperatura de secagem influenciou significativamente ($p < 0,05$) nas respostas atividade de água, higroscopicidade e umidade, sendo possível ajustar um modelo matemático quadrático para a predição da atividade de água.

Dentro do intervalo de temperatura testado, a atividade de água foi máxima na temperatura de 63,11 °C e mínima na temperatura de 50 °C. Objetiva-se valores baixos de atividade de água, na faixa entre 0,200 a 0,400, na qual a estabilidade de produtos desidratados é considerada alta, como discutido anteriormente. Para este caso, recomenda-se, com base no modelo ajustado, temperaturas de trabalho mais baixas.

Para as respostas higroscopicidade e umidade, nenhum modelo de regressão testado (linear, polinômio de segundo grau) foi significativo. Para comparar as diferentes temperaturas testadas, optou-se por apresentar um gráfico das médias com os respectivos intervalos de confiança juntamente com o resultado do teste de Tukey (Figura 4).

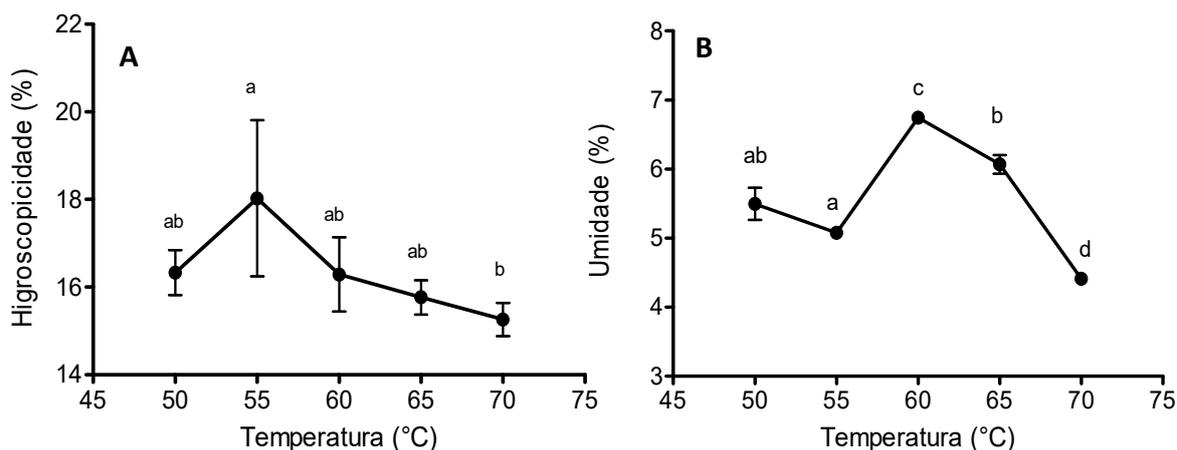


Figura 4: Representações gráficas das médias seguidas dos respectivos intervalos de confiança para higroscopicidade (A) e umidade (B) dos pós obtidos com goma arábica.

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si ($p > 0,05$) pelo teste de Tukey.

Por meio da Figura 4, pode-se perceber que a higroscopicidade foi máxima na temperatura de 55 °C, seguindo uma tendência de diminuição com o aumento da temperatura. No entanto, os valores encontrados para 60, 65 e 70 °C (16,62; 15,77; 15,26, respectivamente) não diferenciam entre si pelo teste de Tukey. Objetiva-se valores baixos de higroscopicidade, e neste caso, as temperaturas de trabalho indicadas seriam as mais elevadas. Os resultados estão próximos aos observados por Bicudo (2014), ao encontrar higroscopicidade igual a 14,65% utilizando goma arábica para microencapsular antocianinas de jussara.

Para a variável umidade, houve grande variação dos valores dentro do intervalo de temperatura testado, sendo máxima na temperatura de 60 °C e mínima em 70 °C. Observa-se que temperaturas de secagem mais altas contribuíram para a redução da umidade, comportamento também observado por Ferrari et al. (2012), em estudo realizado com pós de polpa de amora-preta. Segundo os autores, a utilização de altas temperaturas favorece a taxa de transferência de calor para as

partículas, resultando em uma evaporação de água mais rápida e consequentemente, pós com umidade mais baixa.

3.2.3 Inulina

Na Tabela 6, pode-se observar os valores de F e p obtidos da análise de variância, e o modelo ajustado seguido do R^2 , para a resposta que apresentou diferença significativa ($p < 0,05$).

Tabela 6: Valores de F e p obtidos na ANOVA e modelo ajustado

Respostas	F	p	Modelo ajustado	R^2
Retenção de antocianinas	3,862*	0,037819	$\hat{A} = 85,4983 - 0,4416 T$	0,7282
Compostos fenólicos	2,009 ^{ns}	0,169194		
Atividade antioxidante	1,0635 ^{ns}	0,423550		
Atividade de água	1,471 ^{ns}	0,282150		
Higroscopicidade	3,07 ^{ns}	0,068492		
Molhabilidade	1,7800 ^{ns}	0,209385		
Umidade	1,0845 ^{ns}	0,414690		
Varição de cor	1,08643 ^{ns}	0,413870		

^{ns}: Não significativo ($p > 0,05$); *: Significativo ($p < 0,05$); \hat{A} : Variável resposta

No presente estudo, observou-se que o uso de diferentes temperaturas de secagem exerceu influência significativa ($p < 0,05$) pelo teste F, somente na retenção de antocianinas, sendo possível ajustar um modelo matemático para a predição dessa variável resposta (Figura 5).

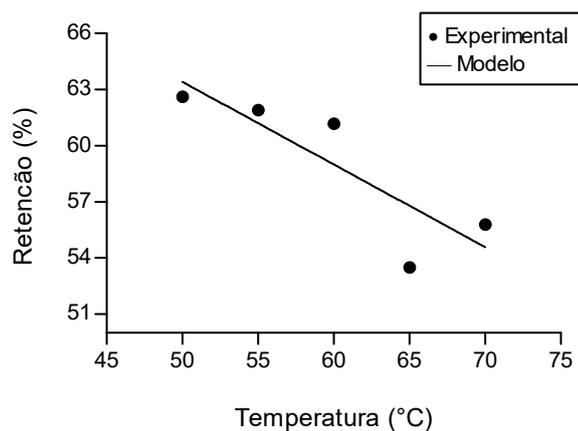


Figura 5: Representação gráfica do comportamento da retenção de antocianinas *versus* temperatura

Saézn et al. (2009), avaliaram os teores de compostos bioativos (betacianinas, indicaxantinas e polifenóis) antes e após o microencapsulamento da polpa e do extrato etanólico da fruta de cacto, utilizando inulina como agente encapsulante. A retenção dos pigmentos no pó obtido a partir da polpa foi de 100%, indicando que a secagem não afetou a retenção dos compostos. No entanto, para o pó obtido do extrato etanólico, a retenção dos pigmentos sofreu uma queda, atingindo os valores de 81% (betacianinas) e 86% (indicaxantinas). Os autores sugerem que componentes da polpa, como as fibras, auxiliam o processo de encapsulação, uma vez que a retenção dos pigmentos foi total no produto obtido da polpa, fato não observado para o pó obtido do extrato etanólico. No presente estudo, as microcápsulas foram provenientes do extrato etanólico, sendo também observada uma queda na retenção de antocianinas de acordo com o aumento da temperatura. Embora as temperaturas escolhidas sejam consideradas baixas, sugere-se que ocorreu degradação térmica do pigmento.

O uso da inulina apresentou um resultado peculiar comparado aos demais. Durante o experimento, observou-se um baixo poder emulsificante deste material, o que pode ter dificultado a formação das microcápsulas. Em trabalho realizado por Fernandes et al. (2014) envolvendo o microencapsulamento de óleo essencial de alecrim com inulina, os autores observaram que a presença deste material reduziu a eficiência da encapsulação. No entanto, como pontos positivos, a inulina melhorou a molhabilidade das partículas e reduziu a higroscopicidade dos pós sob elevada umidade relativa.

3.3 Análise conjunta dos fatores para otimização simultânea das respostas

Com a finalidade de analisar o efeito das duas variáveis (agentes encapsulantes e temperatura do ar de saída do spray dryer) em conjunto, optou-se por realizar uma análise fatorial. Por meio da análise de variância, foi possível observar se as variáveis exerceram efeito nas respostas em conjunto ou de maneira isolada. A seguir, estão apresentadas as ANOVAs para cada variável resposta.

3.3.1 Retenção de antocianinas

O resultado da análise de variância para a retenção de antocianinas está apresentado na Tabela 7. Observou-se que o material utilizado apresentou efeito significativo ($p < 0,05$) na retenção de antocianinas, enquanto a temperatura de secagem e a interação entre os fatores não exerceu influência nesta resposta, pelo teste F.

Tabela 7: ANOVA para a retenção de antocianinas

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	P
Temperatura	4	813,9	203,5	1,205 ^{ns}	0,329316
Material	2	4245,6	2122,8	12,568*	0,000108
Temp x Mat	8	2200,6	275,1	1,629 ^{ns}	0,158400
RESÍDUO	30	5067,2	168,9		
TOTAL	44	12327,2			

*: Significativo ($p < 0,05$); ^{ns}: Não significativo ($p > 0,05$)

Na Tabela 8 estão apresentadas as médias e desvios padrão da retenção de antocianinas para os diferentes materiais utilizados, seguidas do resultado do teste de Tukey.

Tabela 8: Efeito do tipo de material encapsulante na retenção de antocianinas

Material/ Resposta	Maltodextrina	Goma arábica	Inulina
Retenção de antocianinas (%)	74,56a	82,37a	59,00b
Desvio padrão	14,82	18,26	4,86

Médias seguidas pela mesma letra não diferiram entre si ($p > 0,05$) pelo teste de Tukey.

De acordo com a Tabela 8, observou-se que a inulina foi o material que proporcionou menor retenção de antocianinas (59%), enquanto a maior média foi encontrada em pós obtidos com goma arábica (82,37%), embora este valor não se diferencie estatisticamente ($p > 0,05$) da retenção encontrada para maltodextrina (74,56%).

Bernstein e Noreña (2015) avaliaram a retenção de antocianinas de repolho roxo microencapsuladas com goma arábica e polidextrose em comparação com o teor no extrato, observando que os pós produzidos com 15% de goma arábica foram os que obtiveram maior retenção (97,10%). Cai e Corke (2000), ao microencapsularem betacianinas de amarantho com diferentes agentes, observaram que a retenção do pigmento foi favorecida com maltodextrina 25 e 10 DEs (97,3 e 88,7%, respectivamente). No presente estudo, foi observada a capacidade de maltodextrina e goma arábica na retenção de antocianinas e dessa forma, sugere-se a utilização desses materiais para elevada retenção de pigmentos naturais microencapsulados.

3.3.2 Conteúdo fenólico total

Em relação aos compostos fenólicos, o material utilizado apresentou efeito significativo ($p < 0,05$) pelo teste F, enquanto a temperatura de secagem e a interação entre os fatores não foram significativos ($p > 0,05$), como observado na Tabela 9.

Tabela 9: ANOVA para o conteúdo fenólico total

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	<i>p</i>
Temperatura	4	478	119	0,45 ^{ns}	0,771819
Material	2	16860	8430	31,737*	0,000000
Temp x Mat	8	3604	451	1,696 ^{ns}	0,140319
RESÍDUO	30	7969	266		
TOTAL	44	2570132			

*: Significativo ($p < 0,05$); ^{ns}: Não significativo ($p > 0,05$)

Resultado semelhante foi observado na análise anterior, indicando que apenas o agente encapsulante interferiu no teor de compostos fenólicos e na retenção de antocianinas. Este fato pode ser explicado devido às antocianinas

representarem uma classe dos compostos fenólicos, portanto, podem apresentar comportamentos semelhantes.

Na Tabela 10 está apresentado o teste de Tukey para os compostos fenólicos encontrados nos pós obtidos com os diferentes materiais utilizados.

Tabela 10: Efeito do tipo de material encapsulante no teor de compostos fenólicos dos pós

Material/ Resposta	Maltodextrina	Goma arábica	Inulina
Compostos fenólicos (mg.100g ⁻¹)	234,20a	203,07b	187,67c
Desvio padrão	15,58	21,23	12,93

Médias seguidas pela mesma letra não diferiram entre si ($p>0,05$) pelo teste de Tukey.

Observou-se que todos os materiais diferiram entre si. A inulina, assim como para retenção de antocianinas, foi o agente encapsulante que apresentou os resultados menos desejáveis.

A goma arábica apresentou uma média discrepante do teor de compostos fenólicos entre os materiais analisados (715,1 mg.100g⁻¹). Provavelmente, os componentes do próprio material interferiram na análise, uma vez que a goma arábica é uma mistura complexa e ramificada de polissacarídeos e glicoproteínas, constituída por unidades de galactose, arabinose, ramnoses, alguns ácidos derivados, como os glucarônicos, e múltiplas glicoproteínas, responsáveis pela propriedade emulsificante deste material (BICUDO, 2014; FERNANDES et al., 2014; LANDIM, 2008). Caso estas proteínas sejam compostas por aminoácidos de cadeia lateral com grupo aromático (tirosina, triptofano e fenilalanina, que possuem anel benzênico), esta interferência é ainda maior, uma vez que estes aminoácidos são detectados no método de Folin-Ciocalteu. Dessa forma, realizou-se uma análise de compostos fenólicos da goma arábica em solução (controle), sendo quantificado um valor médio de 512,03 mg.100g⁻¹, que foi subtraído das amostras analisadas, removendo esta interferência.

3.3.3 Atividade antioxidante

Em relação à atividade antioxidante, verificou-se que tanto o material quanto a interação entre os fatores exerceu influência significativa (Tabela 11).

Tabela 11: ANOVA para a atividade antioxidante

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	<i>p</i>
Temperatura	4	401,22	100,31	2,384 ^{ns}	0,073478
Material	2	4695,86	2347,93	55,813*	0,000000
Temp x Mat	8	1904,97	238,12	5,660*	0,000204
RESÍDUO	30	1262,03	42,07		
TOTAL	44	8264,08			

*: Significativo ($p < 0,05$); ^{ns}: Não significativo ($p > 0,05$)

Sendo a interação significativa ($p < 0,05$), faz-se necessário realizar o desdobramento de um fator dentro do outro (Tabelas 12 e 13), uma vez que eles atuam em conjunto. De acordo com o teste de Tukey (Tabela 12), verificou-se que nas temperaturas de 65 e 70 °C, as médias não diferiram entre si. Nas demais temperaturas, maltodextrina foi o material que proporcionou maior atividade antioxidante.

Tabela 12: Efeito do tipo de material encapsulante dentro de cada temperatura na atividade antioxidante dos pós

Temperatura/ Materiais	50 °C	55 °C	60 °C	65 °C	70 °C
Maltodextrina	75,68a	61,52 ^a	62,60a	51,34a	51,96a
Goma arábica	33,88b	33,65b	34,38b	34,50a	33,70a
Inulina	37,98b	34,37b	40,94b	42,99a	43,18a

Médias seguidas pela mesma letra, dentro de uma mesma coluna, não diferiram entre si ($p > 0,05$) pelo teste de Tukey.

Como o fator temperatura é quantitativo, é recomendado analisá-lo por meio de regressão. Para os materiais maltodextrina e inulina, o modelo quadrático foi significativo, enquanto para os pós obtidos com goma arábica, observou-se uma constante da atividade antioxidante (Tabela 13). A Figura 6 apresenta o gráfico da atividade antioxidante *versus* temperatura, para cada material testado.

Tabela 13: Efeito da temperatura dentro de cada tipo de material encapsulante

Material	Modelo ajustado	R ²
Maltodextrina	$\hat{Y} = 304,46 - 7,056 T + 0,04920 T^2$	0,8995
Goma arábica	$\hat{Y} = \bar{Y} = 34,02$	Não se aplica
Inulina	$\hat{Y} = 48,273 - 0,6742 T + 0,008786 T^2$	0,6614

\hat{Y} : atividade antioxidante; T: temperatura

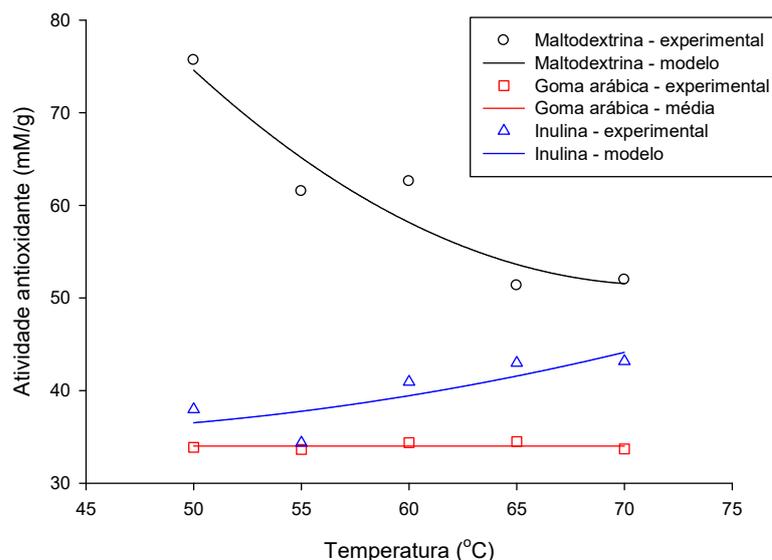


Figura 6: Atividade antioxidante *versus* temperatura, para pós obtidos com maltodextrina, goma arábica e inulina

Observou-se um decaimento da atividade antioxidante conforme o aumento da temperatura para os pós obtidos com maltodextrina. Para os outros materiais, observou-se uma tendência a constante, ou seja, manutenção da atividade antioxidante com o aumento da temperatura, conforme também observado por Bernstein e Noreña (2015), ao avaliarem a atividade antioxidante de microcápsulas de antocianinas com goma arábica e polidextrose; o aumento da temperatura do ar de secagem não influenciou significativamente ($p > 0,01$) na atividade antioxidante dos pós, indicando que os agentes encapsulantes protegeram os compostos bioativos, como as antocianinas.

3.3.4 Higroscopicidade

Para a variável resposta higroscopicidade, percebeu-se que tanto a temperatura quanto o material exerceram efeitos significativos ($p < 0,05$), ou seja,

influenciaram na higroscopicidade dos pós de forma isolada, pelo teste F (Tabela 14). O efeito do tipo de material foi avaliado por meio do teste de Tukey (Tabela 15).

Tabela 14: ANOVA para a higroscopicidade

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	p
Temperatura	4	9,899	2,475	4,28*	0,007345
Material	2	89,481	44,740	77,46*	0,000000
Temp x Mat	8	8,122	1,015	1,76 ^{ns}	0,125634
RESÍDUO	30	17,328	0,578		
TOTAL	44	124,831			

*: Significativo ($p < 0,05$); ^{ns}: Não significativo ($p > 0,05$)

Tabela 15: Efeito do tipo de material encapsulante na higroscopicidade dos pós

Material/ Resposta	Maltodextrina	Goma arábica	Inulina
Higroscopicidade (%)	13,07a	16,75b	14,31c
Desvio padrão	0,74	1,36	0,34

Médias seguidas por diferentes letras diferiram entre si ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.

Verificou-se que todas as médias diferiram entre si, ou seja, os diferentes materiais contribuíram de formas diferentes para a higroscopicidade dos pós. Isto indica que cada material testado possui uma higroscopicidade, característica importante que deve ser avaliada, uma vez que deseja-se agentes encapsulantes com baixa capacidade de absorção de umidade.

Maltodextrina foi o material que proporcionou menor higroscopicidade (13,07%), enquanto a maior média foi observada para pós obtidos com goma arábica (16,75%). Estes valores foram menores que os encontrados por Ferrari et. al (2012), que observaram médias com variação entre 18 e 29% em pós de polpa de amora-preta utilizando diferentes concentrações de agente encapsulante e temperaturas de secagem.

Em trabalho realizado por Tonon et al. (2009), os autores observaram que o aumento na concentração de maltodextrina resultou em pós menos higroscópicos, devido ao fato deste material apresentar baixa higroscopicidade. Isto confirma a sua eficiência como agente carreador, dada sua capacidade de reduzir a higroscopicidade de produtos desidratados em spray dryer.

Como os materiais proporcionaram pós com diferentes higroscopicidades, desejou-se avaliar o efeito da temperatura para cada material de forma isolada por

meio da regressão. Foi possível ajustar os modelos matemáticos quadrático e linear para goma arábica e inulina, respectivamente, enquanto para maltodextrina, observou-se uma constante da higroscopicidade dos pós, ao utilizar diferentes temperaturas de secagem (Tabela 16 e Figura 7).

Tabela 16: Efeito da temperatura na higroscopicidade dos pós

Material	Modelo ajustado	R ²
Maltodextrina	$\hat{Y} = \bar{Y} = 13,07$	Não se aplica
Goma arábica	$\hat{Y} = - 26,3514 + 1,540 T - 0,0145 T^2$	0,7840
Inulina	$\hat{Y} = 15,7716 - 0,02488 T$	0,7217

Ŷ: higroscopicidade; T: temperatura

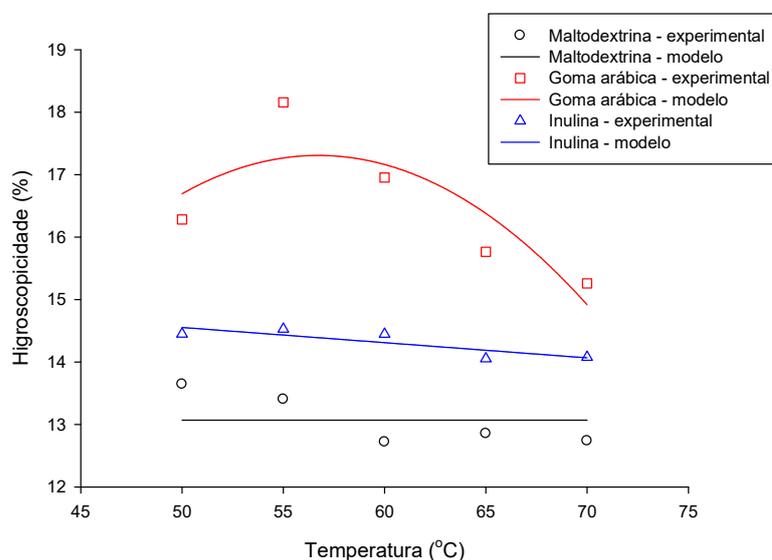


Figura 7: Higroscopicidade (%) versus temperatura, para os pós obtidos com maltodextrina, goma arábica e inulina

Tonon et al. (2009) observaram que a utilização de diferentes temperaturas do ar de secagem exerceram influência significativa na higroscopicidade das microcápsulas de suco de açaí. No entanto, esta diferença foi considerada pequena pelos autores, assim como observado no presente trabalho.

3.3.5 Molhabilidade

A molhabilidade pode ser caracterizada pela susceptibilidade das partículas em serem penetradas pela água, sendo uma etapa limitante do processo de reconstituição. De maneira geral, os pós finos apresentam baixa molhabilidade

(TONON, 2009). De acordo com a Tabela 17, observou-se que todas as fontes de variação exerceram efeito significativo ($p < 0,05$) pelo teste F.

Tabela 17: ANOVA para a molhabilidade

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	<i>p</i>
Temperatura	4	6,5976	1,6494	4,2673*	0,007492
Material	2	148,0519	74,0259	191,5179*	0,000000
Temp x Mat	8	10,2885	1,2861	3,3273*	0,007667
RESÍDUO	30	11,5957	0,3865		
TOTAL	44	176,5337			

*: Significativo ($p < 0,05$)

O fato da interação entre os fatores ser significativa indica que a temperatura e o material atuaram em conjunto, exercendo influência na molhabilidade das microcápsulas. Sendo assim, estudou-se esta influência por meio do desdobramento de um fator dentro do outro (Tabelas 18 e 19).

Tabela 18: Efeito do tipo de material dentro de cada temperatura na molhabilidade

Temperatura/ Material	50 °C	55 °C	60 °C	65 °C	70 °C
Maltodextrina	3,44 ^a	2,37 ^a	3,10 ^a	3,03 ^a	5,29 ^a
Goma arábica	5,42 ^b	5,09 ^b	4,53 ^a	4,40 ^a	4,79 ^a
Inulina	0,53 ^c	0,44 ^c	0,36 ^b	0,45 ^b	0,69 ^b

Médias seguidas pela mesma letra, dentro de uma mesma coluna, não diferiram entre si ($p > 0,05$) pelo teste de Tukey.

De acordo com o teste de Tukey, observa-se que nas temperaturas iniciais, 50 e 55 °C, todas as médias diferiram entre si, enquanto nas demais temperaturas, 60, 65 e 70 °C, apenas a molhabilidade do pó com inulina diferiu dos demais. Este material proporcionou um tempo de molhamento muito baixo, sendo o menor em todas as temperaturas testadas.

Em estudo realizado por Fernandes et al. (2014) envolvendo o microencapsulamento de óleo essencial de alecrim com goma arábica, maltodextrina, amido modificado e inulina, foi observado que o tipo de material afetou significativamente esta propriedade. Os menores tempos de molhamento foram observados quando a inulina foi usada na formulação, sugerindo que este material promove a instantaneidade das partículas. Os autores comentam que este

fato pode ser explicado pelas propriedades da própria inulina, que possui um elevado número de grupos hidrofílicos, promovendo a interação com a água. Sua estrutura, composta por uma cadeia principal de unidades de frutose com uma unidade de glicose terminal, favorecem a solubilidade em água (SAÉNZ et al., 2009).

Foi possível ajustar modelos matemáticos que predizem o comportamento da variável molhabilidade para as diferentes temperaturas testadas, conforme mostrado na Tabela 19 e Figura 8.

Tabela 19: Efeito da temperatura dentro de cada tipo de material encapsulante

Material	Modelo ajustado	R ²
Maltodextrina	$\hat{Y} = 57,8786 - 1,9295 T + 0,01680 T^2$	0,8971
Goma arábica	$\hat{Y} = 26,2152 - 0,6820 T + 0,005357 T^2$	0,9115
Inulina	$\hat{Y} = 8,5928 - 0,2807 T + 0,002395 T^2$	0,9645

\hat{Y} : molhabilidade; T: temperatura

Os elevados coeficientes de determinação (R²) encontrados para os três materiais informam que os modelos polinomiais de segundo grau foram apropriados para relacionar estas duas variáveis, podendo ser observado também na Figura 8.

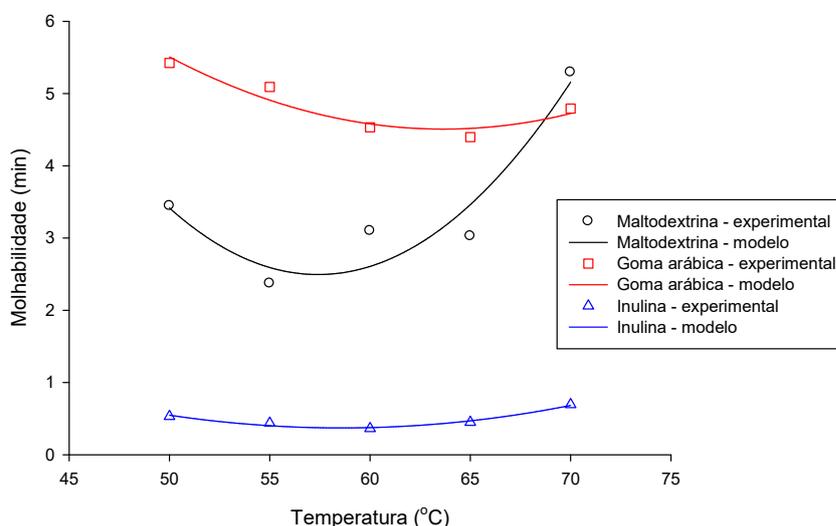


Figura 8: Molhabilidade (min) versus temperaturas, para pós obtidos com maltodextrina, goma arábica e inulina

A instantaneidade e melhoria da molhabilidade de produtos em pó são fatores importantes para a qualidade do produto final, sendo características que podem ser otimizadas com a escolha da correta técnica de secagem e variações nos

parâmetros de secagem. Esta característica dos produtos em pó é afetada por diversos fatores, como a composição química do alimento, fatores físicos envolvidos na análise, microestrutura das partículas e temperatura da água de reconstituição (MATTOS, 2012; TONON, 2009).

De posse dos resultados apresentados, sugere-se a utilização da inulina como agente encapsulante caso o objetivo do microencapsulamento seja uma rápida liberação do núcleo da microcápsula (composto bioativo, por exemplo) no meio de dispersão, dado que este material favorece a molhabilidade e possui alta solubilidade em água. Caso o objetivo do microencapsulamento seja a liberação mais lenta do composto (por exemplo, maior retenção de pigmentos, liberação de compostos ao longo do processamento ou vida de prateleira), recomenda-se a utilização de materiais de parede que possuam menor solubilização em água, como a goma arábica e maltodextrina, que no presente estudo, apresentaram maiores tempos de molhamento.

3.3.6 Atividade de água

Verificou-se que a interação entre os dois fatores foi significativa ($p < 0,05$) (Tabela 20), fazendo-se necessário realizar o desdobramento de um fator dentro do outro, uma vez que estes atuam em conjunto.

Tabela 20: ANOVA para a atividade de água

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	P
Temperatura	4	0,038811	0,009703	8,953*	0,000070
Material	2	0,046634	0,023317	21,515*	0,000002
Temp x Mat	8	0,081765	0,010221	9,431*	0,000002
RESÍDUO	30	0,032513	0,001084		
TOTAL	44	0,199723			

*: Significativo ($p < 0,05$)

As Tabelas 21 e 22 apresentam o desdobramento dos fatores material e temperatura na atividade de água dos pós.

Tabela 21: Efeito do tipo de material encapsulante dentro de cada temperatura na atividade de água dos pós

Temperatura/ Material	50 °C	55 °C	60 °C	65 °C	70 °C
Maltodextrina	0,348a	0,467a	0,473a	0,418a	0,303 ^a
Goma arábica	0,295a	0,294b	0,438a	0,399a	0,359a
Inulina	0,331a	0,298b	0,307b	0,326a	0,354a

Médias seguidas pela mesma letra, dentro de uma mesma coluna, não diferiram entre si ($p > 0,05$) pelo teste de Tukey.

De acordo com o teste de Tukey, verifica-se que nas temperaturas de 50, 65 e 70 °C, as médias não diferiram entre si. Para as temperaturas intermediárias, 55 e 60 °C, a maltodextrina foi o material que proporcionou maiores médias de atividade de água para os pós, iguais a 0,467 e 0,473, respectivamente, embora em 60 °C, este valor não tenha se diferenciado para a atividade de água dos pós obtidos com goma arábica (0,438). Objetiva-se valores de atividade de água na faixa de 0,200 a 0,400, na qual, segundo Araujo (2015), a estabilidade de alimentos desidratados é considerada alta. Nesta região, dispensa-se o uso de conservantes para controlar o crescimento microbiano e a qualidade do produto não é afetada pelas reações de escurecimento não-enzimático.

Por meio da análise de regressão, foi possível ajustar um modelo para prever o comportamento da atividade de água para cada material testado. A Tabela 22 apresenta os modelos ajustados e o valor de R^2 .

Tabela 22: Efeito da temperatura dentro de cada tipo de material encapsulante

Material	Modelo ajustado	R^2
Maltodextrina	$\hat{Y} = - 4,7965 + 0,1786 T - 0,001511 T^2$	0,9866
Goma arábica	$\hat{Y} = - 2,5663 + 0,09406 T - 0,0007452 T^2$	0,6363
Inulina	$\hat{Y} = 1,5643 - 0,04348 T + 0,0003748 T^2$	0,9360

\hat{Y} : atividade de água; T: temperatura

Os elevados coeficientes de determinação (R^2) encontrados para maltodextrina e inulina informam que mais de 90% da variação da atividade de água é proveniente da variação da temperatura, podendo-se considerar que os modelos polinomiais de segundo grau foram apropriados para relacionar estas duas variáveis.

3.3.7 Umidade

Verificou-se que todas as fontes de variação (temperatura, material e interação) exerceram influência significativa na umidade dos pós (Tabela 23), fato também observado para atividade de água.

Tabela 23: ANOVA para a umidade

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	p
Temperatura	4	6,147	1,537	3,597*	0,016441
Material	2	9,708	4,854	11,362*	0,000212
Temp x Mat	8	9,793	1,224	2,865*	0,017099
RESÍDUO	30	12,817	0,427		
TOTAL	44	38,465			

*: Significativo ($p < 0,05$)

Sendo a interação entre os fatores significativa, foi necessário realizar o desdobramento de um fator dentro do outro, mostrado nas Tabelas 24 e 25.

Tabela 24: Efeito dos materiais dentro de cada temperatura na umidade dos pós

Temperatura/ Material	50 °C	55 °C	60 °C	65 °C	70 °C
Maltodextrina	4,68a	5,62a	5,35a	5,77a	4,95a
Goma arábica	5,49ab	5,08a	6,74a	6,07a	4,41a
Inulina	7,30b	6,22a	6,43a	6,00a	5,89a

Médias seguidas pela mesma letra, dentro de uma mesma coluna, não diferiram entre si ($p > 0,05$) pelo teste de Tukey.

De acordo com a Tabela 24, somente na temperatura de 50 °C as médias diferiram entre si, sendo a inulina, o material que proporcionou maior umidade nos pós (7,30%), embora este valor não se diferencie da umidade encontrada para o pó com goma arábica (de 5,49%), na mesma temperatura de secagem (50 °C).

Tabela 25: Efeito da temperatura dentro de cada tipo de material encapsulante

Material	Modelo ajustado	R ²
Maltodextrina	$\hat{Y} = - 24,2317 + 0,9835 T - 0,00803 T^2$	0,7407
Goma arábica	$\hat{Y} = - 41,8483 + 1,6267 T - 0,01375 T^2$	0,5584
Inulina	$\hat{Y} = 23,1006 - 0,5028 T + 0,003681 T^2$	0,8279

\hat{Y} : umidade; T: temperatura

De acordo com a Tabela 25, observou-se que foi possível ajustar os modelos polinomiais de segundo grau para os três materiais testados. O maior coeficiente de determinação foi obtido para a inulina, informando que 82,79% da variação da umidade dos pós obtidos com esse material é devido à variação da temperatura.

3.3.8 Diferença global de cor (ΔE)

Para a diferença global de cor, os fatores isolados bem como a interação entre eles não apresentou resultado significativo (Tabela 26). Isto indica que a temperatura de secagem e os diferentes materiais testados não influenciaram na variação da cor dos pós obtidos com os diferentes tratamentos, em relação ao extrato antes de ser atomizado.

Tabela 26: ANOVA para a diferença global de cor

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	<i>p</i>
Temperatura	4	5,3064	1,3266	0,7257 ^{ns}	0,581347
Material	2	2,3867	1,1933	0,6528 ^{ns}	0,527819
Temp x Mat	8	13,7581	1,7198	0,9408 ^{ns}	0,498617
RESÍDUO	30	54,8403	1,8280		
TOTAL	44	76,2915			

^{ns}: Não significativo ($p > 0,05$)

A diferença entre a cor do extrato antes de ser atomizado e a cor do extrato obtido pela reconstituição dos pós pode ser descrita pela distância total entre as duas cores no espaço de cor tridimensional CIElab. Segundo Obón et al. (2009), existe uma diferença de cor evidente entre duas amostras, quando o ΔE é maior que 5, fato que não foi observado (Tabela 27), ou seja, o processo de secagem contribuiu para manutenção da cor em relação ao extrato antes de ser atomizado.

Tabela 27: Diferença global de cor entre os extratos e os pós reconstituídos para os três materiais

Material/ Resposta	Maltodextrina	Goma arábica	Inulina
ΔE	3,13	2,88	3,44
Desvio padrão	0,64	1,52	1,60

3.4 Otimização simultânea das respostas – Desejabilidade

Visto que as condições ótimas para as variáveis resposta são distintas, procedeu-se à técnica de otimização simultânea das variáveis resposta por meio da função desejabilidade (DERRINGER; SUICH,1980), com o objetivo de se obter a melhor condição de atomização, utilizando as respostas consideradas mais importantes. Dessa forma, maximizou-se as variáveis respostas (1) retenção de antocianinas, (2) conteúdo fenólico total e (3) atividade antioxidante, enquanto (4) higroscopicidade e (5) molhabilidade foram minimizadas. Os valores das respostas, \hat{y}_i , foram estimados usando os modelos de regressão ajustados ou os valores médios quando o efeito temperatura foi não significativo, ou quando não foi possível ajustar nenhum modelo (Tabela 28).

Tabela 28: Equações usadas para cada variável resposta

Material	Variável resposta	Equação
Maltodextrina	Ret.Antocianinas (%)	$\hat{Y} = \bar{Y} = 74,56$
	Fenólicos (mg AGE.100g ⁻¹)	$\hat{Y} = \bar{Y} = 234,20$
	Antioxidante (mMTrolox.g ⁻¹)	$\hat{Y} = 304,46 - 7,056 T + 0,0420 T^2$
	Atividade de água	$\hat{Y} = -4,7965 + 0,1786 T - 0,001511 T^2$
	Higroscopicidade (%)	$\hat{Y} = \bar{Y} = 13,07$
	Molhabilidade (min)	$\hat{Y} = 57,8786 - 1,9295 T + 0,001680 T^2$
Goma arábica	Ret.Antocianinas (%)	$\hat{Y} = \bar{Y} = 82,37$
	Fenólicos (mg AGE.100g ⁻¹)	$\hat{Y} = \bar{Y} = 203,07$
	Antioxidante (mMTrolox.g ⁻¹)	$\hat{Y} = \bar{Y} = 34,02$
	Atividade de água	$\hat{Y} = -2,5663 + 0,09405 T - 0,0007452 T^2$
	Higroscopicidade (%)	$\hat{Y} = -26,35 + 1,54 T - 0,014 T^2$
	Molhabilidade (min)	$\hat{Y} = 26,2152 - 0,6820 T + 0,005357 T^2$
Inulina	Ret. Antocianinas (%)	$\hat{Y} = 59,00$
	Fenólicos (mg AGE.100g ⁻¹)	$\hat{Y} = \bar{Y} = 187,67$
	Antioxidante (mMTrolox.g ⁻¹)	$\hat{Y} = 48,273 - 0,6742 T + 0,008786 T^2$
	Atividade de água	$\hat{Y} = 1,5643 - 0,04348 T + 0,0003748 T^2$
	Higroscopicidade (%)	$\hat{Y} = 15,77 - 0,024 T$
	Molhabilidade (min)	$\hat{Y} = 8,5928 - 0,2807 T + 0,002395 T^2$

\hat{Y} : Variáveis resposta; \bar{Y} : média; T: temperatura

Nesse trabalho utilizou-se uma função desejabilidade linear ($r_i = 1 \forall i$). Os valores T_i (valor desejado ou alvo), U_i e L_i (valores mínimo e máximo desejado) considerados para cada variável resposta foram determinados por valores estatísticos. Foi calculado um valor delta para cada variável resposta (Δ = valor máximo – valor mínimo), sendo subtraído ou somado aos valores encontrados experimentalmente, de modo a definir uma faixa que garantisse que algum tratamento obtivesse máxima desejabilidade ($d_i = 1$) e nenhum tratamento obtivesse desejabilidade nula ($d_i = 0$) (Tabela 29).

Tabela 29: Parâmetros da função desejabilidade individual para cada variável resposta – valores alvos e mínimos

Variável resposta	T_i	L_i	U_i
Retenção de antocianinas (%)	80,03	56,66	-
Fenólicos (mg AGE.100 g ⁻¹)	229,55	183,02	-
Ativ. Antiox. (mMTrolox. g ⁻¹)	70,54	29,96	-
Higroscopicidade (%)	13,49	-	17,73
Molhabilidade (min)	0,87	-	5,57

Ti: valores alvo; Li: valores mínimos para as respostas que serão maximizadas, Ui: valores máximos para as respostas que serão minimizadas

A partir dos valores das desejabilidades individuais, calculou-se o valor da desejabilidade global, D . As condições ótimas foram as que obtiveram os valores máximos de desejabilidade global. Os valores máximos obtidos para a desejabilidade global, dentro da região experimental, estão representados na Tabela 30, sendo essas condições escolhidas para realizar as análises de morfologia das microcápsulas (itens 3.5 e 3.6).

Tabela 30: Valores de desejabilidade global e temperatura correspondente, para cada material testado

Agente encapsulante	Desejabilidade global	Temperatura
Maltodextrina	0,8540	50 °C
Goma arábica	0,3729	70 °C
Inulina	0,3133	70 °C

De posse da otimização simultânea das respostas, verificou-se que a condição que possibilitou maior desejabilidade (0,8540) foi quando utilizou-se o material maltodextrina, à temperatura do ar de saída de 50 °C. A Figura 9 apresenta a desejabilidade global como função da temperatura para os três tipos de materiais.

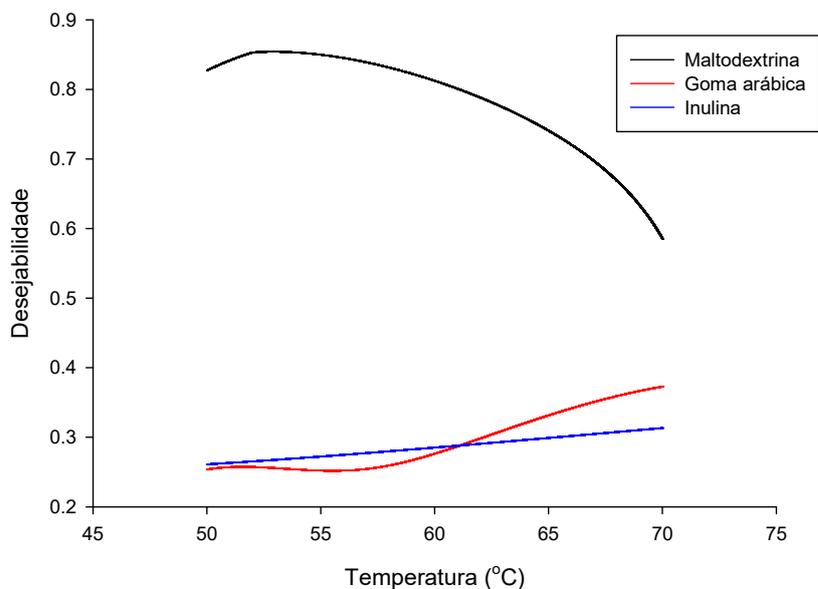


Figura 9: Desejabilidade global *versus* temperatura para os três tipos de materiais testados.

Bakowska-Barczak e Kolodziejczyk (2011), ao microencapsular extrato de groselha preta com maltodextrina (diferentes DEs) e inulina, também observaram melhores resultados ao utilizar maltodextrina como material de parede.

Bicudo (2014) avaliou o microencapsulamento de antocianinas de jussara com maltodextrina, goma arábica e inulina isolados, constatando através da análise de superfície de resposta, que a temperatura ótima de secagem visando a maior concentração de antocianinas foi entre 147 e 165 °C do ar de entrada, para todos os materiais testados. Levando em consideração a variação entre os equipamentos, pode-se dizer que estas temperaturas aproximam-se às temperaturas ótimas encontradas para este trabalho.

No equipamento utilizado neste trabalho, a temperatura do ar de entrada equivalente à temperatura de saída estabelecida em 50 °C foi de aproximadamente 136 °C. Já para a temperatura de saída de 70 °C, a de entrada equivalente foi de

aproximadamente 179 °C, conforme apresentado na Tabela 3 e pode ser visualizado na Figura 10-B.

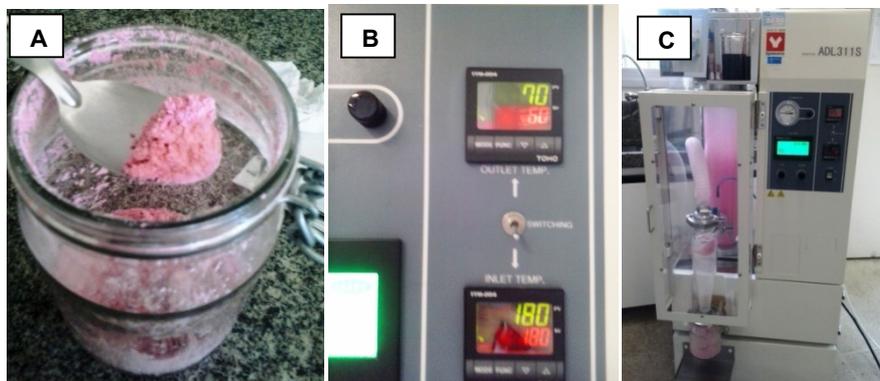


Figura 10: Microcápsulas de antocianinas de jussara com agente encapsulante maltodextrina (A). Spray dryer operando com temperaturas de 70 °C de saída e 180 °C de entrada (B). Spray dryer Yamato durante processo de secagem (C).

3.5 Microscopia eletrônica de varredura

A análise estrutural das microcápsulas provenientes dos experimentos de otimização foi realizada por meio da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). É interessante aplicar esta técnica, uma vez que pode ser utilizada para selecionar materiais de parede potenciais para uma microencapsulação específica, além de fornecer informações que podem ser recolhidas ou confirmadas por meio de outras análises (ROSENBERG; KOPELMAN; TALMON, 1985).

As micrografias dos pós obtidos com maltodextrina a 50 °C, com goma arábica a 70 °C e inulina a 70 °C estão apresentadas nas Figuras 11, 12 e 13, respectivamente. Observou-se que todas as partículas apresentaram formato esférico, que é característico dos pós obtidos por secagem em spray dryer.

As microcápsulas obtidas com maltodextrina apresentaram morfologias semelhantes, predominantemente lisas e esféricas (Figura 11).

Pela imagem 11-A, percebe-se que as partículas ficaram um pouco “amontoadas” devido à quantidade de amostra disposta nos *stubs*, no entanto, é possível distinguir cada cápsula, indicando que não ficaram aglomeradas. As rachaduras visualizadas principalmente na magnificação de 10000 x podem ser provenientes da metalização a vácuo, quando as partículas são cobertas por uma fina camada de ouro que pode não ter ocorrido de forma regular em toda a

superfície. Os espaços negros visualizados na mesma imagem (D) indicam a presença da fita de carbono e da ausência da camada de ouro.

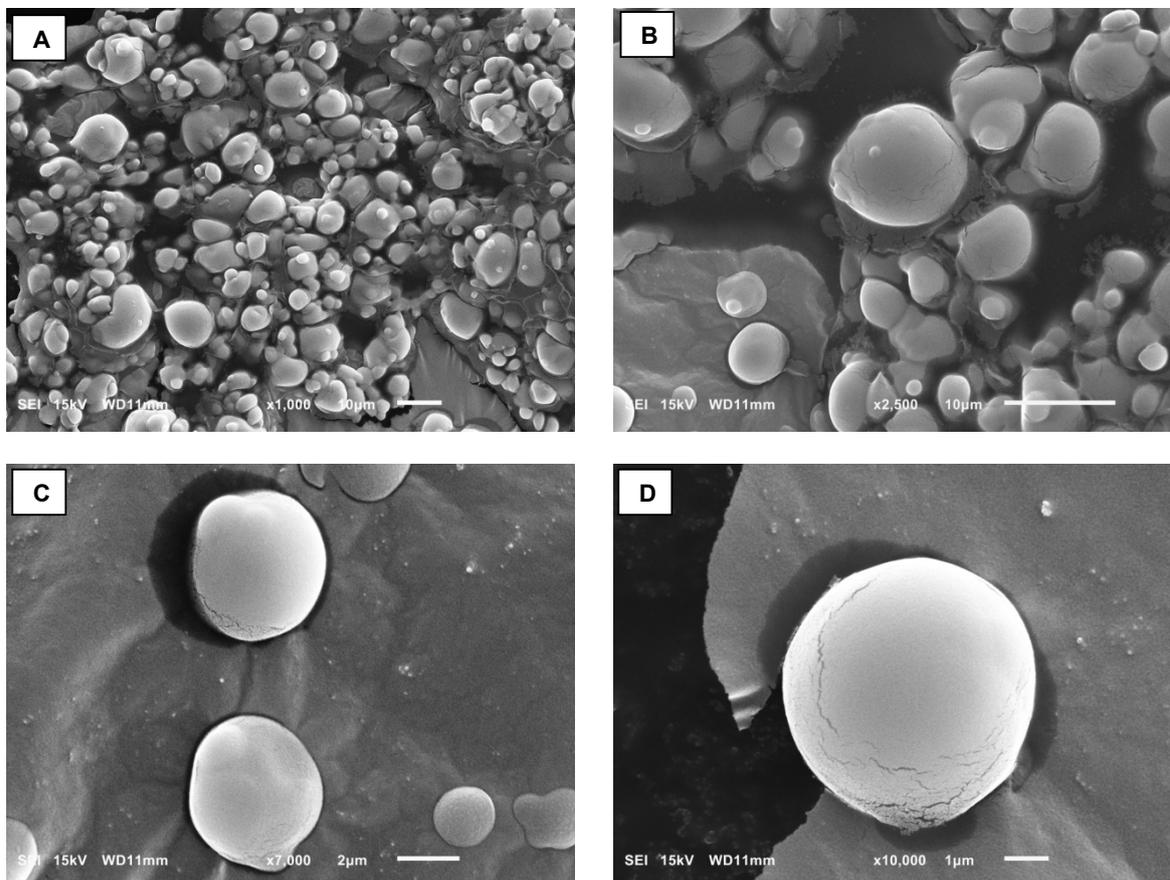


Figura 11: Micrografias das microcápsulas provenientes de extrato de jussara e agente maltodextrina, submetidos à secagem em spray dryer com temperatura de saída de 50 °C. Magnificação de 1000 vezes (A), 2500 vezes (B), 7000 vezes (C) e 10000 vezes (D).

Com relação ao tamanho das microcápsulas, foi observado principalmente nas imagens 11-A e B, um tamanho médio menor que 10 μm , o que caracteriza o processo como “micro”, devido a formação de cápsulas no tamanho dentro do limite de 0,2 a 5000 μm (BARROS; STRINGHETA, 2006). A adição de partículas grandes em matrizes alimentícias pode afetar a textura do alimento no qual foi incorporado, dessa forma, partículas com diâmetros menores que 100 μm são as mais indicadas (ANNAN et al., 2008).

As micrografias do presente estudo assemelham-se a algumas características relatadas por demais autores. Bicudo (2014), ao analisar as microcápsulas obtidas

de extrato de jussara com maltodextrina por MEV, observou partículas esféricas com paredes contínuas e superfícies externas levemente encolhidas, além de uma pequena aglomeração das partículas menores às cápsulas de maior diâmetro, conforme também observado na Figura 11-A deste trabalho.

Ibrahim Silva et al. (2013) observaram que dentre os agentes encapsulantes testados, a maltodextrina foi o que proporcionou a formação de cápsulas mais homogêneas e com menos rugas na superfície, características facilmente observadas em todas as micrografias deste trabalho, o que caracteriza um processo de microencapsulamento mais perfeito (BARROS; STRINGHETA, 2006), que pode representar melhores características de escoamento do material.

As micrografias das microcápsulas obtidas com goma arábica estão apresentadas na Figura 12.

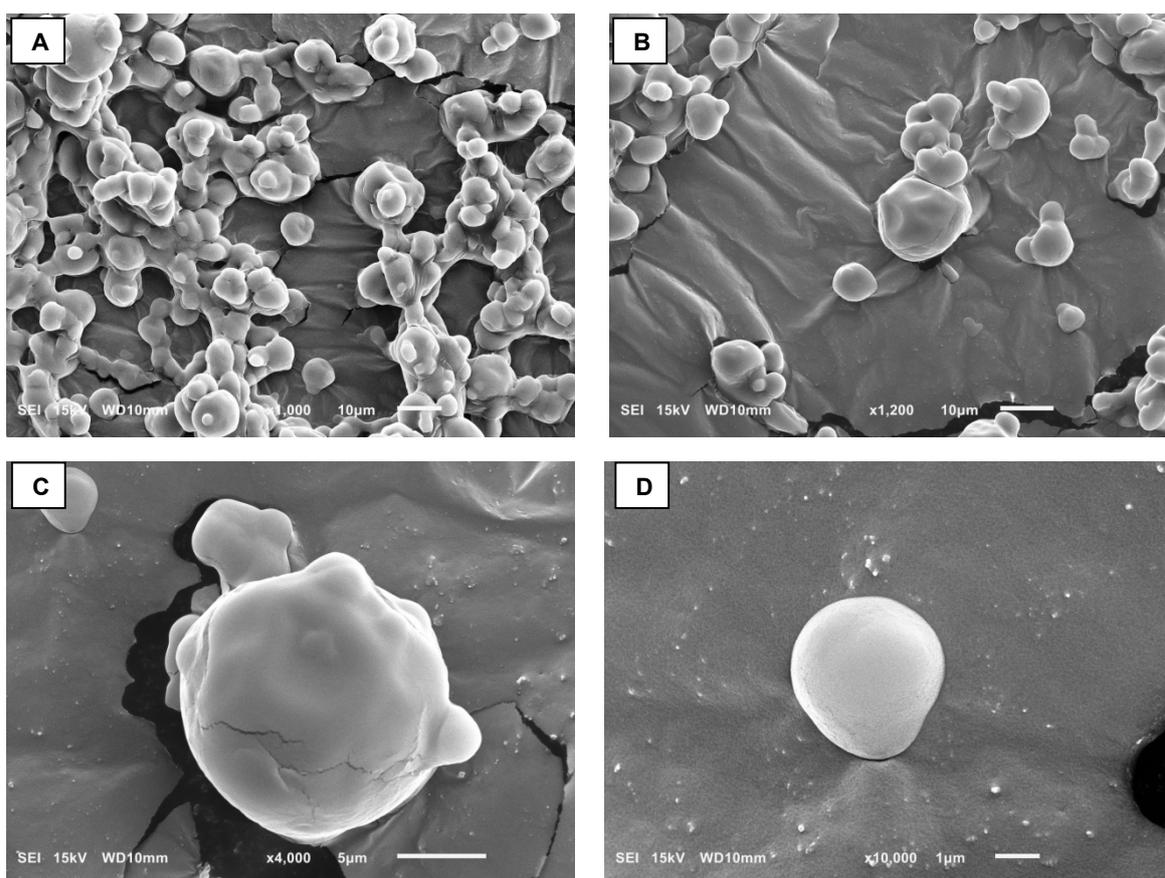


Figura 12: Micrografias das microcápsulas provenientes de extrato de jussara e agente goma arábica, submetidos à secagem em spray dryer com temperatura de saída de 70 °C. Magnificação de 1000 vezes (A), 1200 vezes (B), 4000 vezes (C) e 10000 vezes (D).

Observou-se a presença de microcápsulas com morfologia esférica predominante, lisas e com algumas reentrâncias. Pelas imagens A e B, percebe-se que existe uma forma de ligação entre as cápsulas, representando uma sutil aglomeração. Quanto ao tamanho, as cápsulas continuam caracterizadas na escala “micro”, apresentando um diâmetro por volta de 10 a 20 μm .

Assim como para maltodextrina, foi possível observar a adesão de pequenas esferas à superfície daquelas de maior diâmetro, conforme também verificado por Bernstein e Noreña (2015), ao microencapsular antocianinas de repolho roxo com goma arábica. Os autores também verificaram superfícies rugosas e concavidades, sugerindo a contração das esferas devido à rápida evaporação de água durante o processo de secagem e posterior resfriamento. Estas concavidades podem ser melhores observadas nas imagens C e D, deste estudo.

Tonon (2009) observou superfícies de microcápsulas de suco de açaí com alta rugosidade quando foi utilizada baixa temperatura de secagem (138 °C de entrada), e ao utilizar temperatura mais alta (202 °C de entrada), encontrou superfícies mais lisas. Isto indica que o aumento da temperatura favoreceu a obtenção de cápsulas com superfícies mais lisas, sendo mais interessante. No presente trabalho, para goma arábica, foi utilizada temperatura do ar de saída igual a 70 °C, valor equivalente a aproximadamente 180 °C de entrada. Esta elevada temperatura pode ser uma explicação para a presença de algumas reentrâncias nas microcápsulas.

As fotomicrografias das microcápsulas obtidas com inulina estão apresentadas na Figura 13. Observou-se que as superfícies destas microcápsulas apresentaram características bem diferentes das produzidas com os demais materiais testados.

A superfície altamente rugosa foi decorrente de uma característica já identificada nesses pós, a alta molhabilidade (item 3.3.5), sendo novamente comprovada pela MEV. Ao entrar em contato com a cola da fita de carbono disposta nos *stubs* para metalização, a amostra solubilizou instantaneamente, e ainda, sendo a metalização feita a vácuo, pode ter ocorrido a retirada de umidade da amostra, contribuindo para o enrugamento da cápsula, que perdeu parcialmente a sua conformação. Segundo Rosenberg, Kopelman e Talmon (1985), a superfície rugosa das partículas tem um efeito adverso sobre as propriedades de escoamento dos

produtos em pó. Assim, devem ser preferidas as condições do processo que eliminem ou minimizem a formação dessa rugosidade.

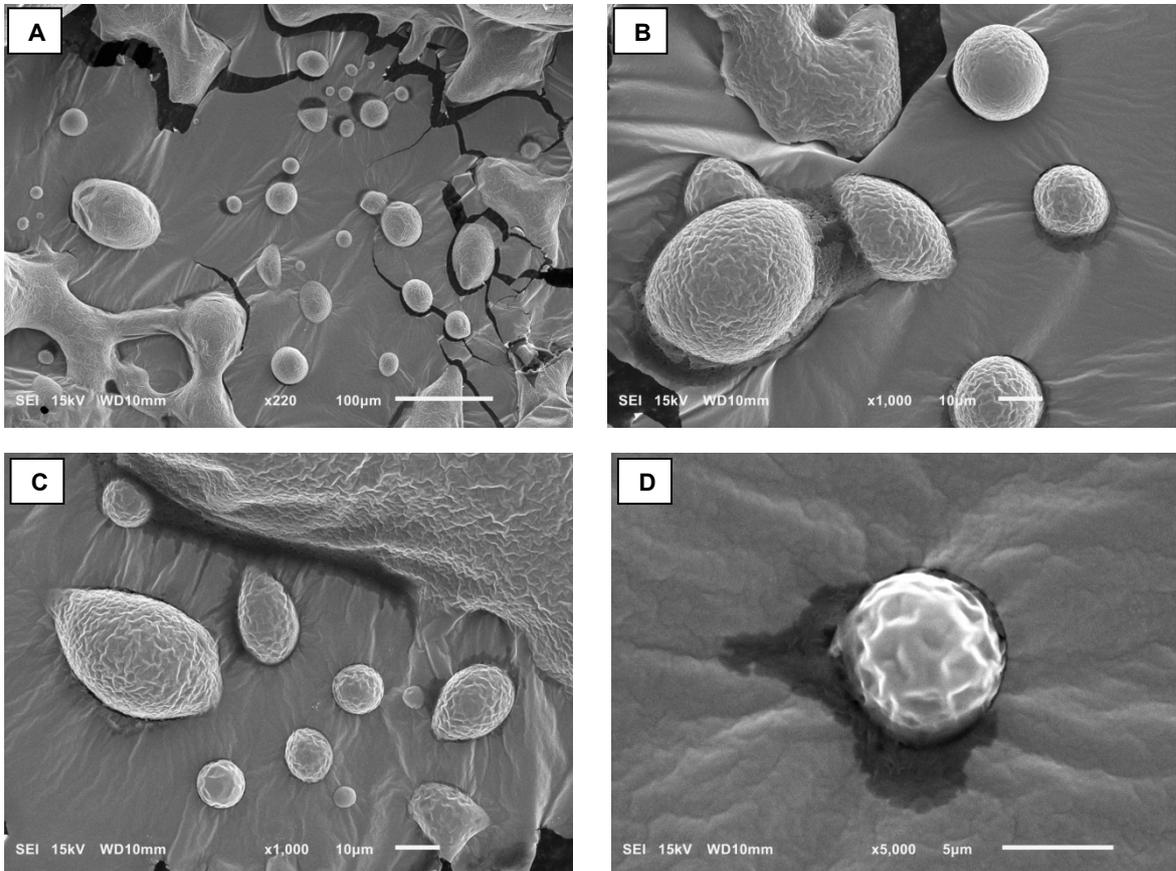


Figura 13: Micrografias das microcápsulas provenientes de extrato de jussara e agente inulina, submetidos à secagem em spray dryer com temperatura de saída de 70 °C. Magnificação de 220 vezes (A), 1000 vezes (B, C) e 5000 vezes (D).

Em demais trabalhos envolvendo a microencapsulação de compostos bioativos, foi comumente observada a utilização de agentes encapsulantes combinados, uma vez que, dificilmente um material isolado apresenta todas as propriedades desejadas. Fernandes et al. (2014) obtiveram bons resultados ao utilizar inulina combinada com amido modificado para o microencapsulamento de óleo essencial de alecrim, concluindo que a inulina é uma alternativa de agente encapsulante para a produção de alimentos com alegações funcionais.

Dessa forma, sugere-se a utilização da inulina combinada com demais materiais, como uma forma de aumentar a possibilidade de desenvolvimento de novas formulações de encapsulantes.

3.6 Difração de Raios-X

A difração de Raios-X é uma técnica que permite avaliar a característica amorfa ou cristalina de pós, e foi realizada nas microcápsulas provenientes dos experimentos de otimização. Esta técnica tem sido utilizada para confirmar a encapsulação dos compostos de interesse, sendo comum apresentar os difratogramas dos encapsulados, demonstrando o perfil amorfo das microcápsulas. No entanto, torna-se importante também avaliar o padrão da molécula hóspede (neste caso, as antocianinas), com o objetivo de avaliar o perfil cristalino da molécula (RUTZ, 2013).

Na Figura 14, estão apresentados os difratogramas dos pós obtidos com maltodextrina, goma arábica e inulina. Na tentativa de se avaliar o padrão cristalino do pigmento com menor interferência do agente encapsulante, foi preparado um pó diferenciado, ao utilizar extrato concentrado e maltodextrina na proporção de 1:1 (Figura 14 - “Antocianina”).

Em difratogramas de Raios-X, a cristalinidade das amostras é caracterizada pela forma apresentada pelos picos (intensidade ou altura, e largura). De posse do difratograma, observou-se que todas as amostras avaliadas apresentaram estrutura cristalina muito semelhante à do equipamento sem as amostras (tara), denominado “*Background*”. Dessa forma, concluiu-se que nenhum dos materiais testados (maltodextrina, goma arábica e inulina) contribuíram com picos de difração, demonstrando um pó com estrutura basicamente amorfa em todas as amostras. Devido ao processo de secagem utilizado, este resultado já era esperado, como comentado a seguir. Observou-se também, que todas as amostras apresentaram picos com mesma largura, tendendo à intensidade constante a partir do ângulo 30 °.

Segundo Alves e Santana (2004), a presença de picos mais estreitos indica estrutura mais cristalina, enquanto picos largos ou pequenos indicam a predominância de estrutura amorfa. Estes autores, ao trabalharem com o microencapsulamento por spray dryer de partículas lipídicas com variação das condições operacionais, observaram a presença de picos com diferentes intensidades, mas similares em largura, concluindo que a taxa de fluxo do líquido e a concentração de lipídeos na amostra aparentemente afetou a cristalinidade das amostras.

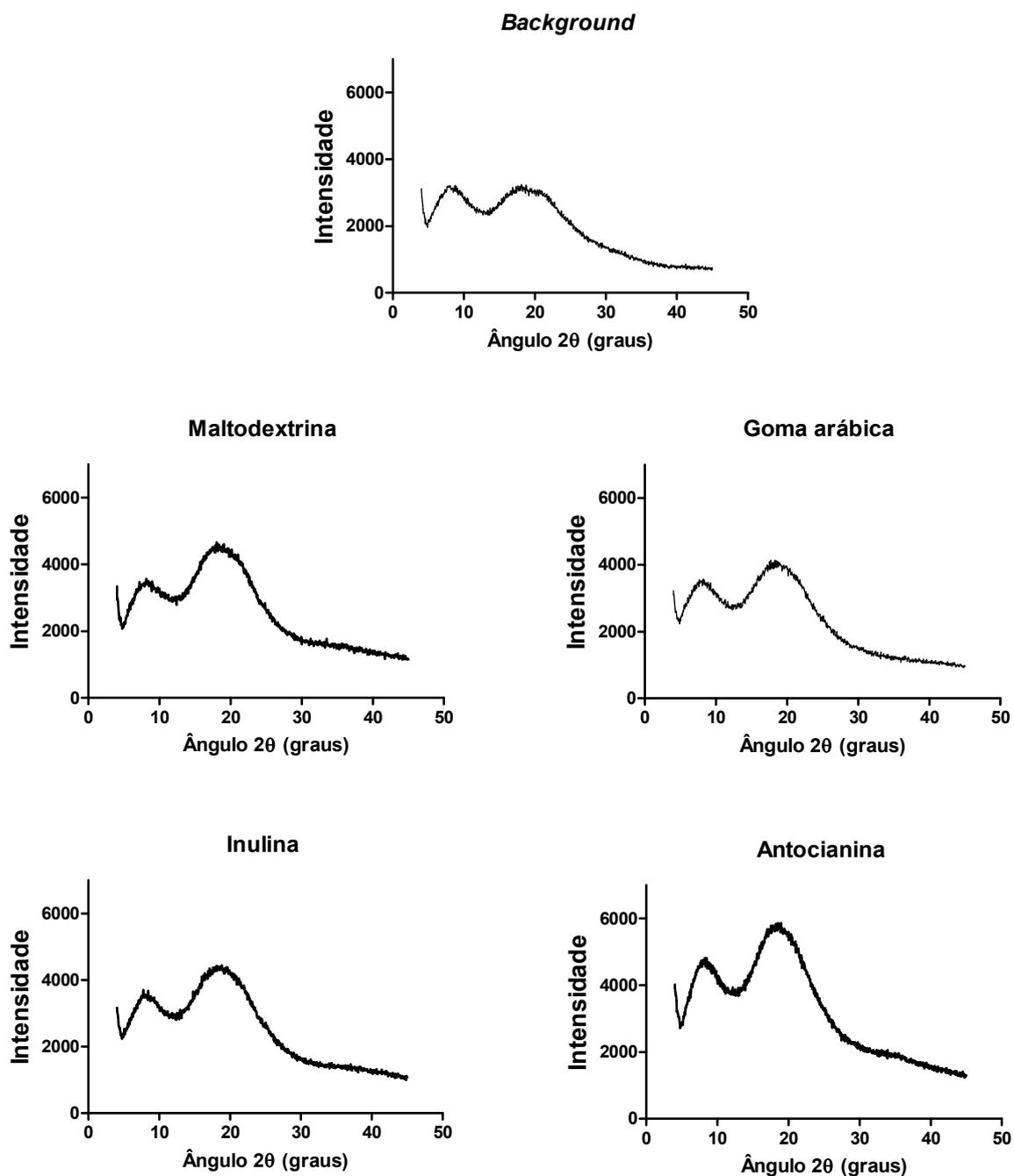


Figura 14: Difrátogramas das microcápsulas

A intensidade dos picos obtidos nas microcápsulas de antocianina com menor interferência do agente encapsulante (“Antocianina”) foi superior à intensidade dos picos nos encapsulados, conforme também observado por Rutz (2013). A formação de complexos pode ser avaliada pela comparação da intensidade dos picos característicos da molécula de interesse com a intensidade dos picos apresentados

no complexo. A diminuição dos picos pode representar uma complexação parcial (RUTZ, 2013; TAKAHASHI, 2009).

Landim (2008), ao realizar a análise com microcápsulas de antocianina e urucum observou a presença de picos característicos dos agentes encapsulantes e outros atribuídos aos pigmentos, evidenciando uma interação entre os compostos. No presente trabalho, a microcápsula de “*Antocianina*” apresentou picos com maior intensidade, porém muito semelhante aos demais difratogramas, evidenciando assim, a interação do agente encapsulante com a molécula hóspede e a formação de complexos.

No processo de secagem por pulverização (spray dryer), os efeitos sobre a cristalinidade parecem ser uma consequência das características de atomização (como o curto de secagem e a viscosidade da solução) uma vez que a amostra é seca instantaneamente, o tempo é insuficiente para a formação dos picos. Além disso, os materiais de parede utilizados apresentam características amorfas, assim, a presença de estruturas amorfas já era esperada no presente trabalho, como observado por demais autores (ALVES; SANTANA, 2004; AZEREDO, 2005; LANDIM, 2008; RUTZ, 2013).

4. CONCLUSÃO

Este trabalho demonstrou a possibilidade de extração e microencapsulamento de antocianinas da polpa de jussara (*Euterpe edulis* Martius) com diferentes agentes encapsulantes e temperaturas de secagem do ar de saída (50 a 70 °C) por spray dryer. Esta técnica demonstrou ser adequada para a obtenção de pigmentos naturais microencapsulados, conferindo-lhes proteção e estabilidade.

A otimização simultânea das respostas permitiu escolher os melhores tratamentos para obtenção do pó com características desejáveis. Levou-se em consideração as respostas retenção de antocianinas, conteúdo fenólico total, atividade antioxidante, higroscopicidade e molhabilidade, e constatou-se que as microcápsulas obtidas com maltodextrina 10DE e temperatura do ar de saída do spray dryer de 50 °C, e goma arábica e inulina a 70 °C foram as que apresentaram

os melhores resultados, sendo que o tratamento com maltodextrina apresentou a maior desejabilidade (0,85).

Sugere-se a utilização de maltodextrina ou goma arábica caso o objetivo do microencapsulamento seja a liberação controlada do composto, e a utilização de inulina caso o objetivo seja uma rápida liberação do composto, dada a alta molhabilidade apresentada por este material.

A aplicação da MEV comprovou a eficiência do microencapsulamento, ao observar cápsulas esféricas com tamanho uniforme, enquanto a difração de Raios-X demonstrou a estrutura amorfa das microcápsulas.

Para futuros trabalhos, sugere-se o estudo de combinações de agentes encapsulantes no microencapsulamento de antocianinas e demais pigmentos naturais, além da utilização de novas técnicas de microencapsulamento.

5. REFERÊNCIAS

ALVES, G. P.; SANTANA, M. H. A. Phospholipid dry powders produced by spray drying processing: Structural, thermodynamic and physical properties. **Powder Technology**, v. 145, n. 2, p. 139–148, 2004.

ANNAN, N. T.; BORZA, A. D.; HANSEN, L. T. Encapsulation in alginate-coated gelatin microspheres improves survival of the probiotic *Bifidobacterium adolescentis* 15703T during exposure to simulated gastro-intestinal conditions. **Food Research International**, v. 41, n. 2, p. 184–193, 2008.

ARAUJO, J. M. A. **Química de alimentos - teoria e prática**. Viçosa: Editora UFV, 2015, 668 p., 28 cm. ISBN 978-85-7269-520-6.

AZEREDO, H. M. C. Encapsulação: aplicação à tecnologia de alimentos. **Alimentos e Nutrição Araraquara**, v. 16, n. 1, p. 89–97, 2005.

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

BARROS, F. A. R. D.; STRINGHETA, P. C. Microencapsulamento de antocianinas. **Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento**, v. 36, p. 18–24, 2006.

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. December, p. 1–9, 2015.

BICUDO, M. O. P. **Composição fenólica, atividade antioxidante e microencapsulação de frutos de juçara (*Euterpe edulis*): Aspectos de interesse para a indústria de alimentos**. 2014. 143 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

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.

CONSTANT, P. B. L.; STRINGHETA, P. C.; SANDI, D. Corantes alimentícios. **Boletim CEPPA**, v. 20, p. 203–220, 2002.

CURSI, P. R. **Processamento da polpa de frutos e qualidade fisiológica de sementes de Euterpe edulis Martius**. 2013. 62 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

DERRINGER, G.; SUICH, R. Simultaneous optimization of several response variables. **Journal of Quality Technology**, v. 12, n. 4, p. 214–219, 1980.

DITCHFIELD, C. **Estudos dos métodos para a medida da atividade de água**. 2000. 195 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

FERNANDES, R. V. D. 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, n. 1, p. 524–532, 2014.

FERRARI, C. C.; RIBEIRO, C. P.; AGUIRRE, J. M. DE. 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.

FRANCIS, F. J. Analysis of anthocyanins in foods. **Anthocyanins as Food Colors**, [P Markakis, editor]. **Academic Press**, p. 181–207, 1982.

GE, Q.; MA, X. Composition and antioxidant activity of anthocyanins isolated from Yunnan edible rose (*An ning*). **Food Science and Human Wellness**, v. 2, n. 2, p. 68–74, 2013.

GOMA ARÁBICA OU GOMA ACÁCIA: Um grande classico. **Aditivos e Ingredientes**, p. 30–35, [s.d.].

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

ISLAM, M. A.; SAKKAS, V.; ALBANIS, T. A. Application of statistical design of experiment with desirability function for the removal of organophosphorus pesticide from aqueous solution by low-cost material. **Journal of Hazardous Materials**, v. 170, p. 230–238, 2009.

LANDIM, E. M. C. **Obtenção, Caracterização E Avaliação Da Estabilidade De Pigmentos Naturais Microencapsulados**. 2008. 90 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.

LEES, D. H.; FRANCIS, F. J. Standardization of pigment analysis in Cranberries. **Hortiscience**, v. 7, p. 83–84, 1972.

LIMA, C. P.; CUNICO, M. M.; MIYAZAKI, C. M. S.; MIGUEL, O. G.; CÔCCO, L. C.; YAMAMOTO, C. I. ; MIGUEL, M. D. Conteúdo polifenólico e atividade antioxidante dos frutos da palmeira Juçara (*Euterpe edulis* Martius). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 14, p. 321–326, 2012.

MAHDAVI, S. A.; JAFARI, S. M.; GHORBANI, M.; ASSADPOOR, E. Spray-Drying Microencapsulation of Anthocyanins by Natural Biopolymers: A Review. **Drying Technology**, v. 32, n. 5, p. 509–518, 4 abr. 2014.

MATTOS, A. C. H. **Determinação da molhabilidade de materiais particulados na industria**

alimentícia. 2012. 29 f. Trabalho de conclusão de curso - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2012.

NACHTIGALL, A. M.; SILVA, A. G.; STRINGHETA, P. C.; SILVA, P. I.; BERTOLDI, M. C. Correlação entre métodos espectrofotométricos e colorimétricos na determinação da foto e termossensibilidade dos carotenoides de tomate. **Boletim CEPPA**, v. 27, n. 1, p. 11–18, 2009.

OBÓN, J. M.; CASTELLAR, M. R.; ALACID, M.; FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J. A. Production of a red-purple food colorant from *Opuntia stricta* fruits by spray drying and its application in food model systems. **Journal of Food Engineering**, v. 90, n. 4, p. 471–479, 2009.

PASSOS, A. P. S. **Antocianina obtida de fruto de palmeira juçara (*Euterpe edulis* Mart.): estabilização com maltodextrina e aplicação em alimentos**. 2011. 40 f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2011.

PESSOA, J. D. C.; TEIXEIRA, G. H. D. A. **Tecnologias para inovação nas cadeias Euterpe**. Brasília: Embrapa, 2012, 343 p., 16 cm. ISBN: 978-85-7035-089-3.

PRUDENCIO, I. D.; PRUDÊNCIO, E. S.; GRIS, E. F.; TOMAZI, T.; BORDIGNON-LUIZ, M. T. Petit suisse manufactured with cheese whey retentate and application of betalains and anthocyanins. **LWT - Food Science and Technology**, v.41, n.5, p.905–910, 2008.

ROBERT, P.; FREDES, C. The Encapsulation of Anthocyanins from Berry-Type Fruits. Trends in Foods. **Molecules**, v. 20, n. 4, p. 5875–5888, 2015.

ROSENBERG, M.; KOPELMAN, I. J. .; TALMON, Y. A Scanning Electron Microscopy Study of Microencapsulation. **Journal of Food Science**, v. 50, p. 139–144, 1985.

RUTZ, J. K. **Caracterização e microencapsulação de suco de pitanga roxa *Eugenia uniflora* L.** 2013. 107 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2013.

SAÉNZ, C.; TAPIA, S.; CHÁVEZ, J.; ROBERT, P. Microencapsulation by spray drying of bioactive compounds from cactus pear (*Opuntia ficus-indica*). **Food Chemistry**, v. 114, n. 2, p. 616–622, 2009.

SILVA, G. J. F.; CONSTANT, P. B. L.; FIGUEIREDO, R. W.; MOURA, S. M. Formulação e estabilidade de corantes de antocianinas extraídas das cascas de jabuticaba (*Myrciaria ssp.*). **Alimentos e Nutrição Araraquara**, v. 21, n. 3, p. 429–436, 2010.

TAKAHASHI, A. I. **Obtenção e caracterização de complexos binários e ternários de sinvastatina e ciclodextrinas**. 2009. 99 f. Dissertação (Mestrado em fármacos e medicamentos) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

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

TONON, R. V. **Secagem por atomização do suco de açai: Influência das variáveis de processo, qualidade e estabilidade do produto**. 2009. 212 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

VALDUGA, E.; LIMA, L. PRADO, R.; PADILHA, F. F.; TREICHEL, H. Extração, secagem por atomização e microencapsulamento de antocianinas do bagaço da uva “isabel” (*Vitis labrusca*). **Ciencia e Agrotecnologia**, v. 32, n. 5, p. 1568–1574, 2008.

VISSOTTO, F. Z.; MONTENEGRO, F. M.; SANTOS, J. M.; OLIVEIRA, S. J. R. Avaliação da

influência dos processos de lecitinação e de aglomeração nas propriedades físicas de achocolatado em pó. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 3, p. 666–671, 2006.

ZAIDEL, D. N. A.; SAHAT, N. S.; JUSOH, Y. M. M.; MUHAMAD, I. I. Encapsulation of Anthocyanin from Roselle and Red Cabbage for Stabilization of Water-in-Oil Emulsion. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**, v. 2, p. 82–89, 2014.

CAPÍTULO II

INCORPORAÇÃO DE ANTOCIANINAS DE JUSSARA (*Euterpe edulis* MARTIUS) MICROENCAPSULADAS EM SISTEMAS-MODELO DE BEBIDA LÁCTEA FERMENTADA E NÃO FERMENTADA

RESUMO

A cor é um atributo sensorial que exerce grande influência na aceitação de um produto, sendo necessário utilizar corantes para obter alimentos com cores atrativas. Os corantes sintéticos podem causar malefícios à saúde, sendo assim, os consumidores têm se interessado cada vez mais por produtos mais próximos ao natural e com propriedades funcionais. Neste contexto, as antocianinas, pigmentos encontrados no fruto da palmeira jussara (*Euterpe edulis* Martius), surgem como possível alternativa à substituição de corantes sintéticos aliado aos seus efeitos benéficos a saúde. Objetivou-se desenvolver sistemas-modelo alimentícios de bebida láctea fermentada e não fermentada adicionadas de antocianinas de jussara microencapsuladas com agente encapsulante maltodextrina por spray dryer, estudando a estabilidade do pigmento e do produto frente ao tempo e ao armazenamento em diferentes embalagens. Foi observado que o pH, a acidez total titulável e o teor de antocianinas mantiveram-se constantes ($p > 0,05$) para os dois tipos de bebidas armazenadas em embalagens opacas e transparentes, durante os 28 dias de armazenamento sob refrigeração. A atividade antioxidante (métodos ABTS e DPPH) e teor de compostos fenólicos foram significativamente afetados ($p < 0,05$) com relação ao tempo de armazenamento, à embalagem ou interação entre estes fatores, no entanto, não foi observado decaimento dos teores de compostos bioativos ao longo do tempo. A diferença global de cor (ΔE) entre as bebidas analisadas nos tempos 0 e 28 dias foi menor que 5, indicando uma pequena variação na cor, possivelmente imperceptível aos olhos humanos. Dessa forma, foi possível afirmar que a utilização de antocianinas microencapsuladas em sistemas-modelo de bebidas lácteas foi viável, indicando o uso potencial de pigmentos naturais microencapsulados em matrizes lácteas, contribuindo para o aumento do valor nutricional do produto com coloração atrativa.

Palavras-chave: corantes, antocianinas, lácteos, atividade antioxidante, fenólicos.

1. INTRODUÇÃO

A cor de um produto alimentício é uma das primeiras características sensoriais reconhecidas pelos consumidores, exercendo influência decisiva na aceitação e intenção de compra do consumidor. Assim, o setor alimentício busca a obtenção de produtos com aparência atrativa, utilizando-se da aplicação de corantes – artificiais ou naturais – que despertem o interesse dos consumidores (CONSTANT, 2003; KAIMAINEN et al., 2015).

Os corantes artificiais são comumente utilizados por fornecerem ampla gama de cores e alta estabilidade, contudo, pesquisas recentes demonstram a correlação entre o consumo de alguns aditivos artificiais e danos à saúde, como o desenvolvimento de processos alérgicos, possíveis efeitos cancerígenos (“Dossiê corantes”, 2009; POLÔNIO; PERES, 2009), hiperatividade em crianças (KAIMAINEN et al., 2015), efeitos toxicológicos (ROCHA, 2013) dentre outros. Além disso, os consumidores estão mais preocupados com a qualidade dos alimentos, levando a uma preferência por produtos naturais. Assim, a substituição de pigmentos sintéticos pelos naturais surge como uma alternativa viável, além de valorizar as propriedades funcionais atribuídas a estes corantes, como as antocianinas, estimulando pesquisadores a investigar a sua estabilidade e a desenvolverem novos produtos.

Existe um grande interesse na utilização de antocianinas como corante natural na indústria alimentícia (GE; MA, 2013) e uma fonte promissora deste pigmento é o fruto da palmeira jussara (*Euterpe edulis* Martius), nativa da Floresta Atlântica e utilizada comumente para a extração de palmito. O fruto possui coloração escura devido à grande presença de antocianinas, podendo ser utilizado como alimento funcional, devido à capacidade antioxidante (CURSI, 2013; LIMA et al., 2012). Segundo Leite (2015), a adição de antioxidantes naturais em produtos alimentícios vêm sendo estudada devido à possibilidade de substituição dos antioxidantes sintéticos, evitando-se assim reações oxidativas que afetam o valor nutricional e atributos sensoriais, no entanto, sua utilização ainda é dificultada devido à instabilidade frente a alguns fatores. Para viabilizar a utilização deste pigmento, a microencapsulação surge como uma alternativa para proteger o pigmento das condições adversas do processamento, promovendo maior estabilidade a fatores

como calor, luz, pH, oxigênio e aumentando, assim, sua vida útil (BARROS; STRINGHETA, 2006; RUTZ, 2013; ZAIDEL et al., 2014).

A incorporação de antocianinas em produtos lácteos é de grande interesse, por tornar mais atrativo produtos consolidados no mercado e consumidos em larga escala. Nestas classes de produtos, as bebidas lácteas merecem destaque pela utilização do soro proveniente da fabricação de queijo, sendo uma maneira de eliminar seu impacto ambiental e disponibilizar um produto nutritivo, aceitável e de baixo custo ao mercado consumidor (MASSON; VIGANÓ, 2013). O consumo de bebidas lácteas vem crescendo a cada ano, principalmente as fermentadas, que possuem características sensoriais semelhantes ao iogurte (EPAMIG, 2010).

A legislação vigente define bebida láctea como “o produto lácteo resultante da mistura do leite e soro de leite, adicionado ou não de substâncias alimentícias, gordura vegetal, leites fermentados, fermentos lácteos selecionados e outros produtos lácteos, no qual a base láctea represente pelo menos 51% (m/m) do total de ingredientes do produto” (BRASIL, 2005).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a incorporação de antocianinas microencapsuladas em sistemas-modelo alimentícios de bebidas lácteas, estudando a estabilidade do pigmento e do produto frente ao tempo e às condições de embalagem (opaca e transparente).

2 MATERIAL E MÉTODOS

As bebidas lácteas foram produzidas no laboratório de Tecnologia de Produtos Agrícolas, e as análises físico-químicas foram realizadas no laboratório de Química de Alimentos, localizados no Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCAUE-UFES), Alegre/ES.

2.1 Material

Para a elaboração das bebidas lácteas, foi utilizado leite pasteurizado de um laticínio local, soro de leite obtido diretamente do produtor rural, açúcar, espessante amido de milho, estabilizante gelatina para produtos lácteos e cultura láctea liofilizada para iogurte na forma de cápsulas, adquirida da empresa Rica Nata

(Piracema, MG). Como corante, foram utilizadas as antocianinas microencapsuladas na forma de pó, principal objeto de estudo deste trabalho.

2.2 Obtenção das microcápsulas de antocianinas

O processo de microencapsulamento das antocianinas foi descrito no Capítulo 1 desta dissertação, envolvendo diferentes agentes encapsulantes (maltodextrina, goma arábica e inulina) e temperaturas do ar de saída (50, 55, 60, 65 e 70 °C) do spray dryer. Após a realização de experimento de otimização, foi possível identificar os melhores parâmetros para secagem do pigmento.

As microcápsulas utilizadas como corante nas bebidas lácteas foram obtidas por meio da secagem por atomização em um mini spray dryer (marca Yamato, modelo ADL 311S) do extrato concentrado de jussara (*Euterpe edulis* Martius) e agente encapsulante maltodextrina 10DE. Os parâmetros utilizados para a secagem foram: temperatura do ar de saída igual a 50 °C, pressão manométrica máxima do ar comprimido de 0,1 MPa, vazão de alimentação de 2,0 mL/min e fluxo do ar de secagem igual a 0,21 m³/min.

2.3 Formulação dos sistemas-modelo de bebidas lácteas

Após a realização de testes preliminares, a bebida láctea fermentada conteve em sua formulação 60% de leite pasteurizado e 40% de soro, constituindo a base láctea. Os demais ingredientes foram calculados em cima desta base láctea, sendo 12% de açúcar e 0,5% de estabilizante gelatina. Foi inoculada uma cápsula da cultura láctica (*Streptococcus salivarius* ssp. *thermophilus* e *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus*) para cada 2 litros de produto, conforme orientação do fabricante.

O soro de leite utilizado foi fornecido por produtores rurais da localidade, proveniente da fabricação de queijo frescal. No recebimento, foi realizada análise de acidez (Dornic) para avaliar a sua qualidade e possível utilização no produto, objetivando valores entre 10 e 14 °Dornic.

As etapas de processamento da bebida láctea fermentada encontram-se descritas na Figura 1. Inicialmente, o soro foi filtrado para eliminação de impurezas e aquecido a 65 °C para inativação do coalho. Como o soro é proveniente da produção de queijos, pode existir atividade residual da enzima coagulante, o que poderia interferir no processo. Assim, a mistura filtrada de leite, açúcar e gelatina foi

incorporada no soro e não fermentada em banho-térmico a 65 °C por 30 minutos, seguida de resfriamento a 40 °C em banho de gelo, com posterior inoculação da cultura lática. A fermentação ocorreu em estufa (Solab SL 101), a 42 ± 1 °C por aproximadamente 8 horas, até que atingisse os parâmetros indicadores de produtos lácteos fermentados, ou seja, pH igual a 4,2 e acidez de 60 a 70 °Dornic, quando foi feita a quebra do coágulo e adição do corante em pó (antocianinas microencapsuladas) sob agitação até completa solubilização. A bebida foi envasada em embalagens de 100 mL opacas ou transparentes, e mantidas sob refrigeração (10 ± 2 °C) até o momento das análises.

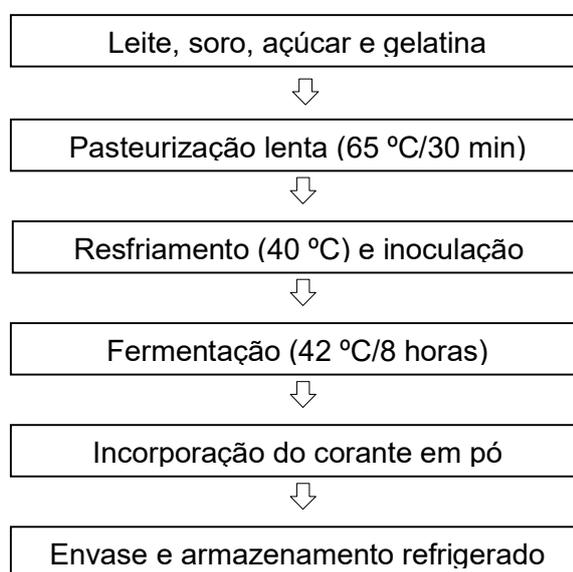


Figura 1 – Fluxograma de processamento dos sistemas-modelo de bebida láctea fermentada.

Para a elaboração da bebida láctea não fermentada (não-fermentada), utilizou-se 60% de leite pasteurizado e 40% soro de leite constituindo a base láctea, 12% de açúcar, 1,5% de espessante amido de milho e 0,5% de estabilizante gelatina. As etapas do processamento encontram-se descritas na Figura 2. Após a pasteurização da mistura de ingredientes a 65 °C por 30 minutos foi realizado o resfriamento em banho de gelo e posterior refrigeração do produto por aproximadamente 2 horas, a fim de adquirir consistência, decorrente do espessante utilizado, e facilitar a incorporação e estabilização das microcápsulas. As bebidas foram envasadas em embalagens opacas e transparentes e armazenadas sob refrigeração até o momento das análises.

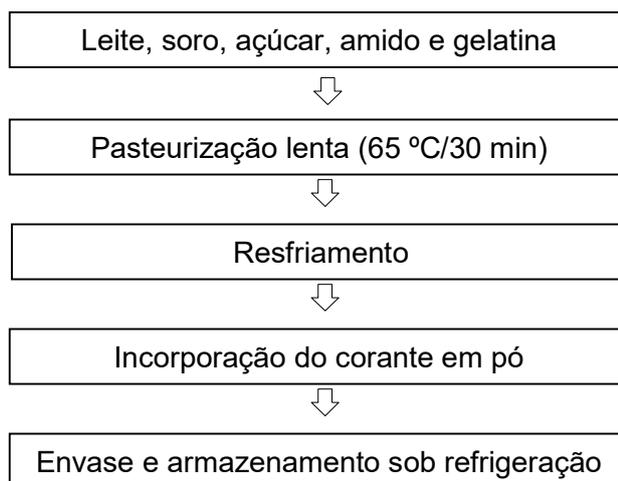


Figura 2 – Fluxograma de processamento dos sistemas-modelo de bebida láctea não fermentada.

2.4 Incorporação das microcápsulas de antocianina nas bebidas lácteas

A massa de pigmento em pó a ser adicionada foi definida utilizando um colorímetro, ao calcular diferença global de cor entre uma bebida láctea comercial (utilizada como padrão de cor) e a bebida-teste. Foram comparadas as coordenadas “L*” (luminosidade), “a*” (intensidade de vermelho e verde) e “b*” (intensidade de amarelo e azul), empregando-se a escala de cor CIELab, com iluminante D65 e ângulo de observação de 10°, utilizando-se colorímetro Minolta (Konica Minolta, modelo CM-5). O objetivo foi obter valores de ΔE menores que 5, no qual a diferença de cor entre as amostras é considerada pequena (OBÓN et al., 2009).

A diferença global de cor entre as duas bebidas foi calculada mediante a Equação 1.

$$\Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que:

ΔE = diferença global de cor

ΔL = variação da coordenada L*

Δa = variação da coordenada a*

Δb = variação da coordenada b*

2.5 Estudo da estabilidade

As bebidas lácteas fermentadas e não fermentadas incorporadas com as microcápsulas foram acondicionadas em embalagens de polietileno opaca e transparente, previamente sanitizadas em solução de hipoclorito de sódio a 200 ppm, e armazenadas durante 28 dias à temperatura de refrigeração (10 ± 2 °C). O estudo foi baseado em Wallace e Giusti (2008), com modificações.

2.5.1 Análises físico-químicas nas bebidas lácteas

As análises físico-químicas nas bebidas lácteas foram realizadas nos tempos 0, 7, 14, 21 e 28 dias de armazenamento, prazo de validade comumente observado nas bebidas lácteas comerciais.

2.5.1.1 Teor de antocianinas

Para a determinação do teor de antocianinas totais, foram utilizados extratos do corante natural obtidos das bebidas lácteas, preparados nos dias da análise.

A extração do pigmento foi realizada com base em metodologia adaptada de Prudencio et al. (2008), utilizando solução extratora de Etanol:HCl 1,5 N (85:15 v/v), em uma proporção de bebida:solução extratora de 1:4 (m/v) em tubos Falcon, submetidos à centrifugação (centrífuga marca Thermo Scientific Heraeus Megafuge 16R), por um período de 45 minutos, com velocidade de rotação de 5000g e temperatura de 11 °C. Após a centrifugação, os extratos foram filtrados em papel filtro e armazenados em freezer (-18 ± 2 °C) ao abrigo da luz.

Em seguida, as antocianinas foram quantificadas pela metodologia proposta por Lees e Francis (1972) com modificações, por meio da leitura da absorbância dos extratos em espectrofotômetro (marca BEL Photonics, modelo SP 2000UV), no comprimento de onda de 510 nm, sendo os resultados expressos em mg cianidina-3-glicosídeo por 100 g de amostra. Os teores foram obtidos a partir da Equação 2.

$$A = \epsilon \cdot b \cdot c \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que:

A = absorbância em 510 nm

ϵ = coeficiente de absorvidade ($98,2 \text{ L} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$)

b = espessura da cubeta (1 cm)

c = concentração ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)

2.5.1.2 Conteúdo fenólico total

O índice de polifenóis totais (IPT) foi determinado pelo ensaio do reagente Folin-Ciocalteu, com base em metodologia adaptada de Singleton e Rossi (1965). O extrato antociânico obtido pela centrifugação foi diluído em balão volumétrico de 10 mL com etanol 70%. Uma alíquota de 0,6 mL deste extrato foi misturada em 3,0 mL de reagente Folin-Ciocalteu diluído em água destilada (1:10 v/v); após 3 minutos de repouso ao abrigo da luz, foram adicionados 2,4 mL de solução saturada de Na_2CO_3 (7,5% m/v). A absorbância foi determinada a 760 nm por espectrofotometria, após 1 hora de repouso em ausência de luz. O IPT foi determinado utilizando curva padrão de ácido gálico (0-150 ppm) e os resultados expressos em mg ácido gálico equivalente ($\text{mg AGE} \cdot 100\text{g}^{-1}$).

2.5.1.3 Atividade Antioxidante – ABTS

A atividade anti-radical livre foi determinada pelo ensaio do radical ABTS (2,2'-azinobis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid), descrito por Re et al. (1999). Primeiramente, preparou-se o radical ABTS^{++} , ao misturar 10 mL da solução aquosa de ABTS 7 mM e 10 mL de solução persulfato de potássio 2,45 mM, mantendo esta mistura por 16 horas no escuro, para reação. Após este período, a absorbância foi corrigida para 0,700 a 734 nm com adição de etanol 80% em espectrofotômetro.

Uma alíquota de 0,5 mL do extrato diluído foi adicionada a 3,5 mL da solução radical ABTS^{++} , e realizada leitura espectrofotométrica após 6 minutos de reação. A atividade antioxidante foi determinada utilizando curva padrão de Trolox (0-150 μM) e os resultados foram expressos em equivalente de Trolox ($\mu\text{M Trolox} \cdot \text{g}^{-1}$).

2.5.1.4 Atividade Antioxidante – DPPH•

A atividade antioxidante também foi avaliada ao reagir os compostos antioxidantes do extrato com o radical estável 2,2-Diphenyl-1picrylhydrazyl (DPPH•). A redução do DPPH• é monitorada por meio da redução da absorbância a um comprimento de onda específico durante a reação. Na sua forma radical, o DPPH• absorve a 515 nm, mas após redução por um composto antioxidante ou uma espécie de radicais, a absorção diminui ou desaparece (BRAND-WILLIAMS; CUVELIER; BERSET, 1995).

A análise foi realizada com modificações em metodologias (OLIVEIRA et al., 2011; OLIVEIRA, 2011; PUKALSKAS et al., 2002). Primeiramente, preparou-se a solução metanólica de DPPH• 0,1 mM com ajuste da absorbância a fim de certificar e padronizar a concentração da solução controle. Em seguida, uma alíquota (100 µL) dos extratos foi adicionada à solução metanólica de DPPH• 0,1 mM (1,0 mL). A mistura foi agitada e após 15 minutos de reação no escuro, a leitura da absorbância foi realizada em comprimento de onda de 517 nm. Em paralelo, leu-se a absorbância do branco, o metanol. A atividade de eliminação de radicais das amostras testadas, expressa como % SRL (sequestro de radicais livres), foi calculada utilizando a Equação 3.

$$\% \text{ SRL} = 100 - [(A_A - A_B) / A_C] \times 100 \quad (\text{Eq. 3})$$

Em que:

A_A = absorbância da amostra

A_B = absorbância do solvente de extração (metanol)

A_C = absorbância do controle (solução metanólica de DPPH•)

2.5.1.5 Análise colorimétrica

As análises foram realizadas pela leitura direta de reflectância do sistema de coordenadas retangulares “L*” (luminosidade), “a*” (intensidade de vermelho e verde) e “b*” (intensidade de amarelo e azul), empregando-se a escala de cor CIE Lab, com iluminante D65 e ângulo de observação de 10°, utilizando-se colorímetro Minolta (Konica Minolta, modelo CM-5). Os valores de “C*” (cromaticidade ou saturação de cor) e h° (ângulo de tonalidade cromática) foram calculados a partir dos parâmetros a^* e b^* , pelas Equações 4 e 5.

$$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \quad (\text{Eq. 4})$$

$$h^\circ = \arctan (b^*/a^*) \quad (\text{Eq. 5})$$

Com o objetivo de se verificar a cor das bebidas lácteas durante os 28 dias de armazenamento, calculou-se a diferença global de cor. A perda da cor nos tempos 0 e 28 dias foi calculada mediante a Equação 6.

$$\Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (\text{Eq. 6})$$

Em que:

ΔE = diferença global de cor

ΔL = variação da coordenada L^*

Δa = variação da coordenada a^*

Δb = variação da coordenada b^*

2.5.1.6 Determinação da acidez total titulável

A determinação da acidez foi feita pelo método potenciométrico, conforme descrito pelo Instituto Adolfo Lutz (2008) para amostras coloridas ou turvas, utilizando solução de hidróxido de sódio (NaOH) 0,1 mol.L⁻¹. Os resultados foram expressos em g de ácido láctico por 100 g de bebida.

2.5.1.7 Determinação do potencial hidrogeniônico

O valor do pH foi determinado em potenciômetro digital (marca Del Lab, modelo DLA-pH) previamente calibrado, por meio da dissolução de 10 mL da amostra em 100 mL de água destilada, conforme recomendado pelo Instituto Adolfo Lutz (2004).

2.6 Delineamento experimental e análise estatística

Este experimento foi realizado em um delineamento inteiramente casualizado (DIC) conduzido por um esquema fatorial com dois fatores (um qualitativo e outro quantitativo) e três repetições para cada tipo de bebida (fermentada e não fermentada). Os fatores e os níveis correspondentes estão apresentados na Tabela 1. Os dados foram submetidos à análise de variância e à análise de regressão quando necessário, utilizando o software STATISTICA® versão 10.

Tabela 1 – Variáveis e níveis estudados no processo de otimização de parâmetros do microencapsulamento de antocianinas de jussara

Fatores	Níveis				
	Opaca		Transparente		
Tipo de embalagem					
Tempo (dias)	0	7	14	21	28

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Incorporação do pigmento em pó nas bebidas lácteas

A diferença entre cores de produtos pode ser descrita pela distância total entre as duas cores no espaço de cor tridimensional CIELab. Segundo Obón et al. (2009), uma diferença global de cor de 0 a 1,5 pode ser considerada pequena e as amostras quase idênticas pela observação visual. Na faixa de 1,5 a 5, esta diferença de cores já pode ser distinguida, tornando-se evidente quando ΔE é maior que 5.

Para determinação da concentração do pigmento a ser adicionado, foram preparadas diferentes formulações das bebidas lácteas com concentrações do pigmento variando de 4 a 8%, com o objetivo de comparar as coordenadas de cor com cinco bebidas lácteas comerciais.

As bebidas comerciais utilizavam corantes natural (carmim de cochonilha), sintéticos (vermelho bordeaux-S, vermelho ponceau 4R, azul brilhante), ou os dois tipos de forma combinada. Além disso, também faziam parte da composição a polpa/preparado de fruta, aromatizantes, espessantes, conservantes e acidulantes. Dessa forma, foi possível encontrar ΔE próximo a 5 somente para uma marca, conforme mostrado na Tabela 2. As coordenadas apresentadas para a bebida comercial de marca 1 representam a média de 3 repetições da análise de cor.

Com o aumento da concentração do pó, houve uma diminuição do L^* , ou seja, a bebida tornou-se mais “escura”, afastando-se do branco, ao mesmo tempo em que observou-se um aumento da coordenada a^* , indicando maior intensidade da cor vermelha, sendo este o parâmetro de maior interesse.

Tabela 2: ΔE para bebida com diferentes concentrações do pigmento e bebida comercial

% corante	Bebida teste			Bebida comercial 1			ΔE
	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*	
4	69,62	11,08	3,90	66,76	18,69	0,12	8,96
5	67,23	13,35	3,26				6,21
6	65,33	14,70	2,92				5,07
7	63,02	16,20	2,63				5,14
8	60,60	18,77	2,50				6,60

A partir dos dados de porcentagem de corante e ΔE apresentados na Tabela 2, verificou-se o ajuste do modelo polinomial de segundo grau com coeficiente de determinação igual a 0,9984, permitindo concluir que as concentrações de corante das extremidades (menores ou maiores) apresentaram maiores valores de ΔE , enquanto a concentração de 6% apresentou o menor valor (5,07) demonstrando ser a concentração ideal. Assim, determinou-se a porcentagem do corante a ser adicionada nas bebidas lácteas, representadas na Figura 3.

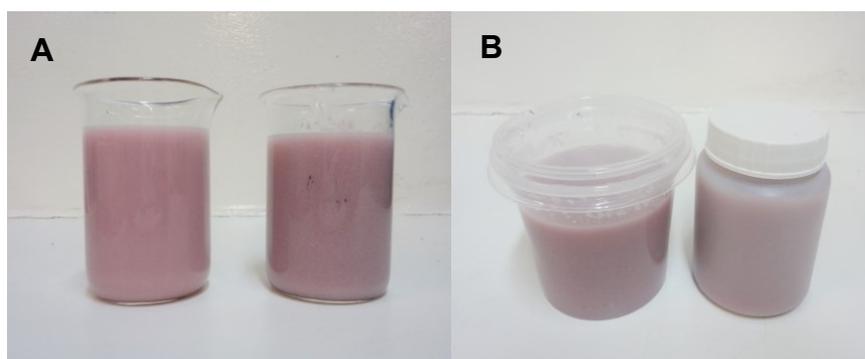


Figura 3: Bebidas lácteas fermentada e não fermentada (A); embalagens transparente e opaca (B).

3.2 Análises físico-químicas na bebida láctea fermentada

Na Tabela 3, observa-se o resumo das Análises de Variância (ANOVA) realizadas para cada variável resposta estudada na bebida láctea fermentada.

Tabela 3: Valores de F e p obtidos na ANOVA das variáveis estudadas

Variável resposta	Fonte de variação	F	P
Antocianina (mg.100g ⁻¹)	Tempo	2.209 ^{ns}	0.104683
	Embalagem	0.308 ^{ns}	0.584880
	Tempo x Emb	0.159 ^{ns}	0.956489
Antioxidante ABTS (µM Trolox.g ⁻¹)	Tempo	3.581*	0.023350
	Embalagem	27.094*	0.000043
	Tempo x Emb	4.526*	0.009124
Antioxidante DPPH (% SRL)	Tempo	5.540*	0.003606
	Embalagem	0.580 ^{ns}	0.456739
	Tempo x Emb	0.660 ^{ns}	0.628644
Compostos fenólicos (mg AGE.100g ⁻¹)	Tempo	2.230 ^{ns}	0.102180
	Embalagem	2.756 ^{ns}	0.112493
	Tempo x Emb	0.466 ^{ns}	0.760225
pH	Tempo	1.350 ^{ns}	0.287737
	Embalagem	0.000 ^{ns}	0.991576
	Tempo x Emb	0.010 ^{ns}	0.999903
Acidez (g ácido láctico.100g ⁻¹)	Tempo	1.431 ^{ns}	0.260338
	Embalagem	0.001 ^{ns}	0.970799
	Tempo x Emb	0.177 ^{ns}	0.947719

*: Significativo (p<0,05); ^{ns}: Não significativo (p>0,05)

3.2.1 Teor de antocianinas

De acordo com a Tabela 3, percebe-se que os dois fatores em estudo (tempo de armazenamento e embalagem), bem como a interação entre eles não influenciaram no teor de antocianinas, indicando que o pigmento manteve-se estável na bebida láctea fermentada ao longo do período de armazenamento (p>0,05). Dessa forma, dispensa-se o uso de embalagem opaca neste produto, caso o

objetivo seja a retenção de antocianinas. Para esclarecimento dos resultados, as médias do teor de antocianina ao longo do tempo estão apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4: Médias \pm desvio padrão de antocianinas na bebida fermentada ao longo do tempo de armazenamento nos dois tipos de embalagem

Tempo (dias)	Teor de antocianinas*	
	Embalagem opaca	Embalagem transparente
0	3,26 \pm 0,23	3,30 \pm 0,18
7	3,22 \pm 0,22	3,24 \pm 0,14
14	3,10 \pm 0,16	3,00 \pm 0,18
21	3,07 \pm 0,34	2,96 \pm 0,25
28	3,03 \pm 0,18	2,96 \pm 0,20

*mg cianidina-3-glicosídeo.100g⁻¹

Prudencio et al. (2008), ao avaliarem a adição de antocianinas e betalaínas em queijo petit-suisse, observaram estabilização dos corantes durante os 40 dias de armazenamento do produto. Embora a betalaína tenha apresentado maior tempo de meia vida ($p < 0,05$), os autores concluíram que os resultados foram satisfatórios, indicando a aplicação de ambos corantes naturais neste tipo de produto alimentício, além de atribuírem propriedades funcionais ao produto. A alta estabilidade dos corantes foi justificada pelo pH ligeiramente ácido e as próprias condições de armazenamento do queijo, como temperatura de refrigeração e embalagens opacas. Trabalho semelhante foi realizado por Saito (2014), ao adicionar antocianinas extraídas da casca de jabuticaba com diferentes concentrações em queijos petit suisse. A autora observou um pequeno decréscimo do pigmento durante o período de armazenamento do produto ($p < 0,05$), atingindo entre 8,42 e 12,50% do tempo zero até o 28º dia de armazenamento, para as diferentes concentrações testadas.

Oliveira et al. (2015) avaliaram a adição de preparados de morango em iogurte, observando que o conteúdo total de antocianinas reduziu ($p < 0,05$) em 24% durante a vida de prateleira do produto de 28 dias, enquanto o teor no preparado (controle) aumentou em 50% nas mesmas condições de armazenamento. Os autores justificam que podem ocorrer interações entre o pigmento com os componentes do leite, reduzindo sua disponibilidade.

No presente trabalho, o pigmento em pó manteve-se constante ($p>0,05$) durante os 28 dias de armazenamento tanto na embalagem opaca como na transparente, demonstrando a eficiência do microencapsulamento em proteger o composto das condições adversas do meio, como exposição à luz, oxigênio e interação com demais compostos da bebida láctea.

3.2.2 Atividade antioxidante – ABTS

De acordo com a Tabela 3, observou-se que todas as fontes de variação foram significativas ($p<0,05$) pelo teste F para avaliação da atividade antioxidante pelo método ABTS. O fato da interação entre os fatores ser significativa indica que o tempo e a embalagem atuaram em conjunto, exercendo influência na atividade antioxidante das bebidas lácteas fermentadas. Sendo assim, é necessário estudar a influência de um fator dentro do outro por meio desdobramento.

Para avaliar o efeito da embalagem dentro do tempo, foi realizado um teste de Tukey a 5% de significância (Tabela 5) e para avaliar o efeito do tempo dentro de cada tipo de embalagem foi realizada a regressão, porém nenhum modelo testado (linear, polinômio de segundo grau) foi significativo. Dessa forma, para estudar a atuação dos fatores em conjunto, optou-se por apresentar um gráfico das médias da atividade antioxidante ($\mu\text{M Trolox.g}^{-1}$) ao longo do tempo com os respectivos intervalos de confiança (Figura 4).

Tabela 5: Efeito do tipo de embalagem dentro do tempo de armazenamento

Tempo (dias)/ Embalagem	0	7	14	21	28
Opaca	* 306,67a	206,67a	264,44a	233,33a	295,56a
Transparente	300,00a	357,78b	295,56a	302,22a	373,33a

Médias seguidas pela mesma letra, dentro de uma mesma coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p>0,05$). * $\mu\text{M Trolox.g}^{-1}$

De acordo com a Figura 4, observa-se que somente no tempo de 7 dias houve diferença significativa ($p<0,05$) para a atividade antioxidante entre os dois tipos de embalagem. No entanto, o comportamento geral do gráfico segue uma tendência a constante assim como observado para as antocianinas, podendo ser observado que nos pontos extremos de 0 e 28 dias não houve diferença significativa ($p<0,05$) para as bebidas armazenadas em ambos os tipos de embalagem. Dessa

forma, pode-se considerar que o ponto “7 dias” da embalagem opaca que causou esta interação significativa ($p < 0,05$), pode ser caracterizado como um *outlier* devido a erros experimentais (como erro de amostragem, tempo de reação, volume do solvente), uma vez que não existem motivos para somente este ponto apresentar essa diferença frente aos demais.

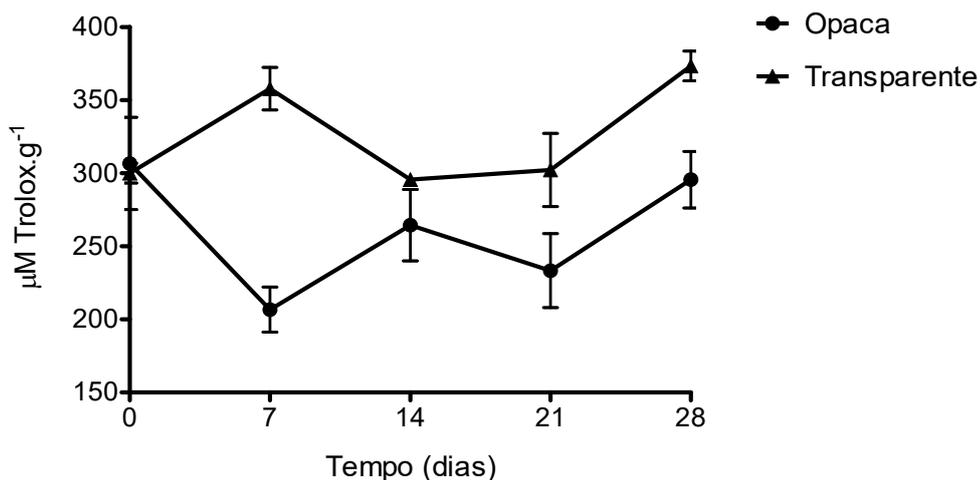


Figura 4: Efeito do tempo para cada embalagem na atividade antioxidante ($\mu\text{M Trolox.g}^{-1}$) das bebidas lácteas fermentadas

Leite (2015), ao adicionar polpa de jussara (*Euterpe edulis* Mart.) em iogurte simbiótico com bactérias probióticas, observou aumento da atividade antioxidante (método do ensaio do radical ABTS) de acordo com o aumento da concentração de polpa adicionada, relacionando a atividade antioxidante com o teor de antocianinas, uma vez que este composto já possui comprovada ação antioxidante. Durante o tempo de 28 dias de armazenamento do produto, foi observada uma redução de 51,9% da atividade antioxidante, da mesma forma em que foi observada redução das antocianinas.

Ao trabalhar com iogurte adicionado de polpa de morango, Oliveira et al. (2015) observaram uma redução de 18% da capacidade antioxidante do produto após 28 dias de armazenamento sob refrigeração, enquanto no preparado da fruta (controle), o decréscimo foi de apenas 4% pelo método ABTS.

Conforme já comentado, pode-se considerar que no presente trabalho a atividade antioxidante bem como o teor de antocianinas mantiveram-se constantes ($p > 0,05$), fato que comprova a eficiência e importância do microencapsulamento do

pigmento. Além disso, reforça a relação existente entre a atividade antioxidante e o teor destes componentes no alimento, conforme também observado por Rocha (2013), ao adicionar corantes naturais em bebidas formuladas com proteínas de soro de leite.

3.2.3 Atividade antioxidante (DPPH)

De acordo com a Tabela 3, observou-se que somente o tempo de armazenamento influenciou significativamente ($p < 0,05$) na atividade antioxidante das bebidas lácteas fermentadas pelo método de seqüestro do radical estável DPPH•.

Na análise de regressão, nenhum modelo testado (linear, polinômio de segundo grau) foi significativo. Dessa forma, optou-se por apresentar um gráfico das médias da atividade antioxidante (% SRL) de ambas as embalagens ao longo do tempo com os respectivos intervalos de confiança (Figura 5).

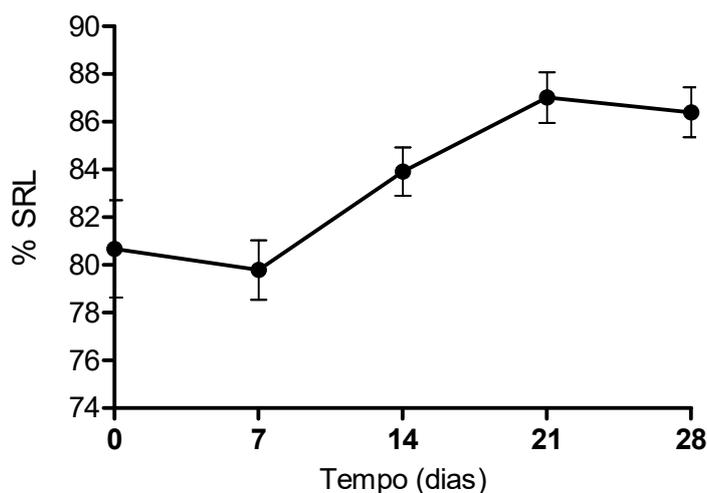


Figura 5: Médias da atividade antioxidante (% SRL) para a bebida fermentada ao longo do tempo

De acordo com a Figura 5, observou-se que novamente o tempo “7 dias” apresentou resultado peculiar, diferindo-se dos demais.

As diferentes metodologias utilizadas para determinar a atividade antioxidante em frutas e produtos são baseadas em diferentes mecanismos usando diferentes fontes de radicais ou oxidantes. Assim, os resultados obtidos são expressos em unidades diferentes, o que dificulta a comparação entre eles. Takikawa (2014) avaliou a capacidade antioxidante de purês de quatro frutas

vermelhas submetidos a diferentes tratamentos pelos métodos do radical ABTS e DPPH. A autora correlacionou a atividade antioxidante de cada concentrado com o teor de antocianinas, observando que todas as amostras apresentaram forte capacidade antioxidante em ambos os testes, sendo que para DPPH• os valores da atividade de sequestro de radicais foram superiores à 95%. Para um melhor entendimento dos mecanismos envolvidos na análise, Brand-Williams, Cuvelier e Berset (1995) sugerem a caracterização das reações intermediárias e dos produtos por meio da identificação dos compostos por cromatografia. Dessa forma, seria possível e interessante determinar a ordem das reações, uma vez que alguns compostos reagem rapidamente com o DPPH•, ocorrendo uma redução correspondente ao número de grupos hidroxila disponíveis na amostra. No entanto, para a maioria dos compostos avaliados pelos autores, o mecanismo de reação mostrou-se mais complexo.

No presente trabalho, observou-se elevadas porcentagens de sequestro variando de 80,68 a 86,40% nos tempos 0 e 28 dias, respectivamente. É um resultado positivo, indicando alta atividade antioxidante do pigmento na complexa matriz alimentícia da bebida láctea fermentada.

3.2.4 Compostos fenólicos

De acordo com o teste F apresentado na Tabela 3, observou-se que os compostos fenólicos mantiveram-se constantes ($p > 0,05$) ao longo do tempo de armazenamento para as bebidas lácteas fermentadas armazenadas em ambos os tipos de embalagem. Para esclarecimento dos resultados, as médias das três repetições estão apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6: Médias \pm desvio padrão de compostos fenólicos totais na bebida fermentada ao longo do tempo de armazenamento nos dois tipos de embalagem

Tempo (dias)	Compostos fenólicos totais*	
	Embalagem opaca	Embalagem transparente
0	92,19 \pm 7,81	76,85 \pm 13,70
7	83,56 \pm 8,23	75,58 \pm 10,61
14	73,96 \pm 4,26	73,50 \pm 1,22
21	69,56 \pm 3,48	67,53 \pm 0,92
28	74,19 \pm 18,06	67,13 \pm 5,90

*mg AGE.100g⁻¹

A quantificação dos compostos fenólicos da polpa de jussara foi realizada por Leite (2015), encontrando 812,32 mg de AGE por 100 gramas de polpa, comprovando a elevada concentração de fenólicos neste fruto. Ao adicionar a polpa com diferentes concentrações em iogurte e avaliar a estabilidade ao longo do tempo de armazenamento, foi observado que a concentração de polpa apresentou efeito significativo ($p < 0,05$) pelo teste F, sendo a maior quantificação na formulação que continha maior teor de polpa. O fator tempo foi não significativo ($p > 0,05$), resultado semelhante ao encontrado no presente trabalho, confirmando que os compostos fenólicos de jussara mantiveram-se estáveis durante os 28 dias de armazenamento dos produtos lácteos sob refrigeração.

Chouchouli et al. (2013) também trabalharam com a elaboração de iogurtes diferenciados, ao variar os teores de gordura e adicionar extratos de duas espécies de uva. A fortificação não causou alterações sensoriais negativas no produto nem afetou a viabilidade de bactérias lácticas comparadas com o controle, resultado promissor para a utilização de subprodutos da uva no processamento de alimentos. Os autores observaram que o decaimento dos compostos fenólicos e da atividade antioxidante foi explicado por um modelo exponencial de primeira ordem.

No presente estudo, a cinética de degradação não foi avaliada, uma vez que os compostos fenólicos mantiveram-se constantes ao longo do tempo, provavelmente devido à proteção conferida aos compostos bioativos por meio do microencapsulamento.

3.2.5 pH e Acidez

De acordo com o teste F apresentado na Tabela 3, observou-se que as variáveis pH e acidez mantiveram-se constantes ($p > 0,05$) ao longo do tempo de armazenamento para as bebidas armazenadas nos dois tipos de embalagem, resultado já esperado, uma vez que estas variáveis estão correlacionadas. As médias estão apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7: Médias \pm desvio padrão do pH e acidez na bebida fermentada ao longo do tempo de armazenamento nos dois tipos de embalagem

Tempo (dias)	pH		Acidez*	
	Opaca	Transparente	Opaca	Transparente
0	3,83 \pm 0,11	3,82 \pm 0,14	1,06 \pm 0,08	1,09 \pm 0,03
7	3,87 \pm 0,08	3,89 \pm 0,08	1,03 \pm 0,08	1,01 \pm 0,04
14	3,85 \pm 0,04	3,85 \pm 0,05	1,09 \pm 0,09	1,07 \pm 0,07
21	3,91 \pm 0,04	3,92 \pm 0,10	1,08 \pm 0,08	1,08 \pm 0,07
28	3,82 \pm 0,07	3,82 \pm 0,01	1,11 \pm 0,08	1,12 \pm 0,07

*g ácido láctico.100g⁻¹

Chouchouli et al. (2013) observaram que o enriquecimento de iogurtes com extratos de uva não alterou o pH do produto ao longo dos 32 dias de armazenamento, variando de 4,32 a 4,48, valores característico de produtos lácteos fermentados.

Ramos et al. (2013) também observaram a estabilidade do pH e acidez em bebidas lácteas fermentadas sabor cajá durante a estocagem refrigerada por 28 dias. Dentre as formulações desenvolvidas, o pH variou de 3,83 a 3,89, enquanto a acidez variou de 0,73 a 0,76%. Os valores de pH estão muito próximos aos encontrados no presente trabalho, enquanto a acidez da bebida do presente estudo apresentou valores superiores, o que está associado às diferenças na acidez dos frutos, concentrações, base láctea e principalmente, o preparo de extratos etanólicos acidificados para produção das microcápsulas, etapa dispensada para trabalhos que utilizaram a própria polpa da fruta.

3.2.6 Análise colorimétrica

A coloração de um produto pode ser descrita por diferentes sistemas de coordenadas de cor. Segundo os conceitos da CIE (Comissão Internacional de Iluminação), os olhos humanos possuem três receptores de cor - vermelho, verde e azul – sendo as demais cores combinações destas primárias. Este é o princípio do espaço de cor CIELab, proporcionando diferenças de cores mais uniformes em relação às diferenças percebidas pelos olhos humanos por meio da leitura de três coordenadas (PATHARE et al. 2012).

Para caracterização colorimétrica da bebida láctea fermentada, optou-se por apresentar na Tabela 8 as médias das coordenadas (L^* , a^* , b^*) e dos parâmetros de cor (C^* , h°) obtidas ao longo do tempo de armazenamento.

Tabela 8: Médias \pm desvio padrão das coordenadas colorimétricas da bebida láctea fermentada

Coordenadas	Análise colorimétrica	
	Embalagem opaca	Embalagem transparente
L^*	64,27 \pm 1,15	63,65 \pm 0,83
a^*	12,23 \pm 0,75	12,43 \pm 0,35
b^*	3,59 \pm 0,45	3,56 \pm 0,50
C^*	12,75 \pm 0,75	12,93 \pm 0,36
h°	16,38 \pm 1,93	15,96 \pm 2,20

A bebida láctea fermentada apresentou alta luminosidade (L) derivada dos principais ingredientes, leite e soro, que possuem coloração branca, próximo à luminosidade igual a 100,00. O valor positivo encontrado na coordenada a^* indica uma tendência à cor vermelha, sendo esta a coordenada de maior interesse, devido à coloração da antocianina. A coordenada b^* que relaciona a intensidade do azul ao amarelo, por apresentar valor positivo, indicou tendência para coloração amarela. O croma (C^*) é um atributo quantitativo de cor para avaliar o grau de diferença entre duas tonalidades com a mesma luminosidade. No presente trabalho, C^* seguiu a tendência da coordenada a^* , indicando que a coloração vermelha foi a mais expressiva na determinação da cor do produto. O ângulo de tonalidade cromática (h°) encontrado indica que a tonalidade da bebida láctea se posiciona no primeiro quadrante no sólido de cor, entre as cores vermelho e amarelo, com tendência ao vermelho, uma vez que os ângulos 0 ou 360° representam a tonalidade vermelha, enquanto os ângulos 90°, 180° e 270° representam tons de amarelo, verde e azul, respectivamente. Quanto menor o seu valor, mais próximo a bebida estará do eixo a^* , e quanto maior for o ângulo, mais próximo a bebida estará do eixo b^* .

Resultado similar foi observado por Wallace; Giusti (2008) ao avaliarem a cor de iogurte adicionado de antocianinas em pó ($L^* = 65$, $a^* = 12$, $b^* = -6$, $C^* = 14$ e $h = 335^\circ$).

3.2.6.1. Diferença global de cor (ΔE)

A percepção da cor por meio das coordenadas colorimétricas de maneira isolada é de difícil interpretação. Assim, um dos melhores parâmetros para descrever a variação de cor é a diferença global de cor (ΔE), uma combinação das coordenadas L^* , a^* e b^* , que indica a distância total entre as cores das duas amostras (tempo 0 e 28 dias) no espaço de cor tridimensional CIELab (PATHARE et al., 2012). No presente estudo, o ΔE encontrado para as bebidas armazenadas em embalagem opaca e transparente foi igual a $3,10 \pm 0,11$ e $2,17 \pm 0,11$, respectivamente. É um bom resultado, uma vez que valores na faixa entre 1,5 e 5 indicam que a variação de cor é pequena, enquanto valores acima de 5 indicam uma evidente variação de cor, segundo Obón et al. (2009). Trabalho semelhante foi desenvolvido por este mesmo autor, ao incorporar betalaínas de *Opuntia stricta* (uma espécie de flor de cacto, excelente fonte de compostos funcionais) microencapsuladas por spray dryer em sistemas modelos de iogurte e refrigerante. Os produtos apresentaram cores atrativas que mantiveram-se estáveis durante um mês sob refrigeração ($\Delta E < 5$).

Wallace e Giusti (2008) avaliaram a viabilidade de utilizar *B. boliviana*, uma “berry” rica em antocianinas, na forma de pó como corante em iogurte, uma vez que este produto possui pH favorável para a aplicação deste pigmento. A estabilidade da cor e dos compostos fenólicos observados pelos autores sugere que os corantes naturais podem e devem ser utilizados em matrizes lácteas, sendo possível produzir um produto atrativo e mais nutritivo com elevada capacidade antioxidante e compostos fenólicos extraídos de fontes naturais. Além disso, as coordenadas de cor da bebida desenvolvida foram muito semelhantes às encontradas em iogurtes comerciais com *blueberry* que utilizavam corantes sintéticos em sua composição, indicando a possibilidade de substituição desta classe de corantes pelos naturais.

3.3 Análises físico-químicas na bebida láctea não fermentada

Na Tabela 9 está apresentado o resumo das análises de variância (ANOVA) realizadas para cada variável resposta estudada na bebida láctea não fermentada.

Tabela 9: Valores de F e p obtidos na ANOVA das variáveis estudadas

Variável	Fonte de variação	F	p
Antocianina (mg.100g ⁻¹)	Tempo	1.044 ^{ns}	0.409365
	Embalagem	0.001 ^{ns}	0.976382
	Tempo x Emb	0.035 ^{ns}	0.997408
Antioxidante ABTS (μM Trolox.g ⁻¹)	Tempo	1,903 ^{ns}	0.149280
	Embalagem	185.816*	0.000000
	Tempo x Emb	0.060 ^{ns}	0.992871
Antioxidante DPPH (% SRL)	Tempo	0.720 ^{ns}	0.585536
	Embalagem	0.010 ^{ns}	0.942919
	Tempo x Emb	1.710 ^{ns}	0.186735
Compostos fenólicos (mg AGE.100g ⁻¹)	Tempo	0.743 ^{ns}	0.574078
	Embalagem	71.349*	0.000000
	Tempo x Emb	1.770 ^{ns}	0.174443
pH	Tempo	1.310 ^{ns}	0.299499
	Embalagem	0.200 ^{ns}	0.657902
	Tempo x Emb	0.020 ^{ns}	0.999365
Acidez (g ácido láctico.100g ⁻¹)	Tempo	0.105 ^{ns}	0.979572
	Embalagem	0.006 ^{ns}	0.938547
	Tempo x Emb	0.009 ^{ns}	0.999809

3.3.1 Teor de antocianinas

De acordo com a Tabela 9, os fatores em estudo (tempo, embalagem e interação) apresentam resultado não significativo ($p > 0,05$) pelo teste F para o teor de antocianinas nas bebidas lácteas não fermentadas. O mesmo resultado foi observado para a bebida fermentada, ou seja, o pigmento manteve-se estável durante os 28 dias de armazenamento para os dois tipos de bebida, na embalagem opaca e transparente. Dessa forma, dispensa-se o uso de embalagem opaca neste produto, caso o objetivo seja a retenção de antocianinas. Para esclarecimento dos

resultados, as médias do teor de antocianina ao longo do tempo estão apresentadas na Tabela 10.

Tabela 10: Médias \pm desvio padrão de antocianinas na bebida não fermentada ao longo do tempo de armazenamento nos dois tipos de embalagem

Tempo (dias)	Teor de antocianinas*	
	Embalagem opaca	Embalagem transparente
0	3,63 \pm 0,84	3,63 \pm 0,58
7	3,34 \pm 0,71	3,20 \pm 0,64
14	3,05 \pm 0,42	3,07 \pm 0,42
21	3,01 \pm 0,63	3,11 \pm 0,46
28	3,07 \pm 0,56	3,12 \pm 0,39

*mg cianidina-3-glicosídeo.100g⁻¹

Em trabalho realizado por Kaimainen et al. (2015) foram processados sistemas modelos de sucos utilizando corantes naturais. Para avaliação da aceitação sensorial, foram adicionados pós de beterraba obtidos por secagem em spray dryer, extrato de beterraba e extrato concentrado de antocianina extraída de uva. O aspecto visual do produto colorido com o pó não foi igualmente apreciado pelos consumidores como os sucos coloridos com os extratos, sendo comentada uma correlação entre as classificações de gostos e a importância dos corantes naturais, e que uma maior intensidade na cor do suco rico em antocianina pode resultar no aumento da aceitação do produto.

3.3.2 Atividade antioxidante – ABTS

Observou-se que somente o fator “tipo de embalagem” exerceu influência significativa ($p < 0,05$) na atividade antioxidante das bebidas lácteas não fermentadas pelo teste F, indicando que esta variável permaneceu constante durante os 28 dias de armazenamento das bebidas sob refrigeração.

A atividade antioxidante média encontrada para a bebida armazenada em embalagem opaca foi de $564,00 \pm 55,59 \mu\text{M Trolox.g}^{-1}$, versus $373,00 \pm 43,91 \mu\text{M Trolox.g}^{-1}$ para a embalagem transparente. A discrepância entre os valores foi observada desde o tempo zero e manteve-se proporcional ao longo dos 28 dias de armazenamento, podendo ser caracterizada como um erro experimental no

momento da incorporação do pigmento em pó, ou seja, a elevada atividade antioxidante encontrada para a bebida em embalagem opaca não pode ser justificada pelo favorecimento da opacidade e vice-versa, para a embalagem transparente.

A estabilização da atividade antioxidante é um resultado promissor para a utilização de corantes naturais microencapsulados em sistemas modelos de bebidas lácteas, dada a importância do consumo de alimentos com capacidade antioxidante e redução do uso de antioxidantes sintéticos em alimentos, conforme já discutido.

3.3.3 Atividade antioxidante (DPPH)

De acordo com os valores de F e p obtidos na ANOVA (Tabela 9), observou-se que a atividade antioxidante pelo método DPPH manteve-se constante ($p > 0,05$) ao longo do tempo de armazenamento, para as bebidas lácteas não fermentadas armazenadas em ambos os tipos de embalagem. Dessa forma, optou-se por demonstrar as médias da porcentagem de sequestro de radicais livres na Tabela 11.

Tabela 11: Médias \pm desvio padrão da atividade antioxidante na bebida não fermentada ao longo do tempo de armazenamento nos dois tipos de embalagem

Tempo (dias)	Atividade antioxidante - DPPH*	
	Embalagem opaca	Embalagem transparente
0	78,46 \pm 0,48	82,54 \pm 2,85
7	81,42 \pm 2,03	82,61 \pm 3,79
14	81,75 \pm 3,49	81,23 \pm 2,27
21	81,98 \pm 4,44	80,54 \pm 1,08
28	84,89 \pm 1,28	81,21 \pm 2,75

*% Sequestro de Radical Livres (% SRL)

Os dois métodos utilizados para a determinação da atividade antioxidante (ABTS e DPPH) mostraram a estabilidade ao longo dos 28 dias de armazenamento das bebidas lácteas, resultado muito positivo que vem de encontro às expectativas iniciais do trabalho, ao utilizar as antocianinas, principais compostos responsáveis pela ação antioxidante, na forma microencapsulada.

3.3.4 Compostos fenólicos

Os resultados do teste F (Tabela 9) indicam que as diferentes embalagens utilizadas para armazenamento das bebidas forneceram diferentes teores de compostos fenólicos, sendo encontrado $98,28 \pm 8,72$, versus $67,84 \pm 11,53$ mg AGE por 100 g do produto armazenado em embalagens opaca e transparente, respectivamente. Este resultado assemelha-se ao observado para a atividade antioxidante pelo método ABTS, podendo ser justificado da mesma maneira.

Na literatura encontram-se relatos sobre as inúmeras aplicações de compostos fenólicos como ingredientes funcionais em produtos lácteos. Esta funcionalidade está baseada na capacidade da interação (afinidade) dos polifenóis com as proteínas do leite, levando à formação de complexos solúveis. Alguns modelos sugerem que esses complexos são formados por múltiplas interações fracas entre as cadeias laterais de aminoácidos e os anéis aromáticos de polifenol, indicando que a associação é principalmente um fenômeno superficial, influenciada por fatores como a natureza da proteína e do polifenol, temperatura do sistema e presença de outros componentes, como açúcares. No entanto, o impacto quantitativo de interações específicas deve ser melhor estudado para definir futuras recomendações para o desenvolvimento de produtos (O'CONNELL; FOX, 2001; OLIVEIRA et al., 2015).

3.3.5 pH e Acidez

Assim como observado para a bebida fermentada, os fatores tempo de armazenamento, tipo de embalagem e interação entre eles não exerceu influência significativa ($p > 0,05$) pelo teste F, ou seja, o pH e a acidez das bebidas não fermentadas permaneceram constantes ao longo do tempo de armazenamento para ambas as embalagens utilizadas. Para caracterizar as bebidas frente a estas variáveis, optou-se por apresentar as médias encontradas (Tabela 12).

As bebidas lácteas não fermentadas comerciais apresentam pH próximo à neutralidade, relacionado com os principais ingredientes do produto (leite e soro), conforme observado por Tagliari (2011) ao encontrar pH médio de 6,65 em bebida láctea não fermentada ao longo do período de armazenamento de 28 dias ($p > 0,05$).

Os baixos valores de pH encontrados no presente estudo justificam-se pela elevada acidez dos extratos obtidos da polpa de jussara, uma vez que a extração de

antocianinas é realizada pela acidificação da polpa próximo a pH 2,5, conforme descrito na metodologia. Dessa forma, dispensou-se o uso de acidulantes na produção da bebida não fermentada, ingrediente indispensável nas bebidas não fermentadas comerciais.

Tabela 12: Médias \pm desvio padrão do pH e acidez na bebida não fermentada ao longo do tempo de armazenamento nos dois tipos de embalagem

Tempo (dias)	pH		Acidez*	
	Opaca	Transparente	Opaca	Transparente
0	4,36 \pm 0,24	4,35 \pm 0,25	0,62 \pm 0,11	0,62 \pm 0,10
7	4,37 \pm 0,16	4,36 \pm 0,18	0,65 \pm 0,13	0,63 \pm 0,13
14	4,30 \pm 0,17	4,26 \pm 0,17	0,66 \pm 0,12	0,64 \pm 0,13
21	4,22 \pm 0,16	4,17 \pm 0,16	0,64 \pm 0,12	0,65 \pm 0,12
28	4,20 \pm 0,16	4,16 \pm 0,21	0,66 \pm 0,14	0,67 \pm 0,13

*g ácido láctico.100g⁻¹

Masson e Viganó (2013) desenvolveram dois tipos de bebida láctea adicionada de amaranto: não fermentada, e não fermentada acidificada. Segundo os autores, os dois tipos são encontrados no mercado, sendo as não fermentadas (sem acidificação) as mais preferidas pelos consumidores, conforme também observado em sua avaliação sensorial. Os valores médios encontrados para pH foram 6,65 e 4,01, respectivamente, e as médias encontradas para a acidez foram 0,18% e 0,76% de ácido láctico, resultado para a bebida láctea acidificada que assemelha-se aos valores obtidos no presente trabalho.

O pH é um dos fatores que mais influenciam na manutenção da cor das antocianinas quando aplicadas em alimentos. O meio ácido favorece sua estabilidade e a predominância da cor vermelha, enquanto em pH neutro a alcalino, as antocianinas tornam-se instáveis e são convertidas às pseudo-bases carbinol e chalcona, incolores. Dessa forma, os produtos ácidos como iogurte e bebidas lácteas acidificadas não fermentadas tornam-se promissores à incorporação de antocianinas devido a suas características intrínsecas e a necessidade de armazenamento deste tipo de produto em temperatura de refrigeração, sendo que este fator também influencia na estabilidade do pigmento (O'CONNELL; FOX, 2001; PASSOS, 2011). Além disso, estas condições de pH e refrigeração favorecem a estabilidade microbiológica e consequente conservação do produto.

3.3.6 Análise colorimétrica

Na Tabela 13 estão apresentadas as médias das coordenadas (L^* , a^* , b^*) e dos parâmetros de cor (C^* , h°) obtidas ao longo do tempo de armazenamento em ambas as embalagens.

Tabela 13: Médias \pm desvio padrão das coordenadas colorimétricas da bebida láctea não fermentada

Coordenadas	Análise colorimétrica	
	Embalagem opaca	Embalagem transparente
L^*	64,13 \pm 1,67	63,60 \pm 1,13
a^*	8,96 \pm 0,85	8,99 \pm 0,82
b^*	2,20 \pm 0,86	2,00 \pm 0,76
C^*	9,27 \pm 0,84	9,24 \pm 0,83
h°	13,83 \pm 5,31	12,57 \pm 4,59

A bebida láctea não fermentada apresentou alta luminosidade (L), tendência à cor vermelha pela avaliação da coordenada a^* , e tendência para coloração amarela, ao observar os valores positivos da coordenada b^* . O croma (C^*) apresentou valores próximos à coordenada a^* , indicando que a coloração vermelha foi a mais expressiva na determinação da cor do produto. O ângulo de tonalidade cromática (h°) indica que a tonalidade da amostra se posiciona no primeiro quadrante no sólido de cor, entre as cores vermelho e amarelo, com tendência ao vermelho.

Rocha (2013) encontrou valores de Luminosidade (L^*), Chroma (C^*) e ângulos de tonalidade (h°) próximos a 58, 13 e 39° , respectivamente, em bebidas protéicas com soro de leite adicionadas de antocianinas de casca de jabuticaba. Não foi observada diferença significativa ($p > 0,05$) nas coordenadas de cor durante os 60 dias de armazenamento do produto, concluindo que não houve diminuição da intensidade da coloração vermelha demonstrando a estabilidade do pigmento, conforme observado no presente estudo.

3.3.6.1. Diferença global de cor (ΔE)

A percepção da cor por meio das coordenadas colorimétricas de maneira isolada é de difícil interpretação. Assim, um dos melhores parâmetros para

descrever a variação de cor é a diferença global de cor (ΔE), uma combinação das coordenadas L^* , a^* e b^* , que indica a distância total entre as cores de duas amostras. No caso do presente estudo, as cores das bebidas analisadas nos tempos 0 e 28 dias de armazenamento.

O ΔE encontrado para as bebidas lácteas não fermentadas armazenadas em embalagem opaca e transparente foi igual a $3,56 \pm 1,42$ e $2,10 \pm 0,59$, respectivamente. Conforme discutido anteriormente, um resultado de ΔE menor que 5 constitui um resultado positivo, indicando a manutenção da cor do produto durante todo o armazenamento, da mesma maneira que foi observado para a bebida fermentada. Rocha (2013) observou que a cor das bebidas protéicas com soro de leite adicionadas de corantes naturais manteve-se estável durante o período de armazenamento de 60 dias, havendo apenas uma pequena variação no ΔE , porém não causou interferência na aceitação sensorial dos produtos, uma vez que não foi perceptível ao olho humano.

Kaimainen et al. (2015) relataram que a obtenção de um pó cor de rosa pela secagem de beterraba em spray dryer pode ser favorável para aplicação em produtos alimentícios. A estabilidade de pigmento em pó foi alta, indicando que a secagem por spray dryer pode ser utilizada para produzir corantes com um longo prazo de validade, resultados que vão de encontro aos obtidos no presente trabalho.

4. CONCLUSÃO

As antocianinas microencapsuladas conferiram cores atrativas aos sistemas-modelo de bebidas lácteas fermentada e não fermentada, com estabilidade do pigmento, da cor, do pH e da acidez durante os 28 dias de armazenamento sob refrigeração em ambas as embalagens utilizadas, dispensando o uso de embalagens opacas neste tipo de produto. Não houve redução do composto bioativo ao final do tempo de armazenamento, indicando o uso potencial de pigmentos naturais microencapsulados em matrizes lácteas.

É possível substituir os corantes vermelhos sintéticos utilizados em bebidas lácteas por antocianinas microencapsuladas com maltodextrina por spray dryer, uma vez que se obteve coloração da bebida teste próxima à coloração de bebidas lácteas

comerciais que utilizam combinações de corantes sintéticos e naturais. Além disso, os pigmentos naturais contribuem para o aumento do valor nutricional do produto, sendo a polpa de jussara uma fonte potencial de antocianinas.

Deve-se considerar que no presente estudo foram desenvolvidos sistemas-modelo alimentícios de bebidas lácteas, cabendo a futuros trabalhos o desenvolvimento de novos produtos e estudo da aceitação sensorial, para incorporação no mercado e disponibilização aos consumidores, os principais motivadores para o desenvolvimento deste tipo de pesquisa.

5. REFERÊNCIAS

BARROS, F. A. R.; STRINGHETA, P. C. Microencapsulamento de antocianinas. **Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento**, v. 36, p. 18–24, 2006.

BRAND-WILLIAMS; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a Free Radical Method to Evaluate Antioxidant Activity. **LWT - Food Science and Technology**, v. 28, p. 25–30, 1995.

BRASIL. Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Bebidas Lácteas. **Instrução Normativa nº 16, de 23 de agosto de 2005**. Estabelece a identidade e os requisitos mínimos de qualidade que deverão atender as Bebidas Lácteas destinadas ao consumo humano. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF, p. 7, 24 ago. 2005. Seção 1.

CHOUCHOULI, V.; KALOGEROPOULOS, N.; KONTELES, S. J.; KARVELA, E.; MAKRIS, D. P.; KARATHANOS, V. T Fortification of yoghurts with grape (*Vitis vinifera*) seed extracts. **LWT - Food Science and Technology**, v. 53, n. 2, p. 522–529, 2013.

CONSTANT, P. B. L. **Extração, caracterização e aplicação de antocianinas de açai (*Euterpe oleracea*, M.)**. 2003. 183 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

CURSI, P. R. **Processamento da polpa de frutos e qualidade fisiológica de sementes de *Euterpe edulis Martius***. 2013. 62 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

EPAMIG - Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais. Secretaria do Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Tecnologia de fabricação de bebida láctea fermentada e não fermentada**. 2010.

GE, Q.; MA, X. Composition and antioxidant activity of anthocyanins isolated from Yunnan edible rose (*An ning*). **Food Science and Human Wellness**, v. 2, n. 2, p. 68–74, 2013.

IAL - INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Procedimentos e determinações gerais. In: **Métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. 4 ed. São Paulo: IMESP, 2004.

KAIMAINEN, M.; LAAKSONEN, O.; JÄRVENPÄÄ, E.; SANDELL, M.; HUOPALAHTI, R. Consumer acceptance and stability of spray dried betanin in model juices. **Food Chemistry**, v. 187, p. 398–406, 2015.

LEES, D. H.; FRANCIS, F. J. Standardization of pigment analysis in Cranberries. **Hortiscience**, v. 7, p. 83–84, 1972.

LEITE, S. T. **logurte simbiótico de açaí (*Euterpe edulis* Mart.): Caracterização físico-química e viabilidade de bactérias lácticas e probiótica**. 2015. 90 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2015.

LIMA, C. P.; CUNICO, M. M.; MIYAZAKI, C. M. S.; MIGUEL, O. G.; CÔCCO, L. C.; YAMAMOTO, C. I.; MIGUEL, M. D. Conteúdo polifenólico e atividade antioxidante dos frutos da palmeira Juçara (*Euterpe edulis* Martius). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 14, p. 321–326, 2012.

MASSON, A. P.; VIGANÓ, O. J. Bebida Láctea Com Amarantho. **E-Tech: Tecnologias para Competitividade Industrial**, v. 7, n. 2, p. 165–185, 2013.

O'CONNELL, J. E.; FOX, P. F. Significance and applications of phenolic compounds in the production and quality of milk and dairy products: a review. **International Dairy Journal**, v. 11, p. 103–120, 2001.

OBÓN, J. M.; CASTELLAR, M. R.; ALACID, M.; FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J. A. Production of a red-purple food colorant from *Opuntia stricta* fruits by spray drying and its application in food model systems. **Journal of Food Engineering**, v. 90, n. 4, p. 471–479, 2009.

OLIVEIRA, A.; ALEXANDRE, E. M. C.; COELHO, M.; LOPES, C.; ALMEIDA, D. P. F.; PINTADO, M. Incorporation of strawberries preparation in yoghurt: Impact on phytochemicals and milk proteins. **Food Chemistry**, v. 171, p. 370–378, 2015.

OLIVEIRA, D. D. S.; AQUINO, P. P.; RIBEIRO, S. M. R.; PROENÇA, R. P. C.; PINHEIRO-SANT'ANA, H. M. Vitamina C, carotenoides, fenólicos totais e atividade antioxidante de goiaba, manga e mamão procedentes da Ceasa do Estado de Minas Gerais. **Acta Scientiarum - Health Sciences**, v. 33, n. 1, p. 89–98, 2011.

OLIVEIRA, I. R. N. **Antocianinas extraídas de capim-gordura (*Melinis minutiflora*): atividade antioxidante, microencapsulamento por atomização e estabilidade**. 2011. 130 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

PASSOS, A. P. S. **Antocianina obtida de fruto de palmeira juçara (*Euterpe edulis* Mart.): estabilização com maltodextrina e aplicação em alimentos**. 2011. 40 f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2011.

PATHARE, P. B.; OPARA, U. L.; AL-SAID, F. A. Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: A Review. **Food and Bioprocess Technology**, v. 6, p. 36-60, 2012.

PRUDENCIO, I. D.; PRUDÊNCIO, E. S.; GRIS, E. F.; TOMAZI, T.; BORDIGNON-LUIZ, M. T. Petit suisse manufactured with cheese whey retentate and application of betalains and anthocyanins. **LWT - Food Science and Technology**, v. 41, n. 5, p. 905–910, 2008.

PUKALSKAS, A.; BEEK, T. A. V.; VENSKUTONIS, R. P.; LINSSEN, J. P. H.; VELDHUIZEN, A. V.; GROOT, A. Identification of radical scavengers in sweet grass (*Hierochloe odorata*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, n. 10, p. 2914–2919, 2002.

RAMOS, A. C. S. M.; STAMFORD, T. L. M.; MACHADO, E. C. L.; LIMA, F. R. B.; GARCIA, E. F.; ANDRADE, S. A. C.; SILVA, C. G. M. Elaboração de bebidas lácteas fermentadas: aceitabilidade e viabilidade de culturas probióticas. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, p. 2817 – 2828, 2013.

ROCHA, J. C. G. **Adição dos corantes naturais antocianinas e luteína em bebidas formuladas com proteínas de soro de leite**. 2013. 111 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

RUTZ, J. K. **Caracterização e microencapsulação de suco de pitanga roxa *Eugenia uniflora* L.**. 2013. 107 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2013.

SAITO, T. **Efeito da adição de extrato de casca de jabuticaba nas características físico-**

químicas e sensoriais de queijo petit suisse. 2014. 99 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2014.

TAGLIARI, M. **Influência de diferentes hidrocolóides no comportamento reológico de bebidas lácteas não fermentadas**. 2011. 75 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Escola de Engenharia Mauá, Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, 2011.

WALLACE, T. C.; GIUSTI, M. M. Determination of color, pigment, and phenolic stability in yogurt systems colored with nonacylated anthocyanins from *Berberis boliviana* L. as compared to other natural/synthetic colorants. **Journal of Food Science**, v. 73, n. 4, 2008.

ZAIDEL, D. N. A.; SAHAT, N. S.; JUSOH, Y. M. M.; MUHAMAD, I. I. Encapsulation of Anthocyanin from Roselle and Red Cabbage for Stabilization of Water-in-Oil Emulsion. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**, v. 2, p. 82–89, 2014.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O fruto jussara (*Euterpe edulis* Martius) é uma excelente fonte de antocianinas, compostos fenólicos, atividade antioxidante e o extrato concentrado demonstrou elevado poder corante.

O microencapsulamento de antocianinas por spray dryer demonstrou ser uma técnica eficiente para obtenção de corantes naturais com boa estabilidade, sendo que o tratamento com maltodextrina e temperatura de secagem do ar de saída de 50 °C apresentou características mais desejáveis (maior desejabilidade).

Considera-se, com base nos dados do presente estudo, que é viável a utilização de antocianinas de jussara microencapsuladas para colorir sistemas-modelo de bebidas lácteas, além de contribuir com aumento do valor nutricional do produto e atender a tendência do mercado que busca o desenvolvimento de alimentos mais saudáveis adicionados de ingredientes naturais.

Para futuros trabalhos, sugere-se o estudo do microencapsulamento de pigmentos naturais com combinações de agentes encapsulantes, uma vez que dificilmente apenas um material atenderá às características desejadas. Sugere-se também, o desenvolvimento de novos produtos e estudo da aceitação sensorial, para incorporação no mercado e disponibilização aos consumidores, os principais motivadores para o desenvolvimento deste tipo de pesquisa.