



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

ANA PAULA ROCHA CAMPOS

SUCO MISTO DE JAMBOLÃO (*Syzygium cumini* Lamarck) E CAMU-CAMU (*Myrciaria dubia*): ESTABILIDADE, ACEITAÇÃO SENSORIAL E MICROENCAPSULAÇÃO POR SPRAY DRYING

BELÉM – PA

2022



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

ANA PAULA ROCHA CAMPOS

SUCO MISTO DE JAMBOLÃO (*Syzygium cumini* Lamarck) E CAMU-CAMU (*Myrciaria dubia*): ESTABILIDADE, ACEITAÇÃO SENSORIAL E MICROENCAPSULAÇÃO POR SPRAY DRYING

Trabalho apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Pará, como requisito para a obtenção do Título de Doutor em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Rosinelson da Silva Pena

Coorientador: Prof. Dr. Renan Campos Chisté

BELÉM – PA
2022

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

C198s Campos, Ana Paula Rocha.
SUCO MISTO DE JAMBOLÃO (*Syzygium cumini* Lamarck)
E CAMU-CAMU (*Myrciaria dubia*): ESTABILIDADE,
ACEITAÇÃO SENSORIAL E MICROENCAPSULAÇÃO POR
SPRAY DRYING / Ana Paula Rocha Campos. — 2022.
115 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Rosinelson da Silva Pena
Coorientador(a): Prof. Dr. Renan Campos Chisté
Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de
Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia
de Alimentos, Belém, 2022.

1. Frutas amazônicas. 2. Ácido ascórbico. 3. Antocianinas.
4. Secagem. I. Título.

CDD 664

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Rosinelson da Silva Pena
(PPGCTA/ITEC/UFPA – Orientador)

Prof. Dr. Renan Campos Chisté
(PPGCTA/ITEC/UFPA – Coorientador)

Prof. Dr. Gustavo Araújo Pereira
(PPGCTA/ITEC/UFPA – Membro Interno)

Prof. Dr. Raul Nunes de Carvalho Junior
(PPGCTA/ITEC/UFPA – Membro Interno)

Dr^a. Ana Vânia Carvalho
(EMBRAPA Amazônia Oriental – Membro Externo)

Prof. Dr. Lênio José Guerreiro de Faria
(PPGEQ/ITEC/UFPA – Membro Externo)

Dedico esta tese aos meus amados pais, Paulo e Elisabeth, por todo apoio e por serem os meus maiores exemplos; e a minha querida irmã Mara, pelo incentivo e amizade.

AGRADECIMENTOS

À Deus por sempre guiar os meus passos e abençoar as minhas escolhas.

À minha amada família, Paulo, Elisabeth e Mara, por todo amor, conselhos, compreensão e apoio incondicional ao longo da minha vida.

Ao meu orientador, Prof^o Dr. Rosinelson Pena, pela confiança em me orientar, dedicação, apoio e valiosa orientação que proporcionou ao longo deste doutorado. Levarei para minha vida todos os ensinamentos que tive nesses anos de convivência.

Ao meu coorientador, Prof^o Dr. Renan Chisté, por todo suporte nas metodologias, correções e coorientação ao longo deste trabalho.

À Dr^a Ana Vânia Carvalho, Prof^o Dr. Lênio Faria, Prof^o Dr. Raul Carvalho e Prof^o Dr. Gustavo Pereira por aceitaram participar da banca examinadora e por todas as contribuições para a realização desta tese.

À Dr^a Rafaella Mattietto, por toda ajuda, no início do trabalho, com o planejamento de mistura.

Aos meus queridos avós que sempre fizeram das minhas conquistas as suas: Manoel (*in memoriam*) e Genilda.

Ao meu querido cunhado Marcell, que é como um irmão, por todo incentivo e amizade.

Em especial à Juliana, Jaque, Taty e Lucena, por toda a ajuda em algumas análises para o desenvolvimento deste trabalho, pela amizade, risadas e momentos inesquecíveis.

Aos meus amigos de laboratório, Fernanda, Rondineli, Rosane, Gisélia, Mayara, Junior, Maiara Oliveira e Estela. Por tornarem meus dias mais divertidos, foram momentos incríveis que compartilhamos ao longo desses anos.

À minha querida prima Adriana, que esteve presente em todos os momentos e pela amizade.

Aos amigos de todas as horas, das alegrias, das tristezas, das brincadeiras e, acima de tudo, do grande companheirismo e sinceridade: Alessandra, Tito e Samira.

À CAPES pela concessão da bolsa de doutorado.

Por fim, a todos, mesmo sem serem mencionados, que de certa forma ajudaram e estiveram presentes ao longo dessa jornada, o meu Muito Obrigada!

RESUMO

A biodiversidade da Amazônia brasileira tem um grande número de frutas nativas e exóticas subexploradas. Dentre elas estão o Jambolão e o Camu-camu, que são frutas ricas em antocianinas e ácido ascórbico, respectivamente, as quais podem ser utilizadas no desenvolvimento de um suco misto de frutas, com alto teor de compostos bioativos. Durante a produção de sucos de frutas, o processo de pasteurização é de grande importância, pois garante ao produto a estabilidade e segurança alimentar. Por outro lado, com a finalidade de melhorar a estabilidade e aumentar a vida útil desse tipo de produto, a secagem por atomização (*spray drying*) é um processo muito utilizado, na obtenção de sucos de frutas em pó. Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar a estabilidade dos compostos bioativos da mistura de jambolão e camu-camu; estabelecer uma formulação para o suco misto, com base em propriedades sensoriais; determinar a melhor condição de temperatura e tempo de pasteurização para o suco misto de jambolão e camu-camu; avaliar a estabilidade do suco misto pasteurizado à temperatura ambiente (25 °C); estabelecer a melhor condição de temperatura, concentração de maltodextrina:goma arábica (MD:GA) e vazão de alimentação, para a secagem em *spray dryer* do suco misto de jambolão e camu-camu. A estabilidade da mistura foi avaliada em três formulações de sucos de jambolão:camu-camu:água (m:m:m): 37,5:12,5:50 (SM); 12,5:0:87:5 (SJ) e 0:37,5:62,5 (SC). Para a determinação da formulação do suco misto foram realizadas análises de compostos bioativos e teste de aceitação sensorial em seis sucos de jambolão/camu-camu: 37,5:12,5 (F1); 32,5:17,5 (F2); 27,5:22,5 (F3); 22,5:27,5 (F4); 17,5:32,5 (F5) e 12,5:37,5 (F6). A melhor condição de pasteurização foi determinada com base na atividade enzimática (peroxidase, polifenoloxidase e pectina metilesterase), no conteúdo de compostos bioativos (antocianinas, compostos fenólicos totais e ácido ascórbico) e na contagem microbiana (bactérias aeróbias mesófilas, fungos e coliformes termotolerantes). A estabilidade do suco misto pasteurizado à temperatura ambiente (25 °C) foi monitorada por 35 dias. A secagem por *spray drying* foi estabelecida com base nas características do pó obtido (umidade, atividade de água (a_w), higroscopicidade, índice de solubilidade em água (ISA), rendimento e diferença total de cor (ΔE^*)) e na eficiência da microencapsulação dos compostos bioativos (ácido ascórbico (AA), antocianinas monoméricas totais (AMT) e compostos fenólicos totais (CFT)). A estabilidade das antocianinas na formulação SM foi assegurada por até cinco dias de armazenamento a 25°C. A cinética de reação de primeira ordem descreveu com boa precisão a degradação das antocianinas durante o armazenamento. A análise de mapa de preferência interno mostrou a

existência de dois grupos: um formado pelas formulações F1 e F2 e o outro pelas formulações F3, F4, F5 e F6. A formulação com a menor concentração de camu-camu (12,5%) apresentou o melhor índice de aceitação sensorial (80,4%), e teores de antocianinas de 23,04 mg/100 mL, ácido ascórbico de 353,32 mg AA/100 mL, compostos fenólicos totais de 892,06 mg EAG/100 mL e capacidade antioxidante de 3668,78 mM ET/100 mL. A metodologia de superfície de resposta e a função desejabilidade definiram a melhor condição para a pasteurização do SM, sendo 75 °C e 90 s. O produto pasteurizado nestas condições apresentou contagens microbianas seguras, todas as enzimas deteriorativas inativadas, 24,18 mg de antocianinas/100 mL, 325,83 mg de compostos fenólicos totais/100 mL e 1862,4 mg de ácido ascórbico/100 mL. A estabilidade do suco misto pasteurizado apresentou uma cinética de pseudo-primeira ordem para degradação das antocianinas e do ácido ascórbico, com tempo de meia-vida de 18 e 126 dias, respectivamente, durante o armazenamento em temperatura ambiente. A metodologia de superfície de resposta e a função desejabilidade foram também utilizadas para definir 145 °C, 34% de MD:GA e 8 mL/min como as melhores condições para a secagem em *spray dryer*, do suco misto de jambolão e camu-camu em pó, com 3,47% de umidade, 0,18 de a_w , 35,97% de higroscopicidade, ISA de 85,67%, 33,46 % de rendimento, ΔE^* de 24,17 e eficiência de microencapsulação de 24,95% para AA, 50,34% para AMT e 33,93% para CFT. O produto obtido na condição ótima apresentou uma composição com 50,4 g de AA, 263,98 mg de AMT e 1307,94 mg de CFT, por 100 g do pó. Assim, o suco misto de jambolão e camu-camu (F1), selecionado pelos provadores, pode ser considerado uma fonte promissora de compostos bioativos. A eficácia do tratamento térmico aplicado na retenção dos compostos bioativos, do suco misto estudado, foi evidenciada pelo o tempo de meia-vida durante o armazenamento a 25 °C. Os altos teores de compostos bioativos no suco misto em pó indicam que o produto tem potencial para aplicação na indústria e alimentos, por serem promotores de efeitos benéficos à saúde.

Palavras-chaves: frutas amazônicas, ácido ascórbico, antocianinas, secagem.

ABSTRACT

The biodiversity of the Brazilian Amazon has a large number of underexploited native and exotic fruits. Among them are Jambolan and Camu-camu fruits, with are fruits rich in anthocyanins and ascorbic acid, respectively, which can be used in development of a fruit juice blend, with a high content of bioactive compounds. During the production of fruit juices, the pasteurization process is of great importance, as it guarantees stability and food safety to the product. On the other hand, in order to improve the stability and increase the shelf life of this type product, spray drying is a widely used process to obtain powdered fruit juices. Thus, this work aimed to evaluate the stability of the bioactive compounds from jambolan and camu-camu mixture; establish a formulation for the juice blend, based on sensory properties; determine the best temperature and time for the pasteurization of jambolan and camu-camu juice blend; to evaluate the stability of the pasteurized juice blend at room temperature (25 °C); establish the best temperature, maltodextrin:gum arabic (MD:GA) concentration and feed flow rate, for spray drying jambolan and camu-camu juice blend. The stability of three juice formulations with jambolan:camu-camu:water (m:m:m): 37.5:12.5:50 (JB); 12.5:0:87.5 (JJ) and 0:37.5:62.5 (JC). To determine the formulation of the juice blend, analyzes of bioactive compounds and sensory acceptance test were performed in six jambolan/camu-camu juices: 37.5:12.5 (F1); 32.5:17.5 (F2); 27.5:22.5 (F3); 22.5:27.5 (F4); 17.5:32.5 (F5) and 12.5:37.5 (F6). The best pasteurization condition was determined based on the enzymatic activity (peroxidase, polyphenoloxidase and pectin methylesterase), the content of bioactive compounds (anthocyanins, total phenolic compounds and ascorbic acid) and the microbial count (aerobic mesophilic bacteria, fungi and thermotolerant coliforms). The stability of the pasteurized juice blend at room temperature (25 °C) was monitored for 35 days. Drying by spray drying was established based on the characteristics of the obtained powder (moisture, water activity (a_w), hygroscopicity, water solubility index (WSI), yield and total color difference (ΔE^*)) and efficiency of microencapsulation of bioactive compounds (ascorbic acid (AA), total monomeric anthocyanins (TMA) and total phenolic compounds (TPC)). The stability of anthocyanins in the JB formulation was ensured for up to five days of storage at 25°C. Pseudo-first order reaction kinetics accurately described the degradation of anthocyanins during storage. The internal preference map analysis showed the existence of two groups: one formed by the formulations F1 and F2 and the other by formulations F3, F4, F5 and F6. The formulation with the lowest concentration of camu-camu (12.5%) had the best sensory acceptance rate (80.4%), and anthocyanin contents of 23.04 mg.100 mL⁻¹, ascorbic

acid of 353.32 mg.100 mL⁻¹, total phenolic compounds of 892.06 mg.100 mL⁻¹ and antioxidant capacity of 3668.78 mM ET.100 mL⁻¹. The response surface methodology and desirability function defined the best conditions for the pasteurization of JB, being 75 °C and 90 s. The product pasteurized under these conditions showed safe microbial counts, all spoilage enzymes inactivated, 24.18 mg anthocyanins.100 mL⁻¹, 325 83 mg of total phenolic compounds.100 mL⁻¹ and 1862.4 mg of ascorbic acid.100 mL⁻¹. The stability of the pasteurized juice blend showed pseudo-first order kinetics for the degradation of anthocyanins and ascorbic acid, with half-times of 18 and 126 days, respectively, during storage at room temperature. The response surface methodology and the desirability function were also used to define 145 °C, 34% MD:GA and 8 mL/min as the best conditions for spray drying the jambolan and camu-camu juice blend powder, with 3.47% moisture, 0.18 aw, 35.97% hygroscopicity, WSI of 85.67%, 33.46% yield, ΔE* of 24.17 and microencapsulation efficiency of 24.95% for AA, 50.34% for TMA and 33.93% for TPC. The product obtained in the optimal condition presented in its composition 50.4 g of AA, 263.98 mg of TMA and 1307.94 mg of TPC, per 100 g of powder. Thus, the juice blend of jambolan and camu-camu (F1), selected by the tasters, can be considered a promising source of bioactive compounds. The effectiveness of the heat treatment applied in the retention of bioactive compounds of the juice blend studied, was evidenced by the half-time during storage at 25 °C. The high levels of bioactive compounds in the juice blend powder, indicate that the product has potential for application in industry and food, as they promote beneficial health effects.

Keywords: Amazonian fruits, ascorbic acid, anthocyanins, drying.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Frutos de Jambolão (<i>Syzygium cumini</i>).	21
Figura 1.2. Frutos de Camu-camu (<i>Myrciaria dubia</i>).	23
Figura 1.3. Estrutura básica das antocianinas	25
Figura 1.4. Comportamento das antocianinas em diferentes pH	26
Figura 1.5. Mecanismo de oxidação do ácido ascórbico.....	28
Figura 1.6. Esquema de funcionamento de um spray dryer	32
Figura 1.7. Estrutura de micropartículas	35
Figura 2.1. Formulações do suco misto de jambolão e camu-camu.	59
Figura 2.2. Representação do mapa de preferência dos consumidores para os atributos cor (A), sabor (B), aroma (C) e impressão global (D) das formulações do suco misto de camu-camu e jambolão.	63
Figura 3.1. Suco misto de jambolão e camu-camu.....	74
Figura 3.2. Superfície de resposta e curvas de nível gerados pelos modelos de regressão propostos para ácido ascórbico (A), antocianinas monoméricas totais (B) e compostos fenólicos totais (C).	81
Figura 3.3. Perfil de desejabilidade de tratamento térmico do suco misto de jambolão e camu-camu. Dados obtidos alterando cada variável independente enquanto a outra foi fixada no ponto central do DCCR. AA: ácido ascórbico; CFT: compostos fenólicos totais.	83
Figura 3.4. Estabilidade do ácido ascórbico (A) e das antocianinas monoméricas totais (B) no suco misto de jambolão e camu-camu pasteurizado e não pasteurizado durante o armazenamento à temperatura ambiente (25 °C). Mesma letra nas barras não difere estatisticamente ($p > 0,05$)......	84
Figura 3.5. Contagem de bactérias aeróbias mesófilas (A) e fungos (B) no suco misto de jambolão e camu-camu pasteurizado e não pasteurizado durante o armazenamento à temperatura ambiente (25 °C).	86
Figura 4.1. Suco misto de jambolão e camu-camu.....	92
Figura 4.2. Curvas de nível das variáveis dependentes: umidade (A), atividade de água (B e C), higroscopicidade (D e E), índice de solubilidade em água (F e G) e rendimento (H), em função das variáveis independentes de temperatura (°C), vazão de alimentação (mL/min) e concentração de MD:GA (%).	101
Figura 4.3. Sucos misto em pó obtidos nas condições experimentais.....	104
Figura 4.4. Teor de ácido ascórbico total e na superfície das microcápsulas obtidas nas diferentes condições do planejamento experimental.	105

Figura 4.5. Teor de antocianinas monoméricas total e na superfície das microcápsulas obtidas nas diferentes condições do planejamento experimental.....	106
Figura 4.6. Teor de compostos fenólicos total e na superfície da microcápsula obtidas nas diferentes condições do planejamento experimental.	107
Figura 4.7. Perfil de desejabilidade para a secagem do suco misto de jamboão e camu-camu, por spray drying. AA: ácido ascórbico; CFT: compostos fenólicos totais; ISA: índice de solubilidade em água.	110
Figura 4.8. Suco misto em pó obtido na condição ótima. .	111

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1. Composição centesimal e propriedades físico-químicas do jambolão	22
Tabela 1.2. Composição centesimal e propriedades físico-químicas do camu-camu.	24
Tabela 2.1. Composição das formulações dos sucos mistos de camu-camu e jambolão.	53
Tabela 2.2. Características físico-químicas dos frutos de camu-camu e jambolão.	55
Tabela 2.3. Estabilidade das antocianinas e ácido ascórbico armazenados a 25 °C durante 10 dias.....	57
Tabela 2.4. Parâmetros dos modelos das reações de degradação das antocianinas do suco misto.	58
Tabela 2.5. Conteúdo de antocianinas, ácido ascórbico, compostos fenólicos e capacidade antioxidante (ABTS) das formulações do suco misto de camu-camu e jambolão.	59
Tabela 2.6. Índice de aceitação dos atributos sensoriais das formulações dos sucos mistos de camu-camu e jambolão.	61
Tabela 3.1. Teores de ácido ascórbico, antocianinas monoméricas totais, compostos fenólicos totais e contagens de bactérias aeróbias mesófilas e fungos para o tratamento térmico da mistura de suco de jambolão e camu-camu obtida pelo delineamento composto central rotacional.	79
Tabela 3.2. Efeito estimado e coeficiente 'p' dos efeitos sobre os teores de ácido ascórbico, antocianinas monoméricas totais e teores de compostos fenólicos totais durante a pasteurização da mistura de suco de jambolão e camu-camu.	80
Tabela 3.3. ANOVA para os teores de ácido ascórbico, antocianinas monoméricas totais e compostos fenólicos totais durante a pasteurização do suco misto de jambolão e camu-camu.	82
Tabela 3.4. Parâmetros do ajuste do modelo cinético de pseudo-primeira ordem aos dados de degradação do ácido ascórbico e das antocianinas monoméricas totais nos sucos mistos de jambolão e camu-camu durante o armazenamento em temperatura ambiente (25 °C).	86
Tabela 4.1. Matriz de experimentos para o delineamento composto central rotacional e os resultados das variáveis dependentes, para a secagem por spray drying do suco misto de jambolão e camu-camu	91
Tabela 4.2. Análise de variância (ANOVA): efeito dos fatores para cada resposta do suco misto de jambolão e camu-camu em pó, a um nível de confiança de 95%.	100
Tabela 4.3. Coeficientes da equação de regressão para as respostas do planejamento experimental utilizado no estudo da secagem, em <i>spray dryer</i> , do suco misto de jambolão e camu-camu.....	108

Tabela 4.4. Valores preditos e experimentais para as respostas na condição ótima para a secagem por *spray drying* do suco misto de jambolão e camu-camu. 111

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	17
OBJETIVOS	20
Capítulo 1. REVISÃO DA LITERATURA	21
1.1 JAMBOLÃO	21
1.2 CAMU-CAMU	23
1.3 ANTOCIANINAS	24
1.4 ÁCIDO ASCÓRBICO.....	26
1.5 ESTABILIDADE DAS ANTOCIANINAS E DO ÁCIDO ASCÓRBICO	29
1.6 SUCO MISTO	29
1.7 ANÁLISE SENSORIAL	30
1.8 SECAGEM POR ATOMIZAÇÃO	31
1.9 SECAGEM DE SUCO DE FRUTAS POR ATOMIZAÇÃO.....	33
1.10 MICROENCAPSULAÇÃO	33
1.11 AGENTES ENCAPSULANTES	35
REFERÊNCIAS	37
Capítulo 2. SUCO MISTO DE JAMBOLÃO (<i>Syzygium cumini</i>) E CAMU-CAMU (<i>Myrciaria dubia</i>): ANÁLISE SENSORIAL E ESTABILIDADE DOS COMPOSTOS BIOATIVOS	48
RESUMO	48
2.1 INTRODUÇÃO.....	49
2.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	51
2.2.1 Materias-primas	51
2.2.2 Caracterização dos frutos	51
2.2.3 Determinação de compostos bioativos	51
2.2.4 Determinação da capacidade antioxidante.....	52
2.2.5 Estabilidade das antocianinas e do ácido ascórbico	52
2.2.6 Avaliação sensorial do suco misto	53
2.2.7 Análise estatística.....	54
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
2.3.1 Caracterização dos frutos de jambolão e camu-camu	55
2.3.2 Estabilidade das antocianinas e do ácido ascórbico	57
2.3.3 Caracterização funcional do suco misto	59

2.3.4 Análise sensorial do suco misto	60
2.4 CONCLUSÃO.....	64
REFERÊNCIA	64
Capítulo 3. ESTABILIDADE DO ÁCIDO ASCÓRBICO E ANTOCIANINAS DO SUCO MISTO DE JAMBOLÃO (<i>Syzygium cumini</i>) E CAMU-CAMU (<i>Myrciaria dubia</i>) DURANTE A PASTEURIZAÇÃO E ARMAZENAMENTO EM TEMPERATURA AMBIENTE	71
RESUMO	71
3.1 INTRODUÇÃO.....	72
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	73
3.2.1 Material	73
3.2.2 Preparo do suco misto	73
3.2.3 Pasteurização em escala de bancada.....	74
3.2.4 Determinação da atividade enzimática.....	74
3.2.5. Determinação dos compostos bioativos	75
3.2.6 Análises microbiológicas	75
3.2.7 Estabilidade do suco misto.....	76
3.2.8 Análise estatística.....	76
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	77
3.3.1 Pasteurização do suco misto	77
3.3.2 Estabilidade do suco misto pasteurizado.....	83
3.4 CONCLUSÃO.....	86
REFERÊNCIAS	87
Capítulo 4. PROPRIEDADES FUNCIONAIS DO SUCO MISTO DE JAMBOLÃO (<i>Syzygium cumini</i>) E CAMU-CAMU (<i>Myrciaria dubia</i>) MICROENCAPSULADO POR SPRAY DRYING.....	90
RESUMO	90
4.1 INTRODUÇÃO.....	91
4.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	92
4.2.1 Material	92
4.2.2 Preparo do suco misto	92
4.2.3 Secagem em <i>spray dryer</i>	93
4.2.4 Caracterização dos pós.....	95
4.2.5 Eficiência da microencapsulação do suco misto	96

4.2.6 Análise estatística.....	96
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	97
4.3.1 Umidade.....	97
4.3.2 Atividade de água	98
4.3.3 Higroscopicidade	99
4.3.4 Índice de solubilidade em água	102
4.3.5 Rendimento	103
4.3.6 Diferença total de cor (ΔE^*)	103
4.3.7 Eficiência de microencapsulação.....	104
4.3.8 Ajuste do modelo polinomial	108
4.3.9 Otimização das condições de secagem	109
4.4 CONCLUSÃO.....	111
REFERÊNCIAS	112
ANEXO I.....	116
ANEXO II	117
ANEXO III	119
ANEXO IV	121

INTRODUÇÃO

A biodiversidade da Amazônia brasileira tem um grande número de frutas nativas e exóticas subexploradas, mas com grande potencial nutricional (Oliveira et al., 2012). Muitas dessas frutas são consideradas fontes potenciais de compostos bioativos, que podem ser utilizados na alimentação humana promovendo benefícios para a saúde (Neves et al., 2015; Balisteiro et al., 2017). Dentre essas frutas, destacam-se o camu-camu (*Myrciaria dubia*), cuja composição contém uma grande quantidade de ácido ascórbico, que pode variar de 1000 a 6000 mg/100g (Arkter et al., 2011; Vidigal et al., 2011), e o jambolão (*Syzygium cumini*), conhecido por ser uma fonte de antocianinas, com teores entre 211 e 230 mg/100 g (Veigas et al., 2007; Faria et al., 2011).

No entanto, a estabilidade das antocianinas pode ser afetada ao interagir com ácido ascórbico (AA), devido à clivagem oxidativa do anel de pirílio, por um mecanismo de radical livre, e também pela condensação direta do ácido ascórbico com a molécula da antocianina, levando à perda mútua destes compostos (Farr; Giust, 2018; Nóbrega et al., 2015). Por outro lado, a presença de flavonoides exerce um efeito protetor contra a degradação de antocianinas, na presença de AA, provavelmente por competição com antocianinas na preferência por reações de condensação (Shrikhande; Francis, 1974; De Rosso; Mercadante, 2007).

Uma variedade de frutas está disponível no mercado, na forma de sucos, que podem atrair aos consumidores não só pelo sabor, mas, também, por serem fontes naturais de carboidratos, carotenóides, vitaminas, minerais e outros componentes importantes. Neste contexto, os sucos mistos têm sido inseridos no mercado, pelo desenvolvimento de novos sabores e pela possibilidade do enriquecimento do valor nutritivo e funcional do suco, visando a elaboração de uma bebida de frutas com efeitos benéficos à saúde (Pinheiro et al., 2006; Leone et al., 2011).

Por sua vez, para a elaboração de novos produtos alimentícios recomenda-se a realização de testes sensoriais. Segundo Gularte (2002), a utilização dos sentidos humanos é uma importante ferramenta para determinar a qualidade sensorial, verificar a melhor formulação, avaliar a percepção e a reação humana diante de atributos de um alimento, a fim de avaliar a aceitabilidade do produto pelo consumidor.

O suco em pó é um produto com boas perspectivas de aceitação pelos consumidores, por se tratar de um produto natural, obtido a partir de sucos integrais de frutas, utilizando um processo de secagem, que na maioria dos casos é a secagem por atomização (*spray drying*) (Cano-Chauca et al., 2005).

A secagem por atomização é um processo muito utilizado na obtenção de sucos de frutas em pó, por ser um processo econômico e flexível, que é realizado em um equipamento de fácil manipulação. O processo consiste na transformação de um produto líquido em um produto sólido, na forma de pó, por meio de uma corrente de ar aquecida (Shishir; Chen, 2017; Tontul; Topuz, 2017).

Vale ressaltar que, devido à presença de açúcares e ácidos de baixo peso molecular, que apresentam baixas temperaturas de transição vítrea, os sucos de frutas quando submetidos à secagem por atomização oferecem algumas restrições ao processo e de qualidade ao produto. Neste contexto, merecem destaque a elevada higroscopicidade e a pegajosidade do produto, que favorecem a aderência do produto nas paredes da câmara do secador, reduzindo assim o rendimento do processo (Goula; Adamopoulos, 2005; Jayasundera et al., 2009; Wang; Langrish, 2009). Uma alternativa para minimizar estes efeitos é o emprego de adjuvantes de secagem na formulação do produto, que por apresentarem elevado peso molecular, aumentam a temperatura de transição vítrea do produto (Shrestha et al., 2007).

Os adjuvantes de secagem empregados na secagem por atomização atuam também como agentes microencapsulantes, os quais promovem a formação de uma barreira entre os compostos bioativos presentes no produto e o ambiente externo (Borgogna et al., 2010). Esta barreira é capaz de oferecer proteção contra umidade, oxigênio, luz, calor, além de prevenir o contato com outros componentes. A eficiência da liberação controlada ou da proteção depende, principalmente, da composição e da estrutura da parede, mas também de parâmetros do processo como: temperatura, pH, pressão e umidade (Carneiro et al., 2013; Souza et al., 2014).

Existe uma variedade de produtos que são utilizados na indústria de alimentos, como agentes microencapsulantes, tais como: gomas, carboidratos, celuloses, lipídeos, proteínas e materiais inorgânicos (Favaro-Trindade et al., 2008; Porrarud; Pranee, 2010). Entre os produtos mais utilizados na secagem por atomização de suco de frutas, figuram a maltodextrina e a goma arábica (Bhusari et al., 2014).

Considerando o crescimento do mercado de sucos de frutas nos últimos anos, a tendência para uma alimentação mais saudável e natural, além da busca por sabores mais exóticos, o presente trabalho visa avaliar a estabilidade e a eficiência do processo de microencapsulação por *spray drying* do suco misto de jambolão e camu-camu, em relação à preservação das propriedades funcionais dos frutos.

Este trabalho está dividido em quatro capítulos: Capítulo 1 – Tem como finalidade realizar a revisão da literatura dos assuntos abordados no trabalho; Capítulo 2 – Visa definir

uma formulação para o suco misto de jambolão e camu-camu, com base na análise sensorial e nas propriedades funcionais, além de acompanhar a estabilidade dos compostos bioativos do suco misto; Capítulo 3 – Aborda a influência do processo de pasteurização sobre os compostos bioativos do suco misto de jambolão e camu-camu e a estabilidade do produto; Capítulo 4 – Tem como objetivo avaliar a eficiência do processo de microencapsulação do suco misto de jambolão e camu-camu, em *spray dryer*, com base na preservação dos compostos bioativos.

OBJETIVOS

GERAL:

Avaliar a estabilidade, a aceitação sensorial e o processo de microencapsulação por *spray drying* do suco misto de camu-camu e jambolão, com base nas propriedades funcionais do produto.

ESPECIFICOS:

- Estudar a estabilidade das antocianinas e do ácido ascórbico no suco misto de jambolão e camu-camu;
- Estabelecer uma formulação para o suco misto de jambolão e camu-camu, com base nas propriedades sensoriais e funcionais do produto;
- Estabelecer condições ótimas para o processo de pasteurização do suco misto de jambolão e camu-camu;
- Estabelecer condições ótimas para o processo de microencapsulação, por *spray drying*, para a obtenção de um suco misto em pó de jambolão e camu-camu, utilizando a maltodextrina e a goma arábica como agentes carreadores.

REVISÃO DA LITERATURA

1.1 JAMBOLÃO

O jambolão (*Syzygium cumini*) é uma planta da família das Myrtaceae (Figura 1.1), que tem origem na Ásia tropical, especificamente na Índia. É denominado cientificamente por *Eugenia jambolana* e *Eugenia cumini* (Ayyanar; Babu, 2012). O jambolão se adaptou bem ao clima brasileiro, onde é conhecido popularmente por azeitona preta, jamelão, cereja, jalão, kambol, azeitona-do-nordeste, ameixa roxa, murta, baga de freira, guapê, jambuí, azeitona-da-terra, entre outros nomes (Vizzotto; Pereira, 2008).



Figura 1.1. Frutos de Jambolão (*Syzygium cumini*). Foto: Da autora.

A árvore de jambolão mede aproximadamente 10 m de altura e de 3,0 a 4,5 m de diâmetro de projeção da copa, com folhagem abundante, ramos de coloração acinzentada claro, com fissuras escuras e cicatrizes foliares bastante aparentes (Alberton et al., 2001). A frutificação do jambolão ocorre nos meses de janeiro a maio e os frutos são do tipo baga, semelhantes às azeitonas (Loguercio et al., 2005; Lago et al., 2006; Migliato et al., 2007). Os frutos apresentam de 1,5 a 3,5 cm de comprimento, com uma única semente recoberta pela polpa carnosa, doce e ligeiramente adstringente, e tem casca delgada de coloração roxa escura (Ayyanar; Babu, 2012; Singh et al., 2015).

No Brasil, o jambolão é consumido quase que na sua totalidade na forma *in natura*, não sendo aproveitado do ponto de vista industrial, o que ocasiona um grande desperdício da matéria-prima. A fruta apresenta potencial para ser processada na forma de sucos, compotas, doces, geleias, entre outros. Sabe-se também que, tanto o fruto como as outras partes da árvore são utilizados na medicina popular (Baliga et al., 2011).

Ayyanar e Subash-Babu (2012) explicam que os frutos do jambolão e outras partes dessa planta são amplamente utilizados no tratamento de diversas doenças, em particular, o *Diabetes mellitus*. Os mesmos autores relatam que inúmeras investigações sobre a atividade biológica do jambolão já foram realizadas e foi observado que diferentes partes da planta apresentaram atividades antioxidante, anti-inflamatória, neurofísico-farmacológicas, antimicrobianas, antibacteriana, anti-HIV, leishmanicida, antifúngica, gastroprotetora, antidiarreica, anti-ulcerogênica, entre outras.

O jambolão é comumente consumido integralmente (polpa + casca) e, aproximadamente, 80% da fruta é comestível, o que a caracteriza como uma fruta de alto rendimento (Shajib et al., 2013). Na Tabela 1.1 é apresentada a composição centesimal e as propriedades físico-químicas do jambolão, segundo diferentes autores.

Tabela 1.1. Composição centesimal e propriedades físico-químicas do jambolão.

Propriedade	Lago et al. (2006)	Pereira (2011)	Barcia et al. (2012)	Albuquerque et al. (2019)
Umidade (g/100 g)	87,8	79,5	82,8	89,4
Lipídios (g/100 g)	0,30	0,35	–	0,23
Proteínas (g/100 g)	0,67	0,97	0,81	0,72
Fibra (g/100 g)	0,28	0,81	0,46	–
Cinzas (g/100 g)	0,34	0,41	0,39	0,27
Carboidratos (g/100 g)	10,1	17,96	–	–
Calorias (kcal/100 g)	–	78,91	65,19	–
Acidez total (% ácido/100 g)	5,91	–	–	5,99
Sólidos solúveis totais (°Brix)	9,0	–	–	9,17
pH	3,9	3,69	–	3,34
Antocianinas (mg/100g)	276,7	–	–	93,56
Compostos fenólicos (mg/100g)	–	–	–	182,01

A polpa do jambolão apresenta uma adstringência, a qual é atribuída à presença de taninos e compostos fenólicos de alto peso molecular, que também estão presentes no caju e na banana verde. Contudo, à medida em que os frutos amadurecem, geralmente ocorre uma redução da adstringência, a qual é atribuída à perda de solubilidade dos taninos. Em pequenas proporções ou em combinação com outros componentes do alimento, a adstringência pode contribuir para um sabor desejável, como ocorre em vinhos elaborados com cultivares de uvas pigmentadas (Lago et al., 2006; Migliato et al, 2007).

O jambolão é considerado uma fonte importante de compostos fenólicos em dietas alimentares, dos quais se conhecem mais de 4.000 estruturas com atividades biológicas (Everette et al., 2010). Dentre os compostos já identificados no jambolão, pode-se citar ácidos

fenólicos, como o ácido elágico; flavonoides, como a quercitina e a rutina; e antocianinas, como a delfinidina-3-glicosídeo, a petunidina-3-glicosídeo e a malvidina-3-glicosídeo (Veigas et al., 2007; Reynertson et al., 2008; Faria et al., 2011; Tavares et al., 2016).

1.2 CAMU-CAMU

O camu-camu (*Myrciaria dubia*) (Figura 1.2) é encontrado naturalmente em toda a Amazônia brasileira, na estação chuvosa; principalmente em áreas pantanosas ou inundadas, parcial ou totalmente submersas (Viégas et al., 2004; Chirinos et al., 2010). Dependendo da região onde é encontrado, este vegetal pode receber diversos nomes. Do estado do Pará até a Amazônia peruana é chamado de camu-camu, enquanto que em algumas partes da Amazônia Central e no estado de Roraima é denominado de caçari. A frutificação do camu-camu ocorre nos meses de dezembro a março e os frutos têm como característica o formato redondo, com 2,5 cm de diâmetro (Zanatta et al., 2005). O camu-camu é um arbusto de pequeno porte, pertencente à família Myrtaceae, que mede de 3 a 8 m de altura e pode apresentar várias ramificações (Ferreira; Ribeiro, 2006).



Figura 1.2. Frutos de Camu-camu (*Myrciaria dubia*). Foto: Da autora.

Os principais mercados importadores dos produtos derivados do camu-camu, como a polpa, o extrato e o suco, são o Japão e a União Europeia. A polpa tem sido utilizada na obtenção de sucos, sorvetes e geleias. Os frutos do camu-camu, fatiados ou inteiros, são utilizados para a obtenção de produtos desidratados. Devido ao alto teor de ácido ascórbico e de outras substâncias bioativas, o camu-camu tem sido apresentado como uma fonte promissora desses compostos, podendo ser usado como alimento funcional (Chirinos et al., 2010; Arkter et al., 2011).

O camu-camu apresenta na composição química outros constituintes de interesse tecnológico para a elaboração de bebidas. Porém, a principal importância desse fruto decorre da presença de substâncias de caráter nutritivo e nutracêutico. Nesta classe destacam-se o ácido ascórbico, compostos fenólicos, pectinas, carotenoides e flavonoides, como as antocianinas (Souza, 2005). A composição centesimal e as propriedades físico-químicas do camu-camu, segundo diferentes autores, são apresentadas na Tabela 1.2.

Tabela 1.2. Composição centesimal e propriedades físico-químicas do camu-camu.

Propriedade	Justi et al. (2000)	Maeda et al. (2006)	Rufino et al. (2010)	Gonçalves (2012)
Umidade (g/100 g)	94	92,65	84,1	89
Lipídios (g/100 g)	0,2	0,05	–	2,6
Proteínas (g/100 g)	0,4	0,29	–	0,53
Fibra (g/100 g)	0,1	–	–	–
Cinzas (g/100 g)	0,3	–	–	0,25
Carboidratos (g/100 g)	3,5	4,47	–	7,6
Acidez total (% ácido cítrico/100 g)	–	3,40	–	–
Sólidos solúveis totais (°Brix)	–	6,20	–	–
pH	–	2,64	–	–
Ácido ascórbico (mg/100 g)	1.410,0	2.585,8	1.882	2.322
Compostos fenólicos (mg/100g)	–	861,73	1176	156
Antocianinas (mg/100g)	–	9,98	42,2	99,64

A polpa do camu-camu apresenta sabor cítrico (ácido) e a casca é adstringente, devido à presença de taninos. Estas características dificultam o consumo do fruto *in natura* e apontam para a necessidade de pesquisas para o seu melhor aproveitamento. Devido ao teor particularmente elevado de ácido ascórbico (2.585,8 mg/100g), o camu-camu é uma excelente alternativa para ser misturado a outras matérias-primas, visando aumentar o teor dessa vitamina em produtos como sucos de frutas, néctares, doces, sorvetes, iogurtes e bebidas isotônicas (Franco; Shibamoto, 2000; Rodrigues et al., 2004; Maeda et al., 2006; Smiderle, 2008; Valente et al., 2014).

1.3 ANTOCIANINAS

As antocianinas estão presentes em frutas comestíveis, vegetais folhosos, raízes, tubérculos, bulbos, ervas, temperos, legumes, chá, café e vinho tinto. Elas são a subclasse predominante dos flavonoides coloridos, que consistem em pigmentações vermelhas, laranjas, roxas, violetas ou azuis, em várias plantas (Khoo et al., 2017). Com o aumento do interesse

por corantes naturais, em substituição aos corantes sintéticos, o uso de antocianinas como pigmento alimentar tem aumentado (Zhang et al., 2014).

Além de serem corantes naturais, as antocianinas são antioxidantes, os quais são compostos químicos com capacidade de reagir com radicais livres e assim restringir os seus efeitos maléficos ao organismo (Huang et al., 2005). As antocianinas possuem propriedades farmacológicas e propriedades medicinais, incluindo as atividades anticarcinogênica, anti-inflamatória e antimicrobiana, além de prevenir a oxidação de proteínas de baixa densidade (LDL), enfermidades cardiovasculares e doenças neurológicas (He et al, 2011; Chi et al., 2019).

As principais antocianinas encontradas na natureza são os glicosídeos de cianidina, delphinidina, malvidina, pelargonidina, peonidina e petunidina (Khoo et al., 2017; Zhao et al., 2017). Elas apresentam como característica básica o esqueleto carbônico $C_6C_3C_6$, comum a outros flavonoides, e têm como estrutura básica o 2-fenilbenzopirílio (íon flavílio) (Figura 1.3). Os açúcares mais comuns são glicose, raminose, galactose, arabinose, xilose, di e trissacarídeos (homogêneos ou heterogêneos). A glicosilação ocorre geralmente no carbono C-3 da antocianidina e, caso ocorra uma glicosilação adicional, é mais provável que seja no carbono C-5; mas também pode ocorrer nos carbonos C-7, C-3', C-4' e C-5' (Khoo et al., 2017; Shinwari; Rao, 2018).

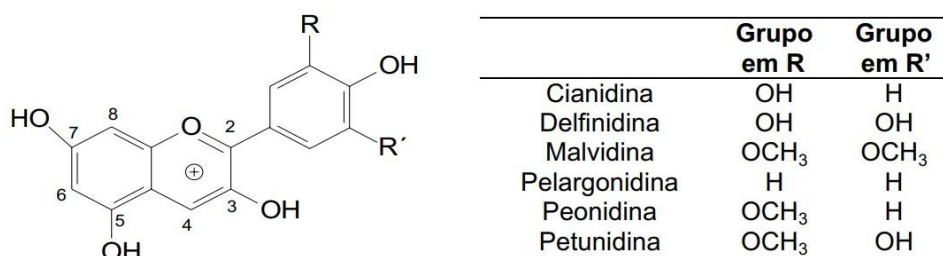


Figura 1.3. Estrutura básica das antocianinas (Damodaran et al., 2021).

A estabilidade das antocianinas pode ser facilmente afetada pela luz, pH, temperatura, enzimas, oxigênio, íons metálicos, presença do ácido ascórbico e outros fatores ambientais (Qian et al., 2017; Mojica et al., 2017). A coloração das antocianinas é dependente do pH. Em condições ácidas ($\text{pH} < 3$), as antocianinas apresentam estrutura de cátion flavílio de coloração vermelho; com o aumento do pH ocorre a desprotonação da estrutura para formar a base quinoidal de cores violeta ($\text{pH} 6-8$) e azul ($\text{pH} 9-12$). No entanto, a hidratação do cátion flavílio leva a formação da pseudobase carbitol ($\text{pH} 5$), resultando em uma estrutura incolor. Em meio alcalino ($\text{pH} > 13$) as antocianinas possuem a forma de chalcona, com tonalidade amarela (Figura 1.4). As antocianinas são mais estáveis em pH baixo, pois o cátion flavílio

formado é solúvel em água. A diminuição na concentração da água aumenta a taxa de desprotonação do cátion flavílio, reduzindo a estabilidade da cor das antocianinas (Torskangerpoll; Andersen, 2005; Coutinho et al., 2015).

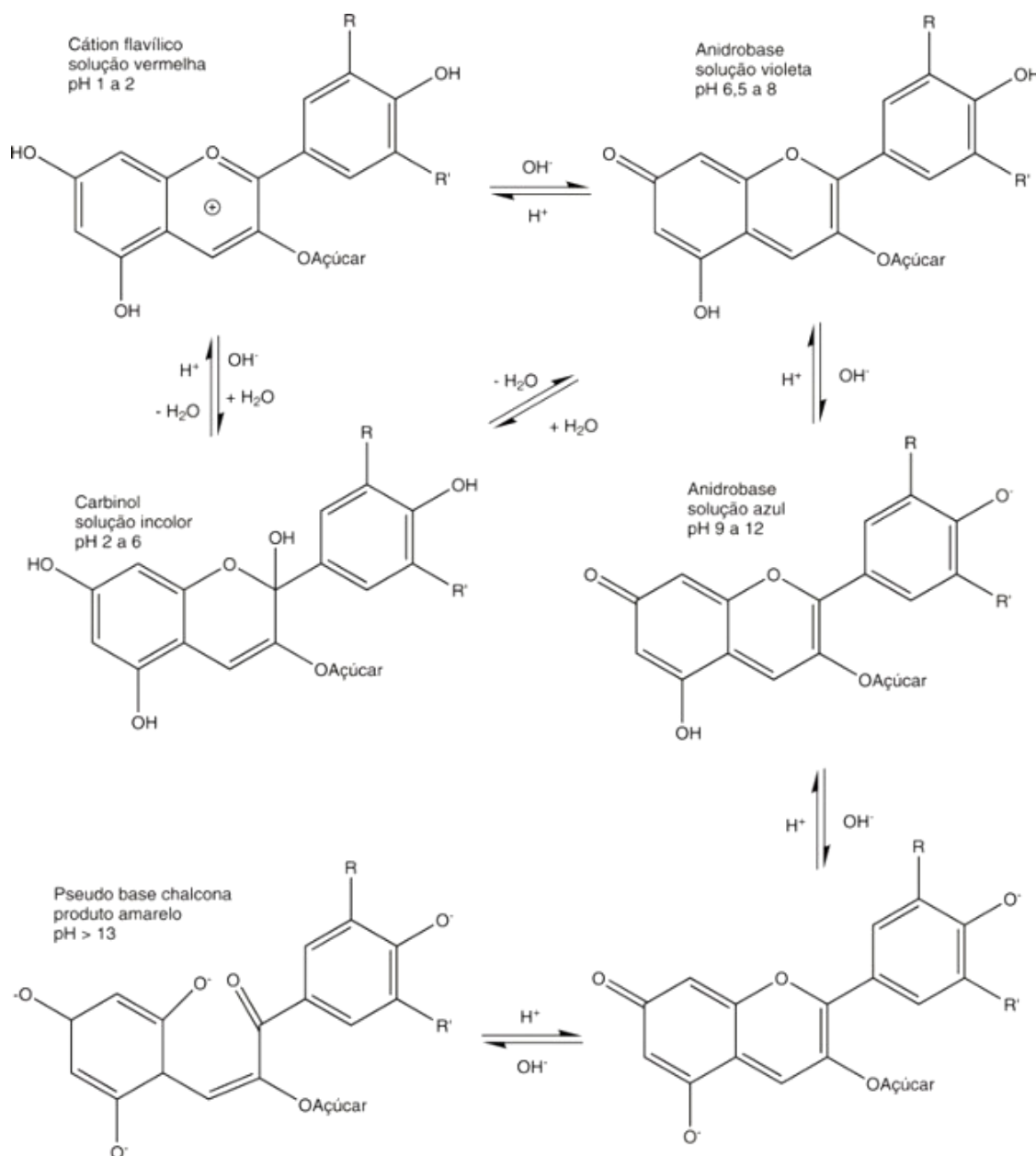


Figura 1.4. Comportamento das antocianinas em diferentes pH (Terci; Rossi, 2002).

1.4 ÁCIDO ASCÓRBICO

O ácido ascórbico, denominado de vitamina C, é um composto bioativo conhecido por seus benefícios nutricionais para a saúde, e pode ser encontrado naturalmente em frutas e vegetais. O ácido ascórbico é um aditivo alimentar com ampla aplicação como antioxidante e

pode proteger as qualidades sensoriais e nutricionais de alimentos (Bastos et al., 2009; Abbas et al., 2012).

Como nutriente, o ácido ascórbico promove o desenvolvimento e a manutenção do corpo, atuando na produção de colágeno, cicatrização de feridas, absorção de ferro, redução da suscetibilidade à infecção e prevenção do sangramento da mucosa (Valente et al., 2011). A deficiência em vitamina C pode causar escorbuto, doença característica por apresentar quadro hemorrágico, fraqueza muscular, alterações na gengiva, osteoporose, dificuldade de cicatrização de ferimentos e anemia (Padayatty et al., 2003).

Os seres humanos não são capazes de sintetizar a vitamina C, devido à ausência da enzima L-glucolactona oxidase no corpo humano, o que inviabiliza a transformação da glicose do sangue em ácido ascórbico (Aranha et al., 2000; Rosa et al., 2007). Devido a incapacidade do corpo humano sintetizar a vitamina C, as quantidades necessárias diárias desta vitamina devem ser fornecidas pela alimentação (Phillips et al., 2010; Fenoll et al., 2011).

Estruturalmente, o ácido ascórbico é uma das mais simples vitaminas: é uma lactona derivada do ácido L-gulônico, que pode ser sintetizado a partir da D-glicose ou da D-galactose (Davey et al., 2000). A principal forma de apresentação deste ácido na natureza é a forma reduzida (ácido L-ascórbico), a qual apresenta a maior atividade biológica. A oxidação e a dissociação de dois átomos de hidrogênio desta molécula convertem a mesma em ácido L-desidroascórbico. Caso ocorra uma segunda oxidação, o ácido L-desidroascórbico é convertido de forma irreversível em ácido dicetogulônico, que não possui atividade biológica (Figura 1.5) (Odrizola-Serrano et al., 2007).

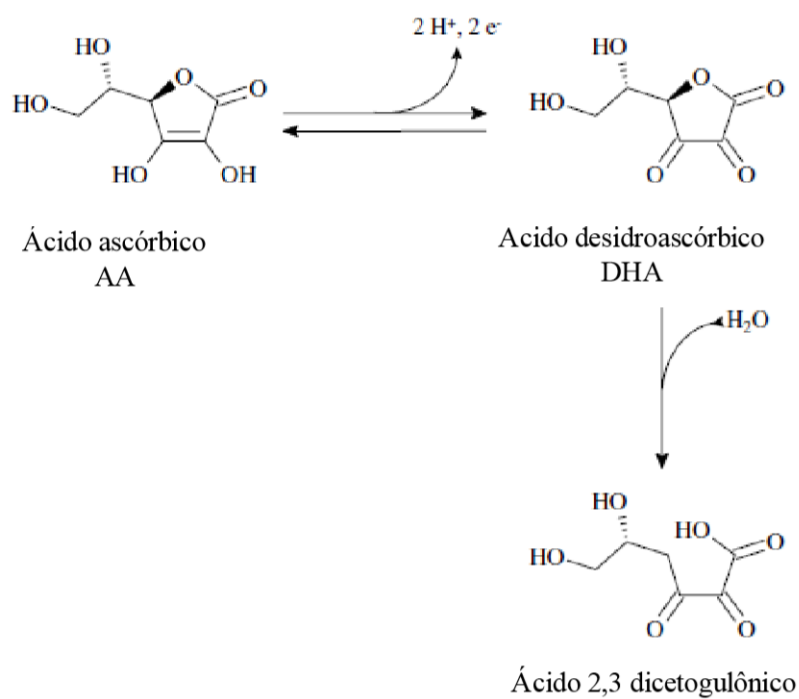


Figura 1.5. Mecanismo de oxidação do ácido ascórbico (adaptado de Hernández et al., 2006).

1.5 ESTABILIDADE DAS ANTOCIANINAS E DO ÁCIDO ASCÓRBICO

A estabilidade das antocianinas pode ser afetada ao interagir com o ácido ascórbico (AA). O mecanismo proposto por Jurd (1972), para a degradação das antocianinas na presença do AA, consiste na condensação direta do AA sobre o carbono da molécula das antocianinas, levando à perda mútua destes compostos (Poei-Langston et al., 1981; Nikkhah et al., 2010; Nóbrega et al., 2015). Por outro lado, de acordo com Iacobucci e Sweeny (1983), a perda da cor das antocianinas, na presença do AA, pode ocorrer devido à clivagem oxidativa do anel pirílio, por um mecanismo de radicais livres, no qual o AA age como um ativador de oxigênio molecular e produz radicais livres, como o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) (Nikkhah et al., 2010; Farr; Giust, 2018).

No entanto, existe alguns métodos para diminuir os efeitos negativos do AA sobre a estabilidade das antocianinas. Shrikhande e Francis (1974) relataram que a presença de flavonoides exerce um efeito protetor em relação à degradação das antocianinas, na presença do AA. Isso provavelmente ocorre por competição com antocianinas na preferência por reações de condensação (De Rosso; Mercadante, 2007).

1.6 SUCO MISTO

No Brasil, existem muitas áreas onde o clima e as características do solo são muito favoráveis para a produção de frutas tropicais, como as regiões Norte e Nordeste. A produção e processamento de frutas nestas áreas representam importantes atividades econômicas, não apenas devido à relevante comercialização regional, mas também devido ao crescente mercado nacional e internacional. A atratividade pelo sabor e pelo aroma das frutas nativas produzidas em grande diversidade são os principais responsáveis pela alta aceitação, associada aos atributos sensoriais das mesmas (Tiburski et al., 2011).

Os sucos retêm as características físico-químicas e sensoriais das frutas, portanto são importantes para uma alimentação saudável. A mudança no estilo de vida e o aumento da conscientização dos consumidores com a saúde, levaram as indústrias de alimentos ao desenvolvimento de novos sucos e bebidas funcionais (Siró et al., 2008).

Para melhorar as características nutricionais e sensoriais de alguns sucos, são realizadas a mistura de duas ou mais frutas. A mistura de frutas em sucos é uma das melhores técnicas para melhorar a qualidade nutricional de uma bebida, dependendo do tipo e da qualidade das frutas utilizadas (De Carvalho; Maia; De Figueredo, 2007). Os sucos mistos proporcionam aroma e sabor aprimorados, além do enriquecimento em compostos bioativos,

nutrientes e aparência; promovendo benefícios à saúde (Bhardwaj; Pandey, 2011; Oludemi; Akanbi, 2013).

A Legislação Brasileira estabelece definições para Suco Tropical Misto, Suco misto e Refresco misto ou Bebida mista de frutas ou de extratos vegetais (Instrução Normativa nº 12/2003) (Brasil, 2003). O Suco Tropical Misto é definido como o produto oriundo de duas ou mais frutas, obtido pela dissolução, em água potável, da polpa da fruta polposa de origem tropical, por meio de processo tecnológico adequado; não fermentado, de cor, aroma e sabor característicos da fruta; submetido a tratamento que assegure sua conservação e apresentação até o momento do consumo. A mistura deve conter um mínimo de 50% (m/m) da respectiva polpa, ressalvado os casos em que a fruta apresente acidez alta, o conteúdo de polpa seja muito elevado ou o sabor seja muito forte. Nestes casos, o conteúdo de polpa não deve ser inferior a 35% (m/m).

1.7 ANÁLISE SENSORIAL

A análise sensorial de alimentos é uma ciência interdisciplinar, que pode ser considerada um instrumento para determinar a qualidade de um produto, através de um processo de coleta de informações usado para medir, analisar e interpretar respostas comportamentais, baseadas nos cinco sentidos humanos: visão, audição, paladar, olfato e tato (Mukhopadhyay et al., 2013).

Nos estudos sensoriais de alimentos e bebidas, os principais objetivos da avaliação sensorial podem ser classificados em: análise de flavor, que é amplamente relacionada com a determinação de compostos químicos associados aos sabores e odores de um produto alimentício avaliado pelos consumidores; perfil sensorial, que é a determinação de características sensoriais, como a doçura, a crocância, a viscosidade, entre outros atributos; bem como os testes hedônicos, nos quais a aceitação ou preferência de um produto pelos consumidores é determinada. Os resultados obtidos a partir da avaliação sensorial fornecem informações importantes sobre as características e qualidade dos produtos alimentícios que podem ser usados em vários aspectos, como o desenvolvimento de novos produtos, a compreensão do produto pelo consumidor, a análise de mercado, o perfil de sabor e aroma e o controle de qualidade (Yu et al., 2018).

Na indústria alimentícia, a análise sensorial é frequentemente usada em conjunto com a medição hedônica, para apoiar o desenvolvimento e a otimização de um produto. Nos testes hedônicos, o principal dado associado é a aceitação do consumidor. Estes dados fornecem informações sobre a aceitabilidade de um produto no mercado, o que é valioso para

produtores e fabricantes de alimentos e bebidas (Yu et al., 2018). A ligação entre uma medição hedônica e as características sensoriais de um produto pode não ser tão direta e pode parecer que outras dimensões subjetivas estão influenciando a formação do julgamento, como aspectos cognitivos e emocionais (Masson et al., 2016; Palczak et al., 2019).

1.8 SECAGEM POR ATOMIZAÇÃO

A secagem por atomização é um processo no qual uma solução, suspensão, emulsão ou pasta são transformados em partículas secas, pela utilização do calor. O processo é realizado utilizando um equipamento conhecido como secador por atomização (*spray dryer*), onde a alimentação (material a ser seco) recebe um fluxo de ar quente, que proporciona uma rápida evaporação da água, mantendo baixa a temperatura das partículas formadas. Este tipo de secagem é aplicado a produtos sensíveis ao calor, como produtos alimentícios, biológicos e farmacêuticos, conservando as suas propriedades. Dependendo das características do material a secar e das condições de operação do equipamento, as partículas obtidas podem ser muito finas, com tamanho variando entre 10 e 50 μm , ou maiores, com tamanho variando entre 2 e 3 mm (Ré, 1998; Gharsallaouri et al., 2007).

O processo de secagem por atomização envolve as seguintes etapas:

- Atomização: Esta etapa consiste na aplicação de uma energia que age sobre a alimentação até o ponto em que ocorre o rompimento e a desintegração, criando uma nuvem de gotículas (Cal; Sollohub, 2010; Phisut, 2012);
- Contato da alimentação com o ar quente: O contato das gotículas com o ar quente pode ocorrer de duas formas: em correntes paralelas ou em contracorrente. No processo de secagem em correntes paralelas, entre os fluxos do produto e do ar quente, a temperatura do ar de secagem varia de 150 a 220°C e a secagem ocorre instantaneamente, sendo obtidos pós com temperaturas entre 50 e 80°C, o que torna mínimas as degradações pelo calor. No processo em contracorrente, por sua vez, o produto a ser seco é exposto por um maior período de contato com o ar de secagem, o que pode favorecer a degradação de compostos termossensíveis. Por outro lado, esta condição de secagem tem a vantagem de ser mais econômica, devido a um menor consumo de energia (Cal; Sollohub, 2010; Murugesan; Orsat, 2011; Phisut, 2012);
- Evaporação da água: Nesta etapa ocorre a secagem imediata, devido à rápida evaporação da água. A secagem por atomização ocorre em uma faixa de tempo que varia de 5 a 100

segundos ou de 15 a 30 segundos, dependendo de como o sistema foi projetado (Gharsallaoui et al., 2007; Cal; Sollohub, 2010; Phisut, 2012);

- Separação do produto seco do ar de secagem: A separação do pó obtido, do ar úmido de secagem, é realizada com auxílio de um ciclone e, adicionalmente, os atomizadores podem ser equipados com filtros para a remoção de pós mais finos (Cal; Sollohub, 2010; Phisut, 2012; Verma; Singh, 2015).

A Figura 1.6 representa o esquema de um secador por atomização do tipo *spray dryer*, com as diferentes partes que o compõem.

Os pós obtidos no processo de secagem por atomização têm as características influenciadas por variáveis do processo, como: as características do material atomizado (teor de sólidos, tamanho das partículas, viscosidade, temperatura de alimentação), tipo de coadjuvante, mecanismo de funcionamento do atomizador e condições operacionais de secagem (temperatura de entrada/saída do ar de secagem, vazão do ar, vazão de alimentação, velocidade de atomização ou pressão do bico atomizador) (Tontul; Topuz, 2017). Logo, o estudo dessas variáveis é fundamental para a obtenção de produtos com melhores características sensoriais e nutricionais (Tonon et al., 2009).

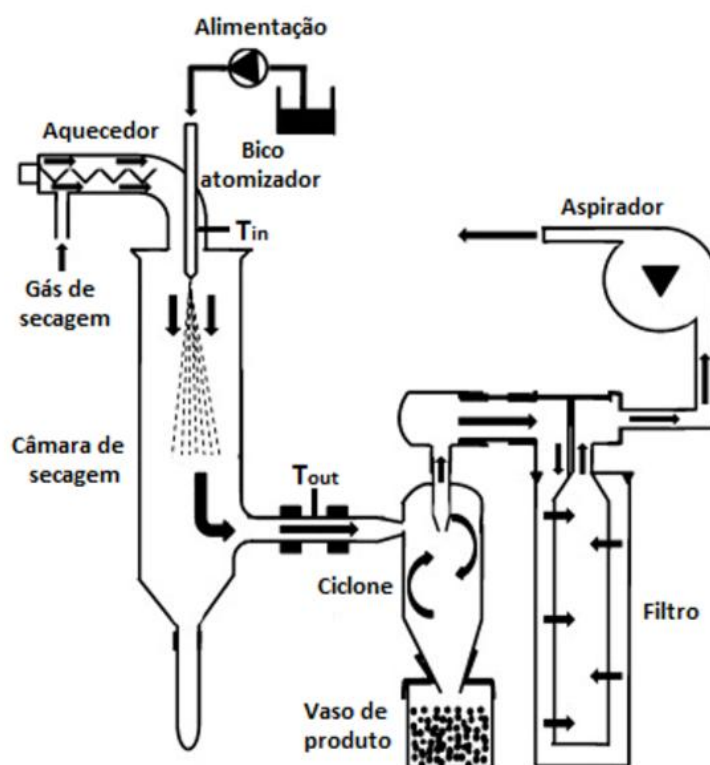


Figura 1.6. Esquema de funcionamento de um spray dryer (adaptado de Sarawade et al., 2011).

A secagem por atomização tem sido empregada na obtenção de muitos produtos alimentícios, tais como: produtos de ovos, produtos lácteos, bebidas, proteínas vegetais, extrato de frutas e vegetais, carboidratos, extratos de chá e muitos outros produtos em pó (Keshani et al., 2015). Esse tipo de secagem tem sido muito utilizado em processos que envolvem microencapsulação, devido à facilidade de operação e a boa relação custo-benefício (Murugesan; Orsat, 2011).

1.9 SECAGEM DE SUCO DE FRUTAS POR ATOMIZAÇÃO

A secagem de frutas tem como princípio básico melhorar a estabilidade do produto, pela diminuição da atividade de água (a_w). Nessas condições, as reações químicas e enzimáticas têm suas velocidades diminuídas e a redução das perdas pós-colheita pode ser alcançada (García-Tejeda; Barrera-Figueroa, 2019). Além disso, a diminuição do peso e do volume permite que o produto seja transportado por um menor custo, facilitando a distribuição (Langrish; Premarajah, 2013).

Os sucos de frutas possuem uma elevada concentração de açúcares e ácidos orgânicos de baixo peso molecular, que têm baixa temperatura de transição vítrea (T_g), sendo termoplásticos nas temperaturas da câmara de secagem, o que pode atribuir um comportamento pegajoso ao produto. A aglomeração indesejável de partículas e a adesão nas superfícies internas da câmara de secagem é um problema comum em operações de secagem em *spray dryer*, de produtos com estas características. Em alimentos contendo açúcares, a aderência dos pós é fortemente dependente da temperatura e da umidade das partículas (Shishir; Chen, 2017; Tontul; Topuz, 2017; García-Tejeda; Barrera-Figueroa, 2019).

Uma alternativa para minimizar ou evitar os problemas de aderência das partículas do pó é a microencapsulação, que consiste na utilização de agentes encapsulantes: polímeros de alto peso molecular, com elevados valores de T_g . Os agentes encapsulantes são capazes de reduzir a higroscopicidade e a pegajosidade dos pós, facilitando a secagem e evitando a aglomeração e a adesão das partículas nas paredes do secador, além de melhorar a estabilidade do material durante a secagem e o armazenamento (Tonon et al., 2010; Farahnakay et al., 2016; Shishir; Chen, 2017).

1.10 MICROENCAPSULAÇÃO

A microencapsulação pode ser considerada um método alternativo para aumentar a estabilidade de compostos bioativos, em condições ambientais adversas, durante o

processamento e o armazenamento de um produto, e para preservar a atividade antioxidante do mesmo. Esta técnica tem sido utilizada para a encapsulação de diversos produtos, como: suco e polpa de frutas, óleos, flavorizantes, extratos de plantas, enzimas, entre outros (Rathore et al., 2013; Souza et al., 2014). O processo consiste, basicamente, no empacotamento de partículas, isolando-as e protegendo-as do meio externo, e vem sendo empregado com êxito em diversos setores industriais (Jyothi et al., 2010).

A microencapsulação por *spray drying* é utilizada pela indústria de alimentos desde os anos 50. No início, este processo era aplicado para proteger sabores contra a degradação e/ou oxidação e também para secar suspensões de sólidos. Nos últimos anos, a técnica tem sido aplicada a moléculas bioativas e probióticos, com o propósito de proteger ingredientes que são sensíveis à luz, ao oxigênio e à degradação por radicais livres, bem como para reduzir a umidade de alimentos e assim prolongar a vida útil dos mesmos (Estevinho et al., 2013; Shofinita; Langrish, 2014; Souza et al., 2014).

A microencapsulação tem apresentado um impacto muito positivo na indústria de alimentos e envolve a incorporação de ingredientes naturais, polifenóis, aditivos voláteis, enzimas e bactérias (bactérias lácticas atuando como probióticos), em pequenas cápsulas, que proporcionam a estabilidade dessas moléculas, protegendo-as e preservando-as contra possíveis perdas nutricionais. As cápsulas em contato com os alimentos são componentes naturais, geralmente reconhecidos como seguros (GRAS, *Generally recognized as safe*) para a saúde humana (Nazarro et al., 2012).

Quanto à estrutura física, as micropartículas podem ser classificadas como microcápsulas ou microesferas (Figura 1.7). As microcápsulas consistem de um núcleo nitidamente concentrado na região central e envolto por uma camada ou filme polimérico, que forma um sistema do tipo reservatório. Estas podem ter mais de um núcleo ou várias paredes para um mesmo núcleo. As microesferas, por sua vez, consistem de um sistema matricial, no qual o material encapsulado se encontra disperso, podendo estar absorvido, incorporado ou ligado covalentemente à matriz polimérica, para formar sistemas de dissolução-dispersão ou sistemas porosos (Aguar et al., 2016).

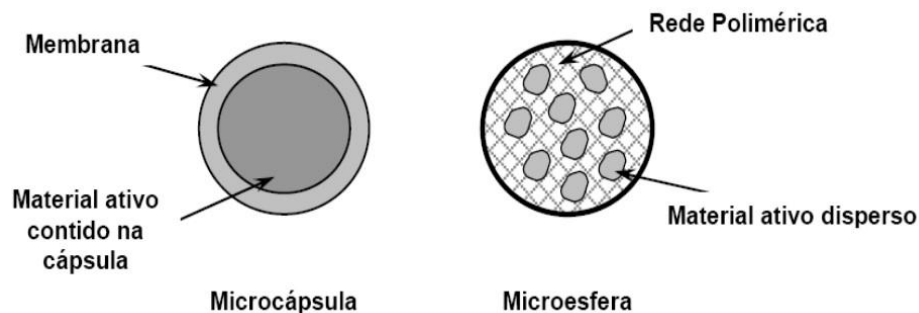


Figura 1.7. Estrutura de micropartículas (Matté; Rosa, 2012).

1.11 AGENTES ENCAPSULANTES

Um grande número de agentes encapsulantes tem sido utilizado na proteção de compostos bioativos. Os agentes encapsulantes são também conhecidos como transportadores, agentes carreadores ou material de parede e podem ser de origem natural, sintética ou semissintética (Anson, 2005; Azeredo, 2005).

O passo inicial da secagem por atomização envolve a seleção de um agente encapsulante adequado, entre os diversos materiais que estão disponíveis para uso em alimentos (Porrarud; Pranee, 2010). Os agentes encapsulantes de elevado peso molecular, normalmente utilizados neste tipo de secagem, incluem a maltodextrina e a goma arábica, que são os mais utilizados, por apresentarem elevada solubilidade em água e por produzirem soluções com baixas viscosidades (Bhusari et al., 2014).

O agente encapsulante ideal deve ter propriedades de formação de película e emulsificante, ser biodegradável, ser resistente ao trato gastrointestinal, apresentar baixa viscosidade em soluções com elevados teores de sólidos, não ser reativo com o material a ser encapsulado, além de apresentar uma baixa higroscopicidade e ser economicamente viável (Barros; Stringheta, 2006; Carneiro et al., 2013). Em geral, é pouco provável que um único agente encapsulante apresente todas estas propriedades. Assim sendo, uma combinação de dois ou mais agentes é frequentemente utilizada (Barros; Stringheta, 2006; Silva et al., 2010).

A utilização de agentes encapsulantes melhora o manuseio do produto final, conferindo maior proteção contra a adsorção de umidade: menor higroscopicidade (Tonon et al., 2009; Ratanasiriwat et al., 2013). A escolha do encapsulante a ser utilizado no processo de *spray drying* é de fundamental importância, já que determina a estabilidade e a qualidade dos produtos obtidos, podendo influenciar nas características de biodisponibilidade (Oliveira; Petrovick, 2010; Carneiro et al., 2013). Os principais agentes carreadores utilizados para o encapsulamento de bioativos são: carboidratos, gomas, proteínas, fibras e uma misturas destes (Burin et al., 2011).

A goma arábica (GA), também denominada de goma acácia, é a secreção de árvores de *Acacia Senegal* e *Acacia seyal*. Ela é compatível com várias gomas, amidos, carboidratos e proteínas, entretanto por ser um ingrediente caro e de oferta limitada, tem o uso restrito em processos de encapsulação (Krishnan et al., 2005; García-Tejeda; Barrera-Figueroa, 2019). A GA é utilizada devido a sua capacidade de emulsificação, formação de filme, sabor suave e às propriedades de encapsulamento. Ela é usada em alimentos (ex. doces, bolos, biscoitos e bebidas), medicamentos (como transporte em cápsulas e em suplementos com alto teor de fibra solúvel), cosméticos (cremes e loções) e tintas litográficas (Motlagh et al., 2006; Ali et al., 2009; Pitalua et al., 2010).

A composição química da GA é complexa. Trata-se de uma cadeia de polissacarídeo ramificada, complexo neutro ou ligeiramente ácido, encontrada na forma de um sal misto de cálcio, magnésio e como um sal de potássio do ácido arábico (Ali et al., 2009). A GA possui excelente solubilidade em água, propriedades tensoativas e produz soluções com baixa viscosidade, em altas concentrações de sólidos. Estas características têm facilitado o seu uso como matriz encapsulante, para a retenção e a proteção química de óleos voláteis e aromas (Kaushik; Roos, 2007).

No processo de microencapsulação de ingredientes alimentícios, por sua vez, as maltodextrinas (MD) têm sido extensivamente utilizadas, por apresentarem habilidade na proteção dos materiais encapsulados contra a oxidação. Este fato é atribuído à capacidade de formar filme, às propriedades plásticas e ao poder redutor da MD, além da elevada solubilidade e da baixa viscosidade, mesmo em elevadas concentrações de sólido (Elnaggar et al., 2010).

As maltodextrinas são produtos da hidrólise parcial do amido por ácidos ou enzimas. Elas são classificadas de acordo com o grau de dextrose equivalente (DE), que mede o percentual do poder redutor da D-glicose pura (dextrose). Quanto menor a DE da maltodextrina menos higroscópico é o produto. As maltodextrinas são ligeiramente doces e apresentam fácil dissolução em meio aquoso (García-Tejeda; Barrera-Figueroa, 2019). As maltodextrinas com valor DE entre 10 e 20 têm sido amplamente utilizadas no encapsulamento de antocianinas e ácidos fenólicos, por garantir maior estabilidade física à parede da matriz (Ersus; Yurdagel, 2007; Silva et al., 2010; Tonon et al., 2010; Bakowska-Barczak; Kolodziejczyk, 2011).

REFERÊNCIAS

- Abbas, S.; Da Wei, C.; Hayat, K.; Xiaoming, Z. (2012). Ascorbic acid: microencapsulation techniques and trends – a review. **Food Reviews International**, 28(4), 343-374.
- Aguiar, J.; Estevinho, B. N.; Santos, L. (2016). Microencapsulation of natural antioxidants for food application – The specific case of coffee antioxidants – A review. **Trends in Food Science & Technology**, 58(1), 21-39.
- Alberton, J. R.; Ribeiro, A.; Sacramento, L. V. S.; Franco, S. L. (2001). Caracterização farmacognóstica do jambolão (*Syzygium cumini* (L.) Skeels). **Brazilian Journal of Pharmacognosy**, 11(1), 37-50.
- Albuquerque, G. A.; Carvalho, A. V.; Faria, L. J. G.; Chisté, R. C.; Martins, L. H. S.; Lopes, A. S. (2019). Effects of thermal pasteurization on jambolan tropical juice bioactive compounds. **British Food Journal**, 121(11), 2821-2834.
- Ali, B. H.; Ziada, A.; Blunden, G. (2009). Biological effects of gum arabic: A review of some recent research. **Food and Chemical Toxicology**, 47(1), 1-8.
- Anson, R. (2005). Microencapsulation: For enhanced textile performance. **Performance apparel Markets**, 12(1), 21-39.
- Aranha, F. Q.; Barros, Z. F.; Moura, L. S. A.; Gonçalves, M. C. R.; Barros, J. C.; Metri, J. C.; Souza, M. S. (2000). O papel da vitamina C sobre as alterações orgânicas no idoso. **Revista Nutrição**, 13(2), 89-97.
- Arkter, M. S.; Oh, S.; Eun, J. B.; Ahmed, M. (2011). Nutritional compositions and health promoting phytochemicals of camu-camu (*Myrciaria dubia*) fruit: A review. **Food Research International**, 44(1), 1728-1732.
- Ayyanar, M.; Subash-Babu, P. (2012). *Syzygium cumini* (L.) Skeels: A review of its phytochemical constituents and traditional uses. **Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine**. 2(1), 240-246.
- Azeredo, H. M. C. (2005). Encapsulação: aplicação à tecnologia de alimentos. **Alimentos e Nutrição**, 16(1), 89-97.
- Bakowska-Barczak, A. M.; Kolodziejczyk, P. P. (2011). Black currant polyphenols: Their storage stability and microencapsulation. **Industrial Crops and Products**, 34(1), 1301-1309.
- Baliga, M. S.; Bhat, H. P.; Baliga, B. R. V.; Wilson, R.; Palatty, P. L. (2011). Phytochemistry, traditional uses and pharmacology of *Eugenia jambolana* Lam. (black plum): A review. **Food Research International**, 44(7), 1776-1789.

- Balisteiro, D. M.; Araujo, R. L.; Giacaglia, L. R.; Genovese, M. I. (2017). Effect of clarified Brazilian native fruit juices on postprandial glycemia in healthy subjects. **Food Research International**, 100(1), 196-203.
- Barcia, M. T.; Pertuzatti, P. B.; Jacques, A. C.; Godoy, H. T.; Zambiazzi, R. (2012). Bioactive Compounds, Antioxidant Activity and Percent Composition of Jambolão Fruits (*Syzygium cumini*). **The Natural Products Journal**, 2(2), 129-138.
- Barros, D.; Stringheta, C. (2006). Microencapsulamento de antocianinas: Uma alternativa para o aumento de sua aplicabilidade como ingrediente alimentício. **Biotecnologia ciência e desenvolvimento**, 36(36), 18-24.
- Bastos, D. D. S.; Araújo, K. G. D. L.; Leão, M. H. M. D. R. (2009). Ascorbic acid retaining using a new calcium alginate-Capsul based edible film. **Journal of Microencapsulation**, 26(2), 97-103.
- Bhardwaj, R. L.; Pandey, S. (2011). Juice blends-a way of utilization of under-utilized fruits, vegetables and spices: a review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 51(1), 563-570.
- Bhusari, S. N.; Muzaffar, K.; Kumar, P. (2014). Effect of carrier agents on physical and microstructural properties of spray dried tamarind pulp powder. **Powder Technology**, 266(1), 354-364.
- Borgogna, M., Bellich, B.; Zorzin, L.; Lapasin, R.; Cesàrio, A. (2010). Food microencapsulation of bioactive compounds: Rheological and thermal characterisation of non-conventional gelling system. **Food chemistry**, 122(2), 416-423.
- Brasil, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2003). Instrução Normativa n. 12, de 04 de setembro de 2003. Aprova o Regulamento Técnico para Fixação dos Padrões de Identidade e Qualidade Gerais para Suco Tropical; e os Padrões de Identidade e Qualidade para Néctares. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**.
- Burin, V. M.; Rossa, P. N.; Ferreira-Lima, N. E.; Hillmann, M. C. R.; Boirdignon-Luiz, M. T. (2011). Anthocyanins: optimisation of extraction from cabernet sauvignon grapes, microcapsulation and stability in soft drink. **International Journal of Food Science & Technology**, 46(1), 186-193.
- Cal, K.; Sollohub, K. (2010). Spray drying technique. I: Hardware and process parameters. **Journal of Pharmaceutical Sciences**, 99(1), 575-586.
- Cano-Chauca, M.; Stringheta, P. C.; Ramos, A. M.; Cal-Vidal, J. (2005). Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, 6(4), 420-428.

- Carneiro, H. C. F.; Tonon, R. V.; Grosso, C. R. F.; Hubinger, M. D. (2013). Encapsulation efficiency and oxidative stability of flaxseed oil microencapsulated by spray drying using different combinations of wall materials. **Journal of Food Engineering**, 115(1), 443–451.
- Chi, J.; Ge, J.; Yue, X.; Liang, J.; Sun, Y.; Gao, X.; Yue, P. (2019). Preparation of nanoliposomal carriers to improve the stability of anthocyanins. **LWT – Food Science and Technology**, 109(1), 101-107.
- Chirinos, R.; Galarza, J.; Betalleluz-Pallardel, I.; Pedreschi, R.; Campos, D. (2010). Antioxidant compounds and antioxidant capacity of Peruvian camu-camu (*Myrciaria dubia* (H.B.K.) McVaugh) fruit at different maturity stages. **Food Chemistry**, 120(4), 1019-1024.
- Coutinho, I. B.; Freitas, A.; Maçanita, A. L.; Lima, J. C. (2015). Effect of water content on the acid–base equilibrium of cyanidin-3-glucoside. **Food Chemistry**, 172(1), 476–480
- Damodaran, S.; Parkin, K. L.; Fennema, O. R. (2010). **Química de Alimentos de Fennema**. 4 ed. Porto Alegre: Artmed, 900p.
- Davey, M. W.; Montagu, M. V.; Inzé, D.; Sanmartin, M.; Kanellis, A.; Smiirnoff, N.; Benzieiris, I. J.; Strain, J. J.; Favell, D.; Fletcher, J. (2000). Review plant L-ascorbic acid: chemistry, function, metabolismo, bioavailability and effects of processing. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 80(7), 794-804.
- De Carvalho, J.; Maia, G.; De Figueredo, R. (2007). Development of a blended non-alcoholic beverage composed of coconut water and cashew apple juice containing caffeine. **Journal of Food Quality**, 30(1), 664-681.
- De Rosso, V. V.; Mercadante, A. Z. (2007). The high ascorbic acid content is the main cause of the low stability of anthocyanin extracts from acerola. **Food Chemistry**, 103(3), 935-943.
- Elnaggar, Y. S. R.; El-Massik, A. M.; Abdallah O. Y. Ebian, A. E. R. (2010). Maltodextrin: a novel excipient used in sugar-based orally disintegrating tablets and phase transition process. **AAPS PharmSciTech**, 11(1), 645-651.
- Ersus, S.; Yurdagel, U. (2007). Microencapsulation of anthocyanin pigments of black carrot (*Daucus carota* L.) by spray dryer. **Journal of Food Engineering**, 805-812.
- Estevinho, B. N.; Rocha, F.; Santos, L.; Alves, A. (2013). Microencapsulation with chitosan by spray drying for industry applications – A review. **Trends in Food Science & Technology**, 31(2), 138–155.
- Everette, J. D.; Bryant, Q. M.; Green, A. M.; Abbey, Y. A.; Wangila, G. W.; Walker, R. B. (2010). Thorough study of reactivity of various compound classes toward the Folin-Ciocalteu reagent. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 58(14), 8139-8144.

- Farahnaky, A.; Mansoori, N.; Majzoobi, M.; Badii, F. (2016). Physicochemical and sorption isotherm properties of date syrup powder: Antiplasticizing effect of maltodextrin, **Food and Bioproducts Processig**, 98, 133–141.
- Faria, A. F.; Marques, M. C.; Mercadante, A. Z. (2011). Identification of bioactive compounds from jambolão (*Syzygium cumini*) and antioxidante capacity evaluation in diferente pH conditions. **Food Chemistry**, 126(1), 1571-1578.
- Farr, J. E.; Giust, M. M. (2018). Investigating the interaction of ascorbic acid with anthocyanins and pyranoanthocyanins. **Molecules**, 23(4), 744-756.
- Favaro-Trindade, C. S.; Pinho, S. C.; Rocha, G. A. (2008). Revisão: Microencapsulação de ingredientes alimentícios. **Brazilian Journal of Food Technology**, 11(2), 103-112.
- Fenoll, J.; Martínez, A.; Hellín, P.; Flores, P. (2011). Simultaneous determination of ascorbic and dehydroascorbic acids in vegetables and fruits by liquid chromatography with tandem-mass spectrometry. **Food Chemistry**, 127(1), 340-344.
- Ferreira, M. G. R.; Ribeiro, G. D. (2006). Coleção de fruteiras tropicais da Embrapa Rondônia. Embrapa Rondônia: **Comunicado Técnico 306**. Porto Velho-RO. 14p.
- Franco, M. R. B.; Shibamoto, T. (2000). Volatile composition of some Brazilian fruits: Umbu-caja (*Spondias citherea*), Camu-camu (*Myrciaria dubia*), Araça-boi (*Eugenia stipitata*), and Cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 48(4), 1263-1265.
- García-Tejeda, Y. V.; Barrera-Figueroa, V. (2019). Least squares fitting-polynomials for determining inflection points in adsorption isotherms of spray-dried açai juice (*Euterpe oleracea* Mart.) and soy sauce powders. **Powder Technology**, 342(1), 829–839.
- Gharsallaoui, A.; Roudart, G.; Chambin, O.; Voilley, A.; Saurel, R. (2007). Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. **Food Research International**, 40(1), 1107-1121.
- Gonçalves, A. E. S. S. (2012). **Compostos bioativos do camu-camu (*Myrciaria dubia* McVaugh) caracterização e atividade biológica**. 2012, 114 f. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, Universidade de São Paulo, SP.
- Goula, A. M.; Adamopoulos, K. G. (2005). Spray drying of tomato pulp in dehumidified air: II. The effect on powder properties. **Journal of Food Engineering**, 66(1), 35-42.
- Gularte, M. A. (2002). **Manual de análise sensorial de alimentos**. Pelotas: Edigraf UFPel.

- He, K.; Li, X.; Chen, X.; Ye, X.; Huang, J.; Jin, Y.; Li, P.; Deng, Y.; Jin, Q.; Shi, Q.; Shu, H. (2011). Evaluation of antidiabetic potential of selected traditional Chinese medicines in STZ-induced diabetic mice. **Journal of Ethnopharmacology**, 137(3), 1135–1142.
- Hernández, Y.; Lobo, M. G.; González, M. (2006). Determination of vitamin C in tropical fruits: A comparative evaluation of methods. **Food Chemistry**, 96(4), 654-664.
- Huang, D.; Ou, B.; Prior, R. L. (2005). The chemistry behind antioxidant capacity assays. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 53(6), 1841-1856.
- Iacobucci, G. A.; Sweeny, J. G. (1983). The chemistry of anthocyanins and related flavylum salts. **Tetrahedron**, 39(1), 3005-3038.
- Jayasundera, M.; Adhikari, B.; Aldred, P.; Ghandi, A. (2009). Surface modification of spray dried food and emulsion powders with surface-active proteins: A review. **Journal of Food Engineering**, 93(1), 266-277.
- Jurd, L. (1972). Some advances in the chemistry of anthocyanins-type pigments. In: **The Chemistry of Plant Pigments**. Academic Press: Chichester, NY.
- Justi, K. C.; Visentainer, J. V.; Evelázio, S. N.; Matsushita, M. (2000). Nutritional composition and vitamin C stability in stored camu-camu (*Myrciaria dubia*) pulp. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, 50(4), 405-408.
- Jyothi, N. V. N.; Prasanna, M. P.; Sakarkar, N. S.; Prabha, S. K.; Ramaiah, Seetha P.; Srawan, G. Y. (2010). Microencapsulation techniques, factors influencing encapsulation efficiency. **Journal of Microencapsulation**, 27(3), 187–197.
- Kaushik, V.; Roos, Y. H. (2007). Limonene encapsulation in freeze-drying of gum Arabic sucrose gelatin systems. **Food Science and Technology**, 40(1), 1381–1391.
- Keshani, S.; Daud, W. R. W.; Nourouzi, M. M.; Namvar, F.; Ghasemi, M. (2015). Spray drying: An overview on wall deposition, process and modeling. **Journal of Food Engineering**, 146(1), 152–162.
- Khoo, H. E.; Azlan, A.; Tang, S. T.; Lim, S. M. (2017). Anthocyanidins and anthocyanins: colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits. **Food & Nutrition Research**, 61(1), 1361779. doi:10.1080/16546628.2017.1361779.
- Krishnan, S.; Bhosale, R.; Singhal, R. S. (2005). Microencapsulation of cardamom oleoresin: Evaluation of blends of gum arabic, maltodextrin and modified starch as wall materials. **Carbohydrate Polymers**, 61(1), 95-102.
- Lago, E. S.; Gomes, E.; Silva, R. (2006). Produção de geleia de jambolão (*Syzygium cumini* Lamarck): Processamento, parâmetros físico-químicos e avaliação sensorial. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, 26(1), 847-852.

- Langrish, T. A. G.; Premarajah, R. (2013). Antioxidant capacity of spray-dried plant extracts: Experiments and simulations. **Advanced Powder Technology**, 24(1), 771-779.
- Leone, R. S.; Ramos, A. M.; Rocha, F. I. G. (2011). Avaliação de componentes bioativos em suco misto de frutas e hortaliça durante 100 dias de armazenamento. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, 5(1), 480-489.
- Loguercio, A. P.; Battistin, A.; Vargas, A. C. (2005). Atividade antibacteriana de extrato hidro-alcoólico de folhas de jambolão (*Syzygium cumini* (L.) Skells). **Ciência Rural**, 35(1), 371-376.
- Maeda, R. N.; Pantoja, L.; Yuyama, L. K. O.; Chaar, J. M. (2006). Determination of the formulation and characterization of camu-camu nectar (*Myrciaria dubia* McVaugh). **Food Science and Technology**, 26(1), 70-74.
- Masson, M.; Delarue, J.; Bouillot, S.; Sieffermann, J. M.; Blumenthal, D. (2016). Beyond sensory characteristics, how can we identify subjective dimensions? A comparison of six qualitative methods relative to a case study on coffee cups. **Food Quality and Preference**, 47(1), 156-165.
- Matté, G. M.; Rosa, S. (2013). A tecnologia da microencapsulação através das microesferas de quitosana. **Revista Iberoamericana de Polímeros**, 14(5), 206-218.
- Migliato, K. F.; Moreira, R. R. D.; Mello, J. C. P. (2007). Controle da qualidade do fruto de *Syzygium cumini* (L.) Skeels. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, 17(1), 94-101.
- Mojica, L.; Berhow, M.; Gonzalez de Mejia, E. (2017). Black bean anthocyanin-rich extracts as food colorants: Physicochemical stability and antidiabetes potential. **Food Chemistry**, 229(1), 628-639.
- Motlagh, S.; Ravines, P.; Karamallah, K. A.; Ma, Q. (2006). The analysis of Acacia gums using electrophoresis. **Food Hydrocolloids**, 20(1), 848-854.
- Mukhopadhyay, S.; Majumdar, G. C.; Goswami, T. K.; Mishra, H. N. (2013). Fuzzy logic (similarity analysis) approach for sensory evaluation of chhana podu. **LWT – Food Science and Technology**, 53(1), 204–210.
- Murugesan, R.; Orsat, V. (2011). Spray drying of elderberry (*Sambucus nigra* L.) juice to maintain its phenolic content. **Drying Technology**, 29(1), 1729-1740.
- Nazarro, F.; Orlando, P.; Fratianni, C. (2012). Microencapsulation in food science and biotechnology. **Current Opinion in Biotechnology**, 23(1), 182-186.
- Neves, L.C.; Silva, V. X.; Pontis, J. A.; Flach, A.; Roberto, S. R. (2015). Bioactive compounds and antioxidant activity in pre-harvest camu-camu (*Myrciaria dubia* (H.B.K.) Mc Vaugh) fruits. **Scientia Horticulturae**, 186(1), 223–229.

- Nikkhah, E.; Khaiamy, M.; Heidary, R.; Azar, A. S. (2010). The effect of ascorbic acid and H₂O₂ treatment on the stability of anthocyanin pigments in berries. **Turkish Journal of Biology**, 34(1), 47-53.
- Nóbrega, E.; Oliveira, E.; Genovese, M.; Correia, R. (2015). The impact of hot air drying on the physical–chemical characteristics, bioactive compounds and antioxidant activity of acerola (*Malpighia emarginata*) residue. **Journal of Food Processing and Preservation**, 39(1), 131-141.
- Odriozola-Serrano, I.; Hernández-Jover, T.; Martín-Belloso, O. (2007). Comparative evaluation of UV-HPLC methods and reducing agents to determine vitamin C in fruits. **Food Chemistry**, 105(1), 1151-1158.
- Oliveira, O. W.; Petrovick, P. R. (2010). Secagem por aspersão (spray drying) de extratos vegetais: bases e aplicações. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, 20(4), 641-650.
- Oliveira, V. B.; Yamada, L. T.; Fagg, C. W.; Brandão, M. G. L. (2012). Native foods from Brazilian biodiversity as a source of bioactive compounds. **Food Research International**, 48(1), 170-179.
- Oludemi, F. O.; Akanbi, C. T. (2013). Chemical, antioxidant and sensory properties of tomato-watermelon-pineapple blends, and changes in their total antioxidant capacity during storage. **International Journal of Food Science and Technology**, 48(1), 1416-1425.
- Padayatty, S. J.; Katz, A.; Wang, Y.; Peter, E.; Kwon, O.; Lee, J.; Chen, S.; Corpe, C.; Dutta, A.; Dutta, S. K.; Levine, M. (2003). Vitamin C as an antioxidant: evaluation of its role in disease prevention. **Journal of the American College of Nutrition**, 22(1), 18-35.
- Palczak, J.; Blumenthal, D.; Rogeaux, M.; Delarue, J. (2019). Sensory complexity and its influence on hedonic responses: A systematic review of applications in food and beverages. **Food Quality and Preference**, 71(1), 66-75.
- Pereira, R. J. (2011). **Composição centesimal, aspectos fitoquímicos, atividades antioxidante, hipoglicemiante e anti-hiperlipidêmica de frutos do gênero *Syzygium***. 2011. 156 f. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) - Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos, Universidade Federal de Lavras. Lavras – MG.
- Phillips, K. M.; Tarragó-Trani, M. T.; Gebhardt, S. E.; Exler, J.; Patterson, K. Y.; Haytowitz, D. B.; Pehrsson, P. R.; Holden, J. M. (2010). Stability of vitamin C in frozen raw fruit and vegetable homogenates. **Journal of Food Composition and Analysis**, 23(1), 243-259.
- Phisut, N. (2012). Spray drying technique of fruit juice powder: Some factors influencing the properties of product. **International Food Research Journal**, 19(1), 1297-1306.

- Pinheiro, A. M.; Fernandes, A. G.; Fai, A. E. C.; Prado, G. M. Sousa, P. H. M.; MAIA, G. A. (2006). Chemical, physicochemical and microbiological evaluation of whole fruit juices; pineapple, cashew and passion fruit. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, 26(1), 98-103.
- Pitalua, E., Jimenez, M., Vernon-Carter, E. J. Beristain, C. I. (2010). Antioxidative activity of microcapsules with beetroot juice using gum Arabic as wall material. **Food and Bioproducts Processing**, 88(1), 253–258.
- Poei-Langston, M. S.; Wrolstad, R. E. (1981). Color degradation in an ascorbic acid-anthocyanin flavanol model system. **Journal of Food Science**. 46(1), 1218–1236.
- Porrarud, S.; Pranee, A. (2010). Microencapsulation of Zn-chlorophyll pigment from Pandan leaf by spray drying and its characteristic. **International Food Research Journal**, 17(1), 1031-1042.
- Qian, B. J.; Liu, J. H.; Zhao, S. J.; Cai, J. X.; Jing, P. (2017). The effects of gallic/ferulic/cafeic acids on colour intensification and anthocyanin stability. **Food Chemistry**. 228(1), 526-532.
- Ratanasiriwat, P.; Worawattanamateekul, W.; Klaypradit, W. (2013). Properties of encapsulated wasabi flavour and its application in canned food, **International Journal of Food Science & Technology**, 48(4), 749-757.
- Rathore, S.; Desai, P. M.; Liew, C. V.; Chan, L. W.; Heng, P. W. S. (2013). Microencapsulation of microbial cells. **Journal of Food Engineering**, 116(2), 369-381.
- Ré, M. I. (1998). Microencapsulation by spray drying. **Drying Technology**, 16(6), 1195-1236.
- Reynertson, K. A.; Yang, H.; Jiang, B.; Basile, M. J.; Kennelly, E. J. (2008). Quantitative analysis of antiradical phenolic constituents from fourteen edible Myrtaceae fruits. **Food Chemistry**, 109(4), 883-890.
- Rodrigues, R. B.; Menezes, H. C.; Cabral, L. M. C.; Dornier, M. C.; Rios, G. M.; Reynes, M. (2004). Evaluation of reverse osmosis and osmotic evaporation to concentrate camu-camu juice (*Myrciaria dubia*). **Journal of Food Engineering**, 63(1), 97-102.
- Rosa, J. S.; Godoy, R. L. O.; Oiano Neto, J.; Campos, R. S.; Matta, V. M.; Freire, C. A.; Silva, A. S.; Souza, R. S. (2007). Desenvolvimento de um método de análise de vitamina C em alimentos por cromatografia líquida de alta eficiência e exclusão iônica. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, 27(4), 837-846.
- Rufino, M. S. M.; Alves, R. E.; De Brito, E. S.; Pérez-Jiménez, J.; Saura-Calixto, F.; Mancini-Filho, J. (2010). Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. **Food Chemistry**, 121(4), 996-1002.

- Sarawade, P. B.; Kim, J.; Hilonga, A.; Quang, D. V.; Kim, H. T. (2011). Effect of drying technique on the physicochemical properties of sodium silicate-based mesoporous precipitated sílica. **Applied Surface Science**, 258(2), 955-961.
- Shajib, M. T. I.; Kawser, M.; Miah, M. N.; Begum, P.; Bhattacharjee, L.; Hossain, A.; Fomsgaard, I. S.; Islam, S. N. (2013). Nutritional composition of minor indigenous fruits: cheapest nutritional source for the rural people of Bangladesh. **Food Chemistry**, 140(1), 466–470.
- Shinwari, K. J.; Rao, P. S. (2018). Stability of bioactive compounds in fruit jam and jelly during processing and storage: A review. **Trends in Food Science & Technology**, 75(1), 181-193.
- Shishir, M. R. I.; Chen, W. (2017). Trends of spray drying: A critical review on drying of fruit and vegetable juices. **Trends in Food Science & Technology**, 65(1), 49–67.
- Shofinita, D.; Langrish, T. A. G. (2014). Spray drying of orange peel extracts: Yield, total phenolic content, and economic evaluation. **Journal of Food Engineering**, 139(1), 31–42.
- Shrestha, A. K.; Ua-Arak, T.; Adhikari, B. P.; Howes, T.; Bhandari, B. R. (2007). Glass transition behavior of spray dried orange juice powder measured by differential scanning calorimetry (DSC) and thermal mechanical compression test (TMCT). **International Journal of Food Properties**, 10(1), 661-673.
- Shrikhande, A. J.; Francis, F. J. (1974). Effect of flavonols on ascorbic acid and anthocyanin stability in model systems. **Journal of Food Science**, 39(1), 904-906.
- Silva, G. J. F.; Constant, P. B. L.; Figueiredo, R. W.; Moura, S. M. (2010). Formulação e estabilidade de corantes de antocianinas extraídas das cascas de jabuticaba (*Myrciaria* ssp.). **Alimentos e Nutrição**, 21(3), 429-436.
- Singh, J. P.; Kaur, A.; Shevkani, K.; Singh, N. (2015). Influence of jambolan (*Syzygium cumini*) and xanthan gum incorporation on the physicochemical, antioxidant and sensory properties of gluten-free eggless rice muffins. **International Journal of Food Science & Technology**, 50(5), 1190-1197.
- Siró, I.; Kapolna, E.; Kapolna, B.; Lugasi, A. (2008). Functional food. Product development, marketing and consumer acceptance – a review. **Appetite**, 51(1), 456-467.
- Smiderle, O. J.; Sousa, R. C. P. (2008). Teor de vitamina C e características físicas do camu-camu em dois estádios de maturação. **Revista Agro@ambiente**, 2(2), 61-63.
- Souza, R. (2005). **Camu-camu (*Myrciaria dubia* Mc Vaugh): Fonte natural de enriquecimento de bebidas eletrolíticas**. 2005, 58 f. Monografia (Graduação em Farmácia e Bioquímica-Análises Clínicas), Centro Universitário Nilton Lins.

- Souza, V. B.; Fujita, A.; Thomazini, M.; Da Silva, E. R.; Lucon Jr, J. F.; Genovese, M. I.; Favaro-Trindade, C. S. (2014). Functional properties and stability of spray-dried pigments from Bordo grape (*Vitis labrusca*) winemaking pomace. **Food Chemistry**, 164(1), 380–386.
- Tavares, I. M. C.; Lago-Vanzela, E. S.; Rebello, L. P. G.; Ramos, A. M.; Gómez-Alonso, S.; García-Romero, E.; Da-Silva, R.; Hermosín-Gutiérrez, I. (2016). Comprehensive study of the phenolic composition of the edible parts of jambolan fruit (*Syzygium cumini* (L.) Skeels). **Food Research International**, 82(1), 1–13.
- Terci, D. B. L.; Rossi, A. V. (2002). Indicadores naturais de pH: usar papel ou solução? **Química Nova**, 25(1), 684-688.
- Tiburski, J. H.; Rosenthal, A.; Deliza, R.; Godoy, R. L. O.; Pacheco, S. (2011). Nutritional properties of yellow mombin (*Spondias mombin* L.) pulp. **Food Research International**, 44(7), 2326-2331.
- Tonon, R. V.; Baroni, A. F.; Brabet, C.; Gibert, O.; Pallet, D.; Hubinger, M. D. (2009). Water sorption and glass transition temperature of spray dried acai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice. **Jornal of Food Engineering**, 94(1), 215-221.
- Tonon, R. V.; Brabet, C.; Hubinger, M. D. (2010). Anthocyanin stability and antioxidant activity of spray-dried açai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice produced with different carrier agents. **Food Research International**, 43(3), 907–914.
- Tontul, I.; Topuz, A. (2017). Spray-drying of fruit and vegetable juices: Effect of drying conditions on the product yield and physical properties. **Trends in Food Science & Technology**, 63(1), 91–102.
- Torskangerpoll, K.; Andersen, O. M. (2005). Color stability of anthocyanins in aqueous solutions at various pH values. **Food Chemistry**, 89(3), 427-440.
- Valente, A.; Albuquerque, T. G.; Sanches-Silva, A.; Costa, H. S. (2011). Ascorbic acid content in exotic fruits: a contribution to produce quality data for food composition databases. **Food Research International**, 44(1), 2237-2242.
- Valente, A.; Sanches-Silva, A.; Albuquerque, T. G.; Costa, H. S. (2014). Development of orange juice in-house reference material and in application to guarantee the quality of vitamin C determination in fruits, juices and fruit pulps. **Food Chemistry**, 154(1), 71-77.
- Veigas, J. M.; Narayan, M. S.; Laxman, P. M.; Neelwarne, B. (2007). Chemical nature, stability and bioefficacies of anthocyanins from fruit peel of *Syzygium cumini*. **Food Chemistry**, 105(2), 619- 627.
- Verma, A.; Singh, S. V. (2015). Spray drying of fruit and vegetable juices: a review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 55(1), 701-719.

- Vidigal, M. C.T.R.; Minim, V. P. R.; Carvalho, N. B.; Milagres, M. P.; Gonçalves, A. C. A. (2011). Effect of a health claim on consumer acceptance of exotic Brazilian fruit juices: Açaí (*Euterpe oleracea* Mart.), Camu-camu (*Myrciaria dubia*), Cajá (*Spondias lutea* L.) and Umbu (*Spondias tuberosa* Arruda). **Food Research International**, 44(7), 1988-1996.
- Viégas, I. J. M.; Frazão, D. A. C.; Silva, J. F. (2004). Camucamuzeiro: Nutrição, calagem e adubação. Embrapa Amazônia Oriental: **Circular Técnica** 38. Belém-PA.
- Vizzotto, M.; Pereira, M. C. (2008). Caracterização das propriedades funcionais do jambolão. Pelotas: **Embrapa Clima Temperado**, RS.
- Wang, S.; Langrish, T. (2009). A review of process simulations and the use of additives in spray drying. **Food Research International**, 42(1), 13-25.
- Yu, P.; Low, M. Y.; Zhou, W. (2018). Design of experiments and regression modelling in food flavour and sensory analysis: A review. **Trends in Food Science & Technology**, 71(1), 202–215.
- Zanatta, C. F.; Cuevas, E.; Bobbio, F. O.; Winterhalter, P.; Mercadante, A. Z. (2005). Determination of anthocyanins from camu-camu (*Myrciaria dubia*) by HPLC-PDA, HPLC-MS and NMR. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 53(24), 9531-9535.
- Zhang, T.; Lv, C.; Chen, L.; Bai, G.; Zhao, G.; Xu, C. (2014). Encapsulation of anthocyanin molecules within a ferritin nanocage increases their stability and cell uptake efficiency. **Food Research International**, 62(1), 183-192.
- Zhao, C. L.; Yu, Y. Q.; Chen, Z. J.; Wen, G. S.; Wei, F. G.; Zheng, Q.; Wang, C. D.; Xiao, X. L. (2017). Stability-increasing effects of anthocyanin glycosyl acylation. **Food Chemistry**, 214(1), 119-128.

SUCO MISTO DE JAMBOLÃO (*Syzygium cumini*) E CAMU-CAMU (*Myrciaria dubia*): ANÁLISE SENSORIAL E ESTABILIDADE DOS COMPOSTOS BIOATIVOS

RESUMO

O objetivo do trabalho foi avaliar a estabilidade dos compostos bioativos da mistura jambolão e camu-camu, bem com estabelecer uma formulação para o suco misto destas frutas, com base em propriedades sensoriais. Foi avaliada a estabilidade de três formulações de sucos de jambolão/camu-camu/água (m:m:m): 37,5:12,5:50 (SM); 12,5:0:87,5 (SJ) e 0:37,5:62,5 (SC). Foram realizadas análises de compostos bioativos e teste de aceitação sensorial em seis formulações de suco de jambolão/camu-camu: 37,5:12,5 (F1); 32,5:17,5 (F2); 27,5:22,5 (F3); 22,5:27,5 (F4); 17,5:32,5 (F5) e 12,5:37,5 (F6). A estabilidade das antocianinas na formulação SM foi assegurada por até cinco dias de armazenamento a 25°C. A cinética de reação de primeira ordem descreveu a degradação das antocianinas durante 10 dias de armazenamento ($R^2 = 0.88$, $t_{1/2} = 3.8$ dias). A análise de mapa de preferência interno mostrou a existência de dois grupos, sendo um grupo formado pelas formulações F1 e F2 e outro pelas formulações F3, F4, F5 e F6. Os dados da análise sensorial mostram que o aumento da concentração do camu-camu no suco misto influenciou negativamente na aceitabilidade do produto. A formulação com a menor concentração de camu-camu (12,5%) apresentou o melhor índice de aceitação sensorial (80,4%), e teores de antocianinas de 23,04 mg/100 mL, ácido ascórbico de 353,32 mg AA/100 mL, compostos fenólicos totais de 892,06 mg EAG/100 mL e capacidade antioxidante de 3668,78 mM ET/100 mL. Assim, o suco misto de jambolão/camu-camu 12,5:37,5 (F1), selecionado pelos provadores, pode ser considerado uma fonte promissora de compostos bioativos.

Palavras-chave: Ácido ascórbico, antocianinas, compostos fenólicos, mapa de preferência.

2.1 INTRODUÇÃO

Os sucos de frutas são consumidos e apreciados em todo o mundo, não apenas pelo sabor, mas pela presença de macro e micronutrientes, como carboidratos, carotenoides, vitaminas, minerais, entre outros compostos de importância biológica. Os sucos mistos de frutas, por sua vez, têm sido inseridos no mercado, como uma alternativa para o desenvolvimento de novos sabores e por possibilitarem o enriquecimento do valor nutricional e funcional do produto, viabilizando, assim a elaboração de bebidas com efeitos benéficos à saúde (Pinheiro et al., 2006; Bamidele; Fasogbon, 2017; Nadeem et al., 2018).

A elaboração de suco misto de frutas permite a criação de novos produtos, com características que podem ser definidas de acordo com o perfil do consumidor (Lemos et al., 2013). Neste sentido, podem ser obtidos produtos com maiores teores de determinados nutrientes, com cores específicas, ou de variados sabores e aromas. No desenvolvimento desses novos produtos, a análise sensorial pode ser uma ferramenta importante (Palczak et al., 2019). Segundo Yu et al. (2018), a utilização dos sentidos humanos é uma importante ferramenta para determinar a qualidade sensorial, verificar a melhor formulação, avaliar a percepção e a reação humana diante de atributos de um alimento, a fim de avaliar a aceitabilidade do produto, por parte do consumidor.

A Amazônia é a maior reserva de biodiversidade do mundo, que inclui um grande número de espécies nativas e exóticas subexploradas, mas com grande potencial nutricional (Oliveira et al., 2012). Com a busca por alimentos saudáveis, aumentou o interesse sobre as propriedades das frutas da Amazônia, geralmente ricas em compostos fenólicos, carotenoides, ácido ascórbico e outros compostos bioativos. O estudo dessas frutas pode levar à descoberta de novas fontes de produtos com alta qualidade nutricional e contribuir para o desenvolvimento sustentável dentro da região Amazônica (Mariutti et al., 2014).

Dentre essas frutas, o jambolão (*Syzygium cumini* Lamarck) é um fruto que possui uma única semente, envolvida por uma polpa carnosa e comestível, com sabor doce e de coloração roxa. O fruto é considerado uma fonte importante de antocianinas, cujo teor pode variar de 211 a 230 mg/100 g da polpa (Veigas et al., 2007; Faria et al., 2011). Entre as antocianinas comumente encontradas nos alimentos, a delphinidina, a petunidina e a malvidina foram as encontradas em maiores quantidades no jambolão, enquanto que a cianidina e a peonidina foram encontradas em menores quantidades (Brito et al., 2007; Faria et al., 2011; Tavares et al., 2016).

O camu-camu (*Myrciaria dubia*), por sua vez, é um fruto nativo da região Amazônica, cultivado às margens de rios, lagos e igarapés, sendo reconhecido como o fruto com um dos

maiores teores de ácido ascórbico, o qual pode atingir 6.000 mg/100 g da polpa (Yuyama et al., 2002; Arkter et al., 2011; Neves et al., 2015). Devido ao elevado teor de ácido ascórbico e a presença de outros compostos de interesse, o camu-camu tem sido apresentado como uma fonte promissora de compostos bioativos, podendo assim ser usado como um alimento com apelo funcional (Chirinos et al., 2010; Souza et al., 2018).

A estabilidade das antocianinas, por sua vez, pode ser afetada ao interagir com o ácido ascórbico (AA), o oxigênio, a luz, a temperatura, enzimas e metais (Cavalcanti et al., 2011; Turfan et al., 2011). A presença de ácido ascórbico tem demonstrado um impacto negativo na estabilidade das antocianinas, cujo mecanismo de degradação consiste na condensação direta do ácido ascórbico com a molécula da antocianina, levando à perda mútua destes compostos (Jurd, 1972; Poeschl-Langston; Wrolstad, 1981; Nóbrega et al., 2015). Por outro lado, a perda de cor da antocianina, na presença do AA, pode ocorrer devido à clivagem oxidativa do anel de pirílio, por um mecanismo de radical livre, no qual o ácido ascórbico age como um ativador de oxigênio molecular e produz radicais livres (Iacobucci; Sweeny, 1983; Far; Giust, 2018). No entanto, a presença de flavonoides exerce um efeito protetor contra a degradação de antocianinas, na presença do AA, provavelmente devido à competição dos flavonoides com as antocianinas, na preferência por reações de condensação (Shrikhande; Francis, 1974; De Rosso; Mercadante, 2007).

Com base nas exigências do consumidor, no potencial de inovação e nos benefícios à saúde, alguns fatores devem ser considerados no desenvolvimento de novas bebidas funcionais, como: a identificação e a quantificação de compostos bioativos promissores; a padronização de compostos bioativos; a aplicação de conservantes naturais; o desenvolvimento e a validação de métodos para melhorar e assegurar os níveis dos compostos bioativos nos produtos frescos e processados; e o estudo dos efeitos do processamento sobre a estabilidade dos compostos bioativos e do produto (Corbo et al., 2014).

O crescimento do mercado de sucos de frutas observado nos últimos anos, devido a demanda por alimentos mais saudáveis e naturais; a busca por sabores mais exóticos; o importante teor de antocianinas no jambolão e o destaque do camu-camu como fonte de ácido ascórbico, motivaram esta pesquisa. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a estabilidade do ácido ascórbico e das antocianinas na mistura do jambolão com o camu-camu, bem como definir a melhor aceitação da formulação para o suco misto de jambolão e camu-camu, com base em propriedades sensoriais e funcionais do produto.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Materias-primas

Os frutos do jambolão e do camu-camu, no estágio de maturação ‘maduro’, definido pela textura e coloração característica dos frutos, foram colhidos nos municípios de Santarém Novo (Pará, Brasil) (00°55'44" S, 47°23'49" W) e Moju (Pará, Brasil) (01°53'02" S, 48°46'08" W), respectivamente. Os frutos foram colhidos nos meses de novembro e dezembro de 2017. Os frutos foram acondicionados em caixas térmicas e transportado até o laboratório da Universidade Federal do Pará (01°27'21" S, 48°30'16" W). Ao chegarem no laboratório, os frutos foram selecionados e submetidos à lavagem e sanitização, com solução a 100 mg/L de cloro ativo, por 5 min, com posterior enxague, para retirada do excesso de cloro. Em seguida, os frutos foram acondicionados em sacos de polietileno de 1 kg, envolvidos com papel alumínio, para a proteção da luz, congelados a -18 °C e estocados nesta temperatura.

2.2.2 Caracterização dos frutos

Os frutos de jambolão e camu-camu foram caracterizados por meio do pH, acidez total (expressa em ácido cítrico), umidade (a 105 °C), cinzas, sólidos solúveis totais e proteína bruta (com fator de conversão de nitrogênio-proteína de 6,25), segundo a AOAC (1997). Os lipídios totais foram determinados pela metodologia de Bligh-Dyer (Bligh; Dyer, 1959). O teor de carboidratos totais foi obtido pela diferença da soma dos teores de umidade, cinzas, lipídios totais e proteínas (FAO 2002). O valor energético total foi calculado de acordo com os fatores de conversão de energia específica de Atwater para frutas (FAO 2002). Foi determinada somente a atividade enzimática da peroxidase, uma vez que, na literatura científica, não há registro da atividade da polifenoloxidase para os frutos de jambolão e camu-camu. A atividade da peroxidase foi determinada pelo método espectrofotométrico (BEL PHOTONICS, UV-M51 UV/VIS, Itália), segundo metodologia descrita por Khan e Robinson (1994).

2.2.3 Determinação de compostos bioativos

Os compostos fenólicos totais foram determinados de acordo com o método proposto por Singleton e Rossi (1965) e modificado por Georgé et al. (2005). A curva analítica de ácido gálico foi obtida nas concentrações de 20 a 100 mg/L, sendo o teor de fenólicos totais expresso em mg de equivalente do ácido gálico por 100 g da amostra em base úmida (b.u.).

As antocianinas monoméricas foram determinadas pelo método do pH diferencial proposto por Giusti e Wrolstad (2001), com os resultados expressos em mg de cianidina 3-glucosídeo por 100 g da amostra (b.u.). O teor de ácido ascórbico foi determinado por HPLC-DAD (Agilent Technologies, 1260 infinity series, Alemanha), de acordo com o método proposto por Almeida et al. (2012), utilizando coluna C18 (5 μ m, 250 mm \times 4,6 mm, Phenomenex). Um volume de 25 μ L da amostra foi eluído em solução de ácido sulfúrico (0,001 M, pH 2,5), com vazão de 0,7 mL/min e detecção a 245 nm a 25 °C. O padrão ácido ascórbico foi utilizado nas concentrações de 1,56 a 100 μ g/mL, sendo o teor de ácido ascórbico expresso em mg de ácido ascórbico por 100 g da amostra (b.u.). Todas as análises foram realizadas em triplicatas.

2.2.4 Determinação da capacidade antioxidante

A capacidade antioxidante foi determinada pelo método ABTS proposto por Re et al. (1999). O radical ABTS^{•+} foi formado a partir da reação de ABTS (14 mM) com persulfato de potássio (4,9 mM) (1:1). O padrão Trolox foi utilizado nas concentrações de 0,3 a 1,5 mM e os resultados foram expressos em mM equivalente ao Trolox/mL de suco (b.u.). Todas as análises foram realizadas em triplicatas.

2.2.5 Estabilidade das antocianinas e do ácido ascórbico

Para avaliar a estabilidade das antocianinas e do ácido ascórbico no jambolão e no camu-camu, bem como na mistura das duas frutas, foram elaboradas três formulações de suco, sendo: SC – suco com 37,5% de polpa de camu-camu e 62,5% de água; SJ – suco com 12,5% de polpa de jambolão e 87,5% de água; e SM – suco misto com 37,5% de polpa de camu-camu, 12,5% de polpa de jambolão e 50% de água. Na formulação do suco misto foi utilizada uma proporção de 3:1 de camu-camu e jambolão, por ser uma condição extrema para avaliar o efeito do ácido ascórbico do camu-camu sobre a degradação das antocianinas do jambolão. Para uma melhor comparação, na formulação dos sucos de camu-camu e de jambolão foram utilizadas as mesmas proporções de polpa utilizadas no suco misto. Para obtenção da polpa, os frutos foram descongelados a 5 °C e despulpados manualmente, sendo a polpa triturada em um processador e passadas em malha com abertura média de 0,7 mm, para eliminar partículas de maior tamanho.

As estabilidades do ácido ascórbico e das antocianinas, nas formulações dos sucos, foram avaliadas durante 10 dias de armazenamento dos produtos a 25 °C (\pm 1 °C), em câmara

do tipo DBO (QUIMIS, Q315M16, Brasil). As amostras foram armazenadas em tubos de polietileno de alta densidade (HPDE) com capacidade de 20 mL, envolvidos com papel alumínio, para a proteção da luz. A coleta de amostras, para a determinação dos teores de ácido ascórbico e de antocianinas foi realizada a cada 24 h.

A cinética de degradação durante o armazenamento foi determinada usando modelos cinéticos de pseudo-ordem zero (Eq. 1) e de pseudo-primeira ordem (Eq. 2). O modelo mais adequado foi selecionado com base nos coeficientes de determinação múltipla (R^2), desvios médios relativos (P) e distribuição de resíduos. O tempo de meia-vida ($t_{1/2}$) foi calculado de acordo com a Eq. (3).

$$C = C_0 - kt \quad (1)$$

$$C = C_0 \exp^{-kt} \quad (2)$$

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k} \quad (3)$$

onde, C é a concentração em determinado tempo de armazenamento, C_0 é a concentração inicial, k é a constante de velocidade da degradação, t é o tempo de armazenamento e $t_{1/2}$ é o tempo de meia-vida.

2.2.6 Avaliação sensorial do suco misto

Para a avaliação sensorial foram elaboradas seis formulações do suco misto de camu-camu e jambolão, de acordo com as proporções apresentadas na Tabela 2.1. A quantidade de água adicionada em todas as formulações foi definida experimentalmente, com base na consistência do suco, em comparação com produtos comerciais da mesma categoria. Em todas as formulações foi adicionado açúcar (sacarose) de modo a obter um produto com 14 °Brix. Para uma melhor homogeneização, as misturas foram passadas em um moinho coloidal (Brasil 56-RC-6332, São Paulo, Brazil), durante dois minutos, e filtradas em malha com abertura média de 0,7 mm. As formulações, foram acondicionadas em garrafas de polietileno de um litro, lacradas e mantidas sob refrigeração ($T < 10$ °C), até o momento do teste.

Tabela 2.1. Composição das formulações dos sucos mistos de camu-camu e jambolão.

Formulação	Polpa de Camu-camu (%)	Polpa de Jambolão (%)	Água (%)
F1	12,5	37,5	50
F2	17,5	32,5	50
F3	22,5	27,5	50

F4	27,5	22,5	50
F5	32,5	17,5	50
F6	37,5	12,5	50

Na avaliação sensorial dos sucos foi utilizado o teste de aceitação, com escala hedônica estruturada de nove pontos (ANEXO I), no qual foram avaliados os atributos: cor, aroma, sabor e impressão geral (Stone; Sidel, 2004). Foram servidos 30 mL da amostra a 10 °C (± 3 °C), em copos plásticos codificados com três dígitos aleatórios. A análise foi realizada em cabines individuais, usando luz branca para melhor visualização do produto, em duas sessões, com 100 provadores não treinados, de ambos os sexos e com idade entre 17 e 58 anos. Índices de aceitabilidade (IA, Equação 4) superiores a 70% foram considerados aceitáveis, conforme recomendado por Dutcosky (2013). A análise sensorial foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal do Pará (CAAE 82497817.0.0000.0018).

$$IA(\%) = \frac{U \cdot 100}{9} \quad (4)$$

onde, U é a média das notas obtidas para o produto e 9 é a nota máxima da escala hedônica.

2.2.7 Análise estatística

A análise estatística foi realizada utilizando o programa *Statistica 7.0*. Os resultados das análises de compostos bioativos e teste de aceitação sensorial foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e a teste complementar de comparação de médias de Tukey ($p \leq 0,05$). Para a obtenção do Mapa de Preferência Interno, os escores de aceitação foram organizados em uma matriz de produtos (em linhas) e provadores (em colunas), a qual foi submetida à Análise de Componentes Principais (ACP). O procedimento foi realizado para cada atributo sensorial separadamente (cor, aroma, sabor e impressão geral), sendo obtidos quatro mapas de preferência. Os resultados foram expressos em gráficos de dispersão das formulações e de correlação dos dados de cada consumidor com os dois primeiros componentes principais.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 Caracterização dos frutos de jambolão e camu-camu

Na Tabela 2.2 são apresentados os dados da caracterização físico-química dos frutos de jambolão e camu-camu. Como pode ser observado, a água representa mais de 85% da composição dos frutos, o que os torna suscetíveis a processos degradativos. Por sua vez, o pH abaixo de 4,0 garante a estabilidade microbiológica dos frutos. O valor de pH do camu-camu foi menor que o encontrado para o jambolão, e o camu-camu apresentou uma acidez total seis vezes maior que o jambolão. Isso pode ser atribuído ao alto teor de ácido ascórbico presente no camu-camu.

Tabela 2.2. Características físico-químicas dos frutos de camu-camu e jambolão.

Propriedades	Camu-camu ^a ± DP	Jambolão ^a ± DP
Umidade (g/100 g)	90,1 ± 0,1	86,4 ± 0,4
pH	2,67 ± 0,01	3,78 ± 0,01
Acidez titulável total (g ácido cítrico/100 g)	3,24 ± 0,07	0,53 ± 0,04
Sólidos solúveis (°Brix)	9,47 ± 0,12	12,1 ± 0,2
Carboidratos (%)	8,88 ± 0,14	11,84 ± 0,41
Proteínas (%)	0,46 ± 0,01	0,58 ± 0,01
Lipídeos (%)	0,43 ± 0,15	0,88 ± 0,03
Cinzas (%)	0,20 ± 0,06	0,33 ± 0,04
Peroxidase (U/mL)	ND	1,93 ± 0,34
Ácido ascórbico (mg/100 g)	2700,6 ± 2,4	12,31 ± 0,03
Compostos fenólicos totais (mg EAG/100 g)	9879 ± 0,4	165,93 ± 0,02
Antocianinas monoméricas (mg/100 g)	9,46 ± 0,02	85,50 ± 0,01

^a Valores expressos em base úmida. ND: não detectado. n = 3 repetições.

A quantidade de sólidos solúveis no jambolão é 21,7% maior que a quantidade encontrada no camu-camu. Esta variação está relacionada com o teor de açúcares total, que é um aspecto importante e relacionado à doçura dos frutos, pois frutos com teores elevados de sólidos solúveis são mais aceitos. Considerando o consumo *in natura* e o processamento, estes tipos de frutos podem gerar maior rendimento, menor custo operacional e excelente grau de doçura (Schiassi et al., 2018). O camu-camu e o jambolão apresentaram baixos teores de proteínas (< 0,6 g/100 g), lipídios totais (< 0,9 g/100 g) e cinzas (< 0,35 g/100 g), assim como baixos valores energéticos (37,1 e 51,9 kcal/100 g, respectivamente).

A atividade da peroxidase (POD) no fruto do jambolão foi muito baixa (1,93 U/mL), enquanto que a atividade da POD não foi detectado no fruto de camu-camu. A atividade da POD é dependente do pH (Ranieri et al., 2011), com alta atividade em pH 6,5. No entanto, a

atividade da POD diminui quando o pH é reduzido ou aumentado e a completa inativação ocorre em pH 2,5 (Mizobutsi et al., 2010), que é próximo ao valor observado para o camu-camu (pH = 2,67).

De acordo com os resultados, a quantidade de ácido ascórbico no jambolão representa menos de 0,5% da quantidade encontrada no camu-camu, para o qual o teor foi semelhante ao observado por Neves et al (2015) (2605,8 mg/100 g), e superior ao reportado por Chirinos et al (2010) (2010 mg/100 g). Para o jambolão, o teor de ácido ascórbico foi superior ao observado por Brandão et al. (2011) (6,61 mg/100 g) e abaixo do reportado por Rufino et al. (2010) (112 mg/100 g). A variação nos teores de ácido ascórbico nas frutas pode ser atribuído a vários fatores, como a variedade, o local de cultivo, as condições climáticas e a colheita (Assis et al., 2001; Brandão et al., 2011).

O teor de compostos fenólicos no jambolão, por sua vez, representou apenas 17% da quantidade observada no camu-camu, para o qual o teor destes compostos está entre os valores reportados por Maeda et al. (2006) (861,73 mg/100 g) e por Chirinos et al (2010) (1320,00 mg/100 g). Para o jambolão, o teor de compostos fenólicos foi semelhante ao reportado por Faria et al. (2011) (148,3 mg/100 g) e inferior ao encontrado por Branco et al. (2016) (206,95 mg/100 g). Além das condições climáticas e diferenças genotípicas influenciarem na variação nos teores de compostos fenólicos nos frutos, o ácido ascórbico pode interferir na quantificação desse composto, uma vez que, por serem facilmente oxidados, podem reagir com o reagente Folin-Ciocalteu, causando uma superestimação do conteúdo de fenólicos totais (Balasundram et al., 2006; Bastola et al., 2017).

Embora o jambolão apresente quantidades bem inferiores de ácido ascórbico e de compostos fenólicos, em comparação com o camu-camu, a quantidade de antocianinas no fruto é nove vezes superior ao observado no camu-camu. O alto teor de antocianinas presente no jambolão é responsável pela cor violeta intensa do fruto. Esses compostos são de grande interesse para a indústria de alimentos como corantes naturais, além de possuírem propriedades antioxidantes (He; Giusti, 2010; Smeriglio et al., 2016; Tavares et al., 2016; Carvalho et al., 2017). O teor de antocianinas encontrado no camu-camu foi semelhante ao reportado por Maeda et al. (2006) (9,98 mg/100 g) e inferior ao observado por Chirinos et al (2010) (52,6 mg/100 g). Para o jambolão, por sua vez, o teor de antocianinas foi superior ao reportado por Barcia et al. (2012) (7,43-16,95 mg/100 g), mas inferior ao reportado por Branco et al. (2016) (213 mg/100 g). Alguns fatores extrínsecos como a incidência de luz e as condições climáticas na área do cultivo levam a variações na concentração das antocianinas (Taiz; Zeiger, 2006).

2.3.2 Estabilidade das antocianinas e do ácido ascórbico

As concentrações de antocianinas e do ácido ascórbico no suco misto (SM) (37,5% de camu-camu e 12,5% de jambolão), suco de camu-camu (SC) (37,5% de camu-camu) e suco de jambolão (SJ) (12,5% de jambolão), durante os 10 dias de armazenamento a 25 °C, são apresentadas na Tabela 2.3. A concentração de antocianinas diminuiu significativamente nos três sucos ($p \leq 0,05$), durante o período de armazenamento. Porém, até o quinto dia, a diminuição de antocianinas foi menos significativa, com retenção das antocianinas de 91% para SM e 73% para SJ, mas para SC a diminuição foi mais significativa, com retenção de 42%. Após o quinto dia, a diminuição do teor de antocianinas foi bem mais expressiva, com retenção de 55% para SJ, 22% para SM e 13% para SC, aos dez dias de armazenamento.

Tabela 2.3. Estabilidade das antocianinas e ácido ascórbico armazenados a 25 °C durante 10 dias.

Tempo (dias)	Antocianinas (mg/100 mL)			Ácido ascórbico (mg/100 mL)		
	SM	SC	SJ	SM	SC	SJ
1	10,57 ± 0,01 ^a	0,86 ± 0,04 ^a	15,61 ± <0,01 ^a	1031,86 ± 0,3 ^e	1099,53 ± 0,3 ^{de}	0,66 ± 0,04 ^a
2	9,02 ± 0,39 ^{bc}	0,44 ± 0,3 ^{ab}	10,82 ± 0,33 ^b	1053,83 ± 0,2 ^e	1027,31 ± 0,6 ^e	0,53 ± 0,07 ^b
3	8,28 ± 0,5 ^{cd}	0,51 ± 0,01 ^{ab}	9,13 ± 0,5 ^{cd}	1201,60 ± 0,2 ^{bc}	1277,08 ± 0,5 ^{bc}	0,27 ± 0,03 ^{ef}
4	7,64 ± 0,04 ^d	0,50 ± <0,01 ^{ab}	8,77 ± 0,07 ^{cd}	1162,22 ± 0,2 ^{cd}	1137,92 ± 0,6 ^e	0,29 ± 0,01 ^{de}
5	9,66 ± 0,5 ^{ab}	0,36 ± <0,01 ^b	11,39 ± 0,2 ^b	1109,39 ± 0,2 ^{de}	1046,34 ± 0,4 ^{cde}	0,32 ± 0,04 ^d
6	5,31 ± 0,2 ^e	0,30 ± 0,3 ^b	10,19 ± 0,8 ^{bc}	1273,58 ± 0,2 ^b	1637,55 ± 0,3 ^a	0,40 ± 0,08 ^c
7	3,14 ± 0,2 ^f	0,17 ± <0,01 ^b	10,22 ± 0,3 ^{bc}	1385,75 ± 0,4 ^a	1330,12 ± 0,3 ^b	0,33 ± 0,06 ^d
8	3,34 ± 0,1 ^f	0,10 ± 0,08 ^b	8,15 ± 0,2 ^d	1221,04 ± 0,43 ^{bc}	1221,29 ± 0,02 ^{bcd}	0,28 ± 0,02 ^{ef}
9	2,66 ± 0,1 ^f	0,17 ± 0,05 ^b	8,97 ± 0,4 ^{cd}	1054,30 ± 0,2 ^e	1341,59 ± 0,06 ^b	0,28 ± 0,05 ^{cd}
10	2,30 ± 0,1 ^f	0,11 ± 0,1 ^b	8,63 ± 0,4 ^d	1028,83 ± 0,5 ^e	1036,78 ± 0,9 ^e	0,25 ± 0,03 ^f

* Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferiram estatisticamente ($p > 0,05$).

SM – suco misto com 37.5% de polpa de camu-camu, 12.5% de polpa de jambolão e 50% de água; SC – suco com 37.5% de polpa de camu-camu e 62.5% de água; SJ – suco com 12.5% de polpa de jambolão e 87.5% de água.

Os resultados mostram que em cinco dias de armazenamento, a retenção de antocianinas foi bem maior em SM do que em SJ, porém aos dez dias de armazenamento, a retenção em SM foi menos da metade que observada em SJ. Este comportamento pode ser atribuído à presença de taninos no jambolão (Tavares et al., 2016; Carvalho et al., 2017) e no camu-camu (Arkter et al., 2011; Kaneshima et al., 2016). A estabilidade da antocianina é afetada pela reação de condensação direta entre os taninos e as antocianinas, onde os taninos atuam como nucleófilos e eletrófilos, para formar adutos antocianina-tanino e adutos de tanino-antocianina ou pela condensação mediada por acetaldeído, que une antocianinas e taninos por uma ponte de etila. Essas reações produzem uma variedade de estruturas,

incluindo espécies pigmentadas e incolores, que podem interferir nos níveis e antocianinas monoméricas (Salas et al., 2003; Cheynier et al., 2006; Türkyılmaz; Özkan, 2014). No entanto, a retenção das antocianinas observada para SM, até o quinto dia de armazenamento, pode ser associada aos flavonoides presentes no suco misto (Gonçalves et al., 2014; Branco et al., 2016), que podem proteger as antocianinas por copigmentação intermolecular, devido à diminuição da produção de pseudobase carbinol e ao aumento da estabilização da base quinoidal (Mazza; Brouillard, 1990; De Rosso; Mercadante, 2007; Cavalcanti et al., 2011).

A degradação das antocianinas no suco misto apresentou uma maior correlação com a cinética de reação de pseudo-primeira ordem (Tabela 2.4), de acordo com o maior coeficiente de determinação (R^2) e menor desvio relativo médio (P) e resíduo com distribuição aleatória. Estes parâmetros definiram o uso da reação de pseudo-primeira ordem para a degradação das antocianinas no suco misto, o qual apresentou um tempo de meia-vida de 3,8 dias.

Tabela 2.4. Parâmetros dos modelos das reações de degradação das antocianinas do suco misto.

Parâmetros	Ordem de reação	
	Pseudo-ordem zero	Pseudo-primeira ordem
k	0,978	0,182
R²	0,864	0,882
P	13,82	7,74
Distribuição de resíduos	T	A

k: Constante de velocidade; T: Tendencioso; A: Aleatório.

A concentração do ácido ascórbico apresentou variações significativas ($p \leq 0,05$), durante o armazenamento (Tabela 2.3), porém a redução mais representativa foi para SJ. Os resultados mostram que não houve degradação do ácido ascórbico no SM, depois de 10 dias de armazenamento, quando os níveis de retenção foram de 94% para SC e 38% para SJ. O comportamento observado indica a elevada estabilidade do ácido ascórbico na presença de antocianinas, e que o ácido ascórbico não foi o responsável pela diminuição do teor de antocianinas no suco misto. O pH pode influenciar a estabilidade do ácido ascórbico, uma vez que este composto é bem preservado em soluções ácidas. Geralmente, o pH ácido (~2) é indicado para preparações de amostras, assegurando estabilidade e recuperação de ácido ascórbico (Nováková et al., 2008; Spínola et al., 2013). A retenção observada em SM, pode estar relacionada com o tempo e a temperatura de armazenamento, pois a estabilidade do ácido ascórbico é mantida em temperatura de armazenamento de até 30 °C (Cunha et al., 2014). Maeda et al. (2007) não observaram diminuição significativa no teor de ácido ascórbico durante o armazenamento de um néctar de camu-camu por 30 dias a 26 °C, na

ausência de luz. De acordo com os resultados, pode-se inferir que o pH do suco (2,8), o tempo de armazenamento de 10 dias e a temperatura de 26 °C, não foram suficientes para promover mudanças significativas na concentração do ácido ascórbico no suco misto estudado.

2.3.3 Caracterização funcional do suco misto

O aspecto visual das formulações obtidas para o suco misto de jambolão e camu-camu pode ser observado na Figura 2.1. Na Tabela 2.5 são apresentadas as concentrações dos compostos bioativos e da capacidade antioxidante para as seis formulações do suco misto de jambolão e camu-camu avaliados. Em função da composição das polpas, com o aumento da proporção de camu-camu na formulação, foi verificado o aumento da concentração de ácido ascórbico e a diminuição na concentração de antocianinas. Além disso, foi observado um aumento da concentração de compostos fenólicos totais e da capacidade antioxidante com o aumento de camu-camu nos sucos misto.

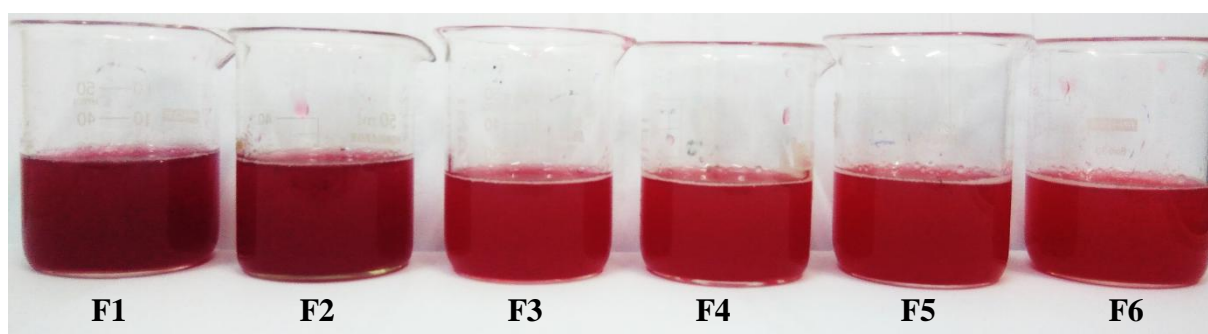


Figura 2.1. Formulações do suco misto de jambolão e camu-camu. Foto: Da autora. F1 – 12,5% de polpa de camu-camu e 37,5% de polpa de jambolão; F2 – 17,5% de polpa de camu-camu e 32,5% de polpa de jambolão; F3 – 22,5% de polpa de camu-camu e 27,5% de polpa de jambolão; F4 – 27,5% de polpa de camu-camu e 22,5% de polpa de jambolão; F5 – 32,5% de polpa de camu-camu e 17,5% de polpa de jambolão; F6 – 37,5% de polpa de camu-camu e 12,5% de polpa de jambolão.

Tabela 2.5. Conteúdo de antocianinas, ácido ascórbico, compostos fenólicos e capacidade antioxidante (ABTS) das formulações do suco misto de camu-camu e jambolão.

Formulação	Antocianinas (mg/100 mL)	Ácido ascórbico (mg/100 mL)	Compostos fenólicos (mg EAG/100 mL)	ABTS (mM ET/100 mL)
F1	23,0 ± 0,3 ^a	353,3 ± 0,1 ^f	892,06 ± 0,03 ^f	3667,78 ± 0,4 ^f
F2	21,7 ± 0,2 ^a	629,8 ± 0,1 ^e	1202,30 ± 0,03 ^e	4156,67 ± 0,3 ^e
F3	15,4 ± 0,1 ^b	998,8 ± 0,7 ^d	1645,31 ± 0,02 ^d	4923,33 ± 0,3 ^d
F4	13,5 ± 0,8 ^c	1275,6 ± 0,4 ^c	1661,18 ± 0,02 ^c	5356,67 ± 0,3 ^c
F5	10,60 ± 0,02 ^c	1491,1 ± 0,6 ^b	1900,87 ± 0,04 ^b	7985,00 ± 0,5 ^b
F6	9,1 ± 0,2 ^c	1772,2 ± 0,1 ^a	3035,1 ± 0,1 ^a	8435,00 ± 0,5 ^a

* Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente ($p > 0.05$).

EAG – Equivalente ácido gálico; ET – Equivalente Trolox; F1 – suco misto com 12,5% de polpa de camu-camu, 37,5% de polpa de jambolão; F2 – suco misto com 17,5% de polpa de camu-camu, 32,5% de polpa de jambolão; F3 – suco misto com 22,5% de polpa de camu-camu, 27,5% de polpa de jambolão; F4 – suco misto com 27,5% de polpa de camu-camu, 22,5% de polpa de jambolão; F5 – suco misto com 32,5% de polpa de camu-camu, 17,5% de polpa de jambolão; F6 – suco misto com 37,5% de polpa de camu-camu, 12,5% de polpa de jambolão.

As formulações F1 e F2 não apresentaram diferença estatísticas ($p > 0,05$) para o teor de antocianinas, as quais são responsáveis pela cor violeta no suco misto. No entanto, o teor de antocianinas na formulação F6 representou 39,6% do teor observado em F1. Teores inferiores de antocianinas foram encontrados em suco de camu-camu (2,51 mg/100 mL) (Maeda et al., 2006) e em oito amostras de sucos de uva (0,2 a 6,7 mg/100 mL) (Malacrida; Mota, 2005).

A formulação F1 representou 29,4%, 20% e 43,5% da quantidade de ácido ascórbico, compostos fenólicos e capacidade antioxidante, respectivamente, das quantidades observadas na formulação F6. Os teores de ácido ascórbico foram semelhantes ao encontrado para o suco de camu-camu (382,07 mg/100 mL) (Maeda et al., 2006), e superiores ao reportado para o suco tropical de caju (223,96 mg/100 mL) (Vieira et al., 2011). Teores inferiores de compostos fenólicos foram encontrados no suco de caju (182,96 mg/100 mL) (Carvalho et al., 2011). Pode-se observar que o ácido ascórbico, presente na polpa de camu-camu, apresentou uma maior contribuição para a capacidade antioxidante no suco misto. A capacidade antioxidante das formulações foi semelhante à reportada para o suco de arônia (5433 mM ET/100 mL) (Błaszczak et al., 2017), e bem superiores ao encontrado em suco de caju (7,4 mM ET/100 mL) (Carvalho et al., 2011). Com base nos dados reportados na literatura, todas as formulações desenvolvidas de suco misto de camu-camu e jambolão, podem ser consideradas fontes promissoras de compostos bioativos, com alta capacidade antioxidante.

2.3.4 Análise sensorial do suco misto

Os valores dos índices de aceitação (IA) para as formulações do suco misto de jambolão e camu-camu são apresentados na Tabela 2.6, para cada atributo sensorial avaliado. Pode-se observar uma diminuição significativa ($p \leq 0,05$) do IA, para os atributos cor e sabor, com o aumento da concentração de polpa de camu-camu nas formulações. Quanto ao atributo cor, não houve diferença estatística entre as formulações F1 a F4, e o atributo sabor não apresentou diferença entre as formulações F1 e F2, apesar da formulação F1 ter apresentado o maior valor médio para este atributo. Para o atributo aroma as variações observadas não foram

estatisticamente significativas ($p > 0,05$). A análise desses atributos sensoriais é importante para determinar a qualidade e a aceitabilidade do produto final (Yu et al., 2018).

Tabela 2.6. Índice de aceitação dos atributos sensoriais das formulações dos sucos mistos de camu-camu e jambolão.

Formulação	Cor	Sabor	Aroma	Impressão Global
F1	90,8 ^a	76,3 ^a	69,2 ^a	80,4 ^a
F2	88,7 ^a	69,7 ^{ab}	68,0 ^a	75,6 ^a
F3	88,4 ^a	65,8 ^{bc}	68,2 ^a	67,8 ^b
F4	86,3 ^{ab}	60,6 ^{cd}	66,0 ^a	65,1 ^{bc}
F5	82,3 ^{bc}	56,2 ^d	64,7 ^a	64,9 ^{bc}
F6	77,7 ^c	53,7 ^d	66,1 ^a	59,9 ^c

* Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente ($p > 0,05$).

GAE – Equivalente ácido gálico; ET – Equivalente Trolox; F1 – suco misto com 12,5% de polpa de camu-camu, 37,5% de polpa de jambolão; F2 – suco misto com 17,5% de polpa de camu-camu, 32,5% de polpa de jambolão; F3 – suco misto com 22,5% de polpa de camu-camu, 27,5% de polpa de jambolão; F4 – suco misto com 27,5% de polpa de camu-camu, 22,5% de polpa de jambolão; F5 - suco misto com 32,5% de polpa de camu-camu, 17,5% de polpa de jambolão; F6 – suco misto com 37,5% de polpa de camu-camu, 12,5% de polpa de jambolão.

De acordo com o teste sensorial, os atributos cor, sabor e aroma apresentaram a mesma tendência, sendo os maiores índices de aceitação (IA) obtidos para as formulações F1 (12,5% de camu-camu e 37,5% de jambolão) e F2 (17,5% de camu-camu e 32,5% de jambolão). O IA para a impressão global destas formulações foi superior a 70%, o qual é considerado satisfatório para a aceitação sensorial de um produto alimentício (Lucas et al, 2018).

Na Figura 2.2 são apresentados os mapas de preferência internos gerados para os dados de aceitação das seis formulações do suco misto de jambolão e camu-camu, para os atributos: cor, sabor e aroma, e para a impressão global. Para que esta análise estatística explique a relação dos dados de aceitação de um produto, é necessário que a somatória dos dois componentes principais seja de no mínimo 70% (Minim, 2013). A separação espacial das formulações sugere a existência de grupos, de acordo com a aceitação das mesmas, em todos os atributos analisados.

Para o atributo cor (Figura 2.2A), o primeiro e o segundo componente principal explicaram 72,2% da variabilidade de aceitação entre as formulações. A separação espacial das amostras mostra a formação de dois grupos, sendo um grupo formado pelas formulações F1 e F2, com as menores concentrações de camu-camu e maiores de jambolão, e o outro grupo formado pelas demais formulações (F3-F6). A preferência pelas formulações F1 e F2 é atribuída à intensidade da coloração violeta do suco misto, devido a presença das antocianinas do jambolão, em maior concentração nestas formulações (Tabela 2.5).

Para os atributos sabor e aroma (Figura 2.2B e 2.2C), o primeiro e segundo componente principal explicaram 74,8% e 79,7% da variabilidade dos dados, respectivamente. Também para estes atributos, a formação de um grupo com F1 e F2, confirma que estas formulações não diferiram estatisticamente ($p > 0,05$), mas são diferentes das demais formulações. As maiores concentrações de camu-camu nas formulações F3 a F6 influenciaram negativamente na aceitação do suco misto, para o atributo sabor, o que pode ser atribuído à acidez acentuada do produto devido ao aumento da concentração de ácido ascórbico. Embora os dados da Tabela 2.5 não indiquem diferença significativa ($p > 0,05$) entre as formulações, para o atributo aroma, o mapa de preferência mostrou a formação de dois grupos, separando F1 e F2 das demais formulações. Essa separação pode ser atribuída a presença de compostos voláteis presentes nos sucos, como o α -pineno no camu-camu (Quijano; Pino, 2007; Rodrigues et al., 2015) e o *trans*- β -ocimene no jambolão (Mehta et al., 2017).

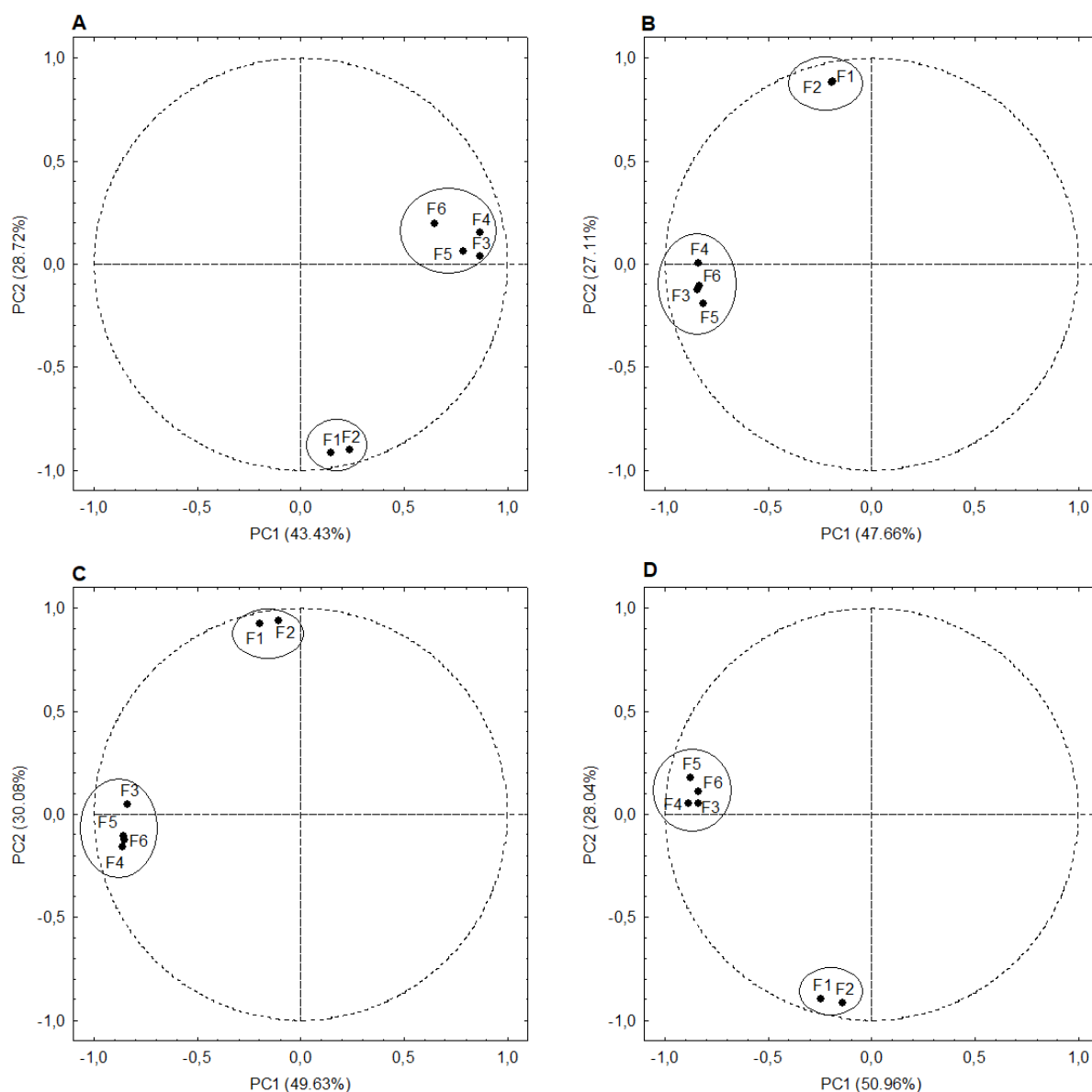


Figura 2.2. Representação do mapa de preferência dos consumidores para os atributos cor (A), sabor (B), aroma (C) e impressão global (D) das formulações do suco misto de camu-camu e jambolão.

Para a impressão global (Figura 2.2D), que expressa o conjunto dos atributos avaliados, o primeiro e o segundo componente principal explicam 79% da variabilidade das respostas. Neste caso também foi observado a formação de dois grupos de provadores, um grupo com F1 e F2 e outro grupo com as demais formulações (F3-F6). Assim, foi observado um comportamento similar para todos os atributos avaliados, bem como para a impressão global: um decréscimo no índice de aceitação do suco misto com o aumento da concentração de camu-camu na formulação.

Vidigal et al. (2011) avaliaram a aceitação sensorial dos sucos de açaí, camu-camu, cajá e umbu e observaram que o suco de camu-camu foi o que obteve a menor aceitação

sensorial, devido a elevada acidez do fruto. Maeda et al. (2006) atribuem o consumo restrito do camu-camu à elevada acidez, amargor e adstringência da polpa. Para o suco misto de jambolão e camu-camu estudado, as formulações F1 e F2, que obtiveram os maiores índices de aceitação (Tabela 2.6), apresentaram os menores teores de ácido ascórbico e compostos fenólicos, bem como capacidade antioxidante (Tabela 2.5). Entretanto, com a crescente busca por alimentos mais saudáveis e a viabilidade comercial dos frutos de camu-camu e jambolão, o desenvolvimento do suco misto com 25% de polpa de camu-camu e 75% de polpa de jambolão, pode ser considerada uma alternativa promissora para a produção devido à alta aceitação pelos provadores, além do alto teor de compostos bioativos, principalmente o teor de ácido ascórbico, promovendo efeitos benéficos à saúde.

2.4 CONCLUSÃO

O estudo mostra que em uma formulação com 37,5% de polpa de camu-camu, 12,5% de polpa de jambolão e 50% de água, a estabilidade das antocianinas é assegurada por até cinco dias de armazenamento a 25°C. A degradação das antocianinas no suco misto foi ajustada ao modelo cinético de pseudo-primeira ordem, com tempo de meia vida de 3,8 dias. Além disso, o estudo mostrou que é possível obter um suco misto pela combinação de 12,5% a 17,5% de polpa camu-camu, 32,5% a 37,5% de polpa de jambolão e 50% de água, e com 14 °Brix; com alta aceitação sensorial e como fonte promissora de compostos bioativos com alta capacidade antioxidante.

REFERÊNCIA

- Almeida, M.; Darin, J. A.; Hernandes, L.; Aissa, A.; Chisté, R.; Mercadante, A.; Antunes, L.; Bianchi, M. (2012). Antigenotoxic effects of piquia (*Caryocar villosum*) in multiple rat organs. **Plant Foods Human Nutrition**, 67(1), 171-177.
- AOAC, Association of Official Analytical Chemists. (1997). **Official Methods of Analysis** (16 ed.). Gaithersburg: Published by AOAC International.
- Arkter, M. S.; Oh, S.; Eun, J. B.; Ahmed, M. (2011). Nutritional compositions and health promoting phytochemicals of camu-camu (*Myrciaria dubia*) fruit: A review. **Food Research International**, 44(1), 1728-1732.
- Assis, S. A.; Oliveira, O. M. M. F.; Lima, D. C. (2001). Activity of pectinmethylesterase, pectin content and vitamin C in acerola fruit at various stages of fruit development. **Food Chemistry**, 74(1), 133-136.

- Balasundram, N.; Sundram, K.; Samman, S. (2006). Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. **Food Chemistry**, 99(1), 191-203.
- Bamidele, O. P.; Fasogbon, M. B. (2017). Chemical and antioxidant properties of snake tomato (*Trichosanthes cucumerina*) juice and Pineapple (*Ananas comosus*) juice blends and their changes during storage. **Food Chemistry**, 220(1), 184–189.
- Barcia, M. T.; Pertuzatti, P. B.; Jacques, A. C.; Godoy, H. T.; Zambiasi, R. (2012). Bioactive compounds, antioxidant activity and percent composition of jambolan fruits (*Syzygium cumini*). **The Natural Products Journal**, 2(1), 129-138.
- Bastola, K. P.; Guragain, Y. N.; Bhadriraju, V.; Vadlani, P. V. (2017). Evaluation of Standards and Interfering Compounds in the Determination of Phenolics by Folin-Ciocalteu Assay Method for Effective Bioprocessing of Biomass. **American Journal of Analytical Chemistry**, 8(1), 416-431.
- Błaszczak, W.; Amarowicz, R.; Górecki, A. R. (2017). Antioxidant capacity, phenolic composition and microbial stability of aronia juice subjected to high hydrostatic pressure processing. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, 39(1), 141–147.
- Bligh, E. G.; Dyer, W. J. (1959). A rapid method of total lipid. Extraction and purification. **Canadian Journal of Biochemistry and Physiology**, 37(8), 911-917.
- Branco, I. G.; Moraes, I. C. F.; Argandoña, E. J. S.; Madrona, G. S.; Santos, C.; Haminiuk, C. W. I. (2016). Influence of pasteurization on antioxidant and in vitro anti-proliferative effects of jambolan (*Syzygium cumini* (L.) Skeels) fruit pulp. **Industrial Crops and Products**. 89(1), 225-230.
- Brandão, T. S. O.; Sena, A. R.; Teshima, E.; David, J. M.; Assis, S. A. (2011). Changes in enzymes, phenolic compounds, tannins, and vitamin C in various stages of jambolan (*Syzygium cumini* Lamark) development. **Ciência e Tecnologia Alimentos**. 31(4), 849-855.
- Brito, E. S.; Araújo, M. C. P.; Alves, R. E.; CARkeet, C.; Clevidence, B. A.; Novotny, J. A. (2007). Anthocyanins present in selected tropical fruits: acerola, jambolan, jussara, and guajiru. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 55(23), 9389–9394.
- Carvalho, R. L.; Miranda, M. R.; Brasil, I. M. (2011). Evaluation of the quality, phytochemical and antioxidant activity of tropical cashew juice. **Agropecuária Técnica**, 32(1), 35-41.
- Carvalho, T. I. M.; Nogueira, T. Y. K.; Mauro, M. A.; Gómez-Alonso, S.; Gomes, E.; Da-Silva, R.; Hermosín-Gutiérrez, I.; Lago-Vanzela, E. S. (2017). Dehydration of jambolan

- [*Syzygium cumini* (L.)] juice during foam mat drying: Quantitative and qualitative changes of the phenolic compounds. **Food Research International**, 102(1), 32-42.
- Cavalcanti, R. N., Santos, D. T., Meireles, M. A. (2011). Non-thermal stabilization mechanisms of anthocyanins in model and food systems—an overview. **Food Research International**, 44(1), 499–509.
- Cheyrier, V.; Dueñas-Paton, M.; Salas, E.; Maury, C.; Souquet, J. M.; Sarni-Manchado, P.; Fulcrand, H. (2006). Structure and properties of wine pigments and tannins. **American Journal of Enology and Viticulture**, 57(3), 298-305.
- Chirinos, R. Galarza, J.; Betalleluz-Pallardel, I.; Pedreschi, R.; Campos, D. (2010). Antioxidant compounds and antioxidant capacity of Peruvian camu camu (*Myrciaria dubia* (H.B.K.) McVaugh) fruit at different maturity stages. **Food Chemistry**, 120(1), 1019–1024.
- Corbo, M. R.; Bevilacqua, A.; Petruzzi, L.; Casanova, F. P.; Sinigaglia, M. (2014). Functional bevarages: The emerging side of functional food. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, 13(1), 1192-1206.
- Cunha, K. D.; Silva, P. R. Costa, A. L. F. S. F.; Teodoro, A. J. (2014). Ascorbic acid stability in fresh fruit juice under different forms of storage. **Brazilian Journal of Food Technology**, 17(2), 138-145.
- Davey, M. W.; Montagu, M. V.; Inzé, D.; Sanmartin, M.; Kanellis, A.; Smirnoff, N.; Benzie, I. J. J.; Strain, J. J.; Favell, D.; Fletcher, J. (2000). Plant L-ascorbic acid: chemistry, function, metabolism, bioavailability and effects of processing. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 80(1), 825-860.
- De Rosso, V. V.; Mercadante, A. Z. (2007). The high ascorbic acid content is the main cause of the low stability of anthocyanin extracts from acerola. **Food Chemistry**, 103(3), 935-943.
- Downes, F. P.; Ito, K. (2001). **Compendium of methods for the microbiological examination of Foods**. Washington: American Public Health Association.
- Dutcosky, S. D. (2013). Análise sensorial de alimentos (4. ed.). Curitiba: DA Champagnat.
- FAO/WHO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2002). **Food and Nutrition**. Rome, IT.
- Far, J. E.; Giust, M. M. (2018). Investigating the interaction of ascorbic acid with anthocyanins and pyranoanthocyanins. **Molecules**, 23(4), 744-756.
- Faria, A. F.; Marques, M. C.; Mercadante, A. Z. (2011). Identification of bioactive compounds from jambolão (*Syzygium cumini*) and antioxidante capacity evaluation in diferente pH conditions. **Food Chemistry**, 126(1), 1571-1578.

- Georgé, S.; Brat, P.; Alter, P.; Amiot, M.J. (2005). Rapid determination of polyphenols and vitamin C in plant-derived products. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 53(1), 1370-1373.
- Giusti, M. M.; Wrolstad, R. E. (2001). Characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible spectroscopy. **Current Protocols in Food Analytical Chemistry**, New York: John Wiley & Sons.
- He, J.; Giusti, M. (2010). Anthocyanins: natural colorants with health-promoting properties. **Annual Review of Food Science and Technology**, 1(1), 163–187.
- Iacobucci, G, A.; Sweeny, J. G. (1983). The chemistry of anthocyanins and related flavylum salts. **Tetrahedron**, 39(1), 3005-3038.
- Jurd, L. (1972). Some advances in the chemistry of anthocyanins-type pigments. In: **The Chemistry of Plant Pigments**. Academic Press: Chichester, NY.
- Kaneshima, T.; Myoda, T. K.; Nakata, M.; Fujimori, T.; Toeda, K.; Nishizawa, M. (2016). Antioxidant activity of C-Glycosidic ellagitannins from the seeds and peel of camu-camu (*Myrciaria dubia*). **LWT – Food Science and Technology**, 69(1), 76-81.
- Khan, A. A.; Robinson, D. S. (1994). Hydrogen donor specificity of mango isoperoxidases. **Food Chemistry**, 49(4), 407-410.
- Lemos, D. M.; Figueirêdo, R. M. F.; Queiroz, A. J. M.; Silva, S. F.; Lima, J. C. B. (2013). Physico-chemical evaluation of an orange tangor 'Ortanique' and beetroot blend. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, 7(3), 207-211.
- Lucas, B. F.; De Moraes, M.G.; Santos, T.D.; Costa, J.A.V. (2018). Spirulina for snack enrichment: Nutritional, physical and sensory evaluations, **LWT - Food Science and Technology**, 90(1), 270-276.
- Maeda, R. N.; Pantoja, L.; Yuyama, L. K. O.; Chaar, J. M. (2006). Determination of the formulation and characterization of camu-camu nectar (*Myrciaria dubious* McVaugh). **Food Science and Technology**, 26(1), 70-74.
- Maeda, R. N.; Pantpja, L.; Yuyama, L. K. O.; Chaar, J. M. (2007). Stability of ascorbic acid and anthocyanin on camu-camu (*Myrciaria dubia* McVaugh) nectar. **Food Science and Technology**, 27(2), 313-316.
- Malacrida, C. R.; Motta, S. (2005). Total phenolic compounds and anthocyanins in grape juice. **Food Science and Technology**, 25(4), 659-664.
- Mariutti, L. R. B.; Rodrigues E.; Chisté R. C.; Fernandes E.; Mercadante, A. Z. (2014). The Amazonian fruit *Byrsonima crassifolia* effectively scavenges reactive oxygen and nitrogen

species and protects human erythrocytes against oxidative damage. **Food Research International**, 64(1), 618–625.

Mazza, G.; Brouillard, R. (1990). The mechanism of co-pigmentation of anthocyanin in aqueous solutions. **Phytochemistry**, 29(1), 1097–1102.

Mehta, P. K.; De Sousa Galvão, M.; Soares, A. C.; Nogueira, J. P.; Narain, N. (2017). Volatile constituents of jambolan (*Syzigium cumini* L.) fruits at three maturation stages and optimization of HS-SPME GC-MS method using a central composite design. **Food Analytical Methods**, 11(3), 733-749.

Minim, V. P. R. (2013). **Análise Sensorial: estudos com consumidores** (3. ed.). Viçosa: Editora UFV.

Mizobutsi, G. P.; Finger, F. L.; Ribeiro, R. A.; Puschmann, R.; Neves, L. L. M.; Mota, W. F. (2010). Effect of pH and temperature on peroxidase and polyphenoxidase activities of litchi pericarp. **Scientia Agricola**, 67(2), 213-217.

Nadeem, M.; Ubaid, N.; Qureshi, T. M.; Munir, M.; Mehmood, A. (2018). Effect of ultrasound and chemical treatment on total phenol, flavonoids and antioxidant properties on carrot-grape juice blend during storage. **Ultrasonics – Sonochemistry**, 45(1), 1–6.

Neves, L.C.; Silva, V. X.; Pontis, J. A.; Flach, A.; Roberto, S. R. (2015). Bioactive compounds and antioxidant activity in pre-harvest camu-camu (*Myrciaria dubia* (H.B.K.) Mc Vaugh) fruits. **Scientia Horticulturae**, 186(1), 223–229.

Nóbrega, E.; Oliveira, E.; Genovese, M.; Correia, R. (2015). The impact of hot air drying on the physical–chemical characteristics, bioactive compounds and antioxidant activity of acerola (*Malpighia emarginata*) residue. **Journal of Food Processing and Preservation**, 39(1), 131-141.

Nováková, L.; Solich, P.; Solichová, D. (2008). HPLC methods for simultaneous determination of ascorbic and dehydroascorbic acids. **TrAC Trends in Analytical Chemistry**, 27(1), 942-958.

Oliveira, V. B.; Yamada, L. T.; Fagg, C. W.; Brandão, M. G. L. (2012). Native foods from Brazilian biodiversity as a source of bioactive compounds. **Food Research International**, 48(1), 170-179.

Palczak, J.; Blumenthal, D.; Rogeaux, M.; Delarue, J. (2019). Sensory complexity and its influence on hedonic responses: A systematic review of applications in foods and beverages. **Food Quality and Preference**, 71(1), 66-75.

- Pinheiro, A. M.; Fernandes, A. G.; Fai, A. E. C.; Prado, G. M. Sousa, P. H. M.; MAIA, G. A. (2006). Chemical, physicochemical and microbiological evaluation of whole fruit juices; pineapple, cashew and passion fruit. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, 26(1), 98-103.
- Poei-Langston, M. S.; Wrolstad, R. E. (1981). Color degradation in an ascorbic acid-anthocyanin flavanol model system. **Journal of Food Science**. 46(1), 1218–1236.
- Quijano, C. E.; Pino, J. A. (2007). Analysis of Volatile Compounds of camu-camu (*Myrciaria dubia* (HBK) Mcvaugh) Fruit Isolated by Different Methods, **Journal of Essential Oil Research**, 19(6), 527-533.
- Ranieri, A.; Bernini, F.; Bortolotti, C. A.; Bonifacio, A.; Sergio, V.; Castellini, E. (2011). pH-Dependent Peroxidase Activity of Yeast Cytochrome c and Its Triple Mutant Adsorbed on Kaolinite. **Langmuir**, 27(17), 10683–10690.
- Re, R.; Pellegrini, N.; Proteggente, A.; Pannala, A.; Yang, M.; Riceevans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology and Medicine**, 26(9), 1231 – 1237.
- Rufino, M. S. M.; Alves, R. E.; De Brito, E. S.; Pérez-Jiménez, J.; Saura-Calixto, F.; Mancini-Filho, J. (2010). Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. **Food Chemistry**, 121(4), 996-1002.
- Salas, R.; Fulcrand, H.; Meudec, E.; Cheynier, V. (2003). Reactions of anthocyanins and tannins in model solutions. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 51(1), 7951-7961.
- Schiassi, M. C. E.; Souza, V. R. D., Lago, A. M. T., Campos, L. G., Queiroz, F. (2018). Fruits from the Brazilian cerrado region: Physico-chemical characterization, bioactive compounds, antioxidant activities, and sensory evaluation, **Food Chemistry**, 245(1), 305-311.
- Shrikhande, A. J.; Francis, F. J. 1974. Effect of flavonols on ascorbic acid and anthocyanin stability in model systems. **Journal of Food Science**, 39(1), 904-906.
- Singleton, V. L.; Rossi, J. A. (1865). Colorimetry of total phenolic with phosphomolybdicphosphotungstic acid reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, 16(3), 144-158.
- Smeriglio, A.; Galati, E. M.; Monforte, M. T.; Lanuzza, F.; D'Angelo, V.; Circosta, C. (2016). Polyphenolic compounds and antioxidant activity of cold-pressed seed oil from finola cultivar of *Cannabis sativa* L. **Phytotherapy Research**, 30(8), 1298–1307.
- Souza, A; Oliveira, T.; Mattietto, R.; Nascimento, W.; Lopes, A. (2018). Bioactive compounds in the peel of camu camu genotypes from Embrapa's active germplasm bank. **Food Science and Technology**, 38(1), 67-71.

- Spínola, V.; Mendes, B.; Câmara, J. S.; Castilho, P. C. (2013). Effect of time and temperature on vitamin C stability in horticultural extracts. UHPLC-PDA vs iodometric titration as analytical methods. *LWT – Food Science and Technology*, 50(1), 489-495.
- Stone, H.; Sidel, J. L. (2004). **Sensory evaluation practices** (3. ed.). New York: Academic Press.
- Taiz, L.; Zeiger, E. (2006). **Fisiologia vegetal** (3rd ed.). Porto Alegre: ARTMED, 2006.
- Tavares, I. M. C.; Lago-Vanzela, E. S.; Rebello, L. P. G.; Ramos, A. M.; Gómez-Alonso, S.; García-Romero, E.; Da-Silva, R.; Hermosín-Gutiérrez, I. (2016). Comprehensive study of the phenolic composition of the edible parts of jambolan fruit (*Syzygium cumini* (L.) Skeels). **Food Research International**, 82(1), 1–13.
- Turfan, Ö., Türkyilmaz, M., Yemis, O., Özkan, M. (2011). Anthocyanin and colour changes during processing of pomegranate (*Punica granatum* L., cv. Hicaznar) juice from sacs and whole fruit. **Food Chemistry**, 129(1), 1644–1651.
- Türkyilmaz, M.; Özkan, M. (2014). Effects of condensed tannins on anthocyanins and colour of authentic pomegranate (*Punica granatum* L.) juices. **Food Chemistry**, 164(1), 324-331.
- Veigas, J. M.; Narayan, M. S.; Laxman, P. M.; Neelwarne, B. (2007). Chemical nature, stability and bioefficacies of anthocyanins from fruit peel of *Syzygium cumini*. **Food Chemistry**, 105(2), 619-627.
- Vidigal, M. C.T.R.; Minim, V. P. R.; Carvalho, N. B.; Milagres, M. P.; Gonçalves, A. C. A. (2011). Effect of a health claim on consumer acceptance of exotic Brazilian fruit juices: Açai (*Euterpe oleracea* Mart.), Camu-camu (*Myrciaria dubia*), Cajá (*Spondias lutea* L.) and Umbu (*Spondias tuberosa* Arruda). **Food Research International**, 44(7), 1988-1996.
- Vieira, L. M.; Sousa, M. S. B.; Mancini-Filho, J.; Lima, A. (2011). Total phenolics and in vitro antioxidant capacity of tropical fruit pulps. **Revista Brasileira de Fruticultura**. 33(3), 888-897.
- Xu, X. J.; Fang, S.; Li, Y. H.; Zhang, F.; Shao, Z. P.; Zeng, Y. T.; Chen, J.; Meng, Y. C. (2018). Effects of low acyl and high acyl gellan gum on the thermal stability of purple sweet potato anthocyanins in the presence of ascorbic acid. **Food Hydrocolloids**, 86(1), 116-123.
- Yu, P.; Low, M. Y.; Zhou, W. (2018). Design of experiments and regression modelling in food flavour and sensory analysis: A review. **Trends in Food Science and Technology**, 71(1), 202–215.
- Yuyama, K.; Aguiar, J. P. L.; Yuyama, L. K. O. (2001). Camu-camu: a fantastic fruit as a source of vitamin C. **Acta Amazonica**, 32(1), 169-174.

ESTABILIDADE DO ÁCIDO ASCÓRBICO E ANTOCIANINAS DO SUCO MISTO DE JAMBOLÃO (*Syzygium cumini*) E CAMU-CAMU (*Myrciaria dubia*) DURANTE A PASTEURIZAÇÃO E ARMAZENAMENTO EM TEMPERATURA AMBIENTE

RESUMO

A pasteurização é um tratamento térmico amplamente utilizado na indústria de alimentos, que pode afetar a qualidade nutricional de produtos alimentícios por diminuir o teor de compostos bioativos termicamente instáveis. Assim, neste trabalho, a melhor condição de temperatura e tempo de pasteurização para o suco misto de jambolão: camu-camu (37,5%: 12,5%, m:m) foi determinada, com base em suas atividades enzimáticas (peroxidase, polifenoloxidase e pectina metilesterase), conteúdos de compostos bioativos (antocianinas, compostos fenólicos totais e ácido ascórbico) e contagens microbianas (bactérias aeróbias mesófilas, fungos e coliformes termotolerantes). Além disso, a estabilidade do suco misto pasteurizado à temperatura ambiente (25 °C) foi monitorada por 35 dias. A metodologia de superfície de resposta e a função desejabilidade definiram 75 °C e 5 s como as melhores condições de pasteurização para fornecer um suco misto com contagens microbianas seguras, todas as enzimas deteriorativas inativadas, 24,18 mg de antocianinas/100 mL, 325,83 mg de compostos fenólicos totais/100 mL e 1862,4 mg de ácido ascórbico/100 mL. Além disso, a cinética de degradação das antocianinas e do ácido ascórbico apresentou tempo de meia-vida de 18 e 126 dias, respectivamente, durante o armazenamento em temperatura ambiente, evidenciando a eficácia do tratamento térmico aplicado na retenção de compostos bioativos do suco estudado.

Palavra-chave: Frutas amazônicas, compostos bioativos, vitamina C, compostos fenólicos, tratamento térmico.

3.1 INTRODUÇÃO

A biodiversidade da Amazônia brasileira é caracterizada pela grande variedade de espécies vegetais, incluindo uma abundância natural de frutas nativas. Muitas dessas frutas são consideradas fontes potenciais de compostos bioativos com benefícios a saúde, como compostos fenólicos e o ácido ascórbico, que estão normalmente presentes na alimentação humana (Wurlitzer et al., 2019). Dentre os frutos da Amazônia, duas espécies tem chamado a atenção: o jambolão (*Syzygium cumini*), por apresentar coloração roxa intensa associada a um alto teor de antocianinas (211 a 230 mg/100 g da polpa) (Tavares et al., 2016), e o camu-camu (*Myrciaria dubia*), cuja composição contém uma grande quantidade de ácido ascórbico (1000 a 6000 mg/100 g da fruta fresca) (Arkter et al., 2011; Chisté & Fernandes, 2016).

Uma variedade de suco de frutas é comumente encontrada no mercado por serem produtos alimentícios muito atrativos para os consumidores habituais, principalmente pelas características de facilidade e conveniência de consumo. Durante a produção de sucos de frutas pelas indústrias alimentícias, o processo de pasteurização é de suma importância para garantir um produto estável e seguro. Uma combinação adequada de temperatura e tempo permite a eliminação de microrganismos termosensíveis e a inativação de enzimas, que promovem alterações indesejáveis nos produtos alimentícios (Branco et al., 2016). Por outro lado, o tratamento térmico pode afetar a cor, o sabor, a textura e os parâmetros nutricionais do produto. Portanto, é importante monitorar e controlar as alterações durante o processamento térmico, para garantir a perda mínima da qualidade geral do produto (Engmann et al., 2015).

No processamento de frutas e vegetais, o uso de altas temperaturas durante a pasteurização pode afetar significativamente o conteúdo de ácido ascórbico, antocianinas e a cor de produtos (Wurlitzer et al., 2019). Além das perdas no valor nutricional, a degradação térmica do ácido ascórbico pode gerar compostos responsáveis por atribuir cor indesejável ao suco, devido a reações de escurecimento, que podem servir de indicador para o tratamento térmico (Bharate & Bharate, 2014). Dhakal et al. (2018) observaram que a pasteurização degradou até 39% do conteúdo de ácido ascórbico de um suco de abacaxi, em diferentes temperaturas (75-95 °C) e tempos (até 60 min). Além disso, o tratamento térmico pode causar a degradação das antocianinas monoméricas e a formação de produtos de cor marrom, indesejáveis em sucos de frutas, pois os consumidores os percebem como indicadores de produtos de baixa qualidade (Sinela et al., 2017). Como exemplo, a pasteurização do suco de açaí a 85 °C por 1 min, promoveu a degradação de até 28% o conteúdo de antocianinas (Da Silveira et al., 2019).

O aumento no mercado de suco misto de frutas é atribuído as suas características benéficas à saúde. Nesse sentido, em trabalho anterior, nosso grupo de pesquisa desenvolveu uma formulação de suco misto de jambolão e camu-camu baseada na capacidade antioxidante e aceitação sensorial da bebida (Campos et al., 2020). Nesta pesquisa, portanto, o objetivo foi estabelecer a melhor condição de temperatura e tempo para o tratamento térmico do suco misto de jambolão e camu-camu, bem como avaliar a estabilidade do produto pasteurizado durante o armazenamento em temperatura ambiente, com base nos parâmetros de segurança alimentar e na estabilidade do ácido ascórbico e das antocianinas na bebida.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Material

Os frutos do jambolão e do camu-camu, no estágio de maturação ‘maduro’, definido pela textura e coloração característica dos frutos, foram colhidos nos municípios de Santarém Novo (Pará, Brasil) (00°55'44" S, 47°23'49" W) e Moju (Pará, Brasil) (01°53'02"S, 48°46'08"W), respectivamente, nos meses de dezembro de 2018 e janeiro de 2019. Os frutos foram acondicionados em recipientes térmicos e transportados até o laboratório de Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Pará (01°27'21" S, 48°30'16" W). Os frutos foram selecionados e submetidos à higienização por imersão, em solução de hipoclorito de sódio (100 mg/L de cloro ativo) por 5 min, com posterior enxague, para retirada do excesso de cloro. Em seguida, os frutos foram acondicionados em sacos de polietileno de 1 kg, envolvidos com papel alumínio para proteção contra a luz, e armazenados a -18 °C.

3.2.2 Preparo do suco misto

O suco misto (SM) foi obtido na proporção de 37,5:12,5:50 (m:m:m) de polpa de jambolão, polpa de camu-camu e água (Figura 3.1), baseado em um estudo prévio (Campos et al., 2020). Após misturar as polpas com água, foi adicionado açúcar no suco misto até atingir 14 °Brix. O suco misto foi passado em moinho coloidal (56-RC-6332, São Paulo, Brasil) por dois minutos e filtradas em malha com abertura média de 0,7 mm.



Figura 3.1. Suco misto de jambolão e camu-camu. Foto: Da autora.

3.2.3 Pasteurização em escala de bancada

A condição ótima de pasteurização para o suco foi determinada por um delineamento composto central rotacional (DCCR) ²², com 5 repetições no ponto central, totalizando 13 tratamentos térmicos, conforme mostrado na Tabela 3.1. Os níveis usados para temperatura e tempo (variáveis independentes) foram escolhidos com base em dados anteriores para pasteurização de sucos de frutas (Albuquerque et al., 2019; Wurlitzer et al., 2019). Os teores de ácido ascórbico, antocianinas, compostos fenólicos totais, atividade enzimática e contagens de bactérias aeróbias mesófilas e fungos foram as respostas monitoradas (variáveis dependentes). Os tratamentos térmicos foram realizados com 10 mL de suco misto em tubos de aço inoxidável (diâmetro interno de 10 mm e comprimento de 150 mm). Os tubos de ensaio foram colocados individualmente em banho-maria e mantidos nas temperaturas e tempos experimentais selecionados. Imediatamente após o tratamento térmico, os tubos foram resfriados em banho de gelo até o produto atingir 20 °C. As amostras pasteurizadas de suco misto foram armazenadas em frascos de vidro âmbar, previamente esterilizados (121 °C por 30 min), e mantidas a 10 °C até as análises, por um tempo máximo de 4 horas.

3.2.4 Determinação da atividade enzimática

As atividades enzimáticas da peroxidase (POD), da polifenoloxidase (PPO) e da pectina metilesterase (PME) foram determinadas em todos os suco misto preparados pelos experimentos de DCCR. A atividade POD no suco misto foi determinada monitorando a variação da absorbância a 470 nm, utilizando guaiacol como substrato, conforme metodologia descrita por Khan e Robinson (1994). Por ser termoresistente, a POD é comumente utilizada como indicador da eficiência da inativação enzimática, em tratamentos térmicos aplicados a

sucos de frutas (Benlloch-Tinoco et al., 2013). A atividade da PPO foi determinada monitorando o aumento da absorbância a 420 nm, de acordo com a metodologia descrita por Oktay et al. (1995). As atividades de POD e PPO foram expressas em unidades de absorbância por mL de suco misto por minuto (U/mL/min). A atividade da PME foi determinada pela taxa de desmetilação da pectina cítrica por titulação com NaOH 0,025, à temperatura ambiente, de acordo com o método descrito por Jen e Robinson (1984). Os resultados foram expressos em unidades de atividade enzimática por mL de suco misto por minuto (U/mL/min).

3.2.5. Determinação dos compostos bioativos

Os compostos fenólicos totais (CFT) do suco misto foram determinados por espectrofotometria a 765 nm, de acordo com o método proposto por Singleton e Rossi (1965). Uma curva analítica de ácido gálico (20 a 100 mg/L) foi utilizada para determinar os teores de CFT, expressos em mg de equivalente ácido gálico (EAG) por 100 mL de suco misto. Os teores de antocianinas monoméricas totais (AMT) foram determinados pelo método do pH diferencial proposto por Giusti e Wrolstad (2001), por espectrofotometria a 520 nm, e os resultados foram expressos em mg de cianidina 3-glicosídeo por 100 mL de suco misto.

Os teores de ácido ascórbico (AA) foram determinados por HPLC-DAD (Agilent Technologies, 1260 infinity series, Alemanha), de acordo com Almeida et al. (2012). Foi utilizada uma coluna C18 (5 µm, 250 mm × 4,6 mm, Phenomenex), na qual 25 µL da amostra foram eluídos em solução de ácido sulfúrico (0,001 M, pH 2,5), a uma taxa de fluxo de 0,7 mL/min em 25 °C. O AA foi detectado a 245 nm, identificado por coeluição com padrão autêntico, quantificado por curvas analíticas (1,56 a 100 µg/mL), e os resultados foram expressos em mg AA/100 mL de suco misto. Todas as análises foram realizadas em triplicadas.

3.2.6 Análises microbiológicas

Considerando que o suco misto estudado foi caracterizado como um produto ácido (pH < 4), os padrões microbiológicos para bactérias aeróbias mesófilas, fungos e coliformes termotolerantes foram avaliados em todos os suco misto preparados para os experimentos de DCCR e para o estudo de estabilidade. Todas as análises foram realizadas de acordo com as metodologias descritas em Downes e Ito (2001).

3.2.7 Estabilidade do suco misto

A estabilidade do ácido ascórbico, das antocianinas monoméricas totais e a contagem microbiana no suco misto pasteurizado nas condições ótimas de pasteurização foram avaliadas durante 35 dias de armazenamento a 25 °C (± 1 °C), em uma câmara DBO (Quimis, Q315M16, Brasil). As amostras de suco misto (15 mL) foram colocadas em tubos de polietileno de alta densidade (PEAD) com capacidade para 20 mL, protegidas da exposição à luz com folha de alumínio e monitoradas em intervalos de 7 dias. Para efeitos de comparação, sucos mistos não pasteurizados foram armazenados nas mesmas condições e sujeitos às mesmas análises. A cinética de degradação dos compostos bioativos do suco misto durante o armazenamento foi avaliada usando um modelo cinético de pseudo-primeira ordem (Equação 1) e o tempo de meia-vida ($t_{1/2}$) foi calculado pela Equação 2.

$$C = C_0 \exp^{-kt} \quad (1)$$

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

onde, C é a concentração em determinado tempo de armazenamento, C_0 é a concentração inicial, k é a constante de velocidade da degradação, t é o tempo de armazenamento e $t_{1/2}$ é o tempo de meia-vida.

3.2.8 Análise estatística

A análise de variância (ANOVA), o teste de falta de ajuste e a determinação dos coeficientes de regressão do modelo polinomial de segunda ordem (Equação 3), bem como os gráficos de superfícies de resposta e da função desejabilidade foram usados para determinar as condições ideais de pasteurização.

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 T + \beta_{11} T^2 + \beta_2 t + \beta_{22} t^2 + \beta_{12} Tt \quad (3)$$

onde, Y_i é a resposta (variável dependente); T é a temperatura (°C); t é tempo (s); β_0 representa o termo constante; β_1 e β_2 são os coeficientes lineares; β_{11} e β_{22} são os coeficientes quadráticos; e β_{12} é o coeficiente de interação.

Os parâmetros avaliados durante o armazenamento do suco misto foram submetidos à ANOVA e ao teste complementar de Tukey para comparação de médias ($p \leq 0,05$). A análise de regressão não linear foi usada para ajustar o modelo cinético de pseudo-primeira ordem aos dados experimentais, e o coeficiente de correlação (R^2) e o desvio relativo médio (P) foram

usados para avaliar a qualidade do ajuste. Todas as análises estatísticas foram realizadas com o software *Statistica 7.0*.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Pasteurização do suco misto

Baixas contagens de bactérias aeróbias mesófilas ($1,5 \times 10^1$ - $2,5 \times 10^2$ CFU/mL) e fungos ($\leq 8,4 \times 10^1$ CFU/mL) foram observadas para o suco misto pasteurizado durante os experimentos de DCCR (Tabela 3.1), os quais estão de acordo com a Normativa Brasileira, Instrução nº 60/2020 (Brasil, 2019) que estabelece o limite máximo de 10^2 UFC/mL para fungos em sucos submetidos a processos tecnológicos de redução microbiana. A maior contagem de fungos foi observada para o experimento 12, no qual foi utilizado o menor tempo de tratamento térmico (5 s). Embora não haja legislação brasileira que estabeleça limites para bactérias aeróbias mesofílicas em sucos, a contagem encontrada para esses microrganismos é semelhante à relatada em estudos com sucos pasteurizados (10^1 - 10^2 UFC/mL) (Mena et al., 2013; Spira et al., 2018). A ausência de coliformes em todos os experimentos (dados não mostrados) também atendeu à legislação brasileira (RDC nº 12) (Brasil, 2001), que estabelece o limite máximo de 10 números mais prováveis (NMP)/mL. Além disso, não foram detectadas atividades enzimáticas para POD, PPO e PME, em nenhuma das condições experimentais de DCCR, uma vez que nenhuma variação nas absorvâncias, ou desmetilação da pectina, foi observada em função do tempo de análise.

Em relação aos compostos bioativos, os níveis de ácido ascórbico, compostos fenólicos totais e antocianinas monoméricas totais diminuíram com a aplicação do tratamento térmico (Tabela 3.1), o que era esperado devido à instabilidade desses compostos à exposição ao calor (Albuquerque et al., 2019). Portanto, os maiores níveis de retenção de ácido ascórbico, compostos fenólicos totais e antocianinas monoméricas totais nos sucos mistos foram observados para os tratamentos térmicos realizados nas menores temperaturas ou tempos de exposição.

Além da exposição ao calor, os teores de ácido ascórbico diminuem durante a pasteurização por meio da reação oxidativa na maioria dos derivados de frutas (Cheng et al., 2020). Em nosso estudo, o maior nível de retenção (89,5%) foi observado no experimento 10 na temperatura mais baixa (70 °C) (Tabela 3.1). Valores de retenção semelhantes de ácido ascórbico (88,3%) foram encontrados para pasteurização (90 °C por 30 s) de suco de tangerina (Cheng et al., 2020) e suco misto pasteurizado, a 85 °C por 30 s, de acerola, açaí, camu-camu, caju, cajá, e abacaxi (92,3%) (Wurlitzer et al., 2019).

Em relação aos compostos fenólicos, os maiores níveis de retenção de antocianinas monoméricas totais (76,8%) e compostos fenólicos totais (89,1%) foram observados no experimento 12 (Tabela 3.1) a 80 °C durante o menor tempo de exposição ao calor (5 s). Em outro estudo sobre o efeito da pasteurização em compostos bioativos de suco tropical de jambolão (Albuquerque et al., 2019), a maior retenção de antocianinas monoméricas totais (97,2%) e compostos fenólicos totais (72,5%) foi relatada em temperaturas mais altas (92 °C) e tempo (60 s) do que as condições encontradas em nosso estudo. A diminuição do conteúdo de antocianinas monoméricas totais pode ser explicada pela formação de compostos polimerizados, como procianidinas de baixo peso molecular, ou pela formação de produtos da degradação de antocianinas, como ácidos fenólicos (Chen et al., 2020). De acordo com Ioannou et al. (2012), a diminuição de compostos fenólicos totais sob tratamentos térmicos não é função apenas da temperatura e do tempo de aquecimento, mas também de outros parâmetros, como variação do pH, a presença de oxigênio e outros fitoquímicos no meio.

A Tabela 3.2 apresenta os resultados da ANOVA aplicada aos dados experimentais de conteúdo de ácido ascórbico, antocianinas monoméricas totais e compostos fenólicos totais, para um nível de confiança de 95%. Para o ácido ascórbico no suco misto, as variáveis temperatura (T) e tempo (t) apresentaram efeito negativo linear e quadrático significativo ($p \leq 0,05$), indicando que o aumento de T e t na pasteurização induziu uma diminuição em seu conteúdo, conforme observado na Figura 3.2A.

Tabela 3.1. Teores de ácido ascórbico, antocianinas monoméricas totais, compostos fenólicos totais e contagens de bactérias aeróbias mesófilas e fungos para o tratamento térmico da mistura de suco de jambolão e camu-camu obtida pelo delineamento composto central

Corrida	Variáveis Independentes ^a			Variáveis Dependentes (respostas)				
	Temperatura (°C)	Tempo (s)	Ácido ascórbico (mg/100 mL)	Antocianinas monoméricas totais (mg/100 mL)	Compostos fenólicos totais (mg/100 mL)	Bactérias aeróbias mesófilas (UFC/mL)	Fungos (UFC/mL)	
Controle	–	–	2200,07 ± 0,20	41,84 ± 0,63	406,37 ± 0,03	7,9 x 10 ²	2,1 x 10 ²	
1	73 (-1)	30 (-1)	1793,86 ± 0,07	28,37 ± 0,04	341,59 ± 0,02	2,3 x 10 ²	< 10	
2	87 (+1)	30 (-1)	1624,73 ± 0,06	26,90 ± 0,14	282,22 ± 0,01	7,0 x 10 ¹	< 10	
3	73 (-1)	155 (+1)	1713,73 ± 0,03	26,92 ± 0,11	300,63 ± 0,01	2,8 x 10 ¹	< 10	
4	87 (+1)	155 (+1)	1448,75 ± 0,57	25,05 ± 0,36	287,94 ± 0,05	2,8 x 10 ¹	< 10	
5	80 (0)	92,5 (0)	1819,91 ± 0,07	24,79 ± 0,05	331,01 ± 0,02	1,5 x 10 ¹	< 10	
6	80 (0)	92,5 (0)	1761,63 ± 0,01	24,72 ± 0,20	304,02 ± 0,01	2,8 x 10 ¹	< 10	
7	80 (0)	92,5 (0)	1735,55 ± 0,85	24,32 ± 0,20	327,30 ± 0,01	4,3 x 10 ¹	< 10	
8	80 (0)	92,5 (0)	1837,70 ± 0,05	20,21 ± 0,09	314,43 ± 0,17	3,0 x 10 ¹	< 10	
9	80 (0)	92,5 (0)	1739,15 ± 0,01	19,46 ± 0,14	310,71 ± 0,10	3,2 x 10 ¹	< 10	
10	70 (-1,41)	92,5 (0)	1969,63 ± 0,15	26,18 ± 1,16	326,24 ± 0,01	2,5 x 10 ¹	< 10	
11	90 (+1,41)	92,5 (0)	1384,66 ± 0,93	20,73 ± 0,08	260,63 ± 0,02	1,5 x 10 ¹	< 10	
12	80 (0)	5 (-1,41)	1812,27 ± 0,03	32,13 ± 0,02	362,01 ± 0,01	2,5 x 10 ²	8,4 x 10 ¹	
13	80 (0)	180 (+1,41)	1586,34 ± 0,18	20,96 ± 0,19	302,65 ± 0,02	2,3 x 10 ¹	< 10	

^aValores entre parênteses são as formas codificadas de variáveis independentes; UFC: unidades formadoras de colônia.

Tabela 3.2. Efeito estimado e coeficiente 'p' dos efeitos sobre os teores de ácido ascórbico, antocianinas monoméricas totais e teores de compostos fenólicos totais durante a pasteurização da mistura de suco de jambolão e camu-camu.

Variáveis	Ácido ascórbico (mg/100 mL)		Antocianinas monoméricas totais (mg/100 mL)		Compostos fenólicos totais (mg/100 mL)	
	Efeito	p	Efeito	p	Efeito	p
T	-314,239	0,001	-2,755	0,211	-41,029	0,007
T ²	-120,331	0,027	1,593	0,463	-28,462	0,028
t	-144,545	0,012	-4,781	0,063	-29,886	0,021
t ²	-103,570	0,046	4,846	0,075	9,837	0,324
Tt	-47,923	0,367	-0,203	0,942	23,333	0,109

*Valores em negrito representam os efeitos estatisticamente significativos a 95% de confiança ($p \leq 0,05$); T: temperatura; t: tempo.

Em relação às antocianinas, nenhuma das variáveis apresentou efeitos significativos, ao nível de confiança de 95%. Porém, para um nível de confiança de 90%, o t revelou um efeito significativo linear e quadrático ($p \leq 0,10$), o que indicou que um aumento no tempo de tratamento térmico afetou negativamente a retenção de antocianinas na mistura de suco. Portanto, o tempo foi a variável com maior interferência na degradação das antocianinas nos sucos mistos (Figura 3.2B). Em relação aos teores de compostos fenólicos totais, por sua vez, foi observado efeito linear negativo ($p \leq 0,05$) para T e t, além de efeito quadrático para T. Esses resultados indicaram que o aumento de T e t favoreceu a degradação de compostos fenólicos totais no suco misto, que foi semelhante ao comportamento observado para o ácido ascórbico (Figura 3.2C).

ANOVA (Tabela 3.3) indicou que a regressão foi significativa ($F_c/F_t = 3,1$) e que a falta de ajuste não foi significativa ($F_c/F_t = 0,5$), para o modelo que estimou os conteúdos de ácido ascórbico nos experimentos de DCCR. O valor de R^2 para a regressão, por sua vez, indica que o modelo explica 90% da variação dos dados experimentais possibilitando-o para fins de predição de conteúdos de ácido ascórbico. Para a regressão do modelo para antocianinas, tanto a falta de ajuste ($F_c/F_t = 0,2$) quanto a regressão ($F_c/F_t < 1$) não foram significativas, e para este caso, o valor de R^2 indicou que o modelo ajustado explicou apenas 64% das variações dos dados experimentais e, portanto, o modelo não é recomendado para fins preditivos, apenas para avaliar a tendência de comportamento.

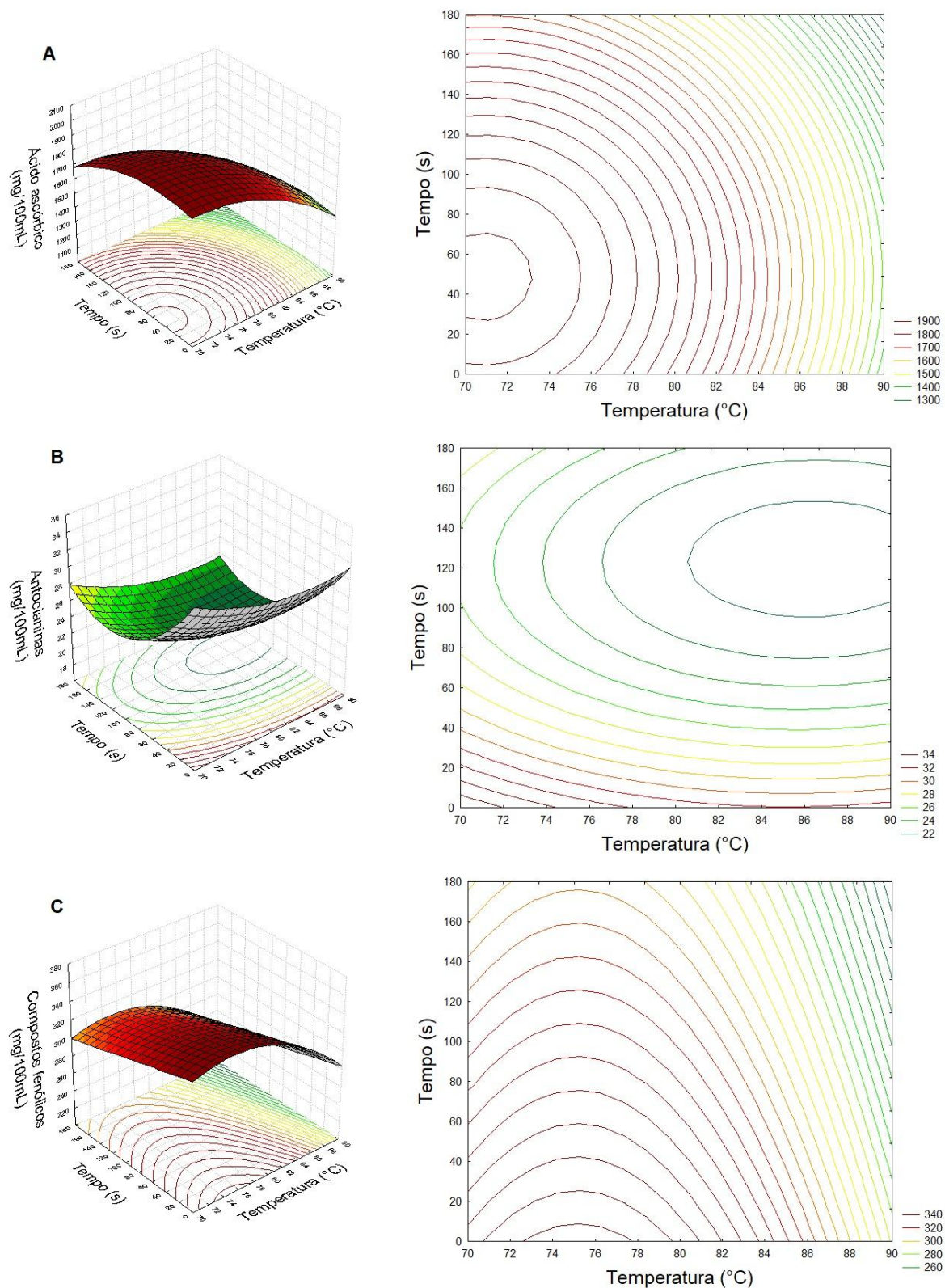


Figura 3.2. Superfície de resposta e curvas de nível gerados pelos modelos de regressão propostos para ácido ascórbico (A), antocianinas monoméricas totais (B) e compostos fenólicos totais (C).

Tabela 3.3. ANOVA para os teores de ácido ascórbico, antocianinas monoméricas totais e compostos fenólicos totais durante a pasteurização do suco misto de jambolão e camu-camu.

Fonte de Variação	SQ	GL	MQ	F _c	F _t	R ²
AA (mg/100 mL) = - 4695,68 + 179,08T - 1,23T² + 5,68t - 0,01t² - 0,05Tt						
Regressão	282253,70	5	56450,74	12,40	3,97	0,90
Resíduo	31869,10	7	4552,73			
Falta de ajuste	22973,00	3	7657,67	3,44	6,59	
Erro puro	8896,10	4	2224,03			
Total	314124,80	12				
AMT (mg/100 mL) = 149,60 - 2,78T + 0,02T² - 0,13t + 6,20x10⁻⁴t² - 2,31x10⁻⁴Tt						
Regressão	101,97	5	20,39	2,53	3,97	0,64
Resíduo	56,30	7	8,04			
Falta de ajuste	28,53	3	9,51	1,37	6,59	
Erro puro	27,77	4	6,94			
Total	158,26	12				
CFT (mg/100 mL) = -1076,56 + 41,07T - 0,29T² - 2,61t + 1,30x10⁻³t² + 2,67x10⁻²Tt						
Regressão	7448,81	5	1497,76	9,74	3,97	0,87
Resíduo	1076,27	7	153,75			
Falta de ajuste	560,67	3	186,89	1,45	6,59	
Erro puro	515,61	4	128,90			
Total	8565,08	12				

SQ: soma dos quadrados; GL: graus de liberdade; QM: quadrado da média; F_c: valor F calculado; F_t: valor F tabulado ($p \leq 0,05$); R²: coeficiente de determinação; AA: ácido ascórbico; AMT: antocianinas monoméricas totais; CFT: compostos fenólicos totais. Os modelos matemáticos foram considerados significativos ($p \leq 0,05$) e preditivos quando os valores da razão F_{calculado} e F_{tabulado} (F_c/F_t) para a regressão estavam acima de três e quando a razão F_c/F_t da falta de ajuste apresentava o menor valor possível (Barros Neto et al., 2001).

Para os teores de compostos fenólicos totais, ANOVA mostrou que a regressão foi significativa ($F_c > F_t$) e a falta de ajuste não foi significativa ($F_c/F_t = 0,2$) (Tabela 3.3). Nesse caso, o valor de R² indicou que o modelo explicou 87% da variação dos dados experimentais e, portanto, pode ser utilizado com o propósito de prever os teores de compostos fenólicos totais durante a pasteurização do suco misto.

A partir das superfícies de resposta (Figura 3.2) e usando a função desejabilidade (Figura 3.3), foi possível definir uma condição operacional otimizada para o processo de pasteurização do suco misto de jambolão e camu-camu, no domínio experimental. Embora a análise de variância não tenha sido realizada para as contagens de bactérias aeróbias mesófilas e fungos, devido às baixas contagens durante os experimentos de DCCR, eles foram inseridos no teste da função de desejabilidade, para garantir os níveis mais baixos de ambos os grupos de microrganismos. Os perfis apresentados na coluna de desejabilidade mostram a faixa de resposta de desejabilidade aceitável ($0 \leq d_i \leq 1$). Os dois perfis apresentados na última linha mostram a desejabilidade individual, para cada fator, e a desejabilidade global. As linhas verticais, em negrito, correspondem aos valores ótimos para os fatores avaliados (temperatura

e tempo). Assim, para uma desejabilidade global de 0,944, foi definida como uma condição operacional ótima para a pasteurização do suco misto a temperatura de 75 °C por um tempo de 90 s. Nestas condições os teores estimados de compostos bioativos foram 1.862,4 mg de ácido ascórbico/100 mL, 24,2 mg de antocianinas monoméricas totais/100 mL, 325,8 mg de compostos fenólicos totais/100 mL, e as contagens microbianas foram $4,8 \times 10^1$ UFC de bactérias mesófilas aeróbias/mL e <10 UFC de fungos/mL.

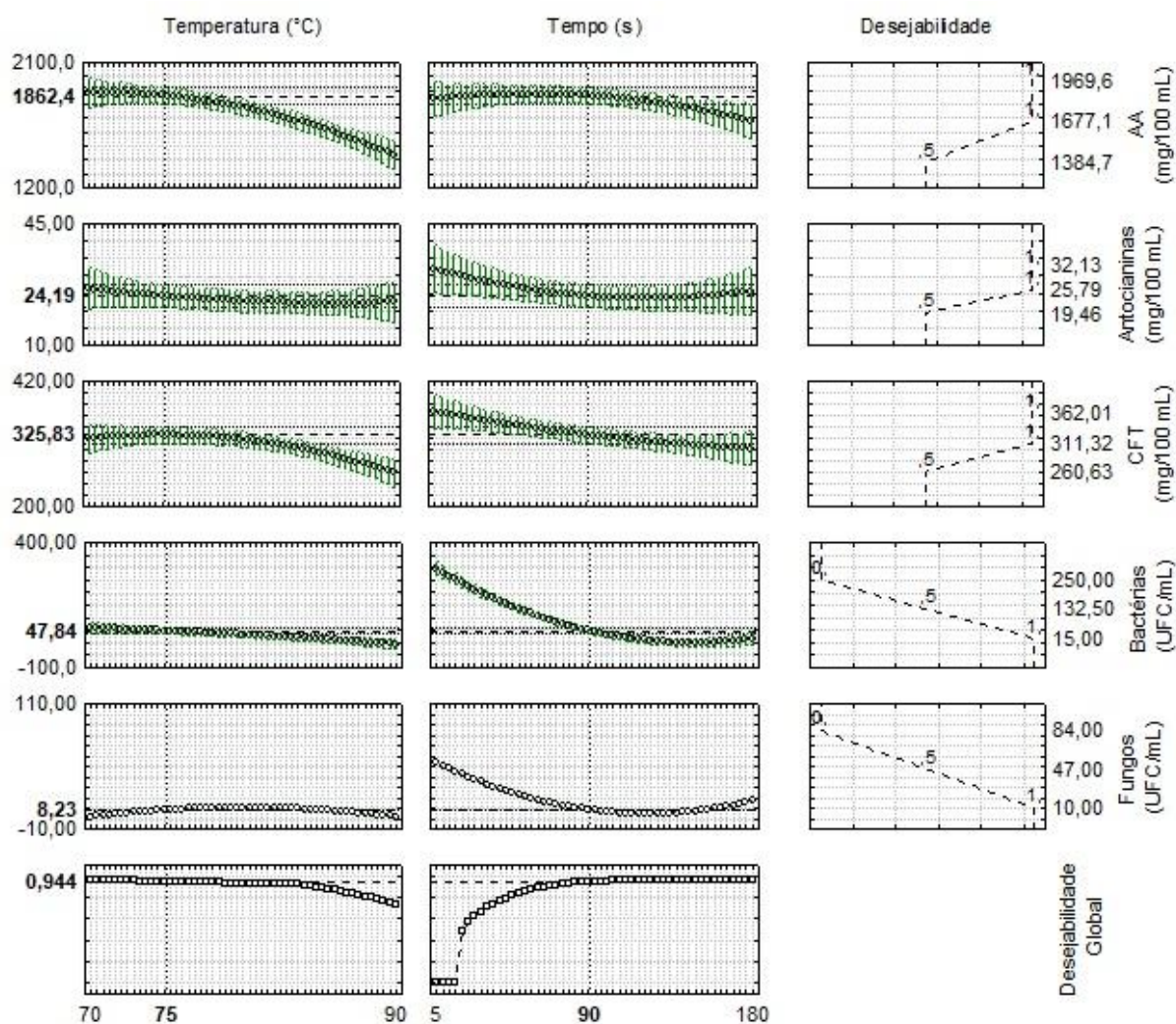


Figura 3.3. Perfil de desejabilidade de tratamento térmico do suco misto de jambolão e camu-camu. Dados obtidos alterando cada variável independente enquanto a outra foi fixada no ponto central do DCCR. AA: ácido ascórbico; CFT: compostos fenólicos totais.

3.3.2 Estabilidade do suco misto pasteurizado

Para avaliação da estabilidade do suco misto, o produto foi pasteurizado nas condições definidas como ótimas pela função desejabilidade (75 °C e 90 s) e armazenado a 25 °C (temperatura ambiente) por 35 dias. No momento inicial, o suco misto apresentava 1.880

mg/100 mL de ácido ascórbico e 30 mg/100 mL de antocianinas monoméricas totais (Figura 3.4), e uma contagem microbiana de 10 UFC/mL para bactérias mesófilos aeróbios e fungos (Figura 3.5), conforme previsto pela metodologia de otimização.

A pasteurização aplicada ao suco misto resultou na diminuição do ácido ascórbico em até 26%, e durante o armazenamento à temperatura ambiente, o AA diminuiu continuamente, nos sucos pasteurizado e não pasteurizado ($p \leq 0,05$) (Figura 3.4A). No entanto, foi observada maior retenção de ácido ascórbico no suco misto pasteurizado (84%) após 35 dias de armazenamento, quando comparado com o suco misto não pasteurizado (54%). Wurlitzer et al. (2019) investigaram o efeito do armazenamento de uma mistura de suco pasteurizado preparada com seis frutas por 180 dias e observaram uma retenção de 80% de ácido ascórbico; porém os autores utilizaram uma temperatura de armazenamento de 5 °C.

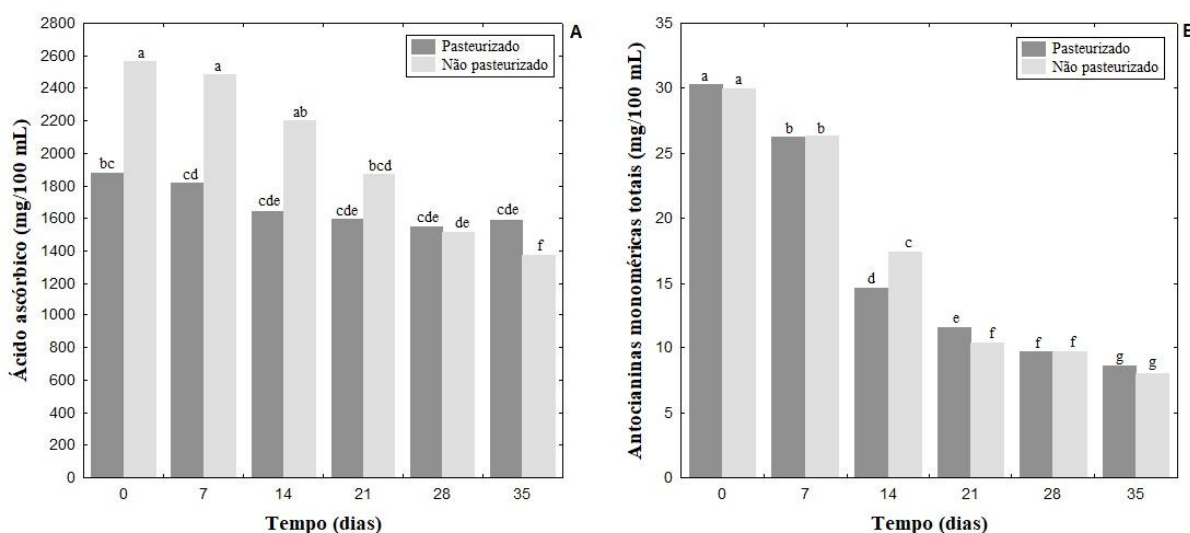


Figura 3.4. Estabilidade do ácido ascórbico (A) e das antocianinas monoméricas totais (B) no suco misto de jabolão e camu-camu pasteurizado e não pasteurizado durante o armazenamento à temperatura ambiente (25 °C). Mesma letra nas barras não difere estatisticamente ($p > 0,05$).

Alta retenção de antocianinas monoméricas totais no suco misto foi observada após a pasteurização (100%); entretanto, o conteúdo de antocianinas monoméricas totais apresentou uma diminuição significativa ($p \leq 0,05$) durante o armazenamento para ambos os tratamentos no suco misto (Figura 3.3). Após 35 dias de armazenamento, os níveis de retenção de antocianinas foram de aproximadamente 28 e 27% para os sucos mistos pasteurizado e não pasteurizado, respectivamente. De acordo com Chen et al. (2020), as reações de degradação e polimerização entre antocianinas e outros constituintes resultam na perda de pigmento durante o armazenamento. Como as antocianinas são compostos sensíveis ao calor, a taxa de degradação das antocianinas em nosso estudo provavelmente foi influenciada pela

temperatura de armazenamento, uma vez que Sui et al. (2016) demonstraram que soluções aquosas de antocianinas armazenadas em condições de refrigeração (4 °C) apresentaram maior estabilidade do pigmento do que aquelas armazenadas a 25, 45 e 65 °C por 21 dias.

Uma vez que nenhuma atividade enzimática de POD e PPO foi observada no suco misto, a diminuição nos teores de ácido ascórbico e antocianinas no suco misto, durante o armazenamento a 25 °C, pode ser atribuída à interação entre esses dois compostos. Foi relatado que o ácido ascórbico promove a reação de condensação direta no carbono C4 das moléculas de antocianinas (Farr & Giust, 2018) ou induz a clivagem oxidativa do anel de pirílio da antocianina, mediada por espécies reativas de oxigênio geradas durante a via de degradação de ácido ascórbico, que resulta na perda mútua de ambos os compostos (Nikkhah et al., 2010).

A Tabela 3.4 mostra que o alto coeficiente de determinação (R^2), os baixos valores de desvio médio relativo (P) e a distribuição aleatória dos resíduos permitiram que o modelo cinético de pseudo-primeira ordem previsse a diminuição do ácido ascórbico e das antocianinas no suco misto. De acordo com os resultados, a pasteurização reduziu a perda de ácido ascórbico em 3,5 vezes no suco misto, conforme demonstrado pelos menores valores da constante de taxa de degradação (k) (Tabela 3.4). Além disso, a pasteurização também reduziu a taxa de perda de antocianinas em 1,1 vezes no suco misto. Com base no valor de k, os tempos de meia-vida estimados para a degradação do ácido ascórbico e das antocianinas no suco misto pasteurizado foram de 126 e 18 dias, respectivamente. Mena et al. (2013) relataram tempos de meia-vida de 11,5 e 10,7 dias para ácido ascórbico e antocianinas, respectivamente, para o suco misto pasteurizado de romã e limão armazenado a 25 °C por 42 dias. Como outro exemplo, o tempo de meia-vida das antocianinas do suco de amora preta pasteurizado foi de 8,9 dias, durante o armazenamento a 25 °C por 8 dias (Jiang et al. 2014). A composição particular de moléculas bioativas em cada formulação de suco e a interação entre elas, é o principal responsável pelos distintos resultados disponíveis na literatura, que evidenciam a necessidade de estudos sistemáticos para determinar a estabilidade para cada situação.

Em relação às contagens microbianas, coliformes termotolerantes não foram observados nos sucos mistos durante todo o período de armazenamento (dados não mostrados). Durante o armazenamento a 25 °C, um aumento nas contagens de bactérias aeróbias mesófilas e fungos foi observado em ambos os tratamentos de suco misto (Figura 3.5). Após 35 dias de armazenamento, observou-se um ligeiro aumento de até um ciclo log para esses microrganismos, o que garante a eficácia do processo de pasteurização do suco

misto. Mena et al. (2013) e Spira et al. (2018) encontraram níveis de 10^1 - 10^2 UFC/mL para bactérias aeróbias mesófilas em sucos pasteurizados.

Tabela 3.4. Parâmetros do ajuste do modelo cinético de pseudo-primeira ordem aos dados de degradação do ácido ascórbico e das antocianinas monoméricas totais nos sucos mistos de jambolão e camu-camu durante o armazenamento em temperatura ambiente (25 °C).

Produtos	K	R ²	P	Distribuição de resíduos
Ácido ascórbico (mg/100 mL)				
Suco misto pasteurizado	0,0055	0,832	0,38	A
Suco misto sem pasteurização	0,0194	0,965	0,53	A
Antocianinas monoméricas totais (mg/100 mL)				
Suco misto pasteurizado	0,0390	0,942	3,88	A
Suco misto sem pasteurização	0,0412	0,948	3,31	A

k: constante de velocidade (dia^{-1}); R²: coeficiente de determinação; P: desvio médio relativo; A: Aleatório.

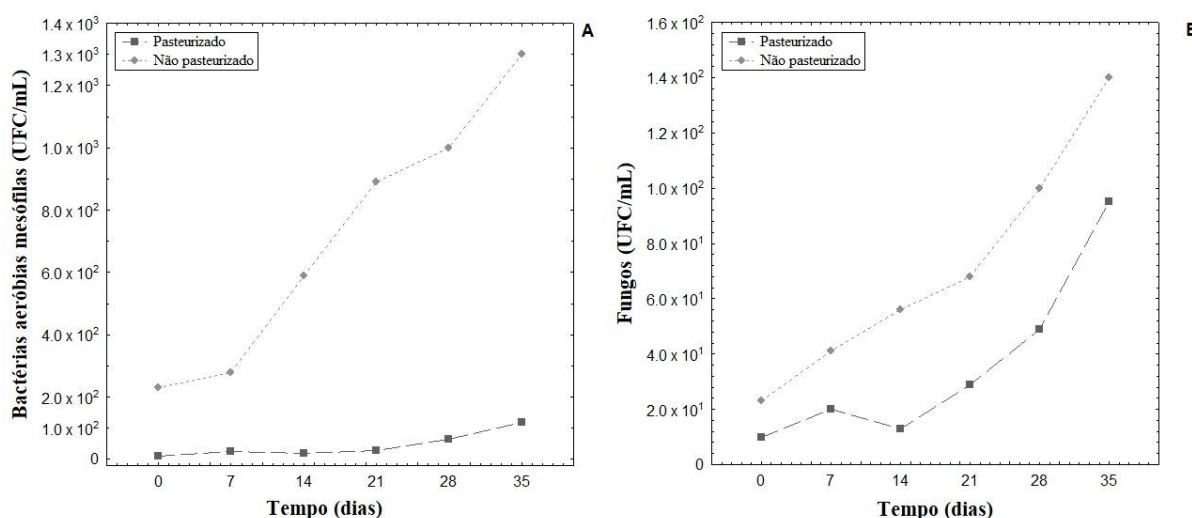


Figura 3.5. Contagem de bactérias aeróbias mesófilas (A) e fungos (B) no suco misto de jambolão e camu-camu pasteurizado e não pasteurizado durante o armazenamento à temperatura ambiente (25 °C).

A temperatura de armazenamento demonstrou ser um fator influente na degradação do ácido ascórbico e da antocianina no suco estudado. Assim, o armazenamento do suco misto em estudo em baixa temperatura (≈ 4 °C), pode promover melhor estabilidade dos compostos bioativos, principalmente das antocianinas, que são termolábeis.

3.4 CONCLUSÃO

A metodologia de superfície de resposta e a função desejabilidade permitiram definir a condição ótima para o processo de pasteurização do suco misto de jambolão e camu-camu a 75 °C durante 90 s. O suco misto pasteurizado nas condições ótimas apresentou contagens

microbianas dentro de limites seguros e nenhuma atividade enzimática foi observada durante 35 dias de armazenamento a 25 °C. Além disso, em relação aos compostos bioativos, as antocianinas e o ácido ascórbico apresentaram tempos de meia-vida de 18 dias e 126 dias, respectivamente. Como perspectivas futuras, uma vez que nenhum conservante foi utilizado no presente estudo, novas investigações são importantes para avaliar a adição de conservantes e outras tecnologias de processamento para a conservação e armazenamento da mistura de suco de jambolão e camu-camu, para preservar os seus altos teores de compostos bioativos.

REFERÊNCIAS

- Albuquerque, G. A.; Carvalho, A. V.; Faria, L. J. G.; Chisté, R. C.; Martins, L. H. S.; Lopes, A. S. (2019). Effects of thermal pasteurization on jambolan tropical juice bioactive compounds. **British Food Journal**, 121(11), 2821-2834.
- Almeida, M.; Darin, J. A.; Hernandez, L.; Aissa, A.; Chisté, R.; Mercadante, A.; Antunes, L.; Bianchi, M. (2012). Antigenotoxic effects of piquia (*Caryocar villosum*) in multiple rat organs. **Plant Foods for Human Nutrition**, 67(2), 171-177.
- Arkter, M. S.; Oh, S.; Eun, J. B.; Ahmed, M. (2011). Nutritional compositions and health promoting phytochemicals of camu-camu (*Myrciaria dubia*) fruit: A review. **Food Research International**, 44(1), 1728-1732.
- Barros Neto, B.; Scarminio, I. S.; Bruns, R. E. (2001). **Como fazer experimentos pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**. Campinas: Editora UNICAMP.
- Benlloch-Tinoco, M.; Igual, M.; Rodrigo, D.; Martínez-Navarrete, N. (2013). Comparison of microwaves and conventional thermal treatment on enzymes activity and antioxidant capacity of kiwifruit puree. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, 19(1), 166-172.
- Bharate, S. S.; Bharate, S. B. (2014). Non-enzymatic browning in citrus juice: chemical markers, their detection and ways to improve product quality. **Journal of Food Science and Technology**, 51(10), 2271-2288.
- Campos, A. P. R.; Chisté, R. C.; Pena, R. S. (2020). Camu-camu (*Myrciaria dubia*) and jambolan (*Syzygium cumini*) juice blend: sensory analysis and bioactive compounds stability. **Food Science and Technology**, 41(1), 82-89.
- Chen, J.; Du, J.; Li, M.; Li, C. (2020). Degradation kinetics and pathways of red raspberry anthocyanins in model and juice systems and their correlation with color and antioxidant changes during storage. **LWT – Food Science and Technology**, 128, 109448.
- Cheng, C.; Jia, M.; Gui, Y.; Ma, Y. (2020). Comparison of the effects of novel processing technologies and conventional thermal pasteurization on the nutritional quality and aroma of

- Mandarin (*Citrus unshiu*) juice. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, 64, 102424.
- Da Silveira, T. F. F.; Cristianini, M.; Kuhnle, G. G.; Ribeiro, A. B.; Filho, J. T.; Godoy, H. T. (2019). Anthocyanins, non-anthocyanin phenolics, tocopherols and antioxidant capacity of açai juice (*Euterpe oleracea*) as affected by high pressure processing and thermal pasteurization. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, 55(1), 88-96.
- Dhakal, S.; Balasubramaniam, V. M.; Ayvaz, H.; Rodriguez-Saona, L. E. (2018). Kinetic modeling of ascorbic acid degradation of pineapple juice subjected to combined pressure-thermal treatment. **Journal of Food Engineering**, 224(1), 62-70.
- Downes, F. P.; Ito, K. (2001). **Compendium of methods for the microbiological examination of Foods**. Washington: American Public Health Association.
- Engmann, F. N.; Ma, Y.; Tchabo, W.; Ma, H. (2015). Ultrasonication treatment effect on anthocyanins, color, microorganisms and enzyme inactivation of mulberry (*Moraceae nigra*) juice. **Journal of Food Processing and Preservation**, 39(6), 854-862.
- Farr, J. E.; Giust, M. M. (2018). Investigating the interaction of ascorbic acid with anthocyanins and pyranoanthocyanins. **Molecules**, 23(4), 744-756.
- Giusti, M. M.; Wrolstad, R. E. (2001). **Characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible spectroscopy**. Current Protocols in Food Analytical Chemistry, New York: John Wiley & Sons.
- Jen, J. J.; Robinson, M. L. P. (1984). Pectolytic enzymes in sweet bell peppers (*Capsicum annuum* L.). **Journal of Food Science**, 49, 1085-1087.
- Jiang, B.; Mantri, N.; Hu, Y.; Lu, J.; Jiang, W.; Lu, H. (2014). Evaluation of bioactive compounds of black mulberry juice after thermal, microwave, ultrasonic processing, and storage at different temperatures. **Food Science and Technology International**, 21(5), 392-399.
- Khan, A. A.; Robinson, D. S. (1994). Hydrogen donor specificity of mango isoperoxidases. **Food Chemistry**, 49(4), 407-410.
- Mena, P.; Martí, N.; Saura, D.; Valero, M.; García-Viguera, C. (2013). Combinatory effect of thermal treatment and blending on the quality of pomegranate juices. **Food Bioprocess Technology**, 6, 3186-3199.
- Nikkhah, E.; Khaiamy, M.; Heidary, R.; Azar, A. S. (2010). The effect of ascorbic acid and H₂O₂ treatment on the stability of anthocyanins pigments in berries. **Turkish Journal of Biology**, 34, 47-53.

- Oktaý, M.; Küfreviođlu, I.; Kocaçalıpkán, I.; Pakirođlu, H. (1995). Polyphenoloxidase from Amasya apple. **Journal Food Science**, 60, 494-496.
- Singleton, V. L.; Rossi, J. A. (1865). Colorimetry of total phenolic with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, 16(3), 144-158.
- Spira, P.; Bisconsin-Junior, A.; Rosenthal, A.; Monteiro, M. (2018). Effects of high hydrostatic pressure on the overall quality of Pêra-Rio orange juice during shelf life. **Food Science and Technology International**, 24(6), 507-518.
- Sui, X.; Bary, S.; Zhou, W. (2016). Changes in the color, chemical stability and antioxidant capacity of thermally treated anthocyanin aqueous solution over storage. **Food Chemistry**, 192, 516-524.
- Tavares, I. M. C.; Lago-Vanzela, E. S.; Rebello, L. P. G.; Ramos, A. M.; Gómez-Alonso, S.; García-Romero, E.; Da-Silva, R.; Hermosín-Gutiérrez, I. (2016). Comprehensive study of the phenolic composition of the edible parts of jambolan fruit (*Syzygium cumini* (L.) Skeels). **Food Research International**, 82(1), 1-13.
- Wurlitzer, N. J.; Dionísio, A. P.; Lima, J. R.; Garruti, D. S.; Araújo, I. M. S.; Rocha, R. F. J.; Maia, J. L. (2019). Tropical fruit juice: effect of thermal treatment and storage time on sensory and functional properties. **Journal of Food Science and Technology**, 56, 5184-5193.

PROPRIEDADES FUNCIONAIS DO SUCO MISTO DE JAMBOLÃO (*Syzygium cumini*) E CAMU-CAMU (*Myrciaria dubia*) MICROENCAPSULADO POR SPRAY DRYING

RESUMO

Os frutos de Jambolão e Camu-camu são ricos em antocianinas e ácido ascórbico, respectivamente, portanto, a elaboração de um suco misto promove a obtenção de uma bebida com alto teor de compostos bioativos. A secagem por atomização (*spray drying*), por sua vez, é um processo muito utilizado na obtenção de sucos de frutas em pó, com a finalidade de melhorar a estabilidade e aumentar a vida útil do produto. Assim, neste trabalho foi estabelecida a melhor condição de temperatura, concentração de maltodextrina:goma arábica (MD:GA) e vazão de alimentação, para a secagem em *spray dryer* do suco misto de jambolão e camu-camu (37,5%: 12,5%, m:m). Para tal, foram utilizadas como respostas as características do pó obtido (umidade, atividade de água (a_w), higroscopicidade, índice de solubilidade em água (ISA), rendimento e diferença total de cor (ΔE^*)) e a eficiência de microencapsulação dos compostos bioativos (ácido ascórbico (AA), antocianinas monoméricas totais (AMT) e compostos fenólicos totais (CFT)). A metodologia de superfície de resposta e a função desejabilidade foram utilizadas para definir 145 °C, 34% de MD:GA e 8 mL/min como as melhores condições para a secagem em *spray dryer*, do suco misto de jambolão e camu-camu em pó, com 3,47% de umidade, 0,18 de a_w , 35,97% de higroscopicidade, ISA de 85,67%, 33,46 % de rendimento, ΔE^* de 24,17 e eficiência de microencapsulação de 24,95% para AA, 50,34% para AMT e 33,93% para CFT. O produto obtido na condição ótima apresentou em sua composição 50,4 g de AA, 263,98 mg de AMT e 1307,94 mg de CFT, por 100 g do pó.

Palavras-chave: Frutas amazônicas, secagem, eficiência, compostos bioativos, vitamina C, compostos fenólicos.

4.1 INTRODUÇÃO

Os sucos mistos de frutas são bem apreciados por proporcionarem aroma e sabor exóticos, além de serem ricos em compostos bioativos e nutrientes, que promovem benefícios à saúde (Bhardwaj; Pandey, 2011; Oludemi; Akanbi, 2013). A Amazônia brasileira, por sua vez, possui uma grande variedade de frutas nativas; atrativas devido aos sabores e aromas exóticos (Tiburski et al., 2011); dentre as quais estão o jambolão (*Syzygium cumini*) e o camu-camu (*Myrciaria dubia*). O jambolão possui importantes compostos bioativos, como flavonoides e polifenóis, bem como macro e micronutrientes, benéficos à saúde (Panghal et al., 2019), além de ser uma fonte importante de antocianinas, como a delfinidina, a petunidina e a malvidina (Faria et al., 2011; Tavares et al., 2016). O camu-camu, por sua vez, é conhecido por ser o fruto que apresenta um dos maiores teores de ácido ascórbico (Arkter et al., 2011; Neves et al., 2015) e, também, por ser uma fonte promissora de compostos bioativos (Souza et al., 2018).

Sucos de frutas em pó apresentam uma boa aceitação pelos consumidores, por serem produtos naturais obtido particularmente a partir de sucos integrais de frutas. Na obtenção deste tipo de produto, a secagem por atomização (*spray drying*) é o processo mais utilizado, por ser econômico, flexível, acessível e por possibilitar a retenção de compostos bioativos sensíveis ao calor no produto, como vitaminas, antioxidantes e pigmentos naturais (Reineccius, 2004; Cano-Chauca et al., 2005; Paim et al., 2016). Por outro lado, o processo de *spray drying* apresenta problemas quando o produto a ser processado é constituído por açúcares de baixo peso molecular e ácidos orgânicos, que apresentam baixas temperaturas de transição vítrea (T_g) e favorecem a adesão do pó nas paredes do secador (Wang; Langrish, 2009; Ozkan et al, 2019).

Para minimizar os problemas de impregnação causados pela presença de açúcares de baixo peso molecular e de ácidos orgânicos no produto são utilizados agentes encapsulantes de alto peso molecular, que aumentam a T_g e reduzem a quantidade de água livre (Tontul; Topuz, 2017). A maltodextrina (MD) e a goma-arábica (GA) têm sido relatadas como os principais agentes encapsulantes utilizados no processo de *spray drying* de sucos de frutas, pois têm a capacidade de aumentar a T_g e, assim, possibilitar a obtenção de produtos em pó com propriedades físico-químicas desejáveis (Shishir; Chen, 2017; Tontul; Topuz, 2017).

Considerando a tendência para uma alimentação mais saudável, a busca por sabores exóticos e o potencial de comercialização de bebidas mistas de frutas, o presente trabalho teve por objetivo utilizar os frutos do jambolão e do camu-camu; fontes promissoras de compostos bioativos; para a obtenção de um suco misto em pó, microencapsulado por *spray drying*.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Material

Os frutos do jambolão e do camu-camu, no estágio de maturação ‘maduro’, definido pela textura e coloração característica dos frutos, foram colhidos nos municípios de Santarém Novo (Pará, Brasil) (00°55'44"S, 47°23'49"W) e Moju (Pará, Brasil) (01°53'02"S, 48°46'08"W), respectivamente, nos meses de dezembro de 2019 e janeiro de 2020. Os frutos foram acondicionados em caixas térmicas e transportado ao laboratório de Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Pará (01°27'21"S, 48°30'16"W). Ao chegarem no laboratório, os frutos foram selecionados e submetidos à lavagem e sanitização, com solução a 100 mg/L de cloro ativo, por 5 min, com posterior enxague, para eliminar o cloro em excesso. Em seguida, os frutos foram acondicionados em sacos de polietileno de 1 kg, envolvidos com papel alumínio, para a proteção da luz, congelados a -18°C e estocados nesta temperatura, até o momento do uso. Para o processo de secagem, os agentes encapsulantes utilizados foram a maltodextrina comercial com dextrose equivalente 20 (Docel Ltda, Brasil) e a goma arábica (Êxodo Científica, Brasil).

4.2.2 Preparo do suco misto

O suco misto foi preparado com 12,5% de polpa de camu-camu, 37,5% de polpa de jambolão e 50% de água (Figura 4.1). Para uma melhor homogeneização, a mistura foi passada em um moinho coloidal (Brasil 56-RC-6332, São Paulo, Brasil), durante dois minutos, e filtrada em malha com abertura média de 0.7 mm. Estas condições foram estabelecidas por Campos et al. (2020).



Figura 4.1. Suco misto de jambolão e camu-camu. Foto: Da autora.

4.2.3 Secagem em *spray dryer*

A secagem foi realizada em um secador de bancada do tipo micro *spray dryer* Büchi B-290 (Büchi Labortechnik AG, Flawil, Switzerland). Foi utilizado um delineamento composto central rotacional (DCCR) do tipo 2^3 , com 3 pontos centrais (Tabela 4.1). As variáveis independentes estudadas foram a temperatura do ar de entrada, a vazão de alimentação e a concentração do agente encapsulante, e como respostas (variáveis dependentes) foram avaliados a umidade, a atividade de água (a_w), o índice de solubilidade em água (ISA), a higroscopicidade e a diferença total de cor (ΔE^*) do produto, além do rendimento do processo e das eficiências de retenção do ácido ascórbico, das antocianinas monoméricas totais e dos compostos fenólicos totais, no produto encapsulado.

Testes preliminares foram realizados para definir a proporção de maltodextrina (MD) e goma arábica (GA) de 3:2 (MD:GA), a ser utilizada como material de parede (agente encapsulante). Esta proporção foi utilizada em todos os experimentos do planejamento experimental e a quantidade do agente encapsulante utilizada foi calculada com base na matéria seca do suco misto. Após a homogeneização, para a completa solubilidade do agente encapsulante (MD:GA), o suco foi injetado no *spray dryer*, nas diferentes condições de secagem. Os pós obtidos foram recolhidos no coletor de pó do equipamento e acondicionados em recipientes de vidro (para minimizar o contato com o oxigênio). Os recipientes foram hermeticamente fechados, envoltos com papel alumínio como proteção à luz, e armazenados à temperatura ambiente ($\approx 25^\circ\text{C}$). As análises foram realizadas logo após a obtenção dos pós.

Tabela 4.1. Matriz de experimentos para o delineamento composto central rotacional e os resultados das variáveis dependentes, para a secagem por spray drying do suco misto de jambolão e camu-camu.

Corrida	Variáveis independentes ^a					Variáveis dependentes (respostas)						
	Temperatura (°C)	Concentração MD:GA (%)	Vazão (mL/min)	U (%)	a _w	HG (%)	ISA (%)	Rend. (%)	ΔE*	AA	AMT	CFT
1	134 (-1)	24 (-1)	7,2 (-1)	3,14	0,178	34,64	70,66	28,91	21,87	26,55	25,53	25,16
2	176 (+1)	24 (-1)	7,2 (-1)	7,94	0,271	21,25	60,21	0,86	15,99	21,93	28,87	27,85
3	134 (-1)	36 (+1)	7,2 (-1)	3,38	0,172	32,22	72,28	37,85	27,96	26,07	47,35	28,6
4	176 (+1)	36 (+1)	7,2 (-1)	7,59	0,217	33,43	67,55	2,89	19,03	23,72	27,45	31,3
5	134 (-1)	24 (-1)	10,8 (+1)	5,28	0,253	35,12	70,62	8,36	19,23	24,81	57,86	24,12
6	176 (+1)	24 (-1)	10,8 (+1)	3,82	0,22	34,5	67,38	0,98	13,47	21,62	27,36	25,1
7	134 (-1)	36 (+1)	10,8 (+1)	5,15	0,192	32,94	76,19	28,59	23,46	26,45	35,6	16,8
8	176 (+1)	36 (+1)	10,8 (+1)	3,69	0,182	31,24	70,31	6,75	24,02	21,32	38,21	26,18
9	155 (0)	30 (0)	9 (0)	3,09	0,183	33,64	73,7	18,74	25,33	26,07	50,96	28,55
10	155 (0)	30 (0)	9 (0)	4,18	0,2	33,43	76,19	15,35	24,92	23,19	45,89	26,45
11	155 (0)	30 (0)	9 (0)	3,44	0,184	32,13	76,59	12,93	22,13	26,6	49,94	30,08
12	120 (-1,68)	30 (0)	9 (0)	5,76	0,227	32,31	81,97	23,17	26,62	25,38	57,98	12,51
13	190 (+1,68)	30 (0)	9 (0)	3,33	0,277	27,5	59,26	0,61	15,56	22,63	32,58	30,96
14	155 (0)	20 (-1,68)	9 (0)	5,13	0,218	32,73	69,2	2,72	12,54	21,54	25,83	36,98
15	155 (0)	40 (+1,68)	9 (0)	4,07	0,182	32,17	79,95	40,76	25,82	20,79	42,32	26,76
16	155 (0)	30 (0)	6 (-1,68)	5,83	0,21	31,17	68,94	9,01	20,18	24,31	24,23	33,16
17	155 (0)	30 (0)	12 (+1,68)	4,53	0,194	32,95	77,42	19,95	24,85	28,33	36,24	16,14

^aValores entre parênteses são as formas codificadas das variáveis independentes. U: umidade; a_w: atividade de água; HG: higroscopicidade; ISA: índice de solubilidade em água; Rend.: rendimento; ΔE*: diferença total de cor; AA: ácido ascórbico; AMT: antocianinas monoméricas totais; CFT: compostos fenólicos totais.

4.2.4 Caracterização dos pós

As amostras do suco misto de jambolão e camu-camu em pó, obtidas nas diferentes condições do planejamento experimental, foram submetidas às análises de umidade, em estufa a vácuo (Q819V2, Quimis, Brasil) a 60°C, método n° 926.12 (AOAC, 1997); atividade de água (a_w), por leitura direta em termohigrômetro digital (Aqualab 4TEV, Decagon, USA) a 25°C; índice de solubilidade em água (ISA), segundo pela metodologia descrita por Canocha et al. (2005); e higroscopicidade, pela metodologia proposta por Cai e Corke (2000), com os resultados expressos em % base seca (bs).

A diferença total de cor (ΔE^*) entre o suco misto em pó e o suco misto foi calculada com base nos parâmetros de cor instrumental, determinados em um colorímetro (CR400 Konica, Minolta Co., Osaka, Japão) calibrado de acordo com os parâmetros da Comissão Internacional de Iluminação (CIE), com um iluminante D65 e ângulo de observação de 10°. O valor de ΔE^* foi calculado pela Equação 1.

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (1)$$

onde, L^* define a luminosidade, a^* e b^* são os parâmetros de cromaticidade (+ a^* = vermelho; - a^* = verde; + b^* = amarelo e - b^* = azul).

O teor de antocianinas monoméricas totais (AMT) foi determinado pelo método do pH diferencial proposto por Giusti e Wrolstad (2001), sendo os resultados expressos em mg de cianidina 3-glucosídeo por 100 g da amostra (base úmida – bu). O teor de compostos fenólicos totais (CFT) foi determinado pelo método proposto por Singleton e Rossi (1965) e modificado por Georgé et al. (2005). Uma curva analítica de ácido gálico, nas concentrações de 20 a 100 mg/L, foi utilizada para a terminação do teor de CFT e os resultados foram expresso em mg de equivalente ácido gálico por 100 g da amostra (bu).

O teor de ácido ascórbico (AA) foi determinado por espectrofotometria, segundo método proposto por Gol et al. (2013). Ácido metafosfórico a 2% (3500 μ L), 350 μ L do extrato da amostra e 650 μ L de 2,6 diclorofenol indofenol foram misturados e incubados por 3 min, ao abrigo da luz, a mistura foi submetida à leitura da absorbância a 518 nm. Os resultados foram expressos em g de ácido ascórbico por 100g da amostra (bu).

4.2.5 Eficiência da microencapsulação do suco misto

A eficiência da microencapsulação foi determinada com base nas quantidade de compostos bioativos (ácido ascórbico, antocianinas monoméricas e compostos fenólicos) presentes na superfície das microcápsulas e o total de compostos bioativos contidos no produto em pó, conforme a Equação 2.

$$\text{Eficiência (\%)} = \frac{CT - CS}{CT} \times 100 \quad (2)$$

onde, CT é quantidade total de compostos bioativos (ácido ascórbico, antocianinas monoméricas totais e compostos fenólicos totais) no pó e CS é a quantidade de compostos bioativos na superfície das microcápsulas.

Os extratos utilizados na determinação das antocianinas monoméricas totais e dos compostos fenólicos totais foram obtidos de acordo com o método descrito por Dag et al. (2017). Para a determinação das antocianinas totais e dos compostos fenólicos totais, 100 mg da amostra foram diluídos e macerados com 4 mL de metanol:ácido acético:água (50:8:42) e, em seguida, foram homogeneizados em vortex por 1 min e colocados em banho ultrassom por 20 min, seguido de centrifugação a 1500 x g, por 10 min a 20°C. Para a determinação das antocianinas e dos compostos fenólicos na superfície das microcápsulas foram pesados 100 mg da amostra e adicionados 4 mL de etanol:metanol (1:10), seguido de homogeneização em vortex por 30 s e centrifugado a 15000 x g, por 10 min a 20°C. Os teores de antocianinas e compostos fenólicos foram determinados conforme descrito no item 4.2.4.

Os extratos utilizados para a determinação do ácido ascórbico foram obtidos de acordo com o método descrito por Hoyos-Leyva et al. (2018). Para a determinação do ácido ascórbico total, 100 mg da amostra foram adicionados de 25 mL de HCl 0,1 M. Em seguida, a mistura foi colocada em banho ultrassom por 60 min e centrifugada a 15000 x g por 10 min. Para a determinação do ácido ascórbico na superfície, 100 mg da amostra foram diluídos em 25 mL de HCl 0,1 M, seguido de uma leve homogeneização por 10 s e centrifugação a 15000 x g por 10 min. O teor de ácido ascórbico foi determinado conforme descrito no item 4.2.4.

4.2.6 Análise estatística

A análise de variância (ANOVA), o teste de falta de ajuste e a determinação dos coeficientes de regressão do modelo polinomial de segunda ordem (Equação 3), bem como os

gráficos de superfícies de resposta, curvas de nível e a função desejabilidade foram usados para determinar as condições ótimas para o processo de microencapsulação do suco misto de jambolão e camu-camu. Todas as análises estatísticas foram realizadas com o software *Statistica 7.0*.

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 T + \beta_2 C + \beta_3 V + \beta_{11} T^2 + \beta_{22} C^2 + \beta_{33} V^2 + \beta_{12} TC + \beta_{13} TV + \beta_{23} CV \quad (3)$$

onde, Y_i é a resposta (variável dependente); T é a temperatura (°C); C é a concentração de MD:GA (%); V é a vazão de alimentação (mL/min); β_0 representa o termo constante; β_1 , β_2 e β_3 são os coeficientes lineares; β_{11} , β_{22} e β_{33} são os coeficientes quadráticos; e β_{12} , β_{13} e β_{23} são os coeficientes de interação.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 4.1, além das informações referentes ao planejamento experimental utilizado e aos níveis das variáveis independentes (1^a a 4^a colunas), são apresentados os resultados obtidos para todas as respostas analisadas (variáveis dependentes), no domínio experimental, sendo: umidade, atividade de água (a_w), higroscopicidade, índice de solubilidade em água (ISA), rendimento, diferença total da cor (ΔE^*), eficiência de microencapsulação para o ácido ascórbico (AA), eficiência de microencapsulação para as antocianinas monoméricas totais (AMT) e eficiência de microencapsulação para os compostos fenólicos totais (CFT) (a partir da 5^a coluna). O comportamento de cada resposta foi discutido individualmente.

4.3.1 Umidade

A umidade das amostras do suco misto de jambolão e camu-camu em pó obtidas no domínio experimental variou de 3,09 a 7,94% (Tabela 4.1, 5^a coluna) e as corridas que apresentaram as maiores umidades foram as realizadas na menor temperatura de secagem (134°C). Porém, para a maioria dos pós, a umidade foi inferior a 5%, o que permite classificar os pós obtidos como seguros química e fisicamente (Santana et al., 2017).

Outros autores reportaram níveis baixos de umidade para produtos em pó. Ramakrishnan et al. (2018) estudaram o suco de tamarillo em pó e encontram valores de umidade na faixa de 3,43 a 4,89%. Para suco de jambolão em pó foram observados valores de

umidade de 2,17 a 3,56% (Singh et al., 2019). Baixos valores de umidade são desejáveis para alimentos em pó, para evitar aglomeração, degradação de compostos bioativos e a perda de fluidez e dispersão dos pós (Ramakrishnan et al., 2018).

A ANOVA (Tabela 4.2) mostrou que a interação entre a temperatura do ar de entrada (T) e a vazão de alimentação (V) influenciou a umidade final do produto, para um nível de confiança de 95%, apresentando um efeito significativo ($p \leq 0,05$), cuja tendência pode ser observada na Figura 4.2A. Segundo Marques et al. (2014), a utilização de altas temperaturas de secagem pode provocar a formação de uma crosta impermeável na superfície das partículas, o que dificulta a saída da água do interior da partícula e diminui a taxa de secagem. Uma maior vazão de alimentação, por sua vez, aumenta o tamanho das gotículas formadas e diminui o tempo de contato entre as gotas e o ar de secagem, tornando a transferência de calor menos eficaz, devido a uma menor evaporação da água (Tonon et al., 2008).

4.3.2 Atividade de água

Os valores de a_w variaram de 0,17 a 0,27 (Tabela 4.1, 6ª coluna). Produtos em pó com $a_w < 0,3$ são considerados seguros química e microbiologicamente, pois nesses níveis de a_w a quantidade de água livre disponível não é suficiente para que ocorram reações deteriorativas (Tontul; Topuz, 2017). Ramakrishnan et al. (2018) estudaram o suco de tamarillo em pó e encontram valores de a_w na faixa de 0,24 a 0,33. Ao estudarem a secagem do suco de abacaxi com hortelã, Braga et al. (2020) observaram valores de a_w na faixa de 0,181 a 0,303, para o produto em pó.

Em relação a a_w foram observados efeitos significativos ($p \leq 0,05$) para T (linear e quadrático), C (linear) e para a interação entre T e V (Tabela 4.2). Os sinais positivo para o efeito de T e negativo para o efeito de C indicam que o aumento de C e a diminuição de T promoveram a diminuição da a_w do produto (Figura 4.2B). Conforme já mencionado, o uso de altas temperaturas pode dificultar a evaporação da água, devido a formação de uma barreira na superfície da partícula, o que aumenta a a_w do produto (Marques et al., 2014). As tendências para o efeito da interação entre T e V sobre a a_w do produto são apresentadas na Figura 4.2C, onde é possível observar que os menores valores de a_w foram obtidos quando menores T e V foram utilizadas. Esse comportamento pode ser atribuído ao maior tempo de contato entre as gotículas formadas na atomização e o ar de secagem, o que resulta em um pó com menores a_w (Tonon et al., 2008).

4.3.3 Higroscopicidade

Os valores obtidos para a higroscopicidade, no domínio experimental, variaram de 21,25 a 35,12% (Tabela 4.1). Valores próximos a estes foram encontrados por Ramakrishnan et al. (2018), para o suco de tamarillo em pó (27,57-45,55%), e por Braga et al. (2020), para o suco de abacaxi com hortelã em pó (28,36-43,32%).

Para a resposta higroscopicidade foi observado um efeito linear significativo negativo ($p \leq 0,05$) para T, indicando que o aumento de T diminuiu a higroscopicidade do suco misto em pó (Figura 4.2D). Este comportamento pode ser atribuído a um possível aumento da temperatura de transição vítrea do produto, com a consequente diminuição da higroscopicidade, produzindo assim pós mais estáveis (Tontul; Topuz, 2017). Foi também observado um efeito linear positivo ($p \leq 0,05$) para V, indicando que menores higroscopicidades foram observadas para os produtos obtidos com menores V. Segundo Santhalakshmy et al. (2015), maiores umidades indicam maior higroscopicidade do pó. Então, como a redução de V diminui o tamanho das gotículas formadas e aumenta o tempo de contato entre as gotas e o ar de secagem, diminuindo a umidade do pó, devido as maiores taxas de evaporação da água (Tonon et al., 2008), e consequentemente ocorre a redução da higroscopicidade do produto.

Além dos efeitos lineares, foram observados efeitos significativo ($p \leq 0,05$) para as interações entre T e C e entre C e V. Menores valores de higroscopicidade foram observados para os pós obtidos em maiores T e menores C (Figura 4.2D) e para os pós obtidos em menores C e V (Figura 4.2E).

Tabela 4.2. Análise de variância (ANOVA): efeito dos fatores para cada resposta do suco misto de jambolão e camu-camu em pó, a um nível de confiança de 95%.

Fonte de variação	GL	U (%)			a _w			HG (%)			ISA (%)			Rend. (%)			ΔE*			Eficiência de microencapsulação (%)								
		Efeito		p	Efeito		p	Efeito		p	Efeito		p	Efeito		p	Efeito		p	Efeito		p	Efeito		p	Efeito		p
Média	16	3,56	0,008	0,19	0,001	33,026	0	73,05	0	15,803	0,011	24,134	0,002	25,262	0,002	48,9	0,001	28,372	0,001									
T	1	0,29	0,436	0,02	0,037	-3,309	0,018	-8,53	0,008	-19,06	0,007	-5,65	0,027	-2,915	0,099	-12,76	0,013	6,848	0,02									
C	1	-0,32	0,405	-0,032	0,025	0,5	0,378	4,82	0,025	14,81	0,011	6,794	0,019	0,209	0,853	5,38	0,066	-2,419	0,135									
V	1	-0,93	0,091	-0,003	0,665	2,25	0,037	4,15	0,04	-1,121	0,553	0,46	0,675	0,388	0,735	7,36	0,037	-7,241	0,018									
T ²	1	0,75	0,15	0,04	0,019	-1,987	0,055	-5,4	0,034	-3,426	0,187	-2,175	0,17	-0,756	0,559	-2,37	0,275	-4,816	0,047									
C ²	1	0,8	0,138	0,004	0,592	-0,192	0,736	-2,72	0,151	3,587	0,179	-3,596	0,076	-2,814	0,126	-10,48	0,023	2,387	0,163									
V ²	1	1,22	0,067	0,005	0,47	-0,472	0,441	-3,99	0,079	-1,641	0,449	-1,192	0,374	0,901	0,501	-13,25	0,015	-2,815	0,125									
TC	1	-0,15	0,744	-0,006	0,452	3,376	0,028	1,38	0,558	-5,343	0,122	0,816	0,575	0,083	0,955	2,47	0,323	2,106	0,244									
TV	1	-2,98	0,017	-0,045	0,022	2,465	0,051	4,05	0,303	8,448	0,055	2,404	0,19	-0,336	0,82	-2,83	0,274	1,241	0,438									
CV	1	-0,04	0,927	-0,01	0,285	-3,802	0,023	-0,62	0,927	3,758	0,21	1,414	0,369	0,007	0,996	-7,96	0,052	-3,286	0,126									
Falta de Ajuste	5	-	0,174	-	0,277	-	0,085	-	0,121	-	0,103	-	0,375	-	0,562	-	0,074	-	0,145									
R ²		0,76		0,91		0,77		0,84		0,85		0,9		0,72		0,78		0,82										
R ² (máx)		0,98		0,99		0,99		0,99		0,99		0,98		0,92		0,99		0,99										

valores em negrito representam os efeitos estatisticamente significativos a 95% de confiança (p ≤ 0,05), T: temperatura (°C); C: concentração de MD:GA (%); V: vazão de alimentação (mL/min); GL: grau de liberdade; R² (máx): variação máxima explicável; U: umidade; a_w: atividade de água; HG: higroscopicidade; ISA: índice de solubilidade em água; Rend.: rendimento; ΔE*: diferença total de cor; AA: ácido ascórbico; AMT: antocianinas monoméricas totais; CFT: compostos fenólicos totais.

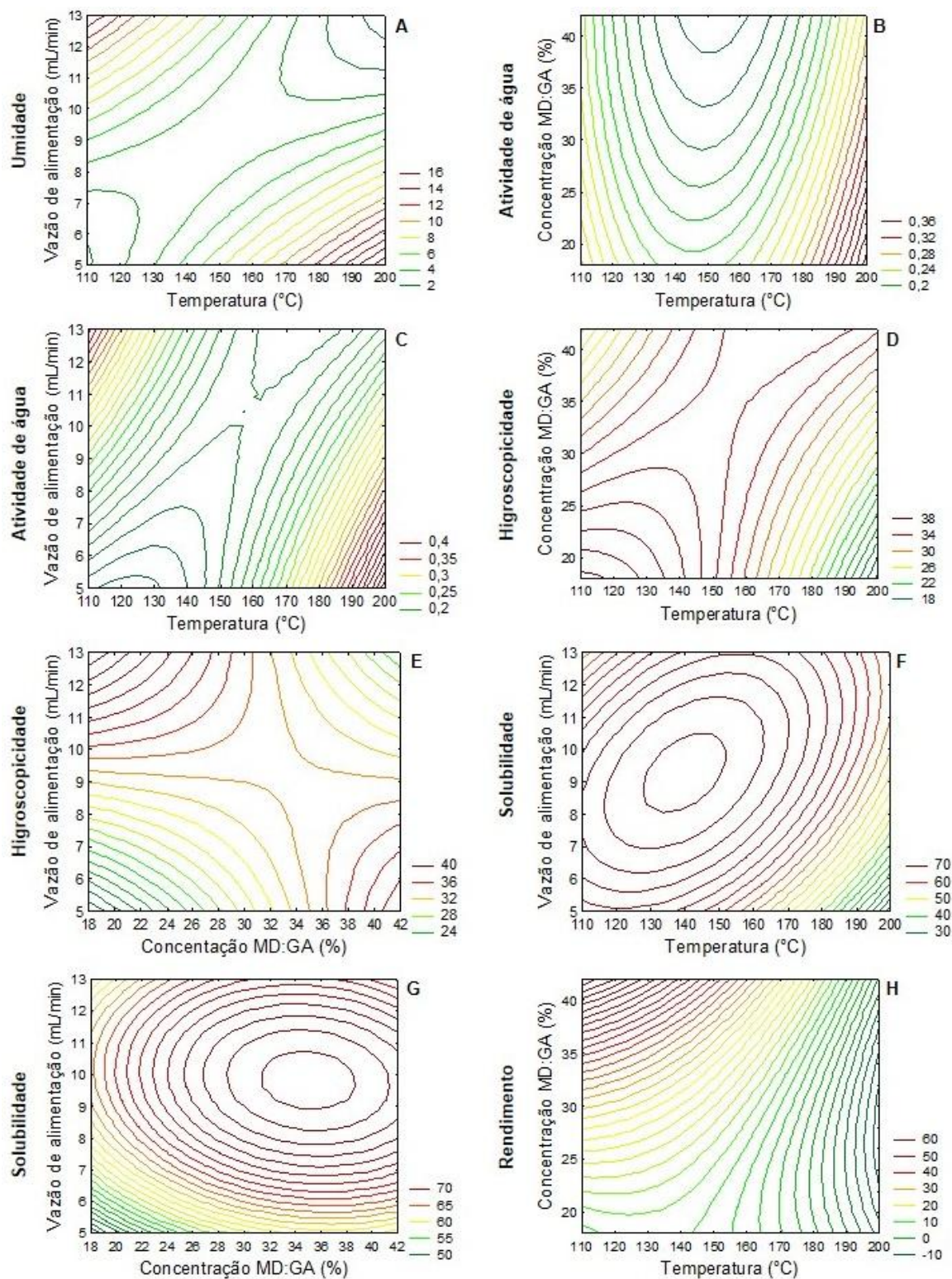


Figura 4.2. Curvas de nível das variáveis dependentes: umidade (A), atividade de água (B e C), higroscopicidade (D e E), índice de solubilidade em água (F e G) e rendimento (H), em função das variáveis independentes de temperatura (°C), vazão de alimentação (mL/min) e concentração de MD:GA (%).

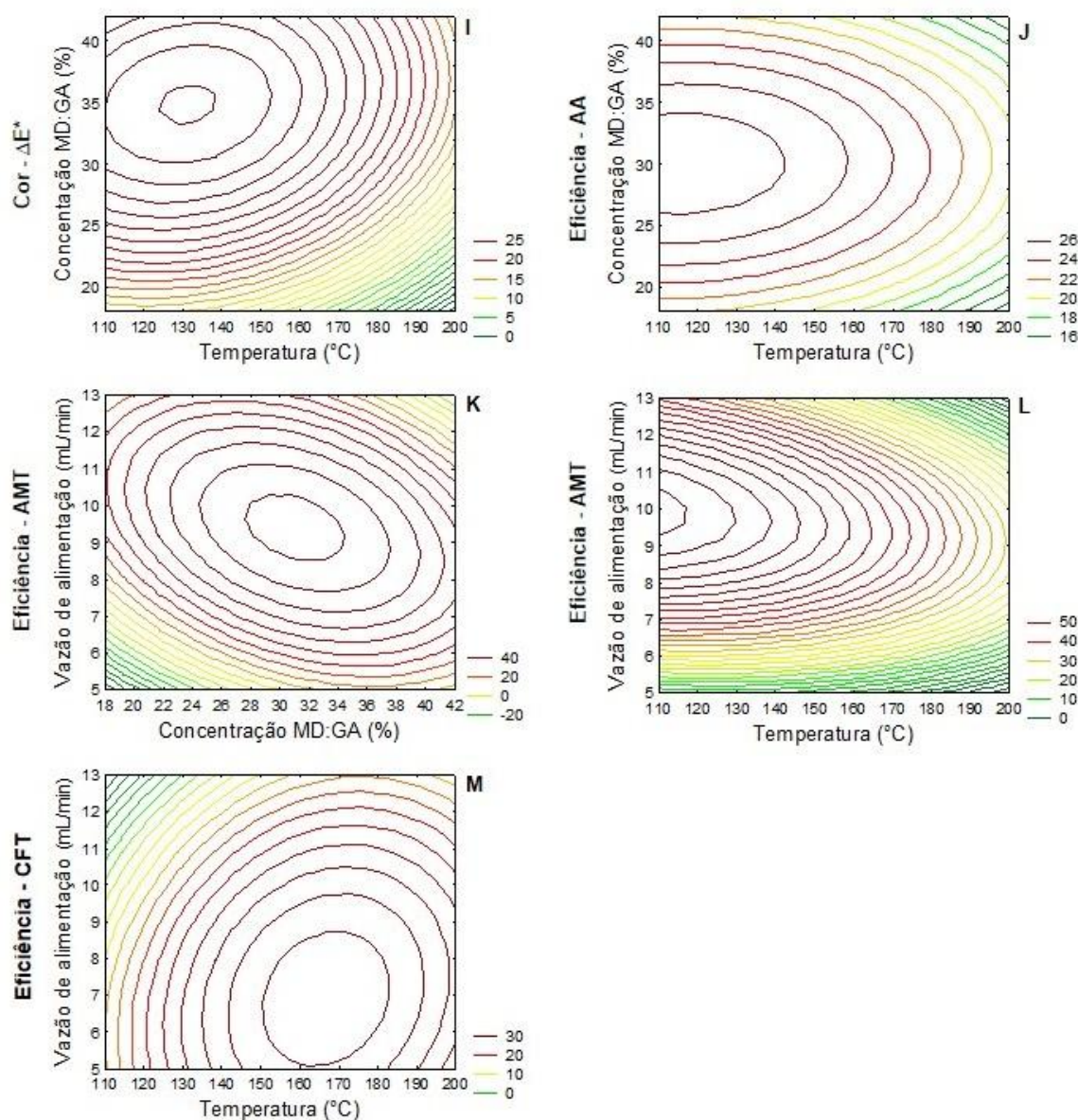


Figura 4.2. Curvas de nível das variáveis dependentes: diferença total de cor (ΔE^*) (I), eficiências de microencapsulação para o ácido ascórbico – AA (J), as antocianinas monoméricas totais – AMT (K e L) e os compostos fenólicos totais – CFT (M), em função das variáveis independentes de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), vazão de alimentação (mL/min) e concentração de MD:GA (%). *Continuação.*

4.3.4 Índice de solubilidade em água

O índice de solubilidade em água (ISA) dos pós apresentou valores na faixa de 59,26 a 81,97% (Tabela 4.1). Valores semelhantes foram encontrados por Fujita et al. (2017), para o suco de camu-camu em pó (76,7 e 89,9%). Singh et al. (2019), por sua vez, observaram valores superiores para ISA do suco de jambolão em pó (80,11-93,15%).

Para a resposta ISA, o maior efeito foi observado para a variável T, o qual foi linear e negativo (Tabela 4.1). Por outro lado, foram observados efeitos lineares significativos positivos ($p \leq 0,05$) para as variáveis C e V. Assim, maiores valores de ISA foram observados

para os produtos em pó obtidos em menores T (Figura 4.2F) e maiores C e V (Figura 4.2G). Além dos efeitos lineares, foram também observados efeitos quadráticos significativos ($p \leq 0,05$) para as variáveis T e V e um efeito para a interação entre estas variáveis. Maiores valores de ISA foram observados para menores valores de T e maiores valores de V (Figura 4.2F). Segundo Tontul e Topuz (2017), temperaturas mais baixas do ar de secagem permitem que as partículas encolham uniformemente, o que torna seu tamanho menor e melhora a solubilidade do produto. Além disso, os agentes encapsulantes possuem boas solubilidades, o que favorece o aumento do ISA dos produtos em pó microencapsulados.

4.3.5 Rendimento

Para o rendimento dos pós obtidos na secagem por *spray drying* foram obtidos valores na faixa 0,61 a 40,76% (Tabela 4.1). Fujita et al. (2017) observaram rendimentos entre 18,6 e 31% para a obtenção do suco de camu-camu em pó, em *spray dryer*. Por outro lado, valores superiores de rendimento foram encontrados por Bazaria e Kumar (2018), para a secagem em *spray dryer* do suco de beterraba (41,3-54,6%).

Efeitos lineares significativos ($p \leq 0,05$) foram observados para as variáveis T (negativo) e C (positivo), sobre a resposta rendimento. Os sinais dos efeitos indicam que o aumento da T diminuiu os rendimentos, enquanto o aumento de C promoveu o aumento dos rendimentos dos pós (Figura 4.2H). Segundo Avila et al. (2015), baixas temperaturas de secagem geram menos depósitos dentro da câmara de secagem, aumentando o rendimento, enquanto o emprego de elevadas temperaturas pode promover a fusão de carboidratos existentes em materiais ricos em açúcar, o que aumenta a impregnação da câmara de secagem e diminui o rendimento. A adição do agente encapsulante, por sua vez, aumenta a temperatura de transição vítrea do produto, o que reduz a pegajosidade do pó e, conseqüentemente, a aderência do material na câmara do secador (Tontul; Topuz, 2017).

4.3.6 Diferença total de cor (ΔE^*)

Em relação a cor instrumental, foram observados valores na faixa de 12,54 a 27,96%, para a diferença total de cor (ΔE^*) (Tabela 4.1), para os sucos mistos em pó obtidos no domínio experimental (Figura 4.3).

A ANOVA mostrou como efeitos significativos ($p \leq 0,05$) para a resposta ΔE^* , um efeito linear negativo para T e um efeito linear positivo para C (Tabela 4.2). Assim, a diminuição do valor de ΔE^* foi favorecida pelo aumento de T e pela diminuição de C (Figura 4.2I). Segundo Chen et al. (2013), altas temperatura do ar de entrada podem provocar reações

de escurecimento não enzimático, conferindo ao produto coloração mais escura, o que é desejável no presente estudo, uma vez que o suco antes do processo de secagem apresenta coloração violeta intensa; assim, ocorre uma menor diferença total de cor (ΔE^*).

De acordo com Bazaria e Kumar (2017), altos valores de ΔE^* indicam maiores mudanças nos parâmetros de cor do produto durante o processamento. A cor dos produtos em pó também pode ser influenciada pela concentração e pelo tipo de agente encapsulante, visto que, a cor branca da maltodextrina e a cor amarelada da goma arábica conferem ao produto colorações mais claras (Tontul; Topuz, 2017). Logo, baixas concentrações do agente encapsulante podem ter promovido menores valores de ΔE^* no produto obtido.

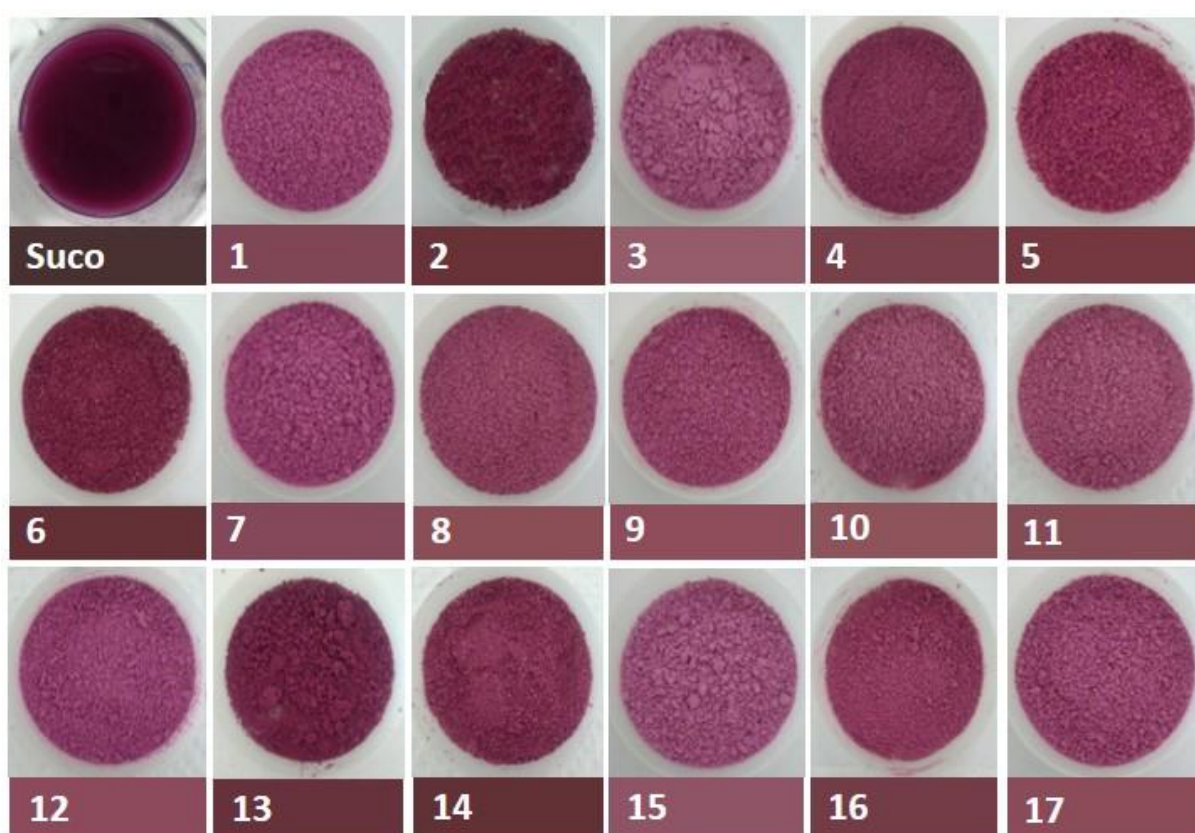


Figura 4.3. Sucos misto em pó obtidos nas condições experimentais. Foto: Da autora.

4.3.7 Eficiência de microencapsulação

No domínio experimental, o teor de ácido ascórbico (AA) total nas microcápsulas variou de 25,19 a 41,77 g/100 g, enquanto que a quantidade de AA presente na superfície das microcápsulas variou de 19,49 a 32,74 g/100 g (Figura 4.4). Fujita et al. (2017) estudaram a secagem do suco de camu-camu em *spray dryer* e observaram teores de AA total para o produto entre 2,67 e 13,75 g/100 g, bem inferiores aos valores encontrados no presente estudo. A eficiência da microencapsulação para o AA, por sua vez, variou entre 20,79 e 28,33% (Tabela 4.1).

De acordo com a ANOVA não houve efeito significativo, a um níveis de confiança de 95% ($p \leq 0,05$), para nenhuma das variáveis independentes estudadas, sobre a eficiência de microencapsulação do AA. Porém, para um nível de confiança de 90%, pode ser considerado um efeito linear significativo negativo ($p \leq 0,10$), para a variável T, indicando que um aumento de T provocou a diminuição da eficiência de microencapsulação de AA, no suco misto em pó (Figura 4.2J). Segundo Corrêa-Filho et al. (2019), o uso de altas temperaturas no processo de *spray drying* pode causar fissuras nas superfícies formadas pela rápida evaporação da água, o que pode promover a liberação prematura do componente encapsulado e, portanto, uma diminuição na eficiência de microencapsulação.

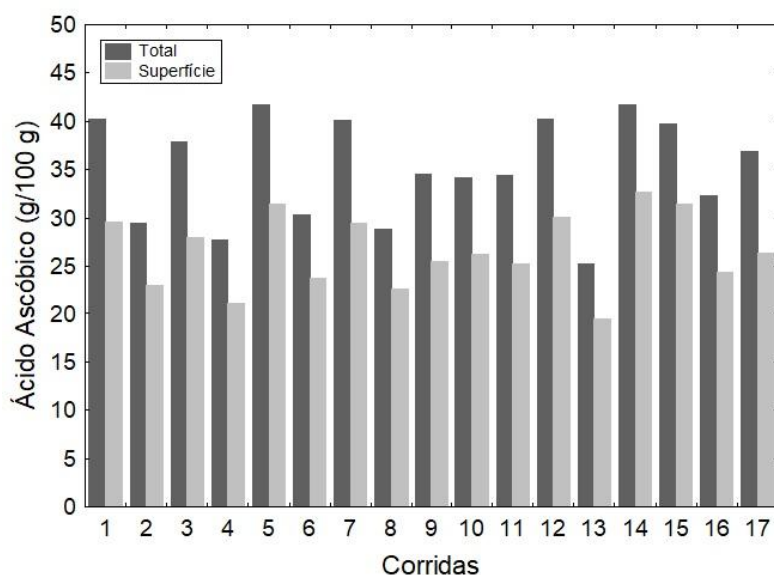


Figura 4.4. Teor de ácido ascórbico total e na superfície das microcápsulas obtidas nas diferentes condições do planejamento experimental.

Quanto às antocianinas monoméricas totais, o teor total desta classe de compostos nas microcápsulas variou de 202,09 a 331,05 mg/100 g, enquanto que o teor de antocianinas na superfície das microcápsulas variou de 88,64 a 223,60 mg/100 g (Figura 4.5). Valores

semelhantes foram encontrados por Singh et al. (2019), em suco de jambolão em pó, obtido por *spray drying* (162,63 a 209,89 mg/100 g). A eficiência de microencapsulação para as antocianinas monoméricas variou de 24,23 a 57,98% (Tabela 4.1). Ao secar suco de tamarillo, Ramakrishnan et al. (2018) obtiveram eficiências de encapsulação para antocianinas entre 78,54 e 83,16%.

Para a eficiência da microencapsulação das antocianinas monoméricas, a ANOVA mostrou efeitos lineares significativos ($p \leq 0,05$), negativo para T e positivo para V. Foram também observados efeitos quadráticos para C e V. O sinais dos efeitos lineares indicam que o aumento de T e a redução de V promoveu a redução da eficiência de microencapsulação para as antocianinas (Figura 4.2L). Este comportamento pode estar associado ao contato prolongado das antocianinas com o ar de secagem, por serem estas substâncias termolábeis, e pelas possíveis rupturas nas superfícies, causadas pelas altas temperaturas, o que pode ter promovido a diminuição na eficiência de microencapsulação (Corrêa-Filho et al., 2019). O sinal negativo do efeito quadrático para C, por sua vez, indica que os maiores níveis de retenção das antocianinas ocorreu em concentrações intermediárias do agente encapsulante (MD:GA) (Figura 4.2K). Segundo Lim et al. (2011), os agentes encapsulantes apresentam um efeito protetor sobre os compostos bioativos durante a secagem por *spray drying*.

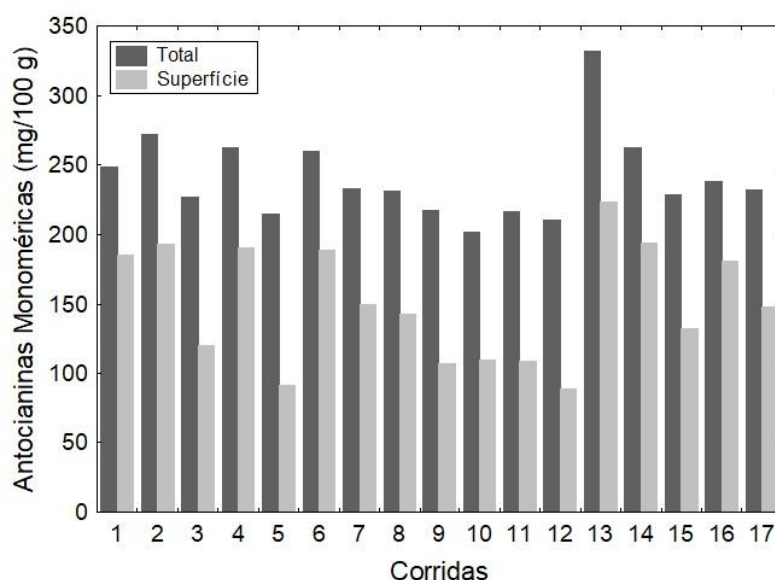


Figura 4.5. Teor de antocianinas monoméricas total e na superfície das microcápsulas obtidas nas diferentes condições do planejamento experimental.

O teor de compostos fenólicos total nas microcápsulas variou de 1026,78 a 1320,47 mg/100 g, enquanto a quantidade de compostos fenólicos na superfície das microcápsulas variaram entre 789,77 e 950,66 mg/100g (Figura 4.4). Menores quantidades de compostos

fenólicos foram encontrado por Singh et al. (2019), em suco de jambolão em pó (87,11 a 100,67 mg/100 g). Por sua vez, Fujita et al. (2017) observaram teores mais elevados de compostos fenólicos no suco de camu-camu em pó, obtido por *spray drying* (2530 a 5790 mg/100 g). A Eficiência de microencapsulação para os compostos fenólicos totais, no suco misto de jambolão e camu-camu em pó obtido, variou entre 12,51 e 36,98% (Tabela 4.1).

A ANOVA mostrou que as variáveis independentes T e V apresentaram efeitos lineares significativos ($p \leq 0,05$), para a resposta eficiência de retenção de compostos fenólicos totais. Os sinais positivo para o efeito de T e negativo para o efeito de V indicam que maior eficiência de retenção para os compostos fenólicos foi observada como o aumento de T e a redução de V (Figura 4.2M). Foi também observado um efeito quadrático significativo ($p \leq 0,05$), negativo para a variável T.

A eficiência de encapsulação é um parâmetro importante que influencia na quantidade de composto bioativo que permanecem na superfície das microcápsulas e, portanto, determina a estabilidade do composto ativo encapsulado (Dag et al., 2017). Embora as eficiências de microencapsulação para o AA, AMT e CFT terem sido inferiores a 60%, o suco misto de jambolão e camu-camu em pó, obtido nas diferentes condições experimentais, apresentou elevados teores de ácido ascórbico, antocianinas e compostos fenólicos, o que pode ser observado nas Figuras 4.4, 4.5 e 4.6.

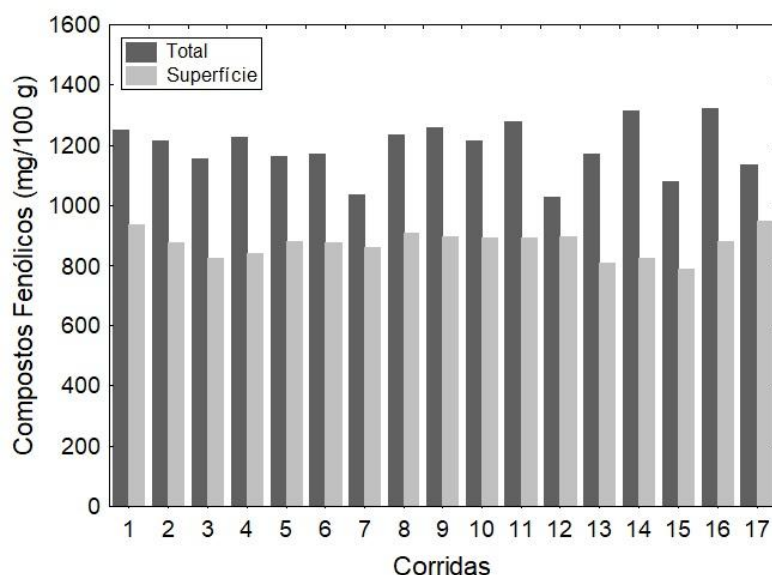


Figura 4.6. Teor de compostos fenólicos total e na superfície da microcápsula obtidas nas diferentes condições do planejamento experimental.

4.3.8 Ajuste do modelo polinomial

De acordo com os resultados da ANOVA para a regressão do modelo polinomial de segunda ordem (Equação 3), utilizado para descrever o comportamento das respostas estudadas, os ajustes do modelo a todas as respostas foram estatisticamente significativos ($p \leq 0,05$) (Tabela 4.2).

Os valores de R^2 foram maiores que 70% e os valores de R^2 (máx.), que explica a variação máxima observada, foram superiores a 90%, para os ajustes de todas as respostas analisadas, o que sugere que os modelos de regressão apresentaram variações nas respostas com boa reprodutibilidade, pois valores acima de 70% representam um bom ajuste do modelo (Corrêa-Filho et al., 2019). Estes resultados indicam que os dados experimentais foram bem representados pelas equações polinomiais de segundo grau, cujos coeficientes de regressão são apresentados na Tabela 4.3. Além dos modelos terem sido significativos para todas as respostas, o teste de falta de ajuste não apresentou resultado significativo ($p \leq 0,05$) (Tabela 4.2), para nenhum dos ajustes.

Tabela 4.3. Coeficientes da equação de regressão para as respostas do planejamento experimental utilizado no estudo da secagem, em *spray dryer*, do suco misto de jambolão e camu-camu.

Coeficientes de regressão	U (%)	a_w	HG (%)	ISA (%)	Rend. (%)	ΔE^*	Eficiência de microencapsulação (%)		
							AA	AMT	CFT
β_0	-7,105	0,328	36,29	-58,16	86,59	-15,51	-14,90	-404,04	-90,79
β_1 (T)	0,115	-0,008	-0,069	1,079	0,396	0,256	0,231	0,586	1,488
β_2 (C)	-0,588	0,002	-0,311	2,071	-0,003	2,467	2,307	10,967	-2,129
β_3 (V)	2,579	0,092	2,115	4,708	-18,46	-3,502	-1,710	55,748	7,803
β_{11} (T ²)	0,001	$4,7 \times 10^{-5}$	-0,002	-0,006	-0,004	-0,003	-9×10^{-4}	-0,003	-0,006
β_{22} (C ²)	0,011	$5,1 \times 10^{-5}$	-0,003	-0,038	0,050	-0,050	-0,039	-0,146	0,033
β_{33} (V ²)	0,189	0,001	-0,073	-0,615	-0,253	-0,184	0,139	-2,044	-0,414
β_{12} (TC)	-0,001	$-2,7 \times 10^{-5}$	0,014	0,006	-0,021	0,003	3×10^{-4}	0,010	0,008
β_{13} (TV)	-0,040	-6×10^{-4}	0,033	0,054	0,113	0,032	-0,005	-0,038	0,017
β_{23} (CV)	-0,002	$-4,5 \times 10^{-4}$	-0,176	-0,029	0,174	0,066	3×10^{-4}	-0,368	-0,152

T: temperatura (°C); C: concentração de MD:GA (%); V: vazão de alimentação (mL/min); U: umidade; a_w : atividade de água; HG: higroscopicidade; ISA: índice de solubilidade em água (%); Rend.: rendimento; ΔE^* : diferença total de cor; AA: ácido ascórbico; AMT: antocianinas monoméricas totais; CFT: compostos fenólicos totais.

4.3.9 Otimização das condições de secagem

As melhores condições para o processo de secagem do suco misto de jambolão e camu-camu, em *spray dryer*, foram definidas a partir das superfícies de resposta e da função desejabilidade. Foi definido como desejável um produto com baixa umidade, atividade de água, higroscopicidade e diferença total de cor (ΔE^*) e com alto rendimento, solubilidade e eficiência de microencapsulação para ácido ascórbico, antocianinas e compostos fenólicos.

Os perfis de desejabilidade são apresentados na Figura 4.7. A coluna de desejabilidade mostra a faixa da resposta de desejabilidade aceitável ($0 \leq d_i \leq 1$). Os três perfis apresentados na última linha mostram a desejabilidade individual, para cada fator (temperatura, concentração do agente encapsulante e vazão de alimentação), e a desejabilidade global. As linhas verticais, em vermelho, correspondem aos valores ótimos para cada fator avaliado (temperatura, concentração de MD:GA e vazão de alimentação). Assim, a condição operacional ótima para a secagem em *spray dryer* do suco misto de jambolão e camu-camu, para uma desejabilidade global de 0,85, foi definida a 145°C, 34% de MD:GA e vazão de alimentação de 8 mL/min. A correspondência entre os valores médios preditos pela função desejabilidade e os valores experimentais obtidos para cada resposta analisada, na condição definida como ótima, permitem validar a metodologia estatística empregada na otimização do processo de secagem do suco misto de jambolão e camu-camu, por *spray drying* (Tabela 4.4).

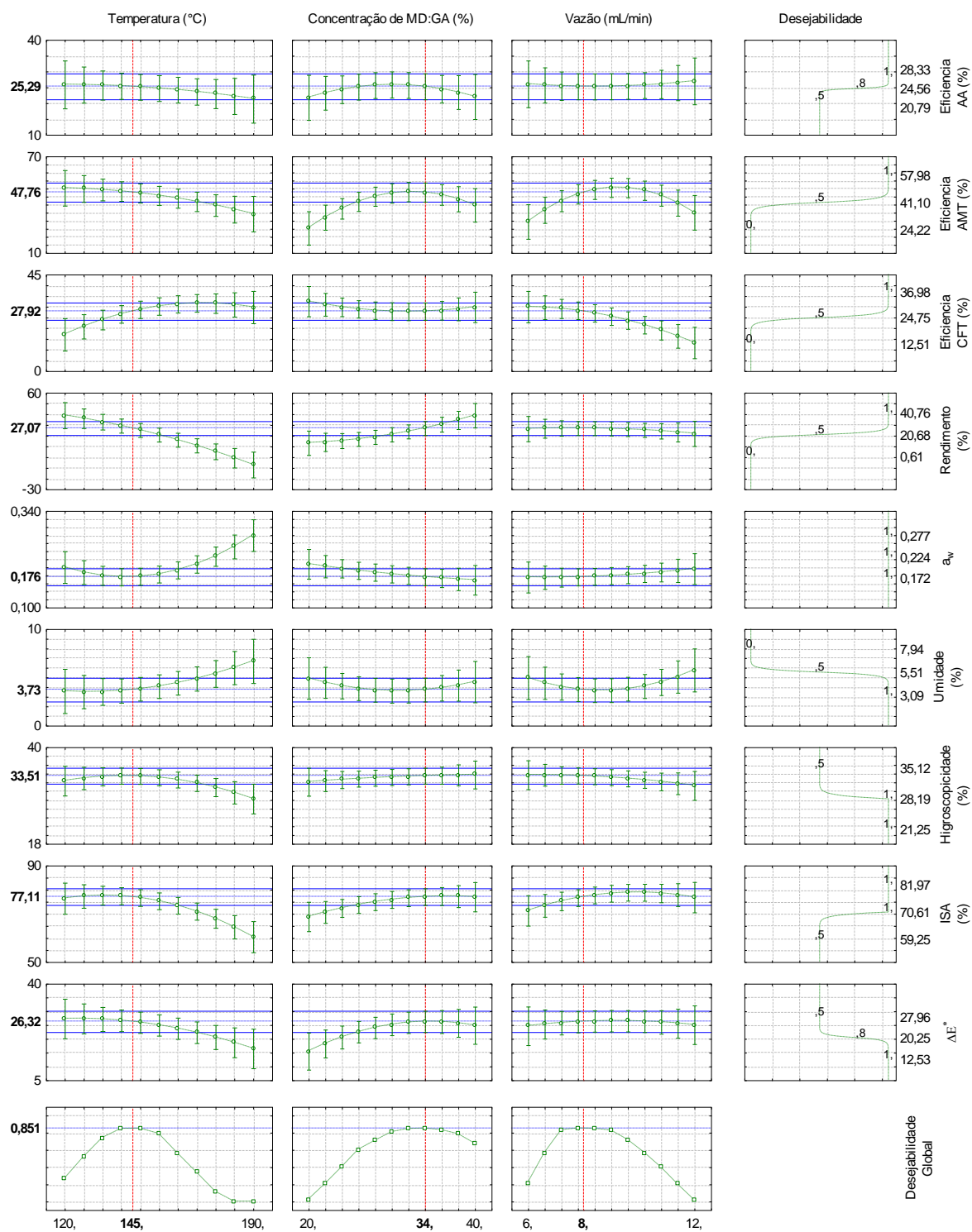


Figura 4.7. Perfil de desejabilidade para a secagem do suco misto de jaboão e camu-camu, por spray drying. AA: ácido ascórbico; CFT: compostos fenólicos totais; ISA: índice de solubilidade em água.

Tabela 4.4. Valores preditos e experimentais para as respostas na condição ótima para a secagem por *spray drying* do suco misto de jambolão e camu-camu.

Respostas	Valores		
	Predito	Experimental	
Umidade (%)	3,73	3,47 ± 0,15	
Atividade de água, a_w	0,176	0,180 ± 0,00	
Higroscopicidade (% bs)	33,51	35,97 ± 0,40	
Índice de solubilidade em água (%)	77,11	85,37 ± 0,54	
Rendimento (%)	27,07	33,46 ± 0,56	
Diferença total de cor, ΔE^*	26,32	24,17 ± 1,18	
Ácido Ascórbico	Eficiência (%)	25,29	24,95 ± 0,81
	g/100 g	–	50,40 ± 1,25
Antocianinas Monoméricas	Eficiência (%)	47,77	50,34 ± 1,59
	mg/100 g	–	263,98 ± 5,48
Compostos Fenólicos	Eficiência (%)	27,92	33,93 ± 1,30
	mg/100 g	–	1307,94 ± 3,09

O ácido ascórbico foi o composto bioativo majoritário encontrado no suco misto em pó obtido na condição definida como ótima (Figura 4.8). De acordo com Hujoel e Hujoel (2021), o consumo diário de vitamina C recomendado pela Organização Mundial de Saúde (OMS) é de, pelo menos, 45 mg/dia; embora os autores destaquem que esta recomendação está abaixo do ideal, e que um consumo mínimo de 95 mg/dia de vitamina C seria necessário para prevenir patologias relacionadas ao colágeno. Considerando estes valores, uma pessoa precisaria consumir apenas de 0,1 a 0,2 g do suco misto de jambolão e camu-camu, para atingir a dose diária de vitamina C recomendada. Devido o alto teor de compostos bioativos, principalmente de AA, o suco misto em pó pode ser considerado uma fonte promissora de compostos bioativos, que podem ser promotores de efeitos benéficos à saúde.



Figura 4.8. Suco misto em pó obtido na condição ótima. Foto: Da autora.

4.4 CONCLUSÃO

A metodologia de superfície de resposta e a função de desejabilidade permitiram definir uma condição ótima para o processo de secagem, em *spray dryer*, do suco misto de jambolão e camu-camu, sendo: temperatura do ar de entrada de 145 °C, concentração do agente encapsulante de 34% de MD:GA e vazão de alimentação do suco de 8 mL/min. O produto em pó obtido na condição operacional ótima apresentou 50,40 g/100 g de ácido ascórbico, 263,98 mg/100 g de antocianinas monoméricas totais e 1.307,94 mg/100 g de compostos fenólicos totais, o que o configura como uma fonte promissora de compostos bioativos, principalmente de ácido ascórbico. Assim, os resultados indicam que o suco misto de jambolão e camu-camu em pó tem potencial de aplicação na indústria de alimentos.

REFERÊNCIAS

- AOAC – Association of Official Analytical Chemists. (1997). **Official Methods of Analysis** (16 ed.). Gaithersburg: Published by AOAC International.
- Arkter, M. S.; Oh, S.; Eun, J. B.; Ahmed, M. (2011). Nutritional compositions and health promoting phytochemicals of camu-camu (*Myrciaria dubia*) fruit: A review. **Food Research International**, 44(1), 1728-1732.
- Avila, E. L.; Rodríguez, M. C.; Velasquez, H. J. C. (2015). Influence of maltodextrina and spray drying process conditions on sugarcane juice powder quality. **Revista Facultad Nacional de Agronomía**, 68, 7509-7520.
- Bazaria, B.; Kumar, P. (2017). Effect of dextrose equivalency of maltodextrina together with Arabic gum on properties of encapsulated beetroot juice. **Journal of Food Measurement and Characterization**, 11, 156-163
- Bazaria, B.; Kumar, P. (2018). Optimization of spray drying parameters for beetroot juice powder using response surface methodology (RSM). **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, 17, 408-415.
- Bhardwaj, R. L.; Pandey, S. (2011). Juice blends-a way of utilization of under-utilized fruits, vegetables and spices: a review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 51(1), 563-570.
- Braga, V.; Guidi, L. R.; de Santana, R. C.; Zotarelli, M. F. (2020). Production and characterization of pineapple-mint juice by spray drying. **Powder Technology**. doi:10.1016/j.powtec.2020.08.012.

- Cai, Y.Z; Corke, H. (2000). Production and properties of spray-dried *Amaranthus betacyanin* pigments. **Journal of Food Science: Sensory and Nutritive Qualities of Food**, 65(6), 1-5.
- Campos, A. P. R.; Chisté, R. C.; Pena, R. S. (2020). Camu-camu (*Myrciaria dubia*) and jambolan (*Syzygium cumini*) juice blend: sensory analysis and bioactive compounds stability. **Food Science and Technology**, 41(1), 82-89.
- Cano-Chauca, M.; Stringheta, P. C.; Ramos, A. M.; Cal-Vidal, J. (2005). Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, 6(4), 420-428.
- Chen, Q.; Bi, J.; Zhou, Y.; Liu, X.; Wu, X.; Chen, R. (2013). Multi-objective optimization of spray drying of jujube (*Zizyphus jujube* Miller) powder using response surface methodology. **Food and Bioprocess Technology**, 7, 1807-1818.
- Corrêa-Filho, L. C.; Lourenço, M. M.; Moldão-Martins, M.; Alves, V. D. (2019). Microencapsulation of β -carotene by spray drying: effect of wall material concentration and drying inlet temperature. **International Journal of Food Science**, 2019, 1-12.
- Dag, D.; Kilercioglu, M.; Oztop, M. H. (2017). Physical and chemical characteristics of encapsulated goldenberry (*Physalis peruviana* L) juice powder. **LWT – Food Science and Technology**, 83, 86-94.
- Faria, A. F.; Marques, M. C.; Mercadante, A. Z. (2011). Identification of bioactive compounds from jambolão (*Syzygium cumini*) and antioxidante capacity evaluation in diferente pH conditions. **Food Chemistry**, 126(1), 1571-1578.
- Fujita, A.; Souza, V. B.; Daza, L. D.; Fávaro-Trindade, C. S.; Granato, D.; Genovese, M. I. (2017). Effects of spray-drying parameters on *in vitro* functional properties of camu-camu (*Myrciaria dubia* MC. Vaugh): A Typical Amazonian fruit. **Food Chemistry**, 82, 1083-1091.
- Georgé, S.; Brat, P.; Alter, P.; Amiot, M. J. (2005). Rapid determination of polyphenols and vitamin C in plant-derived products. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 53(1), 1370-1373.
- Giusti, M. M.; Wrolstad, R. E. (2001). **Characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible spectroscopy. Current Protocols in Food Analytical Chemistry**, New York: John Wiley & Sons.
- Gol, N. B.; Patel, P. R.; Rao, T. V. R. (2013). Improvement of quality and shelf-life of strawberries with edible coatings enriched with chitosan. **Postharvest Biology and Technology**, 85, 185–195.
- Hoyos-Leyva, J. D.; Chavez-Salazar, A.; Castellanos-Galeano, F.; Bello-Perez, L. A.; Alvarez-Ramirez, J. (2018). Physical and chemical stability of 1 – ascorbic acid

- microencapsulated into taro starch spherical aggregates by spray drying. **Food Hydrocolloids**, 83(1), 143-152.
- Hujoel, P. P.; Hujoel, M. L. A. (2021). Vitamin C and scar strength: analysis of a historical trial and implications for collagen-related pathologies. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 115, 8-17.
- Lim, K.; Ma, M.; Dolan, D. K. (2011). Effects of spray drying on antioxidant capacity and anthocyanidin content of blueberry by-products. **Journal of Food Science**, 75 (7), H156-H164.
- Marques, G. R.; Borges, S. V.; Botrel, D. A.; Costa, J. M. G.; Silva, E. K.; Corrêa, J. L. G. (2014). Spray drying of green corn pulp. **Dry Technology**, 32(7):861-868.
- Neves, L.C.; Silva, V. X.; Pontis, J. A.; Flach, A.; Roberto, S. R. (2015). Bioactive compounds and antioxidant activity in pre-harvest camu-camu (*Myrciaria dubia* (H.B.K.) Mc Vaugh) fruits. **Scientia Horticulturae**, 186(1), 223–229.
- Oludemi, F. O.; Akanbi, C. T. (2013). Chemical, antioxidant and sensory properties of tomato-watermelon-pineapple blends, and changes in their total antioxidant capacity during storage. **International Journal of Food Science and Technology**, 48(1), 1416-1425.
- Ozkan, G.; Franco, P.; De Marco, I.; Xiao, J.; Capanoglu, E. (2019). A review of microencapsulation methods for antioxidants: Principles, advances, drawbacks and applications. **Food Chemistry**, 272(1), 494-506.
- Paim, D. R. S. F.; Costa, S. D. O.; Walter, E. H. M.; Tonon, R. V. (2016). Microencapsulation of probiotic jussara (*Euterpe edulis* M.) juice by spray drying. **LWT - Food Science and Technology**, 74(1), 21–25.
- Panghal, A.; Kaur, R.; Janghu, S.; Sharma, P.; Sharma, P.; Chhikara, N. (2019). Nutritional, phytochemical, functional and sensorial attributes of *Syzygium cumini* L. pulp incorporated pasta. **Food Chemistry**, 289(1), 723-728.
- Ramakrishnan, Y.; Adzahan, N. M.; Yusof, Y. A.; Muhammad, K. (2018). Effect of wall materials on the spray drying efficiency, powder properties and stability of bioactive compound in tamarillo juice microencapsulation. **Powder Technology**, 328, 406-414.
- Reineccius, G. A. (2004). The spray drying of food flavors. **Drying Technology**, 22(6), 1289-1324.
- Santana, A. A.; Martin, L. G. P.; de Oliveira, R. A.; Kurozawa, L. E.; Park, K. J. (2017). Spray drying of babassu coconut milk using different carrier agents. **Drying Technology**, 35, 76-87

- Santhalakshmy, S.; Don Bosco, S. J.; Francis, S.; Sabeena, M. (2015). Effect of inlet temperature on physicochemical properties of spray-dried jamun fruit juice powder. **Powder Technology**, 274, 37-43.
- Shishir, M. R. I.; Chen, W. (2017). Trends of spray drying: A critical review on drying of fruit and vegetable juices. **Trends in Food Science & Technology**, 65(1), 49-67.
- Singh, C. S.; Paswan, V. K.; Rai, D. C. (2019). Process optimization of spray dried Jamun (*Syzygium cumini* L.) pulp powder. **LWT – Food Science and Technology**, 109, 1-6.
- Singleton, V. L.; Rossi, J. A. (1865). Colorimetry of total phenolic with phosphomolybdicphosphotungstic acid reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, 16(3), 144-158.
- Souza, A.; Oliveira, T.; Mattietto, R.; Nascimento, W.; Lopes, A. (2018). Bioactive compounds in the peel of camu camu genotypes from Embrapa's active germplasm bank. **Food Science and Technology**, 38(1), 67-71.
- Tavares, I. M. C.; Lago-Vanzela, E. S.; Rebello, L. P. G.; Ramos, A. M.; Gómez-Alonso, S.; García-Romero, E.; Da-Silva, R.; Hermosín-Gutiérrez, I. (2016). Comprehensive study of the phenolic composition of the edible parts of jambolan fruit (*Syzygium cumini* (L.) Skeels). **Food Research International**, 82(1), 1–13.
- Tiburski, J. H.; Rosenthal, A.; Deliza, R.; Godoy, R. L. O.; Pacheco, S. (2011). Nutritional properties of yellow mombin (*Spondias mombin* L.) pulp. **Food Research International**, 44(7), 2326–2331.
- Tonon, R. V.; Brabet, C.; Hubinger, M. D. (2008). Influence of process conditions on the physicochemical properties of acai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. **Journal of Food Engineering**, 88, 411-418,
- Tontul, I.; Topuz, A. (2017). Spray-drying of fruit and vegetable juices: Effect of drying conditions on the product yield and physical properties. **Trends in Food Science & Technology**, 63(1), 91–102.
- Wang, S.; Langrish, T. (2009). A review of process simulations and the use of additives in spray drying. **Food Research International**, 42(1), 13-25.

ANEXO I

FICHA DE ANÁLISE SENSORIAL

Nome: _____ Idade: _____ Data: _____			
Você está recebendo uma amostra de suco misto a base de camu-camu e jambolão. Por favor, prove a amostra e na escala abaixo indique o quando você gostou ou desgostou da mesma, quanto aos atributos de cor, sabor, aroma e impressão global.			
AMOSTRA: _____			
COR:	SABOR:	AROMA:	IMPRESSÃO GLOBAL:
<input type="checkbox"/> Gostei muitíssimo	<input type="checkbox"/> Gostei muitíssimo	<input type="checkbox"/> Gostei muitíssimo	<input type="checkbox"/> Gostei muitíssimo
<input type="checkbox"/> Gostei muito	<input type="checkbox"/> Gostei muito	<input type="checkbox"/> Gostei muito	<input type="checkbox"/> Gostei muito
<input type="checkbox"/> Gostei moderadamente	<input type="checkbox"/> Gostei moderadamente	<input type="checkbox"/> Gostei moderadamente	<input type="checkbox"/> Gostei moderadamente
<input type="checkbox"/> Gostei ligeiramente	<input type="checkbox"/> Gostei ligeiramente	<input type="checkbox"/> Gostei ligeiramente	<input type="checkbox"/> Gostei ligeiramente
<input type="checkbox"/> Nem gostei/nem desgostei	<input type="checkbox"/> Nem gostei/nem desgostei	<input type="checkbox"/> Nem gostei/nem desgostei	<input type="checkbox"/> Nem gostei/nem desgostei
<input type="checkbox"/> Desgostei ligeiramente	<input type="checkbox"/> Desgostei ligeiramente	<input type="checkbox"/> Desgostei ligeiramente	<input type="checkbox"/> Desgostei ligeiramente
<input type="checkbox"/> Desgostei moderadamente	<input type="checkbox"/> Desgostei moderadamente	<input type="checkbox"/> Desgostei moderadamente	<input type="checkbox"/> Desgostei moderadamente
<input type="checkbox"/> Desgostei muito	<input type="checkbox"/> Desgostei muito	<input type="checkbox"/> Desgostei muito	<input type="checkbox"/> Desgostei muito
<input type="checkbox"/> Desgostei muitíssimo	<input type="checkbox"/> Desgostei muitíssimo	<input type="checkbox"/> Desgostei muitíssimo	<input type="checkbox"/> Desgostei muitíssimo
Comentários:			

ANEXO II

PARECER DO COMITÊ DE ÉTICA

UFPA - INSTITUTO DE
CIÊNCIAS DA SAÚDE DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: MICROENCAPSULAÇÃO DO SUCO MISTO DE CAMU-CAMU (Myrciaria d'Ubia) E JAMBOLÃO (Syzygium cumini Lamarck) POR SPRAY DRYING

Pesquisador: Ana Paula Rocha Campos

Área Temática:

Versão: 1

CAAE: 82497817.0.0000.0018

Instituição Proponente: Universidade Federal do Pará

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 2.502.213

Apresentação do Projeto:

O aumento no consumo de frutas tem sido associado aos inúmeros benefícios apresentados à saúde humana devido aos diversos compostos nutricionais presentes em suas composições. Dentre as diversas formas de comercialização de frutas, uma das principais é na forma de suco, que pode ser integral, concentrado ou desidratado. O presente trabalho tem como objetivo determinar a melhor formulação do suco misto a base de camu-camu e jambolão, bem como a manutenção dos compostos bioativos presentes nos frutos. Os frutos escolhidos são ricos em compostos bioativos, com elevados teores de ácido ascórbico, antocianinas e compostos fenólicos.

Objetivo da Pesquisa:

Objetivo Primário: Determinar a melhor formulação do suco misto a base de camu-camu e jambolão, em relação à preservação das propriedades funcionais e com características sensoriais aceitáveis. **Objetivo Secundário:** - Avaliar as propriedades físico-químicas e funcionais da polpa + casca do camu-camu e do jambolão;- Estabelecer uma formulação para o suco misto de camu-camu e jambolão, empregando um planejamento experimental e a análise sensorial.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Riscos: O produto não apresenta risco ao provador. Os riscos para os participantes pode está na quebra de sigilo das informações prestadas e constrangimentos.

Endereço: Rua Augusto Corrêa nº 01-SI do ICS 13 - 2º and.
Bairro: Campus Universitário do Guamá **CEP:** 66.075-110
UF: PA **Município:** BELEM
Telefone: (91)3201-7735 **Fax:** (91)3201-8028 **E-mail:** cepccs@ufpa.br

Continuação do Parecer: 2.502.213

Benefícios: O produto apresenta benefícios a saúde dos provadores, pois é um produto rico em compostos bioativos, como ácido ascórbico e antocianinas.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

O protocolo apresentado dispõe de metodologia e critérios definidos conforme resolução 466/12 do CNS/MS.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Os termos apresentados contemplam os sugeridos pelo sistema CEP/CONEP.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Diante do exposto somos pela aprovação do protocolo. Este é nosso parecer, SMJ.

Considerações Finais a critério do CEP:

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1033047.pdf	25/01/2018 08:52:29		Aceito
Orçamento	Declaracao_de_isencao_de_onus_financeiro.pdf	08/01/2018 12:37:19	Ana Paula Rocha Campos	Aceito
Folha de Rosto	folhaDeRosto.pdf	21/12/2017 18:38:41	Ana Paula Rocha Campos	Aceito
Outros	Carta_de_Encaminhamento.pdf	21/12/2017 18:38:09	Ana Paula Rocha Campos	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	Termo_de_consentimento_da_instituicao.pdf	21/12/2017 18:35:26	Ana Paula Rocha Campos	Aceito
Declaração de Pesquisadores	Termo_de_aceite_de_orientacao.pdf	21/12/2017 18:33:25	Ana Paula Rocha Campos	Aceito
Declaração de Pesquisadores	Termo_de_compromisso_do_pesquisador.pdf	21/12/2017 18:32:52	Ana Paula Rocha Campos	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto.pdf	21/12/2017 18:00:16	Ana Paula Rocha Campos	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE.pdf	21/12/2017 17:58:24	Ana Paula Rocha Campos	Aceito

Endereço: Rua Augusto Corrêa nº 01-SI do ICS 13 - 2º and.
Bairro: Campus Universitário do Guamá **CEP:** 66.075-110
UF: PA **Município:** BELEM
Telefone: (91)3201-7735 **Fax:** (91)3201-8028 **E-mail:** cepccs@ufpa.br

UFPA - INSTITUTO DE
CIÊNCIAS DA SAÚDE DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO



Continuação do Parecer: 2.502.213

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

BELEM, 20 de Fevereiro de 2018

Assinado por:
Wallace Raimundo Araujo dos Santos
(Coordenador)

Endereço: Rua Augusto Corrêa nº 01-SI do ICS 13 - 2º and.
Bairro: Campus Universitário do Guamá **CEP:** 66.075-110
UF: PA **Município:** BELEM
Telefone: (91)3201-7735 **Fax:** (91)3201-8028 **E-mail:** cepccs@ufpa.br

Página 03 de 03

ANEXO III

PRIMEIRA PÁGINA DO PRIMEIRO ARTIGO PUBLICADO

Food Science and Technology

ISSN 0101-2061 (Print)
ISSN 1678-457X (Online)

DOI: <https://doi.org/10.1590/fst.37519>



Camu-camu (*Myrciaria dubia*) and jambolan (*Syzygium cumini*) juice blend: sensory analysis and bioactive compounds stability

Ana Paula Rocha CAMPOS¹, Renan Campos CHISTÉ^{1,2}, Rosinelson da Silva PENA^{1,2*}

Abstract

In this study, the stability of the bioactive compounds from camu-camu and jambolan mixture was evaluated, and a juice blend formulation based on its sensorial properties was established. The stability of three juice formulations with camu-camu/jambolan/water (w:w:w), 37.5:12.5:50 (JB); 37.5:0.62.5 (CJ) and 0:12.5:87.5 (JJ) was evaluated. Additionally, the bioactive compounds and sensory acceptance were performed in six juice formulations with camu-camu/jambolan: 12.5:37.5 (F1); 17.5:32.5 (F2); 22.5:27.5 (F3); 27.5:22.5 (F4); 32.5:17.5 (F5) and 37.5:12.5 (F6). The stability of the anthocyanins in the JB formulation was ensured for 5 days of storage at 25 °C. First-order reaction kinetics described the degradation of anthocyanins during 10 days of storage. The internal preference map analysis evidenced two groups: one formed by the formulations F1 and F2 and the other by F3, F4, F5 and F6. Sensory analysis showed that the formulation with the lowest concentration of camu-camu (F1) presented the highest sensory acceptance rate (80.4%), high bioactive compounds contents: 23.04 mg anthocyanins.100 mL⁻¹, 353.32 mg ascorbic acid.100 mL⁻¹, 892.06 mg phenolic compounds.100 mL⁻¹, and high antioxidant capacity (3667.78 mM ET.100 mL⁻¹). The results shows that juice blend with camu-camu/jambolan 12.5:37.5 (F1) have a good acceptance and high bioactive compounds content.

Keywords: ascorbic acid; anthocyanin; phenolic compounds; preference map.

Practical Application: Develop a camu-camu and jambolan juice blend as a promising source of bioactive compounds, with high antioxidant capacity and sensory acceptance.

1 Introduction

Fruit juices are consumed and appreciated all over the world, not only by their flavor but also due to the presence of macro and micronutrients, such as carbohydrates, carotenoids, vitamins, minerals, among other compounds of biological importance. Fruit juice blends have been inserted in the market as an alternative for the development of new flavors and for enabling the enrichment of the nutritional and functional value of the product; thus it enables the elaboration of beverages with beneficial health effects (Bamidele & Fasogbon, 2017).

The elaboration of fruit juice blends allow the creation of new products, with characteristics that can be defined according to the profile of the consumer (Bhardwaj & Pandey, 2011). In this sense, products with high levels of certain nutrients can be obtained, with specific colors, or different flavors and aromas. In the development of these new products, sensory analysis can be seen as an important tool (Palczak et al., 2019). According to Yu et al. (2018), the use of human senses is an important tool to determine the sensorial quality, to verify the best formulation, to evaluate the perception and the human reaction to food attributes, in order to evaluate the acceptability of the product, by the consumer.

The Amazon is the largest biodiversity reserve in the world, which includes a large number of native and exotic sub-exploited species with great nutritional potential (Oliveira et al., 2012). The search for healthy foods increased the interest for the

Amazonian fruits properties, generally rich in phenolic compounds, carotenoids, ascorbic acid and other bioactive compounds. The study of these fruits may lead to the discovery of new sources of products with high nutritional quality and contribute to the sustainable development within this region (Mariutti et al., 2014).

Camu-camu (*Myrciaria dubbia*) is one of the native fruit of the Amazon region. It is cultivated on the banks of rivers, lakes and streams and is recognized as the fruit with one of the highest levels of ascorbic acid, which can reach 6000 mg.100 g⁻¹ of the fruit (Neves et al., 2015). Due to the high ascorbic acid content and the presence of other compounds of interest, camu-camu has been presented as a promising source of bioactive compounds and can be used as a food with functional appeal (Chirinos et al., 2010).

Jambolan (*Syzygium cumini* Lamarck), in turn, is a fruit that has a single seed, wrapped by a fleshy and edible pulp, with sweet flavor and purple color. This fruit is considered an important source of anthocyanins, whose content can vary from 211 to 230 mg.100 g⁻¹ of fruit (Faria et al., 2011). Among the anthocyanins most commonly found in foods, delphinidine, petunidine and malvidin were found in larger quantities in jambolan, while cyanidin and peonidine were found in smaller amounts (Tavares et al., 2016).

Received 12 Dec., 2019

Accepted 18 Jan., 2020

¹Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará - UFPA, Belém, PA, Brasil

²Faculdade de Engenharia de Alimentos, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará - UFPA, Belém, PA, Brasil

*Corresponding author: rspena@ufpa.br

ANEXO IV

PRIMEIRA PÁGINA DO SEGUNDO ARTIGO PUBLICADO



Received: 8 November 2021 | Revised: 28 January 2022 | Accepted: 24 February 2022

DOI: 10.1111/jfpp.16509

ORIGINAL ARTICLE



WILEY

Stability of ascorbic acid and anthocyanins of jambolan (*Syzygium cumini*) and camu-camu (*Myrciaria dubia*) juice blend during pasteurization and storage at room temperature

Ana Paula Rocha Campos¹ | Renan Campos Chisté^{1,2} | Rosinelson da Silva Pena^{1,2}

¹Postgraduate Program in Food Science and Technology (PPGCTA), Institute of Technology (ITEC), Federal University of Pará (UFPA), Belém, Brazil

²Faculty of Food Engineering (FEA), Institute of Technology (ITEC), Federal University of Pará (UFPA), Belém, Brazil

Correspondence

Rosinelson da Silva Pena, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará (UFPA), Rua Augusto Corrêa, 01 – Guamá, Belém 66075-110, Pará, Brazil.
Email: rspena@ufpa.br

Funding information

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, Grant/Award Number: 88587622234; Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, Grant/Award Number: 422739/2016-2

Abstract

The temperature and time for the pasteurization of jambolan/camu-camu juice blend (37.5:12.5%, w/w) were determined based on their enzymatic activities (peroxidase, polyphenoloxidase, and pectin methylesterase), bioactive compounds contents (anthocyanins, total phenolic compounds, and ascorbic acid), and microbial counts (thermotolerant coliforms, aerobic mesophilic bacteria, and fungi). Moreover, the stability of the pasteurized blend was monitored for 35 days at room temperature. Response surface methodology and desirability function defined 75°C and 90 s as the best pasteurization conditions to provide a juice blend with safe microbial counts, inactivation of all deteriorative enzymes, 24.18 mg anthocyanins.100 ml⁻¹, 325.83 mg total phenolic compounds.100 ml⁻¹ and 1862.4 mg ascorbic acid.100 ml⁻¹. Furthermore, the degradation kinetics of anthocyanins and ascorbic acid showed half-life times of 18 and 126 days, respectively, during storage at room temperature, evidencing the effectiveness of the applied thermal treatment on the retention of bioactive compounds of the studied juice blend.

Novelty impact statement: Jambolan and camu-camu fruits are high anthocyanins and vitamin C sources, respectively, but no industrialized food products, such as blend juices, are available on the market. Here, for the first time, the optimal condition for the pasteurization of jambolan and camu-camu juice blend was successfully defined to stimulate food industries to exploit the promising health potential of both fruits.

1 | INTRODUCTION

The biodiversity of the Brazilian Amazonia is characterized by a wide variety of plant species, including a natural abundance of underexploited native fruits. Many of these fruits are considered potential sources of bioactive compounds with health benefits, such as phenolic compounds and ascorbic acid, which are normally present in human nutrition (Wurlitzer et al., 2019). Among the fruits of the Amazonia, two species have been called attention: jambolan (*Syzygium cumini*), due to its intense purple color associated with high contents of anthocyanin (211 to 230 mg.100 g⁻¹ of fresh fruit) (Tavares et al., 2016); and camu-camu (*Myrciaria dubia*), which is

currently considered the richest natural source of ascorbic acid in nature (1000 to 6000 mg.100 g⁻¹ of fresh fruit) (Arkter et al., 2011).

A variety of juice fruits are commonly available on the market since they are very attractive food products to usual customers, mainly due to their ease and convenience characteristics of consumption. During the production of fruit juices by food industries, the pasteurization process is of paramount importance to ensure their high stability and shelf-life. An appropriate combination of temperature and time allows the elimination of thermosensitive microorganisms and the inactivation of deteriorative enzymes, which promote undesirable changes in food products. On the contrary, pasteurization might affect color, flavor, texture, and the nutritional