



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS

MORGANA FROTA CISNE

OBTENÇÃO DA POLPA DE AÇAÍ (*Euterpe oleracea* Mart.) EM PÓ UTILIZANDO O
PROCESSO DE SECAGEM EM LEITO FLUIDIZADO

FORTALEZA

2021

MORGANA FROTA CISNE

OBTENÇÃO DA POLPA DE AÇAÍ (*Euterpe oleracea* Mart.) EM PÓ UTILIZANDO O
PROCESSO DE SECAGEM EM LEITO FLUIDIZADO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Área de concentração: Produtos de Origem Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. José Maria Correia da Costa.

Coorientadora: Prof^a. Dr^a Andréa Cardoso de Aquino.

FORTALEZA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

C527o Cisne, Morgana Frota.
Obtenção da polpa de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) em pó utilizando o processo de secagem em leite fluidizado / Morgana Frota Cisne. – 2021.
141 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Fortaleza, 2021.

Orientação: Prof. Dr. José Maria Correia da Costa.

Coorientação: Profa. Dra. Andréa Cardoso de Aquino.

1. Açaí. 2. Maltodextrina. 3. Leite fluidizado. 4. Escoabilidade. 5. Secagem. I. Título.

CDD 664

MORGANA FROTA CISNE

OBTENÇÃO DA POLPA DE AÇAÍ (*Euterpe oleracea* Mart.) EM PÓ UTILIZANDO O
PROCESSO DE SECAGEM EM LEITO FLUIDIZADO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Área de concentração: Produtos de Origem Vegetal.

Aprovada em: 30 / 04 / 2021

BANCA EXAMINADORA

Prof^o. Dr José Maria Correia da Costa (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^a Dr^a. Andréa Cardoso de Aquino (Coorientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^a. Dr^a Érica Milô de Freitas Felipe Rocha
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

Prof. Dr Luís Gomes de Moura Neto
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE)

Prof^a Dr^a. Janaína de Paula da Costa

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me proporcionar a realização de mais um sonho e por me ajudar a superar todas as dificuldades que surgiram durante essa caminhada.

A Virgem Maria, minha mãe santíssima por ser minha intercessora diante das dificuldades vencidas e pelo seu imenso amor para comigo.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

À Universidade Federal do Ceará e ao Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela oportunidade de realização deste trabalho e por ter contribuído para a minha formação profissional.

A coordenação e secretaria do curso pelo auxílio e informações prestadas.

Ao Professor Dr. José Maria Correia da Costa pela orientação, pela amizade, pelos conselhos, pela confiança em mim depositada ao realizar o trabalho no Laboratório de Controle de Qualidade de Alimentos e Secagem (LACONSA) e pelo exemplo de profissional, o meu muito obrigada.

À professora Dr^a Andréa Cardoso de Aquino pela Coorientação, pela confiança, ajuda e amizade.

Aos professores Dr^a Érica Milô de Freitas Felipe Rocha, Dr Luís Gomes de Moura Neto e Dr^a Janaína de Paula da Costa que gentilmente aceitaram participar da banca examinadora e contribuíram para o enriquecimento desse trabalho.

Ao Prof. Dr. Marcos Amorim pela ajuda prestada nos momentos em que o leito de jorro precisou de manutenção e pela contribuição no projeto.

À todos os colegas do Laboratório de Controle de Qualidade de Alimentos e Secagem (LACONSA): Andreza, Ana Paula, Carlota, Diacomo, Janaína, Jovan, Karla, Karol, Luciana e Thallyne pela parceria, momentos de convivência, auxílios prestados e amizade.

Em especial agradeço à Ana Paula Ferreira pela amizade, pela imensa ajuda, por dividir conhecimentos, por estender a mão sempre que solicitei e pelos momentos vividos de alegrias e de sufocos, muito obrigada querida.

Ao Jovan Marques, pela imensa ajuda, por ser sempre solícito em ajudar a todos, pelos conhecimentos compartilhados, pela amizade e conselhos durante a convivência no laboratório.

A minha querida amiga de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Daiane dos Santos , pela amizade, convivência e conselhos.

A Adriana Nogueira colega de mestrado pela amizade e pela disposição em me ajudar.

Ao meu esposo Wladimir Galindo, pelo apoio incondicional, cumplicidade, paciência e carinho de sempre.

A minha família, principalmente a minha mãe Vera, irmã Aparecida (Cida), irmão Roberto (Beto Jr.), pelo incentivo, apoio em tudo que faço.

Aos meus avós, minha avó Maria de Lourdes (*in memorian*) e meu avô Éneas Frota (*in memorian*), por terem me educado com muito amor, carinho, paciência e me ensinarem o caminho da fé, da honestidade e da integridade de coração.

E a todos que contribuíram diretamente e indiretamente, pois se cheguei até aqui foi com ajuda de todos, muito obrigada.

De acordo com Calaprice e Lipscombe (2005), jamais considere seus estudos como uma obrigação, mas como uma oportunidade invejável, para aprender a conhecer a influência libertadora da beleza do intelecto, para seu próprio prazer pessoal e para proveito da comunidade à qual seu futuro trabalho pertencer.

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo a obtenção da polpa de açaí em pó utilizando o processo de leito fluidizado e avaliação da qualidade do pó obtido. Inicialmente, as polpas congeladas de açaí do tipo A foram adquiridas em comércio local de Fortaleza (CE) e transportadas ao Laboratório de Controle de Qualidade de Alimentos e Secagem. As polpas foram caracterizadas e, posteriormente, submetidas a secagem em leito fluidizado a 85°C, com diferentes concentrações de maltodextrina (controle 0, 10, 20 e 30 %). Para avaliar a eficiência da secagem dessas amostras, foi realizado um planejamento experimental tipo DIC (Delineamento Inteiramente Casualizado), totalizando 12 secagens, tendo como variáveis dependentes rendimento, umidade, atividade de água, cor (coordenada L*, a*, b*), solubilidade, higroscopicidade e grau de *Caking*. O pó que obteve melhor aspecto no planejamento experimental foi o que recebeu 20 % de maltodextrina. Esse pó foi submetido a caracterização física (análise instrumental de cor), físico-química (umidade, atividade de água, pH, sólidos solúveis totais, acidez total titulável, ácido ascórbico, teor de carotenoides, antocianinas, açúcares redutores e totais, solubilidade, higroscopicidade e grau de *caking*) estudo da estabilidade por 90 dias, no qual foi avaliado (umidade, atividade de água, pH, sólidos solúveis totais, teor de ácido ascórbico, análise instrumental da cor, acidez total titulável, solubilidade, higroscopicidade e grau de *caking*), obtenção das isotermas de adsorção, propriedades de escoamento (função de fluxo, densidade aparente e de compactação, Ângulo de Fricção interno com a parede e Ângulo Efetivo de Atrito Interno) e microscopia eletrônica de varredura. A secagem da polpa de açaí em leito fluidizado reduziu o conteúdo de umidade, atividade de água, acidez total, ácido ascórbico, cor (L*, a*, b*), carotenoides totais, antocianinas e aumentou, significativamente, o pH, sólidos solúveis totais, açúcares redutores e totais, na amostra com 20 % de maltodextrina. No estudo da estabilidade, o material foi acondicionado em embalagem laminada e plástica, sem vácuo, a fim de verificar qual delas iria conferir maior proteção ao material, sendo observado que a embalagem laminada foi mais eficaz na manutenção das características do material quanto aos parâmetros de umidade, atividade de água, sólidos solúveis totais, cor (L*, a*, b*), teor de ácido ascórbico. A embalagem plástica ofereceu maior proteção ao material para, acidez total titulável, pH, solubilidade, higroscopicidade e grau de *caking*. No estudo das isotermas de adsorção observou-se que, a partir da adequação dos modelos matemáticos, foi possível observar que o modelo de BET foi o que melhor se ajustou, com curvas do tipo III. A análise das propriedades de escoamento da polpa de açaí em pó com 20 % de maltodextrina pode

classificar através do índice de fluxo como coesos, apresentou menor resistência de escoamento comparada com as demais amostras, e com a análise de microscopia eletrônica de varredura, evidenciou-se que a mesma apresentou tamanhos menores, mais lisas, mais dispersas e mais esféricas. Assim, a partir do estudo realizado a secagem de polpa de açaí em leite fluidizado com a amostra de melhor aspecto, resultou na obtenção de um pó com características físicas e físico-químicas satisfatórias.

Palavras-chave: maltodextrina; estabilidade; higroscopicidade; escoabilidade.

ABSTRACT

The present study aims to obtain açai powdered pulp by using fluidized bed process, and evaluation of the quality of the powder obtained. Initially, frozen type A açai pulp was purchased at a local store in Fortaleza (CE), and transported to the Food Quality Control and Drying Laboratory. The pulp was characterized and then dried in a fluidized bed at 85 ° C, with different maltodextrin concentrations (control, 10, 20 and 30%). To evaluate the drying efficiency of these samples, the experimental design used was DIC type (Fully Randomized Design), 12 dryings in total were carried out toyield, humidity, water activity, color (coordinate L *, a *, b *), solubility, hygroscopicity and degree of *Caking* analysis. The powder that obtained the best aspect in the experimental planning was the one that received 20% of maltodextrin. This powder was submitted to physical characterization (instrumental colour analysis), physicochemical (humidity, water activity, pH, total soluble solids, total titratable acidity, ascorbic acid, carotenoids content, anthocyanins, reducing and total sugars, solubility, hygroscopicity and degree of caking) and stability study over 90 days, in which it was evaluated (humidity, water activity, pH, total soluble solids, ascorbic acid content, instrumental colour analysis, total titratable acidity, solubility, hygroscopicity and degree of caking), adsorption isotherms, flow properties (flow function, bulk density and compaction, internal friction angle with the wall and effective internal friction angle) and scanning electron microscopy were evaluated. Drying açai's pulp in fluidized bed was able to reduce the moisture content, water activity, total acidity, ascorbic acid, color (L *, a *, b *), total carotenoids and anthocyanins; and significantly increase the pH, total soluble solids, reducing and total sugars in the sample with 20% maltodextrin. The stability study, the material was packaged in laminated and plastic packaging, without vacuum, in order to verify which one would confer greater protection to the material. The laminated packaging showed the best protection barrier when it comes to humidity parameters, water activity, total soluble solids, color (L *, a *, b *), ascorbic acid content. The plastic packaging offered the best barrier for total titratable acidity, pH, solubility, hygroscopicity and degree of *Caking*. In the study of the adsorption isotherms it was observed that, from suiting the mathematical model, it was possible to observe that the BET model was the one that best fits the isotherms of the powdered açai pulp, with type III curves. The analysis of the flow properties of açai pulp poder with 20 % maltodextrin, can classify through the flow index as cohesive, showed lower flow resistance compared to the other samples, and with the scanning electron microscopy analysis, it was evidenced that it presents smaller sizes, smoother, more dispersed and more

spherical. Thus, from the study performed the drying of açaí pulp in fluidized bed with the sample with the best aspect, resulted in a obtaining powder with satisfactory physical and physicochemical characteristics.

Keywords: maltodextrin; stability; hygroscopicity; flowability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	- Quantidade de açaí produzido nos principais estados produtores do Brasil nos anos de 2015, 2016 e 2017.....	25
Figura 2	- Ilustração do secador leito de jorro utilizado neste trabalho.....	29
Figura 3	- Regiões do leito fluidizado.....	30
Figura 4	- Secador de leito fluidizado utilizado na secagem para obtenção da polpa de açaí em pó	45
Figura 5	- Célula de Higroscopicidade utilizada na análise.....	48
Figura 6	- Células de vidro com soluções salinas, utilizadas na análise.....	51
Figura 7	- Equipamento Powder Flow Tester (PFT).....	53
Figura 8	- Isotermas de adsorção da polpa de açaí em pó nas temperaturas de 25, 30, 35 e 40 °C (linhas) com 10 % de teor de maltodextrina, ajustado pelo modelo de BET	64
Figura 9	- Isotermas de adsorção da polpa de açaí em pó nas temperaturas de 25, 30, 35 e 40 °C (linhas) com 20 % de teor de maltodextrina, ajustado pelo modelo de BET	65
Figura 10	- Isotermas de adsorção da polpa de açaí em pó nas temperaturas de 25, 30, 35 e 40 °C (linhas) com 30 % de teor de maltodextrina, ajustado pelo modelo de BET	65
Figura 11	- Inversão da isotermas do pó de açaí com 10 % de maltodextrina para as temperaturas 25, 30, 35 e 40 °C, segundo o modelo de BET.....	67
Figura 12	- Inversão da isotermas do pó de açaí com 20 % de maltodextrina para as temperaturas 25, 30, 35 e 40 °C, segundo o modelo de BET	68
Figura 13	- Inversão da isotermas do pó de açaí com 30 % de maltodextrina para as temperaturas 25, 30, 35 e 40 °C, segundo o modelo de BET	68
Figura 14	- Tensão não confinada de deslizamento (σ_c) e tensão principal de consolidação (σ_1) para polpa de açaí em pó, nas concentrações de 10, 20 e 30 % de maltodextrina.....	72
Figura 15	- Densidade aparente das amostras de polpa de açaí em pó com 10, 20 e 30 % de maltodextrina em função da tensão principal de consolidação.....	75
Figura 16	- Micrografias das microcápsulas da polpa de açaí em pó: (a, b, c) sem	

	maltodextrina, com aumento de 800, 1000 e 2000x, respectivamente; e (d, e, f) com adição de 20% de maltodextrina, com aumento de 800, 1000 e 2000x, respectivamente.....	77
Figura 17	- Micrografias das microcápsulas da polpa de açaí em pó: (a) 10 % de maltodextrina; (b) 20 % de maltodextrina e (c) 30 % de maltodextrina, ambas com aumento de 1000x; e (d) 10% de maltodextrina; (e)20% de maltodextrina e (f) 30 % de maltodextrina, ambas com aumento de 1000x; e (d) 10% de maltodextrina; (e)20% de maltodextrina e (f) 30 % de maltodextrina, ambas com aumento de 2000x	79
Figura 18	- Micrografias da maltodextrina 20 DE com aumento: a) 800x; b) 1000x e c) 2000x	80
Figura 19	- Polpa de açaí integral e em pó utilizada na caracterização.....	81
Figura 20	- Comportamento da umidade da polpa de açaí em pó durante o armazenamento de 90 dias.	94
Figura 21	- Comportamento da Atividade de água da polpa de açaí em pó durante o armazenamento de 90 dias	96
Figura 22	- Comportamento do pH do pó de açaí durante o armazenamento de 90 dias	98
Figura 23	- Comportamento dos sólidos solúveis totais (°Brix) do pó de açaí durante o armazenamento de 90 dias	100
Figura 24	- Comportamento do teor de ácido ascórbico do pó de açaí durante o armazenamento de 90 dias	102
Figura 25	- Comportamento do parâmetro colorimétrico L* do pó de açaí durante o armazenamento de 90 dias	105
Figura 26	- Comportamento do parâmetro de cor a* do pó de açaí durante o armazenamento de 90 dias	107
Figura 27	- Comportamento do parâmetro de cor b* do pó de açaí durante o armazenamento de 90 dias	110
Figura 28	- Comportamento do parâmetro acidez total titulável do pó de açaí durante o armazenamento de 90 dias	112
Figura 29	- Comportamento do parâmetro solubilidade do pó de açaí durante o	

	armazenamento de 90 dias	114
Figura 30	- Comportamento do parâmetro higroscopicidade do pó de açaí durante o armazenamento de 90 dias	116
Figura 31	- Comportamento do parâmetro grau de caking do pó de açaí durante o armazenamento de 90 dias	118

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Valores de limites mínimos e máximos de características presentes na polpa de açaí, permitido pela legislação	23
Tabela 2	- Parâmetros de secagem utilizados para a secagem da polpa de açaí em leito fluidizado.....	46
Tabela 3	- Padrões da higroscopicidade	48
Tabela 4	- Padrões de grau de caking	49
Tabela 5	- Soluções salinas para elaboração da isotermas de adsorção	51
Tabela 6	- Modelos matemáticos utilizados para o ajuste das isotermas de adsorção da polpa de açaí em pó obtida por secagem em leito fluidizado	52
Tabela 7	- Classificação do tipo de escoamento de produtos sólidos armazenáveis	54
Tabela 8	- Índice de Carr e Razão de Hausener.....	54
Tabela 9	- Valores médios e desvio padrão do rendimento, umidade, atividade de água, cor (coordenada L*, a*, b*), solubilidade, higroscopicidade e grau de caking da polpa de açaí em pó, com diferentes concentrações de maltodextrina.....	56
Tabela 10	- Parâmetros dos modelos matemáticos ajustados com seus respectivos coeficientes de correlação (R ²) e erros médios relativos (E%) das isotermas de adsorção da polpa de açaí com concentração de 10, 20, e 30 % de maltodextrina, produzida no leito de jorro	61
Tabela 11	- Tensões da polpa de açaí em pó com 10, 20 e 30 % de maltodextrina	70
Tabela 12	- Valores médios dos índices de fluxo de polpa de açaí em pó analisados com diferentes concentrações de maltodextrina	710
Tabela 13	- Densidade aparente e de compactação da polpa de açaí em pó obtida pela secagem em leito fluidizado, adicionada de 10; 20 e 30 % de maltodextrina	73
Tabela 14	- Índice de compressibilidade e fator de Hausner das amostras de polpa de açaí em pó com 10, 20 e 30% de maltodextrina	74
Tabela 15	- Ângulo de atrito com a parede da polpa de açaí em pó obtida em leito	

	fluidizado, adicionada de 10, 20 e 30 % de maltodextrina.....	76
Tabela 16	- Valores médios da caracterização física e físico-química da polpa de açaí integral e da polpa de açaí em pó	82
Tabela 17	- Estabilidade do pó da polpa de açaí obtido por secagem em leite fluidizado, armazenado em diferentes embalagens para o parâmetro de umidade (%)	93
Tabela 18	- Estabilidade da polpa de açaí em pó obtido por secagem em leite fluidizado, armazenado em diferentes embalagens para o parâmetro de atividade de água	95
Tabela 19	- Estabilidade da polpa de açaí em pó obtido por secagem em leite fluidizado, armazenado em diferentes embalagens para o parâmetro de pH	97
Tabela 20	- Estabilidade da polpa de açaí em pó obtido por secagem em leite fluidizado, armazenado em diferentes embalagens para o parâmetro de sólidos solúveis totais	99
Tabela 21	- Estabilidade da polpa de açaí em pó obtido por secagem em leite fluidizado, armazenado em diferentes embalagens para o parâmetro de teor de ácido ascórbico	101
Tabela 22	- Estabilidade da polpa de açaí em pó obtido por secagem em leite fluidizado, armazenado em diferentes embalagens para o parâmetro colorimétrico L*	103
Tabela 23	- Estabilidade da polpa de açaí em pó obtido por secagem em leite fluidizado, armazenado em diferentes embalagens para o parâmetro de cor a*	105
Tabela 24	- Estabilidade da polpa de açaí em pó obtido por secagem em leite fluidizado, armazenado em diferentes embalagens para o parâmetro de cor b*.....	108
Tabela 25	- Estabilidade da polpa de açaí em pó obtido por secagem em leite fluidizado, armazenado em diferentes embalagens para o parâmetro acidez	110
Tabela 26	- Estabilidade da polpa de açaí em pó obtido por secagem em leite fluidizado, armazenado em diferentes embalagens para o parâmetro solubilidade	112

Tabela 27	- Estabilidade da polpa de açaí em pó obtido por secagem em leite fluidizado, armazenado em diferentes embalagens para o parâmetro higroscopicidade	114
Tabela 28	- Estabilidade da polpa de açaí em pó obtido por secagem em leite fluidizado, armazenado em diferentes embalagens para o parâmetro grau de caking	117

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1	Açaí	21
2.1.1	<i>Produção e exportação de frutos e Açaí no Brasil</i>	24
2.2	Indústria de polpa de frutas	25
2.3	Conservação de Alimentos	26
2.3.1	<i>Leito fluidizado</i>	28
2.3.1.1	<i>Adjuvantes de secagem</i>	31
2.4	Alimentos desidratados na forma de pós	35
2.4.1	<i>Isotermas de sorção</i>	37
2.4.1.1	<i>Modelo de BET</i>	39
2.4.1.2	<i>Modelo de GAB</i>	39
2.4.1.3	<i>Modelo de Henderson</i>	40
2.4.1.4	<i>Modelo de Oswin</i>	40
3	MATERIAIS E MÉTODOS	41
3.1	Local da pesquisa	41
3.2	Obtenção e armazenamento da matéria-prima	41
3.3	Caracterização da matéria prima	41
3.3.1	<i>Umidade</i>	41
3.3.2	<i>Atividade de água</i>	41
3.3.3	<i>pH (potencial hidrogeniônico)</i>	42
3.3.4	<i>Sólidos solúveis totais</i>	42
3.3.5	<i>Acidez total titulável</i>	42
3.3.6	<i>Ácido ascórbico (AA)</i>	43
3.3.7	<i>Análise instrumental de cor</i>	43
3.3.8	<i>Teor de carotenoides</i>	43
3.3.9	<i>Antocianinas</i>	44
3.3.10	<i>Açúcares redutores e açúcares totais</i>	44
3.4	Preparo e secagem das amostras	44
3.4.1	<i>Secagem das amostras</i>	45
3.5	Planejamento experimental e análise estatística	46

3.6	Análises realizadas na polpa de açaí em pó contendo a melhor concentração de maltodextrina	46
3.6.1	<i>Cálculo de rendimento da polpa em pó</i>	47
3.6.2	<i>Higroscopicidade</i>	47
3.6.3	<i>Grau de caking</i>	48
3.6.4	<i>Solubilidade</i>	49
3.7	Avaliação da estabilidade dos pós da polpa de açaí	50
3.8	Isotermas de adsorção dos pós da polpa de açaí	50
3.9	Propriedades de escoamento da polpa de açaí em pó	52
3.10	Análise morfológica da polpa de açaí em pó	54
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
4.1	Planejamento Experimental da Secagem da Polpa de Açaí	56
4.1.1	<i>Rendimento, umidade, atividade de água, cor (coordenada L^*, a^*, b^*), solubilidade, higroscopicidade e grau de caking</i>	56
4.1.2	<i>Isotermas de adsorção</i>	59
4.1.3	<i>Análise de escoamento</i>	69
4.1.4	<i>Análise morfológica.....</i>	77
4.2	Caracterização da polpa de açaí integral e em pó	81
4.2.1	<i>Umidade</i>	82
4.2.2	<i>Atividade de água</i>	83
4.2.3	<i>pH</i>	84
4.2.4	<i>Sólidos solúveis totais</i>	85
4.2.5	<i>Acidez total titulável</i>	85
4.2.6	<i>Vitamina C</i>	86
4.2.7	<i>Cor (L^* a^* b^*)</i>	86
4.2.8 s	<i>Carotenóides</i>	87
4.2.9	<i>Antocianinas</i>	88
4.2.10	<i>Açúcares totais e redutores</i>	89
4.2.11	<i>Solubilidade</i>	89
4.2.12	<i>Higroscopicidade</i>	90
4.2.13	<i>Grau de caking</i>	91
4.3	Estabilidade físico-química da polpa de açaí em pó	92
4.3.1	<i>Umidade</i>	92

4.3.2	<i>Atividade de água</i>	94
4.3.3	<i>pH</i>	96
4.3.4	<i>Sólidos solúveis totais</i>	98
4.3.5	<i>Teor de ácido ascórbico</i>	100
4.3.6	<i>Análise instrumental da cor</i>	103
4.3.6.1	<i>Parâmetro colorimétrico L*</i>	103
4.3.6.2	<i>Parâmetro de cor a* (intensidade do vermelho)</i>	105
4.3.6.3	<i>Parâmetro de cor b* (intensidade do amarelo)</i>	107
4.3.7	<i>Acidez Total Titulável</i>	110
4.3.8	<i>Solubilidade</i>	112
4.3.9	<i>Higroscopicidade</i>	114
4.3.10	<i>Grau de caking</i>	116
5	CONCLUSÃO	119
	REFERÊNCIAS	120

1 INTRODUÇÃO

A fruticultura é o ramo da agricultura de maior destaque do agronegócio brasileiro que visa produzir economicamente frutos em geral com o intuito de comercializar os mesmos (ADAPEC, 2018), sendo o Brasil o terceiro maior produtor mundial de frutas em 2017, com 42,2 milhões de toneladas, atrás apenas da China e da Índia, e têm suas produções destinadas, principalmente, ao mercado interno (FAO, 2019). Dentro do cenário da fruticultura brasileira, o açaí, nos últimos anos, tem recebido muita atenção, como uma das novas 'superfrutas', com elevado potencial para estudos e industrialização.

O açaí (*Euterpe oleracea*) é considerado uma “superfruta”, em função da sua composição de nutrientes (rica em fibras, lipídeos e fenóis), está entre as frutas de destaque nacional e internacional (YAMAGUCHI *et al.*, 2015), no entanto, sua fruta in natura possui um alto grau de perecibilidade em condições ambientais, e isso leva a rápida degradação, necessitando assim, de um método de conservação no processamento logo após a colheita (FERNANDES *et al.*, 2016; TONON, *et al.*, 2009b), para garantir o prolongamento da vida útil desta fruta, que não resiste a mais de 72 horas, por conta da alta perecibilidade do seu suco, mesmo em ambiente refrigerado (BEZERRA, 2007).

Entre os métodos de preservação pós-colheita de frutas, destaca-se a secagem, que consiste em um processo utilizado para conservar a qualidade da fruta, que resulta em um produto com baixo teor de água, elevada concentração de componentes presentes na polpa, alta estabilidade e estocagem prolongada em condições de temperatura ambiente (VIMERCATI, *et al.*, 2019), além disso, a secagem ainda facilita o manuseio e o transporte, sendo também uma opção de matéria-prima no mercado (SANTOS *et al.*, 2016).

Dentre os principais processos de secagem que podem ser empregados na preservação após a colheita, existem diferentes estudos com o açaí obtido em *spray dryer* (TONON *et al.*, 2010), liofilizador (SCHAUSS *et al.*, 2006) e leiteo fluidizado (COSTA *et al.*, 2015).

O açaí obtido pela liofilização é um produto de alta qualidade, no entanto, o processo envolve altos custos. Já o *spray dryer* envolve temperaturas mais elevadas que podem dificultar a retenção de compostos termossensíveis, compostos estes que estão presentes na polpa de açaí.

A secagem em leiteo fluidizado se destaca por ser um processo semelhante ao *spray dryer*, usando temperaturas mais baixas, maior superfície de contato das partículas com o ar de secagem, desta forma, retendo mais compostos termossensíveis (LINS, *et al.*, 2017).

Os produtos em pó vêm consideravelmente sendo procurados devido aos benefícios de sua aplicação em formulações de alimentos variados. A polpa de açaí em pó facilita as formulações avançadas e abre novos mercados como cápsulas de gelatina, pós para serem utilizados como

batidos, chás, sumo e polpa, pós divididos em sacos para utilizar em batidos, sopas prontas, e produtos fitoterápicos líquidos, tais como chás e infusões (COSTA *et al.*, 2013a) podendo ainda ser aplicada em produtos alimentícios como fonte de nutrientes e matéria prima para preparação de aditivos naturais de cor por possuir elevado teor de antocianinas (BOBBIOS *et al.*, 2000), em produtos farmacêuticos e indústrias cosméticas.

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo principal a obtenção do açaí em pó utilizando o processo de leite fluidizado, e também estudar as propriedades: físicas, físico-químicas, reológicas, higroscópico e de estabilidade.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Açaí

O açaí é um fruto carnoso, com sementes, de cor roxa, oriundo do açazeiro, palmeira nativa da Amazônia Brasileira, é a espécie mais importante do Gênero *Euterpe*, dentre as dez registradas no Brasil e das sete que ocorrem na Amazônia, contudo, apenas três ocorrem com mais frequência, que são *E precatória*, *E. oleracea*, e a *E. edulise*. Apenas os frutos das espécies *E precatória*, e a *E. oleracea* são comercializados (SERRA, 2020) e para o consumo como bebida, de acordo com Brasil (2016), é utilizado somente a polpa do fruto do açazeiro (*Euterpe oleracea* Mart.); extraído da parte comestível após amolecimento através de processos tecnológicos adequados.

A *E precatória* é uma espécie irmã do açaí, e muitas vezes por causa de sua denominação é confundido com o açaí (*E. oleracea* Mart.). A principal diferença entre as duas espécies são a maneira como as palmeiras crescem. A *E. oleracea* ocorre em aglomerados de muitas hastes (galhos presos ao caule), enquanto *E. precatória* sempre ocorre em uma única haste (OLIVEIRA e SCHWARTZ, 2018), sendo conhecido como “açaí solteiro” (SILVA *et al.*, 2019).

A palmeira do açaí tem uma altura média de 20 m. As frutas são globosas, medindo 0,9-1,3 cm de diâmetro, verde quando imaturo, vermelho no estágio intermediário e roxo escuro quando maduro, com um mesocarpo suculento, uma baga fibrosa e contém uma polpa oleaginosa comestível (COSTA *et al.*, 2015; HENDERSON, 1995; SILVA, *et al.*, 2016b).

O *Euterpe oleracea* é uma palmeira nativa brasileira, fornece um palmito de ótima qualidade, encontrada principalmente na região norte do Brasil (LUCAS, ZAMBLAZI e COSTA, 2018; NOGUEIRA e SANTANA, 2016), nos estados do Pará, Amapá, Maranhão e Tocantins (SILVA *et al.*, 2016a; TORMA *et al.*, 2017; YAMAGUCHI *et al.*, 2015).

O açaí também é encontrado em países da América do Sul (Venezuela, Colômbia, Equador, Suriname e Guiana) e da América Central (Panamá). No entanto, é na região do estuário do Rio Amazonas que se encontram as maiores e mais densas populações naturais dessa palmeira, adaptada às condições elevadas de temperatura, precipitação pluviométrica e umidade relativa do ar (SANTANA, LIMA e MOURÃO, 2014).

A planta é uma palmeira (*Arecaceae*), capaz de apresentar até 25 brotações (perfilhos) por touceira, podendo atingir até 20 m de altura; apresenta uma inflorescência do tipo cacho com frutos esféricos de aproximadamente 1,5 gramas cada, sendo esta, juntamente com o palmito, as partes comerciais da planta destinadas à alimentação humana (DA SILVA *et al.*, 2020). Suas sementes são

utilizadas para, artesanato e adubo orgânico, as fibras que revestem a semente são utilizadas em móveis, compensados e na indústria automobilística NASCIMENTO, 1993).

A polpa de açaí é a principal forma pela qual é oferecida ao mercado, em concentrações que variam de fina (8 % a 11 % de sólidos), média (11 % a 14 % de sólidos) e grossa (14 % a 17 % de sólidos) (VIEIRA *et al.*, 2018).

Segundo Goulding *et al.* (2007), existem duas variedades do fruto e são conhecidas regionalmente no Brasil como "preto" e "branco". O " açaí Preto "exibe uma cor púrpura escura a preta, enquanto "açaí branco" é verde azeitona e produz um suco mais cremoso.

Nos últimos dez anos houve um interesse crescente por essa fruta devido à sua composição rica em fibras, lipídeos e fenóis, e aos possíveis efeitos benéficos à saúde humana que podem estar relacionados à prevenção de doenças (YAMAGUCHI *et al.*, 2015).

Em 2016, a produção de açaí no Brasil ultrapassou 215 mil toneladas, em 2017 atingiu valor de 219.710 mil toneladas e em 2018 alcançou 221.646 mil toneladas (IBGE, 2018).

Segundo ABRAFRUTAS (2020), o estado do Pará é o maior produtor de açaí, com produção anual de mais de 1,3 milhão toneladas, em uma área superior a 219 mil hectares, em seguida do Amazonas com 52 mil toneladas e Roraima com 3,5 mil. Em 2017, foram exportadas do estado do Pará 13,1 mil toneladas para 42 países, sendo os Estados Unidos o principal destino da fruta paraense.

O período da safra do açaí varia de acordo com a região. No Pará, principal produtor, o período de safra vai de agosto a novembro. No estuário amazônico o pico da safra ocorre no período de julho a agosto. Já no Amazonas, o período de maior produção estende-se de novembro a maio, e no Acre, há referências de produção durante o ano todo, já que quando se encerra a produção de terra-firme, janeiro a junho, inicia-se a de várzea que vai de agosto a dezembro. No Amapá e Maranhão, a safra ocorre durante o primeiro semestre, no período de chuva (SERRA, 2020).

Os frutos do açaí são apreciados mundialmente, consumidos in natura ou transformados em diversos subprodutos (SANTANA, LIMA e MOURÃO, 2014). A partir da produção da polpa fabricam-se cremes, sorvetes e mix de açaí, principalmente a mistura feita com guaraná (VIEIRA *et al.*, 2018), iogurte (ESPÍRITO SANTO *et al.*, 2010), balas mastigáveis (SILVA *et al.*, 2016d), sucos (SABBE *et al.*, 2009), néctares (FERNANDES *et al.*, 2016) e sobremesas (VASCONCELOS *et al.*, 2014). Entretanto, na região amazônica a forma de consumo mais comum é o fruto processado para a obtenção da bebida 'açaí', um líquido pastoso, violáceo, adquirido após extração mecânica (compressão) da polpa dos frutos com a adição de água em máquinas despulpadoras e, dependendo da quantidade de água empregada no processo e do teor de Sólidos Solúveis Totais (SST) a polpa recebe classificações distintas (BRASIL, 2018).

A normativa nº37, de 1 de outubro de 2018 (BRASIL, 2018) estabelece os padrões de identidade e as características mínimas de qualidade para a polpa de açaí. Desse dispositivo legal podem-se destacar os seguintes pontos:

- › Definição: polpa de açaí e o açaí são produtos extraídos da parte comestível do fruto do açaizeiro (*Euterpe oleracea*, Mart.) após amolecimento através de processos tecnológicos adequados;
- › Classificação: de acordo com a adição ou não de água e seus quantitativos, o produto será classificado em: Polpa de açaí: é a polpa extraída do açaí, sem adição de água, por meios mecânicos e sem filtração, podendo ser submetido a processo físico de conservação.

Ainda sobre a legislação, o açaí pode ser classificado em açaí grosso ou especial (tipo A), açaí médio ou regular (tipo B) e açaí fino ou popular (tipo C) (BRASIL, 2000; 2016).

O Açaí tipo A é a polpa extraída com adição de água e filtração, apresentando acima de 14% de sólidos totais e uma aparência muito densa. Açaí tipo B é a polpa extraída com adição de água e filtração, apresentando, acima de 11 a 14% de sólidos totais e uma aparência densa. Açaí tipo C é a polpa extraída com adição de água e filtração, apresentando de 8 a 11 % de sólidos totais e uma aparência pouco densa (BRASIL, 2018).

Na Tabela 1, podemos encontrar os valores de referência de limite mínimo e máximo de características físicas e químicas presentes na polpa de açaí, permitido pela legislação (BRASIL, 2018).

Tabela 1-Valores de limites mínimos e máximos de características presentes na polpa de açaí, permitido pela legislação.

Parâmetros	Mínimo	Máximo
Sólidos solúveis em °Brix	40,00	-
pH	4,00	6,20
Acidez Total expressa em ácido cítrico (g/100g)	-	0,27 - fino
	-	0,40 - médio
	-	0,45 - grosso
Açúcares totais (g/100gms)	-	40,00

Fonte: Brasil, 2018 *gms= gramas de matéria seca

2.1.1 Produção e exportação de frutos e Açaí no Brasil

A fruticultura é um dos setores de grande destaque do agronegócio brasileiro, pois é através da elevada variedade de culturas, produzidas em todo o país e em diversos climas que a fruticultura conquista resultados expressivos gerando oportunidades para os pequenos negócios brasileiros (SEBRAE, 2015).

Em 2014, o Brasil foi o terceiro maior produtor mundial de frutas com 37,9 milhões de toneladas, atrás apenas da China e da Índia (FAO, 2017). De acordo com ABF (2018), a produção brasileira de frutas foi de 43,5 milhões de toneladas em 2017, abaixo das 44,8 milhões de toneladas do ano anterior, segundo a Associação Brasileira dos Produtores Exportadores de Frutas e Derivados (ABRAFRUTAS), o aumento estimado para 2018 foi de 5%, beneficiado pelo clima favorável, portanto, o volume total de frutas poderá chegar a 45,6 milhões de toneladas.

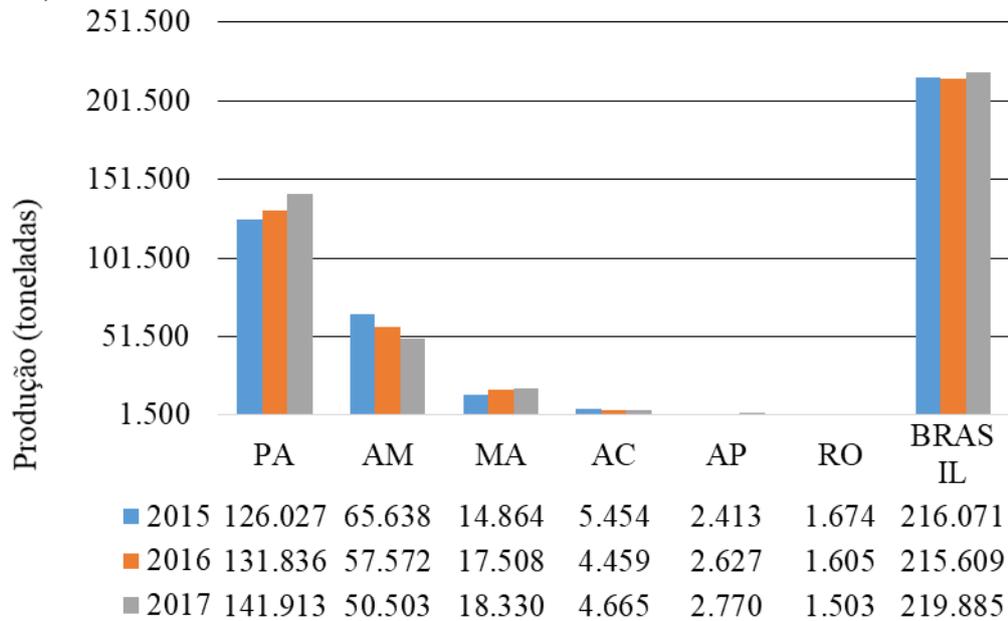
As frutas têm apresentado importância crescente no país, tanto no mercado interno como no externo. Em 2019, o valor de exportações de frutas frescas foi de mais de 980 milhões de toneladas, um aumento de 16 % no volume nas exportações de frutas, comparados a 848 milhões em 2018. Nos três primeiros meses de 2020, o Brasil exportou mais de 234 mil toneladas de frutas e as exportações totais somaram US\$183 milhões (ABRAFRUTAS, 2020).

Grande parte da produção é destinada ao mercado interno, com grande potencial a ser explorado, já o mercado externo consumidor de frutas é promissor, no entanto, é cada dia mais exigente (OLIVEIRA e FARIAS-FILHO, 2013). Diversas são as causas que explicam o fato de pequena parcela das frutas serem destinadas a exportação, tais como: os altos requisitos de qualidade; restrições fitossanitárias; barreiras protecionistas; assimetria de informações; falta de coordenação dos produtores; pouco incentivo em divulgação e em pesquisa e; falta de apoio do Governo (LACERDA, DE LACERDA e ASSIS, 2004).

A região Norte do país concentra a maior parte da produção de açaí, com Pará e Amazonas respondendo por 87,5 % do total. O estado do Pará é o maior produtor mundial de açaí, tendo dobrado sua produção nos últimos 10 (dez), anos e o maior exportador brasileiro, seguido do Amazonas (SERRA, 2020).

Na Figura 1 podemos observar a quantidade de açaí produzido nos principais estados do Brasil. No período de 2015 a 2017 observa-se um aumento de 1,7 % em relação à 2015, sendo que de 2015 para 2016 houve decréscimo na produção, o que foi recuperado no ano seguinte (CONAB, 2019).

Figura 1- Quantidade de açaí produzido nos principais estados produtores do Brasil nos anos de 2015, 2016 e 2017.



Fonte: adaptado CONAB (2019).

O agronegócio de frutos amazônicos, em especial o açaí, têm se expandido da Amazônia para outras regiões do Brasil e para o exterior nos últimos anos, ocorrendo um crescente interesse dos agricultores locais e agroindústrias na produção dos frutos. O principal mercado importador do açaí são os Estados Unidos, cerca de 77 % do total exportado vai para as indústrias de processamento norte americanas. Percebe-se, no entanto, que o açaí já está conquistando a preferência de consumidores de outras regiões como, por exemplo, Países Baixos, Japão, Austrália, entre outros já estão sendo atraídos pelo fruto do estuário amazônico (SERRA, 2020).

2.2 Indústria de polpa de frutas

A polpa de fruta tem grande importância como matéria-prima em indústrias de conservas de frutas, que podem produzir polpas nas épocas de safra, armazená-las e reprocessá-las nos períodos mais propícios, ou segundo a demanda do mercado consumidor (BUENO *et al.*, 2002).

As frutas são perecíveis e se deterioraram em poucos dias e por isso têm sua comercialização in natura dificultada a grandes distâncias (ANJOS, GROSSI e MARTINS, 2016).

A preservação de frutas após a colheita é um dos grandes desafios da fruticultura brasileira, havendo assim uma necessidade da aplicação de tecnologia que mantenham e prolonguem a vida

pós-colheita dos frutos, que melhor preservem o produto durante a comercialização (RANA, SIDDIQUI e GOYAL, 2015; BOTELHO *et al.*, 2016) e redução das perdas, tendo em vista que estima-se que a quantidade de perdas pós-colheita varia de 15 a 50 % (ANJOS, GROSSI e MARTINS, 2016).

Um dos fatores que mais influenciam na deterioração de polpas de frutas, é o teor de umidade e a atividade de água, surgindo então uma necessidade de aplicação de um meio de conservação.

Para a aplicação dos métodos de conservação em alimentos, vários aspectos devem ser considerados, como: o teor de umidade, o pH e a atividade de água do alimento, sabendo que produtos de baixa acidez e/ou alta atividade de água são mais suscetíveis a processos de deterioração; Além disso, a identificação de parâmetros críticos como alto teor de lipídios insaturados, alto teor de vitaminas e/ou pigmentos fotossensíveis, condições de estocagem e distribuição a que o produto será exposto são importantes para manter a qualidade e a segurança do alimento (AZEREDO, 2012).

2.3 Conservação de Alimentos

Os alimentos estão sujeitos a diversos tipos de alterações, causado principalmente por microrganismos, enzimas e reações com o oxigênio do ar (SOUSA *et al.*, 2013). As Frutas e hortaliças são alimentos altamente perecíveis, pois sofrem reações de degradação pela proliferação de bactérias, devido ao seu elevado teor de umidade (DEV e RAGHAVAN, 2012; LIU *et al.*, 2019).

A deterioração é uma das principais causas de perda de frutas e hortaliças, devido à alta quantidade de água livre presente nos frutos, (ALVES, MACHADO e QUEIROGA, 2011). A água livre está presente em capilares ou espaços intercelulares; enquanto que, a água no espaço intracelular é referida como água ligada (KHAN *et al.*, 2016). A água combinada está ligada a substratos presentes no alimento, se tornando indisponível para reações químicas. Ao contrário da água livre (ou água não ligada), na maioria dos casos, não pode ser perdida por secagem e nem imobilizada por congelamento (CELESTINO, 2010).

Com elevados índices de perdas pós-colheita, faz-se necessário à utilização de métodos de conservação a fim de que o alimento se torne estável à deterioração química e microbiana (ALVES, MACHADO e QUEIROGA, 2011).

Entre as várias formas de conservação estudadas está a desidratação ou secagem, o processamento mínimo, o congelamento, entre outras (BARBOSA *et al.*, 2014).

A secagem é o método que exerce a remoção da água, inibindo o crescimento dos microrganismos e a atividade enzimática e diminui o peso do produto, simplificando também o seu transporte e armazenamento (BRUIJN JOHANNES *et al.*, 2016; SANTOS *et al.*, 2016). Melhora a estabilidade do alimento, além da minimização de alterações físico-químicas relativas ao armazenamento (GURGEL, 2014) podendo ser aplicada em diversos alimentos, fazendo-se um dos métodos mais aplicados na conservação de alimentos.

Por tanto, a secagem é uma das tecnologias pós-colheita amplamente utilizada para manter a qualidade dos alimentos (SANTOS *et al.*, 2016), superar problemas relacionados à superprodução, excesso de oferta e alta perecibilidade de frutas e legumes (CHONG e LAW, 2011), e encontra-se dentre os métodos de conservação de frutas disponível para a aplicação na indústria de polpas de frutas (GOMES, FIGUEIRÊDO; QUEIROZ, 2004). Além de preservar componentes alimentares (RAY, RAYCHAUDHURI e CHAKRABORTY 2016).

Os diversos processos de secagem dos produtos de origem vegetal podem ser classificados em 2 (dois) grupos: secagem natural ou até secagem ao sol e artificial ou desidratação (BEZERRA *et al.*, 2015).

A secagem ao ar natural, isto é, à radiação solar, é a técnica de desidratação mais popular e antiga, na qual a umidade é removida por evaporação. No entanto, vários autores relataram que este processo pode causar vários efeitos adversos sobre os atributos alimentares, como o endurecimento, o encolhimento, a capacidade de reidratação pobre e a alteração das características sensoriais (PROSAPIO e NORTON, 2017).

A secagem artificial ou desidratação, é um processo simultâneo de transferência de calor e massa entre o produto e o ar de secagem produzido por caldeiras, trocadores de calor ou resistências elétricas, que consiste na remoção do excesso de água contida no mesmo por meio de evaporação, geralmente causada por convecção forçada de ar aquecido (GONELI *et al.*, 2014). Desenvolvido para promover a secagem rápida de alimentos líquidos, como sucos, tem sido amplamente utilizado em alimentos pastosos, como purês e polpas de frutas (BAG, SRIVASTAV e MISHRA, 2011).

Dentre as técnicas de secagem que permitem a obtenção de polpas de frutas em pós, as mais empregadas são a secagem em estufas, camade de espuma, spray dryer, liofilizador e leito fluidizado (BEZERRA *et al.*, 2015).

2.3.1 Leito fluidizado

A secagem em leito fluidizado torna-se uma alternativa atraente (SOUZA, 2009), destacando-se sobre os demais processos, por produzir um pó de alta qualidade e baixo custo, permitindo a secagem de materiais termicamente sensíveis em temperaturas mais reduzidas (BEZERRA *et al.*, 2013), como é o caso de polpas de frutas tropicais.

Desde sua primeira menção na literatura de engenharia para fluidização do trigo (MATHUR E GISHLER, 1955) os leitos de jorro têm sido aplicados em misturas, granulação, revestimento, secagem de granulado com partículas grossas (CHUN *et al.*, 2011), pastas e suspensões (BEZERRA *et al.*, 2013).

Neste tipo de equipamento a secagem se faz por aspersão no qual um líquido é transformado em produto em pó seco (FELLOWS, 2006). O princípio de uso do leito de jorro consiste em transformar o produto em estado fluido em uma partícula seca na forma de pó (HISHIR e CHEN, 2017; ZOTARELLI *et al.*, 2017).

É necessário adicionar, no compartimento do equipamento onde ocorre a secagem, partículas sólidas inertes na forma esférica que vão realizar o jorro. Muitas partículas foram testadas para secagem em leito de jorro, porém, as mais apropriadas são os inertes de vidro, cerâmica e os de plásticos resistentes ao calor (SZENTMARJAY, PALLAI e TÓTH, 2011).

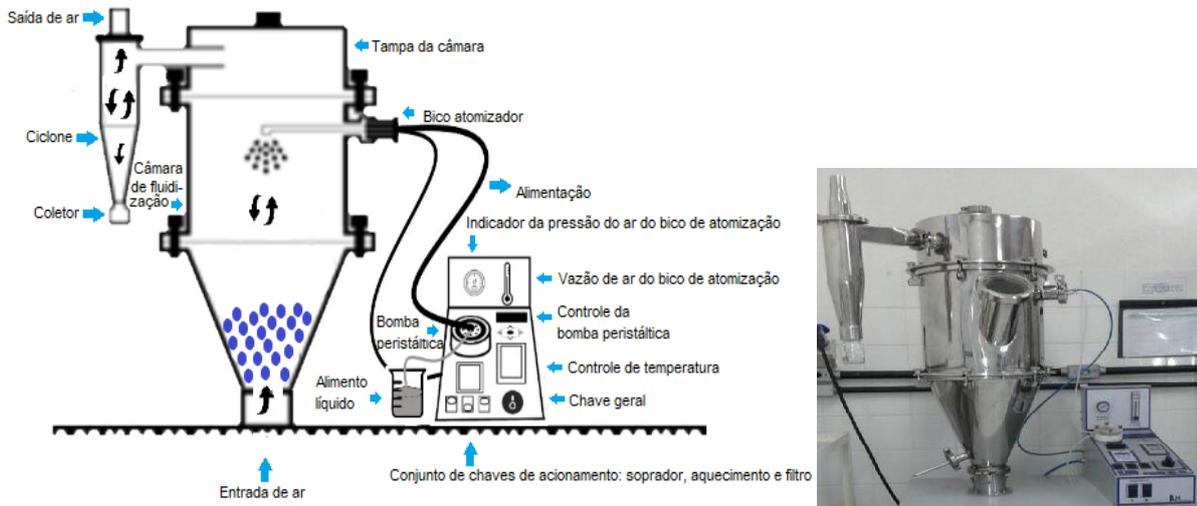
Há vários trabalhos (XAVIER *et al.*, 2016; DU W *et al.*, 2015; SANTOS, 2015b) com a utilização de misturas de tipos de partículas inertes com diferentes tamanhos, formas e densidades.

A escolha das partículas sólidas inertes vai depender das propriedades do material a ser desidratado e a temperatura que vão ser submetidas (SZENTMARJAY, PALLAI e TÓTH, 2011).

Vieira *et al.* (2004), estudaram a influência na interação entre sólido-líquido em processos de recobrimento e secagem de pastas em leito fluidizado com poliestireno (PS), polipropileno (PP), polietileno de baixa densidade (PEBD), placebo, ABS e esferas de vidro, concluíram que utilizando os inertes PP, PEBD e PS não obtiveram recobrimento.

A Figura 2, ilustra o esquema de funcionamento do leito de jorro.

Figura 2-- Ilustração do secador leite de jorro utilizado neste trabalho.



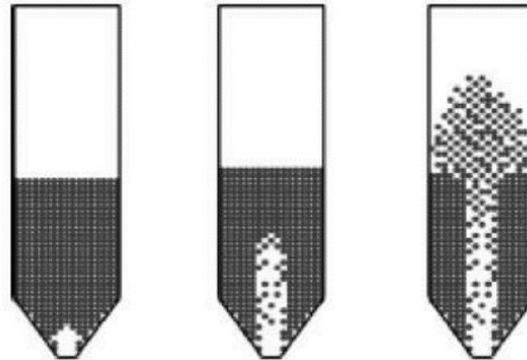
Fonte: Laboratório de Controle de Qualidade de Alimentos e Secagem (LACONSA-UFC).

No secador de leite de jorro com inertes, a atomização da pasta ou suspensão sobre o leite reveste as partículas com uma fina camada de material seco. À medida que seca, a película se torna frágil, fragmentando-se devido aos efeitos de colisões entre partículas. O material na forma de pó é então arrastado para fora da câmara de fluidização pela corrente de ar. Um ciclone conectado ao secador promove a separação e recolhimento do pó (FIGURA 2) (MEDEIROS *et al.*, 2001).

As partículas sólidas inertes são movimentadas a partir de uma corrente de ar ascendente que passa através de uma abertura em uma base cônica. Dessa forma, favorece uma força de arraste que permite a flutuação das mesmas. O regime de leite de jorro é caracterizado pela formação de três regiões com distintos escoamentos gás-sólido: a região central ou de jorro, onde as partículas inertes são arrastadas pela corrente de ar que passa em alta velocidade ascendente; a região anular, em torno da região central, onde o ar passa em baixa velocidade – cerca de somente 30 % do total de ar passa por esta região – e as partículas tem movimento descendente sob efeito da gravidade até que reentram na região de jorro, e a região da fonte, onde as partículas que foram jorradas caem de volta à região anular. A passagem das partículas nas três regiões produz a movimentação cíclica destas no leito (LABMAQ, 2003).

Na Figura 3 é apresentado o processo de evolução do jorro a partir da utilização das partículas sólidas em contato com o ar aquecido durante o processo de secagem.

Figura 3-Regiões do leito fluidizado.



Fonte: Epstein e Grace (2011).

A transferência de calor é observada no aquecimento do produto e no processo de mudança de fase, através da vaporização do líquido. A transferência de massa é a passagem do líquido ou vapor que passa do alimento para a atmosfera. O controle da secagem é dependente das condições internas de transferência de massa (características do produto) ou das condições externas de transferência de calor (velocidade e temperatura do ar de secagem) (CRUZ, 2013).

Na literatura estão disponíveis alguns estudos de desidratação de polpas de frutas em secador de leito de jorro, como acerola (GOMES; FIGUEIRÊDO; QUEIROZ, 2004), umbu, seriguela, manga, pinha, abacate (MEDEIROS *et al.*, 2001), banana verde (BEZERRA *et al.*, 2013), cajá (MELO *et al.*, 2010; FERREIRA, 2017), tomate longa vida (LARROSA; CADAVAL e PINTO, 2015), caju (SANTOS *et al.*, 2015a; SOUSA *et al.*, 2016).

O laboratório de Controle de Qualidade de Alimentos e Secagem (LACONSA) da Universidade Federal do Ceará realiza pesquisas sobre desenvolvimento e caracterização de polpas de frutas em pó sendo obtidas por diferentes processos de secagens.

Experimentos com o leito fluidizado para a secagem de polpa de frutas tem-se ampliado a cada dia, obtendo-se produtos com boa qualidade, no entanto, Pallai, Szentmarjay e Mujumdar (2006) afirmaram que, embora a qualidade do pó atenda aos requisitos básicos para o uso comercial, alguns aspectos podem dificultar a sua aplicação, como a estabilidade do jorro, a aglomeração de partículas e depósitos de pó dentro do leito. Soares e Pereira (2020) relataram produção de pós higroscópicos e características coesivas em razão da presença de açúcares de baixo peso molecular.

Tais defeitos podem ser minimizados com a adição de agentes carreadores nas polpas para diminuir adesão do produto, favorecendo o processo de secagem. Em geral, se utilizam carboidratos

de alto peso molecular, como maltodextrina, amidos, gomas, pectina e alginato (ARAÚJO *et al.*, 2015; COUTINHO, 2007; OLIVEIRA *et al.*, 2013; SINGH, PASWAN e RAI, 2019).

2.3.1.1 Adjuvantes de secagem

Aditivos com diferentes proporções são incorporadas ao produto alimentícios a ser desidratado para se adequar ao processo, proteger das condições adversas do ambiente externo (RAY, RAYCHAUDHURI e CHAKRABORTY, 2016; VINCENZETTI *et al.*, 2018), facilitar a secagem e evitar adesão das partículas no secador (OLIVEIRA *et al.*, 2015).

Sucos e polpas de frutas são difíceis de serem desidratados, por serem ricos em açúcares e ácidos de baixo peso molecular (TONON *et al.*, 2010). Geralmente, possuem baixa temperatura de transição vítrea (T_g) devido ao alto teor de sacarose (62°C), frutose (5°C) e glicose (32°C), que tendem a aderir nas paredes da câmara de secagem (JAFARI, GHALENOEI e DEHNAD, 2017). Como consequência, produzem pós muito higroscópicos, suscetíveis à aglomeração, com problemas de fluidez, e coesão (adesão das partículas entre si), levando ao baixo rendimento do produto e problemas operacionais (PHISUT, 2012). Possuem também, altos teores de umidade e atividade da água, impactando negativamente o armazenamento subsequente (JAFARI, GHALENOEI e DEHNAD 2017), acarretando em transformações estruturais como colapso e cristalização (TONON *et al.*, 2010).

Os alimentos amorfos desidratados em pó podem ser problemáticos para armazenar devido a sua tendência à aglomeração espontânea e endurecimento, o que leva à diminuição da qualidade. Essas alterações deteriorativas são resultado do umedecimento da superfície das partículas que pode causar plastificação e até dissolução (MATHLOUTHI e ROGÉ, 2003).

Sendo assim, torna-se necessário o uso de formulações que contenham os adjuvantes de secagem, pois a utilização de agentes carreadores podem aumentar a temperatura de transição vítrea (TONON *et al.*, 2010), melhorar o rendimento da secagem devido à redução das perdas causadas principalmente pela adesão das partículas às paredes de equipamento (MORAES, 2014), um melhor manuseio do produto final obtido, conferindo uma maior proteção contra a adsorção de umidade do ambiente, tornando-o menos higroscópico (TONON, BRABET e HUBINGER, 2009).

A higroscopicidade é a capacidade do pó alimentício de absorver água a partir de um ambiente de umidade relativa superior à de equilíbrio e a alta higroscopicidade dos pós constitui dificuldade de utilização do produto pela alta afinidade por água (CARLOS, RESENDE e CALVIDAL, 2005), que por sua vez promove aparecimento de um fenômeno definido como *caking*.

Caking (sem tradução para o português), é descrito como um fenômeno de absorção de umidade, um processo de deterioração física, que ocorre em polpas de frutas em pó, as tornando suscetíveis à outros efeitos indesejáveis, pelo qual o pó de baixa umidade e escoamento livre vai se aglomerando, e acaba por formar um material pastoso e pegajoso, resultando em perda de funcionalidade e qualidade (AZEREDO, 2012).

Para melhorar as propriedades de manipulação dos pós, agentes anticaking de grau alimentício como por exemplo, fosfatos, silicatos, dióxido de silício e sais de cálcio, também são somados aos agentes de secagem, uma vez que agem absorvendo a umidade dos produtos (JULIANO, e BARBOSA-CÁNOVAS, 2010; JAYA e DAS, 2009).

Os agentes carreadores ou material de parede, que podem ser utilizados são geralmente carboidratos (amidos, maltodextrinas, xaropes de milho, dextranas, sacarose e ciclodextrinas), celulose (carboximetilcelulose, metilcelulose, etc.), gomas (goma arábica, ágar, carragena, etc.), lipídeos (ceras, parafina, etc.) e proteínas (glúten, gelatinas, albumina e peptídeos) (MORENO *et al.*, 2016; EZHILARASI *et al.*, 2013).

Inulina, alginato e amido modificado também tem sido amplamente utilizado para fins de microencapsulação (ETZBACH *et al.*, 2020). Etzbach *et al.*, 2020 realizaram secagem de suco de amora dourada em spray dryer, utilizaram como agente de secagem: celebiose, alginato, maltodextrina e amido modificado. Observaram que os pós contendo celobiose e alginato tiveram rendimentos inferiores em relação aos pós contendo amido modificado e maltodextrina.

A goma arábica vem sendo utilizada na secagem de sucos de frutas (FERRARI, RIBEIRO e AGUIRRE, 2012; TONON *et al.*, 2010; CANO-CHAUCA *et al.*, 2005), sendo a única entre as gomas alimentícias com alta solubilidade e baixa viscosidade em solução. No entanto, a goma arábica apresenta custo e a oferta limitada (MCNAMEE, O'RIORDA e O'SULLIVAN, 1998).

Estudos com adições de diferentes adjuvantes foram relatados por Oliveira *et al.* (2013) ao estudarem a influência da maltodextrina 5 DE, maltodextrina 10 DE, goma arábica e o capsul, no armazenamento de morangos obtidos por atomização. Concluíram que os pós obtidos como maltodextrina 5 DE e goma arábica foram menos higroscópicos, no entanto a viabilidade econômica do uso da goma arábica também foi citada.

Soares e Pereira (2020), na avaliação da secagem e das propriedades do pó de polpa de jambolão em leito fluidizado, utilizaram mistura de maltodextrina 10 DE e clara de ovo, em diferentes proporções. Concluíram que o aumento na concentração de clara resultou em menor rendimento de produção de pó, menor diâmetro médio das partículas, maior higroscopicidade e menor tempo de molhamento, quando comparado às demais amostras.

A clara de ovo apresenta propriedades emulsificantes, de formação de espuma, formação de gel e capacidade de absorção de água, sendo largamente usada como ingrediente na indústria de alimentos, podendo ser utilizada como agente carreador de secagem, visando melhorar o rendimento de secagem e obtenção de polpa seca em pó (SOARES e PEREIRA, 2020). Também Fang e Bhandari (2012), utilizaram a clara de ovo e a maltodextrina como agente encapsulante do suco de baunilha.

Dentre os principais agentes carreadores utilizados em alimentos, as maltodextrinas têm sido comumente utilizadas em sucos de frutas (MORENO *et al.*, 2016; MISHRA, BRAHMA e SETH, 2017) e na secagem de polpa de frutas para obtenção de pós (CONEGERO *et al.*, 2017; SANTOS *et al.*, 2015a), ajudando na prevenção do fenômeno da pegajosidade das partículas nas paredes da câmara do secador durante a desidratação de concentrados de frutas ou compostos com grandes quantidades de açúcares (MARTINS, 2006), devido a baixa higroscopicidade e ainda possui um baixo custo (KILMARTIN, REID e SAMSON, 2004).

As maltodextrinas são biopolímeros originados da hidrólise parcial do amido formado de unidades D-glicose unidas por ligações glicosídicas (1,4). Elas podem ser classificadas pelo seu grau de hidrólise, expresso em dextrose equivalente (DE), que é a porcentagem de açúcares redutores calculada como glicose em relação ao seu peso seco de amido (SANTIAGO, 2014). Em geral, as maltodextrinas são carboidratos de baixa densidade, baixa viscosidade a altas concentrações, totalmente solúveis em água, não possuem aromas de amido, que mascaram o aroma original e, ainda, podem ser encontradas em diferentes massas moleculares (ZARDO, 2014). E por isso, tem grande utilização na microencapsulação de ingredientes alimentícios.

Podemos encontrar vários trabalhos na literatura com diferentes aplicações do uso da maltodextrina, como no aumento do rendimento observado por Marques *et al.* (2014), que aplicaram maltodextrina na produção de extrato de milho verde em pó. Ao analisarem os efeitos do uso do adjuvante nas propriedades físicas do pó, observaram que com 2,67 % de maltodextrina combinado com a temperatura de 163 °C na secagem em spray dryer, o pó apresentou um bom desempenho no rendimento e demais variáveis respostas estudadas.

Na avaliação da temperatura, a maltodextrina foi utilizada por Santos *et al.* (2015a), que estudaram a secagem de caju com 10 % de maltodextrina nas temperaturas de 50, 60 e 70°C em leite de jorro, onde observaram que o aumento da temperatura favoreceu o rendimento.

Nas propriedades de escoamento, Maciel *et al.* (2020) realizando a adição de diferentes concentrações (10, 15 e 25 %) de maltodextrina nas propriedades de escoamento de pó da polpa de cupuaçu liofilizada, concluíram que aumento da concentração de maltodextrina diminuiu os ângulos de atrito da parede, favorecendo seus escoamentos.

No grau de aglomeração (*caking*), higroscopicidade, atividade de água, dispersibilidade, molhabilidade, umidade, cor, e aceitabilidade sensorial de pó de fruta, reportados por Sierra, Rosa e Gabas (2007), utilizando a maltodextrina 10 e 20 DE, observaram melhores resultados nas análises físicas quando comparada a maltodextrina 10 DE, e ainda, puderam verificar que uma menor concentração de adjuvante no produto final produziu uma polpa em pó de melhor qualidade sem alteração perceptível das características sensorial das polpas.

O uso da maltodextrina também foi reportado por Oliveira *et al.* (2015), no estudo do armazenamento de polpa de mandacaru em pó durante 50 dias, com duas formulações de 10% de maltodextrina e diferentes dextroses equivalentes (DE), 10 e 14, em que a DE 14 apresentou melhores poderes de reconstituição.

Singh, Paswan e Rai (2019) descreveram o processo de otimização para o desenvolvimento de pó de jambolão (*Syzygium cumini L.*) usando maltodextrina como auxiliar de secagem. Reportaram que a temperatura do ar de entrada de 185°C e a maltodextrina no nível de 10 % forneceram a condição ideal geral para a secagem em spray dryer.

Stepień, Witczak e Witczak (2020) propuseram um estudo das características de absorção de umidade de pós alimentares contendo abacate liofilizado, maltodextrina e inulina, este como um novo adjuvante.

Portanto os adjuvantes de secagens podem ser usados para aumentar a temperatura de transição vítrea do material a ser desidratado, para evitar o colapso, evitar aderência à câmara de secagem. Além disso, atuam protegendo o alimento provenientes de reações oxidativas resultantes do processamento térmico através de uma rápida formação de um filme protetor durante o primeiro período de secagem (BHANDARI e HARTEL, 2005).

2.4 Alimentos desidratados na forma de pós

A busca por alimentos saudáveis, práticos e de boa qualidade tem gerado um crescimento no mercado das frutas em pó que possuem alto potencial de comercialização, por se tratar de produtos naturais, (SAMOTICHA, WOJDYŁO e GOLIS, 2017; CHEN e PATEL, 2008; TONON *et al.*, 2009a; GOMES DE OLIVEIRA *et al.*, 2007), que preservam o máximo das características originais da fruta quando a técnica de secagem é adequada (CHEN e PATEL, 2008; JANGAM *et al.*, 2008; GOULA e ADAMOPOULOS, 2010).

As frutas em pó, extratos de frutas e sucos concentrados são amplamente utilizados na indústria de alimentos e medicamentos e constituem uma rica fonte de vitaminas e minerais. Podem ser utilizados para produção sucos de frutas reconstituídos que possuem valor nutricional semelhante aos sucos obtidos de frutas frescas (RAO *et al.*, 2011).

De acordo com a Associação brasileira da indústria de alimentos (ABIA, 2019), em 2018 o setor brasileiro de alimentos registrou um crescimento de 2,08% em faturamento atingindo R\$ 656 bilhões, somadas exportação e vendas para o mercado interno. Dentre os setores que mais se destacaram em vendas foi o de desidratados com 11,2 %. Já em 2019 registrou um crescimento de 6,7 % em faturamento no ano de 2019, em relação à 2018, atingindo R\$ 699,9 bilhões, somadas exportações e vendas para o mercado interno, e os desidratados com 4,9 %.

A bebida em pó é uma categoria atrativa para o mercado, devido a sua praticidade, economia e pela lucratividade por metro linear de gôndola e seu giro, sendo bem lucrativa para o setor de varejo. Representando cerca de 60% da categoria de bebidas não alcoólicas e não carbonadas. No Brasil a bebida em pó faz parte de todas as cestas básicas recebidas por cerca de 0,7% dos consumidores. O consumo deste produto aumenta no verão em consequência do aumento da temperatura, atinge no mercado principalmente o público de classe C, D, E. Mas, com a preocupação de cuidados de beleza e saúde, as bebidas em pó dietéticas são procuradas pelo público da classe A e B (FALAMART, 2016).

O mercado de sucos em pó movimenta por ano em torno de R\$ 3 bilhões. Em 2015, o segmento gerou vendas de 4,3% bilhões de litros e faturou R\$ 2,9 bilhões, afirma Kantar Worldpanel (2015).

Uma grande quantidade de produtos alimentares tem sido desenvolvida e comercializada na forma de pó. Tais produtos incluem café, cappuccinos, achocolatados, leite, sopas, molhos, bolos, alimentos infantis, entre outros (FORNY, MARABI e PALZER, 2011). O interesse neste tipo de

alimento está relacionado à sua estabilidade química e microbiológica, aos custos de transporte reduzidos e à conveniência geral (MURRIETA-PAZOS *et al.*, 2012).

Portanto, a tecnologia utilizada nesse tipo de processamento é cada vez mais importante, tanto para os fabricantes de ingredientes quanto para os produtores de alimentos. Como consequência, um novo ramo da ciência e da engenharia pode ser identificado (MURRIETA-PAZOS *et al.*, 2012). Além da diversificação, principalmente, em função da incorporação de novos sabores de frutas, com destaque às frutas tropicais, como é o caso do açaí.

A obtenção de frutas em pó como opção de processamento pós-colheita garante um produto com baixo teor de água, maior estabilidade e estocagem prolongada em condições de temperatura ambiente (SOUZA, 2009). Gomes de Oliveira *et al.*, (2007), afirmam que esses produtos, quando bem embalados, têm vida útil superior a 12 meses de estocagem à temperatura ambiente, otimizando custos com transporte e armazenamento.

Na fase de armazenamento exigem o uso de embalagens adequadas que mantenha as características de qualidade do produto (LISBÔA; DE FIGUEIREDO e QUEIROZ, 2012).

Os pós-alimentícios são estruturas amorfas que se caracterizam por apresentarem uma forte reatividade físico-química e enzimática; fazendo-se necessário o controle da formulação e das condições ambientais a fim de manter estabilidade destes produtos ao armazenamento. Suas estruturas complexas contribuem com o comportamento de adsorção das micropartículas, tais como a aglomeração, solubilização e dispersão (CANO-HIGUITA *et al.*, 2015; CUQ; RONDET; ABECASSIS, 2011).

O estado amorfo é obtido pela rápida remoção de umidade do material e é caracterizado por um estado metaestável em não equilíbrio mostrando um alto grau de higroscopicidade, influenciando as características do material desidratado, como a tendência de formar aglomerados e o fenômeno de *caking* (BARBOSA, 2010).

A tendência de absorção de umidade depende da umidade relativa (UR) e temperatura, sendo o critério principal na manutenção da qualidade de fruta em pós durante o manuseio e armazenamento (PAUL e DAS, 2019).

Sendo assim, na conservação de alimentos secos quatro fatores são importantes: a atividade de água (a_w), o teor de umidade de equilíbrio (X_e), a umidade relativa e a temperatura do ambiente. A a_w é uma característica principal, pois dependendo deste valor no alimento pode-se determinar a sua vida de prateleira. Sabe-se que em alimentos com a_w acima de 0,67 os fungos se desenvolvem levando o alimento à deterioração. Por tanto, curvas isotermas de sorção determinam a dependência da a_w com a X_e (RAMOS, 2017) e será discutido a seguir.

2.4.1 Isotermas de sorção

Isotermas de sorção são ferramentas importantes para prever as interações entre a quantidade de água e os componentes dos alimentos no equilíbrio com sua atividade de água ou a umidade relativa que circunda o alimento, a uma temperatura constante, especialmente os de baixa umidade, sendo representadas graficamente (ANSELMO, MATA e ARRUDA, 2006; KUMAR e MISHRA, 2006; OKOS *et al*, 2007; ORDONÉZ *et al*, 2005; TONON *et al.*, 2009a). Esta relação depende da composição química dos alimentos (gordura, amido, açúcar, proteínas, etc.) (PARK, BIN e BROD, 2001).

As isotermas de sorção são comumente apresentadas por modelos matemáticos (ANDRADE, LEMUS, PÉREZ, 2011), baseados em critérios empíricos e (ou) teóricos.

Os modelos matemáticos têm sido propostos com o intuito de prever o comportamento higroscópico das isotermas (ANDRADE, LEMUS, PÉREZ, 2011). Com poucos pontos experimentais pode-se construir uma isoterma, a qual pode ser facilmente interpolada ou extrapolada para obtenção de pontos nas regiões de baixas e altas atividade de água, pontos estes de difícil determinação experimental (PENA, RIBEIRO e GRANDI, 1997).

Dados experimentais de uma isoterma de adsorção podem ser ajustados a equações matemáticas, essas equações podem fornecer parâmetros que têm significado físico, para entender as interações físico-químicas água-alimento (PASCUAL-PINEDA *et al.*, 2017).

Como os produtos alimentares são geralmente complexos com a quantidade diferente de vários componentes, sua isoterma de sorção deve ser avaliada experimentalmente (MUZAFFAR e KUMAR, 2016).

Através delas pode-se estudar o potencial de conservação de alimentos desidratados, seleção adequada da permeabilidade da embalagem e estabelecer o teor de umidade que resulta em uma maior vida útil do produto (ANSELMO, MATA e ARRUDA, 2006; PAUL e DAS, 2019).

Na literatura, estão disponíveis vários modelos isotérmicos (MUZAFFAR e KUMAR, 2016). Estes modelos são úteis no conhecimento das características dos produtos e podem ser categorizados em vários grupos; modelos cinéticos baseados em uma monocamada absorvida de água (modelo BET), modelos cinéticos baseados em multicamadas e filme condensado (modelo GAB), semi-empírico (modelo Halsey, modelo de Peleg) (HALSEY, 1985; PELEG, 1993) e puramente empírico (por exemplo, modelos de Oswin e Smith) (MUZAFFAR e KUMAR, 2016).

No entanto, não há apenas um modelo que possa descrever satisfatoriamente as isotermas de todos os alimentos, pois a atividade de água é influenciada pela composição do alimento e da

interação de todos esses constituintes com a água em condições de equilíbrio (OLIVEIRA, COSTA e AFONSO, 2014).

Os modelos de BET, GAB, Henderson e Oswin são reportados por diversos pesquisadores nos estudos de predição das isotermas de sorção para polpas de frutas em pó e em outros alimentos desidratados.

A aplicação bem sucedida do modelo de BET foi relatado na pesquisa de Ribeiro, Costa e Afonso (2016) onde obtiveram o modelo de BET para representar comportamento higroscópico da polpa de acerola liofilizada.

Enquanto que o modelo de GAB foi melhor representado no estudo de Moreira *et al.* (2013) com as isotermas de adsorção polpa de manga em pó da variedade *Tommy Atkins* submetidas ao processo de liofilização, demonstraram melhor adequação ao modelo de GAB (alimentos em ampla faixa de a_w). O comportamento das isotermas se caracterizou como do tipo III. Rodríguez - Bernal *et al.* (2015) também relataram o uso dos parâmetros do modelo de GAB para estimar as propriedades termodinâmicas da polpa de borojó liofilizada, fornecendo uma boa representação da sorção em toda faixa de atividades de água.

No estudo do comportamento higroscópico da polpa de pitáia liofilizada de Molina *et al.* (2014), os modelos de BET e GAB foram os que melhores representaram. Já Oliveira *et al.* (2014) com polpa de cajá liofilizada obtiveram o modelo de BET como melhor ajuste para o pó da polpa de cajá integral e o modelo de Henderson para o pó da polpa de cajá contendo maltodextrina DE20.

A comparação de modelos matemáticos usados para descrever isotermas de diferentes grupos de produtos alimentares mostraram que a equação de Oswin é universal e se adapta melhor aos produtos amiláceos e proteicos (BOQUET, CHIRIFE e IGLESIAS,1978).

O uso das isotermas de sorção também é relatado em outros tipos de alimentos. Fernandes *et al.* (2016) e Botrel *et al.* (2014) estudaram o comportamento de óleo essencial de alecrim e óleo de peixe, obtidos por spray dryer. Observaram que o modelo de BET melhor se ajustaram às variações dos dados experimentais para as isotermas de adsorção.

2.4.1.1 Modelo de BET

O modelo de BET (BRUNAUER, EMMETT e TELLER, 1938), é o modelo mais amplamente usado em sistemas alimentares. A equação BET (Equação 1) representa uma base na interpretação de multicamadas de sorção isotérmicos e ele tem sido aplicado na adsorção de gases e vapor poroso em superfícies e de sólidos, bem como em água, especialmente na adsorção de vapor, por polímeros homogêneos e outros materiais (ANDRADE; LEMUS; PÉREZ, 2011).

$$X_e = \frac{X_m \cdot C \cdot a_w}{(1 - a_w)} \cdot \left[\frac{1 - (n+1) \cdot (a_w)^n + n \cdot (a_w)^{n+1}}{1 - (1-C) \cdot a_w - C \cdot (a_w)^{n+1}} \right] \quad (1)$$

Onde: X_e = umidade de equilíbrio expresso em (g/g de matéria seca); X_m = conteúdo de umidade na monocamada molecular (g/g de matéria seca); C = constante de BET relacionada ao calor de sorção da camada molecular; a_w = atividade de água e n = número de camadas moleculares.

2.4.1.2 Modelo de GAB

A equação de GAB (Guggenheim, Anderson e Boer) (Equação 2) é um refinamento da teoria de adsorção física do Langmuir (LANGMUIR, 1918) e tem um parâmetro a mais, K , que mede a diferença do potencial químico padrão entre as moléculas desta segunda fase e os do estado líquido puro, sendo assim capaz de aproximar bem a maioria das isotermas experimentais para a atividade de água até cerca de 0,9. Assim, verificou-se como sendo adequado para a análise de mais de 50% de frutos, carne e vegetais (BLAHOVEC, 2004; ANDRADE; LEMUS; PÉREZ, 2011; PARK e NOGUEIRA, 1992).

$$X_e = \frac{X_m \cdot C \cdot K \cdot a_w}{(1 - K \cdot a_w) \cdot (1 - K \cdot a_w + C \cdot K \cdot a_w)} \quad (2)$$

Onde: X_e = umidade de equilíbrio expresso em (g/g de matéria seca); X_m = conteúdo de umidade na monocamada molecular (g/g de matéria seca); C e K = constante de sorção do modelo e a_w = atividade de água.

2.4.1.3 Modelo de Henderson

O modelo de Henderson (Equação 3) é um dos modelos mais empregados e descreve bem o comportamento de alimentos com uma ampla faixa de atividade de água (0,1 a 0,75), como grãos cereais e frutas (ANDRADE; LEMUS; PÉREZ, 2011; PARK, BIN e BROD, 2001; ASAE, 1991).

$$X_e = \left[\frac{-\ln(1 - a_w)}{b} \right]^{\frac{1}{a}} \quad (3)$$

Onde: X_e = umidade de equilíbrio expresso em (g/g de matéria seca); n = número de camadas moleculares; a_w = atividade de água e b = constante de sorção do modelo.

2.4.1.4 Modelo de Oswin

O modelo de Oswin (Equação 4) é um modelo empírico que consiste em uma expansão da série de curvas de forma sigmóide e foi desenvolvida por Oswin é utilizada para relacionar o teor de umidade de leite em pó, grãos das principais culturas agrícolas e chá liofilizado até uma atividade de água de 0,5, bem como para vários alimentos (ANDRADE; LEMUS; PÉREZ, 2011; MARTINS, 2006; CHINNAN e BEAUCHAT, 1985).

$$X_e = a \cdot \left[\frac{a_w}{1 - a_w} \right]^b \quad (4)$$

Onde: X_e = umidade de equilíbrio expresso em (g/g de matéria seca); a e b = constante de sorção e a_w = atividade de água.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Local da pesquisa

Esta pesquisa foi realizada no Laboratório de Controle de Qualidade de Alimentos e Secagem (LACONSA) do Departamento de Engenharia de Alimentos localizado na Universidade Federal do Ceará (UFC), *campus* do Pici.

3.2 Obtenção e armazenamento da matéria-prima

Na pesquisa foram utilizadas polpas de açaí tipo A (grosso ou especial), adquiridas no comércio local, na cidade de Fortaleza - CE. As polpas foram transportadas em caixas térmicas até o Laboratório de Controle de Qualidade de Alimentos e Secagem da Universidade Federal do Ceará, onde foram armazenadas sob congelamento em freezer, com temperatura aproximada de -16°C a -18°C até a condução dos experimentos.

3.3 Caracterização da matéria prima

A polpa de açaí utilizada nesta pesquisa foi caracterizada a partir das seguintes análises:

3.3.1 Umidade

A umidade das amostras foi determinada através de uma balança determinadora de umidade, da marca Marte e modelo ID 50, a qual possui uma fonte de calor infravermelho produzido por resistência encapsulada em quartzo e display LCD matriz de pontos iluminados. A temperatura de secagem utilizada foi 105 °C. O resultado foi expresso em %.

3.3.2 Atividade de água

A atividade de água foi determinada através do equipamento Aqualab modelo 4TE, da Marca Decagon Devices, na temperatura de 25 °C, calibrado com água destilada, conforme indicações do fabricante (AQUALAB, 1997). A amostra foi colocada em uma cubeta de material

plástico e inserida no medidor de atividade de água, após fechada a tampa da câmara sobre a amostra, foi realizada a leitura disponibilizada no visor do aparelho.

3.3.3 pH (*potencial hidrogeniônico*)

Foi avaliado utilizando um pHmetro modelo Q400A, da marca Quimis, o qual foi calibrado com soluções tampão de pH 4,0 e pH 7,0. Foi necessário pesar 1 g de cada amostra, polpa integral e pó, diluindo-as em 10 ml de água destilada, e imergido o eletrodo do equipamento na amostra, conforme metodologia descrita pelo Instituto Aldolfo Lutz (2008).

3.3.4 Sólidos solúveis totais

Os sólidos solúveis foram determinados por refratometria no refratômetro digital portátil (INSTRUTEMP, modelo ITREFD 45). O equipamento foi calibrado com água destilada e, para a leitura, as amostras de polpa integral e pó foram diluídas na proporção de 1:10 (pó: água destilada). Os valores obtidos foram expressos em graus Brix e corrigidos, levando em consideração a diluição da amostra, segundo metodologia do Instituto Aldolfo Lutz (2008).

3.3.5 Acidez total titulável

A acidez total titulável foi determinada através de titulometria pesando-se 1,0 g da amostra em erlenmeyer de 125 ml, diluído em 50 ml de água destilada sob agitação até completa dissolução. Foram adicionadas 2 a 3 gotas de fenolftaleína 1 % (agente indicador), seguida de titulação com solução de NaOH (hidróxido de sódio) 0,1N padronizada até aparecimento da coloração rósea, que indicou o ponto final da titulação, conforme método descrito 016/IV (IAL,2008). A acidez foi determinada conforme Equação 5 e expressa em % de ácido cítrico.

$$Acidez = \frac{F_{ácido} * F_{NaOH} * V_{NaOH} * 10}{p} \quad (5)$$

Onde: $F_{ácido}$ = fator do ácido a ser expresso (ácido cítrico = 0,064); F_{NaOH} = fator de correção da solução de hidróxido de sódio 0,1 N; V_{NaOH} = volume de hidróxido de sódio 0,1 N gastos na titulação e p = peso da amostra.

3.3.6 Ácido ascórbico (AA)

Na análise de ácido ascórbico (AA), a metodologia utilizada foi a proposta por Strohecher e Henning (1967, p. 428). Foi realizada pesando-se 1 g de amostra, diluída em ácido oxálico 0,5 %. A mistura foi transferida para um balão volumétrico de 100 ml e completada com ácido oxálico 0,5 %, seguida de agitação e transferência de 5 ml para um erlenmeyer, onde foram adicionadas 45 ml de água destilada e tituladas com agente oxidante 2,6 - Dicloroindofenol (DFI) 0,02 % até o surgimento de uma coloração rósea persistente. O resultado foi expresso em mg de ácido ascórbico/100g da amostra.

3.3.7 Análise instrumental de cor

A cor da amostra foi determinada por um colorímetro Konica Minolta Chroma modelo CR 410 com a determinação no espaço CIE L* a* b*. O parâmetro L* representa a luminosidade com escala do 0 até 100, parâmetro a* representa a medida do vermelho (a* positivo) ao verde (a* negativo) e parâmetro b* representa a medida do amarelo (b* positivo) ao azul (b* negativo).

3.3.8 Teor de carotenoides

O teor de carotenoides foi quantificado através da metodologia descrita por Higby (1962), por espectrofotometria. Foram pesados 5,0 g da amostra, seguida da adição de 30 ml de álcool isopropílico e 10 ml de hexano. A solução obtida foi homogeneizada e, posteriormente, transferida para um funil de separação de 125 ml (recoberto com papel alumínio). Foram realizadas três lavagens, onde o conteúdo do funil foi completado com água destilada e a solução foi deixada em repouso por um período de 30 minutos.

Ao final das lavagens, foi filtrado o conteúdo com algodão pulverizado com sulfato de sódio anidro. O resíduo amarelo do algodão foi filtrado com hexano, transferido para um balão âmbar de 50 ml com 5 ml de acetona e aferido com hexano. A leitura foi realizada em espectrofotômetro utilizando-se o comprimento de onda que de 450 nm. O cálculo referente ao teor de carotenoides foi realizado conforme a Equação 6.

$$\text{Carotenoides}(mg / 100g) = \frac{A_{450} * 50}{125 * \frac{P}{v}} \quad (6)$$

Onde: A_{450} = absorvância; p = peso da amostra e v = volume do balão utilizado (ml).

3.3.9 Antocianinas

A determinação das antocianinas totais foi realizada através do método de Francis (1982). As antocianinas foram extraídas com uma solução de etanol e HCl 1,5 N, na proporção de 85:15, respectivamente, e a absorvância foi medida em um espectrofotômetro em comprimento de onda de 535 nm. O teor de antocianina foi calculado através da Equação 7 e seus resultados foram expressos em mg/100g.

$$\text{Antocianina(mg / 100g)} = \frac{\text{Absorbância} * \text{fator de diluição}}{98,2} \quad (7)$$

3.3.10 Açúcares redutores e açúcares totais

Os açúcares totais e redutores foram determinados pelo método do DNS (ácido dinitrosalicílico) descrito por Miller (1959), que se baseia no princípio de redução, em meio alcalino, do 3,5-dinitrosalicílico (coloração amarela). A leitura foi realizada em espectrofotômetro em comprimento de onda de 540 nm, cujo os resultados foram expressos em porcentagem de açúcares redutores e açúcares totais.

Todas as análises citadas no tópico 3.3 foram realizadas em triplicata.

3.4 Preparo e secagem das amostras

As polpas de açaí, ainda em suas embalagens, foram descongeladas em refrigerador, de acordo com a quantidade necessária para cada ensaio. Após o descongelamento, cerca de 200 g de polpa foram peneiradas em tela de aço inox de 32 *tyler*, homogeneizadas e o adjuvante maltodextrina com dextrose equivalente (DE 20) foi adicionado na concentração conforme o planejamento experimental. Foi feita a homogeneização da mistura em homogeneizador rotativo TE-102 da marca Tecnal® velocidade 4 por 2 min, para posterior secagem.

A escolha das proporções do adjuvante de secagem ocorreu com pesquisas em literatura na área de secagem de frutas e, principalmente trabalhos desenvolvidos no Laboratório de Controle de Qualidade e Secagem de Alimentos da UFC.

3.4.1 Secagem das amostras

A secagem foi realizada no equipamento leito de jorro, modelo FBD 3.0 da marca Labmaq do Brasil LTDA, apresentado na Figura 4.

Figura 4 - Secador de leito fluidizado utilizado na secagem para obtenção da polpa de açaí em pó.



Fonte: Laboratório de Controle de Qualidade de Alimentos e Secagem (UFC).

Foram realizados testes preliminares com base em trabalhos anteriores realizados no Laboratório de Controle de Qualidade de Alimentos e Secagem e em conhecimentos sobre as condições de trabalho do equipamento. Avaliou-se a variação da temperatura de entrada de ar de secagem e foi observado que o produto se comportou melhor a 85 °C, assim foram fixados os demais parâmetros de secagem do equipamento.

As condições de secagem utilizadas para o estudo estão descritas na Tabela 2.

Tabela 2 - Parâmetros de secagem utilizados para a secagem da polpa de açaí em leito fluidizado.

Parâmetros de secagem	Valores Fixos
Vazão de ar de secagem	1,6 m ³ /mm ⁻¹
Velocidade de alimentação	4,6 mL/min ⁻¹
Vazão de ar comprimido	3,0 L/min ⁻¹
Massa do material inerte	200 g
Temperatura	85°C

Fonte: Autora.

No processo de secagem foram utilizadas amostras de polpa de açaí com diferentes concentrações de maltodextrina: 0 % (amostra controle), 10 %, 20 % e 30 %.

Após as secagens, o pó foi coletado do ciclone, da câmara e do coletor, em seguida, foi acondicionado em embalagem laminada, seladas sem vácuo, codificadas e armazenadas sobre o abrigo da luz em temperatura ambiente ($\pm 27^{\circ}\text{C}$) até a realização das análises de caracterização do produto.

3.5 Planejamento experimental e análise estatística

O delineamento experimental utilizado na condução desta pesquisa foi o delineamento inteiramente casualizado (DIC), com o propósito de obter uma concentração ótima de maltodextrina (DE 20) para a secagem da polpa de açaí em leito de fluidizado.

Foram realizadas três repetições por tratamento em cada concentração de maltodextrina (controle 0, 10, 20 e 30 %), totalizando 12 secagens. As amostras do açaí em pó foram submetidas às análises de rendimento, umidade, atividade de água, cor (coordenada L*, a* e b*), solubilidade, higroscopicidade e grau de *Caking*.

Os resultados obtidos foram analisados através de análise de variância (ANOVA) para determinar se houve diferenças entre as amostras e Teste de Tukey a 95 % de confiança para determinação de diferença entre as médias, utilizando o programa estatístico Statistic, versão 7.0 (STATSOFT, 2004).

3.6 Análises realizadas na polpa de açaí em pó contendo a melhor concentração de maltodextrina

Após a análise estatística, foi possível escolher a concentração de maltodextrina mais favorável para a obtenção da polpa de açaí em pó.

O pó da polpa de açaí escolhido foi caracterizado a partir das análises descritas anteriormente para caracterização da matéria prima (item 3.3), acrescentadas das seguintes análises: rendimento, higroscopicidade, grau de *caking*, solubilidade, isotermas de adsorção, análise reológica e análise morfológica.

3.6.1 Cálculo de rendimento da polpa em pó

Para o cálculo do rendimento da polpa de açaí em pó, obtido pelo leite fluidizado, foi levado em consideração a massa de sólidos presente na solução inicial (polpa de açaí adicionada de maltodextrina) e a massa de sólidos componentes do pó coletado após o processo de secagem.

O cálculo de rendimento foi determinado a partir da Equação 8.

$$R = \left(\frac{(1 - Upó) * Mpó}{(1 - Ua) * Ma} \right) * 100 \quad (8)$$

Onde: R = rendimento do processo (%); $Upó$ = Umidade do pó obtido na secagem (g/g); Ua = Umidade da amostra submetida à secagem (g); $Mpó$ = massa do pó obtido na secagem (g) e Ma = massa da amostra submetida a secagem (g).

3.6.2 Higroscopicidade

Para a realização da higroscopicidade, foi usada a metodologia descrita por Goula e Adamopoulos (2010, p.344), pesando-se 1 g da amostra em pó, seguida de peneiramento (peneira de análise granulométrica de 500 μ m) e distribuído em placas de Petri, previamente taradas e pesadas. As placas foram colocadas em células de higroscopicidade (FIGURA 5) com umidade relativa em torno de 75 % por 90 minutos, seguidos de nova pesagem.

Figura 5 - Célula de Higroscopicidade utilizada na análise.



Fonte: Laboratório de Controle de Qualidade de Alimentos e Secagem (UFC).

A análise foi realizada em triplicata e calculada conforme Equação 9.

$$\text{Higroscopicidade}(\%) = \left(\frac{pf - pi}{pi} \right) * 100 \quad (9)$$

Onde: pf = peso final e pi = peso inicial.

Foram utilizados os padrões de higroscopicidade estabelecidos por GEA Niro Research Laboratory (2003), conforme Tabela 3.

Tabela 3 - Padrões da higroscopicidade.

Higroscopicidade	Porcentagem (%)
Não higroscópico	< 10
Ligeiramente higroscópico	10,1 - 15
Higroscópico	15,1 - 20
Muito higroscópico	20,1 - 25
Extremamente higroscópico	> 25

Fonte: Goula e Adamopoulos (2008).

3.6.3 Grau de caking

A determinação do grau de caking se deu após a análise de higroscopicidade. Foi realizada conforme metodologia de JAYA e DAS (2004, p. 130). As placas de Petri foram levadas à estufa de

circulação de ar por 60 minutos a 102 °C, em seguida, foram colocadas em dessecador à temperatura ambiente. O pó foi retirado, cuidadosamente, das placas e colocados em peneira granulométrica de 500 µm, previamente taradas e pesadas. Após esse procedimento, a peneira foi colocada em suporte no agitador de peneira por 5 minutos na vibração média, depois foram pesados os conjuntos de peneiras e pós retidos. O pó retido na peneira foi expresso como *grau de caking* e calculado de acordo com a Equação 10.

$$Caking(\%) = \left(\frac{prp}{pi} \right) * 100 \quad (10)$$

Onde: *prp* = peso do pó retido na peneira e *pi* = peso do pó inicial contido na placa.

Para fins de comparação, foram utilizados os padrões de *grau de caking* estabelecidos por GEA Niro Research Laboratory (2003), conforme Tabela 4.

Tabela 4 - Padrões de *grau de caking*.

Classificação	Porcentagem (%)
Não há formação de <i>caking</i>	< 10
Ligeira formação de <i>caking</i>	10,1 - 20
Pó com formação de <i>caking</i>	20,1 - 50
Pó com muita formação de <i>caking</i>	> 50
Pó com extrema formação de <i>caking</i>	100

Fonte: GEA Niro Research Laboratory (2003).

3.6.4 Solubilidade

A solubilidade foi determinada segundo metodologia proposta por Cano-Chauca *et al.* (2005). Foi adicionado 1,0 g da amostra em 100 ml de água destilada sob agitação de 2000 rpm por 5 minutos. As soluções foram transferidas para tubos específicos (50 ml) e centrifugados a 3000 rpm por 5 minutos. Uma alíquota de 25 ml do sobrenadante foi transferida para placa de petri, previamente tarada, e, imediatamente, seca em estufa a 105 °C durante 5 horas. Após esse tempo, a placa foi levada para resfriamento em dessecador e, em seguida, pesada para determinação da massa

por diferença. A solubilidade do pó foi expressa em percentual e calculada de acordo com a Equação 11.

$$\text{Solubilidade}(\%) = \left(\frac{A}{B} \right) * 100 \quad (11)$$

Onde: A = massa da amostra, em gramas, contida na placa após secagem e B = peso da amostra em gramas.

3.7 Avaliação da estabilidade dos pós da polpa de açaí

A avaliação da estabilidade da polpa de açaí em pó teve como objetivo avaliar o seu armazenamento, utilizando dois tipos diferentes de embalagens, laminada e plástica transparente.

As especificações das embalagens utilizadas são as seguintes: embalagem laminada ESA 038, cor ouro sanfonada, com materiais PET + Alum. + Poli, gramatura 122 g m² e embalagem plástica transparente, composta por uma combinação de material de polietileno (PE) e poliamida (PA) com dimensões 19,4 x 10 cm.

O período de avaliação foi de 90 dias, com intervalos de 15 dias, sendo avaliados os seguintes parâmetros: umidade, atividade de água, pH, teor de sólidos solúveis, acidez total titulável, teor de ácido ascórbico, cor, higroscopicidade, grau de *caking* e solubilidade, conforme a metodologia descrita nos itens: 3.3.1, 3.3.2, 3.3.3, 3.3.4, 3.3.5, 3.3.6, 3.3.7, 3.6.2, 3.6.3 e 3.6.4.

3.8 Isotermas de adsorção dos pós da polpa de açaí

As isotermas de adsorção foram determinadas em triplicata, utilizando o método gravimétrico estático. As amostras de 0,2 g do pó com maltodextrina foram pesadas em cadinhos de alumínio, previamente pesados. Em seguida, foram colocadas em células de vidro fechadas (FIGURA 6), com diferentes soluções saturadas de sais (TABELA 5).

Figura 6 - Células de vidro com soluções salinas, utilizadas na análise.



Fonte: Laboratório de Controle de Qualidade de Alimentos e Secagem (UFC).

Tabela 5 - Soluções salinas para elaboração da isoterma de adsorção.

Soluções Salinas	Umidades relativas (%)
CH ₃ COOK	21,00
K ₂ CO ₃	44,0
NaBr	57,70
SnCl ₂	76,00
KCl	84,32
BaCl ₂	90,00

Fonte: GREESPAN, 1977.

Após as amostras serem acondicionadas nas células, foram pesadas a cada 24 horas até atingirem o equilíbrio higroscópico e variação de peso inferior a 0,1% (0,001 g.g⁻¹ sólido), detectado através de pesagem em balança analítica e determinando-se, desta forma, a massa de equilíbrio.

A umidade de equilíbrio (X_{eq}), foi calculada de acordo com a Equação 12.

$$X_{eq} = \left(\frac{m_0 - m_s}{m_s} \right) \quad (12)$$

Onde: X_{eq} = umidade de equilíbrio, g.g⁻¹; m_0 = massa da amostra no equilíbrio, g e m_s = massa da amostra seca, g.

Após a detecção do equilíbrio, a atividade de água (a_w) de cada amostra foi medida nas temperaturas de 25, 30, 35 e 40 °C com medidor de atividade de água modelo Aqualab 4TE,

segundo as normas do fabricante (AQUALAB, 1997). Posteriormente, as amostras foram levadas para secagem em estufa a vácuo em temperatura de 70 °C para determinação da massa seca.

Para ajuste dos dados experimentais e obtenção das isotermas de adsorção foram utilizados os modelos matemáticos apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Modelos matemáticos utilizados para o ajuste das isotermas de adsorção da polpa de açaí em pó obtida por secagem em leito fluidizado.

Modelos	Equações
GAB	$X_e = \frac{X_m \cdot C \cdot K \cdot a_w}{(1 - K \cdot a_w) \cdot (1 - K \cdot a_w + C \cdot K \cdot a_w)}$
BET	$X_e = \frac{X_m \cdot C \cdot a_w}{(1 - a_w)} \cdot \left[\frac{1 - (n + 1) \cdot (a_w)^n + n \cdot (a_w)^{n+1}}{1 - (1 - C) \cdot a_w - C \cdot (a_w)^{n+1}} \right]$
HENDERSON	$X_e = \left[\frac{-\ln(1 - a_w)}{b} \right]^{\frac{1}{a}}$
OSWIN	$X_e = a \cdot \left[\frac{a_w}{1 - a_w} \right]^b$

X_{eq} - umidade de equilíbrio (g de H₂O. g⁻¹); X_m conteúdo de água na monocamada molecular (g de H₂O.g⁻¹); a_w - atividade de água; C - constante relativa ao calor total de sorção da primeira camada. K - constante de GAB relativa às multicamadas; n - Constante de BET relativa às multicamadas; a e b - parâmetros de ajuste para os modelos de Henderson e Oswin.

Os modelos foram ajustados utilizando o software 7.0 (STATSOFT, 2004) e a qualidade dos mesmos foi avaliada pelo coeficiente de correlação (R^2) e pelo erro médio relativo (E) definido na Equação 13.

$$E = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{n}{i-1} \left(\frac{m_i - m_p}{m_i} \right) \quad (13)$$

Onde: E = resíduo médio relativo (%); m_i = valor experimental; m_p = valor predito pelo modelo e n = número de dados experimentais.

3.9 Propriedades de escoamento da polpa de açaí em pó

A avaliação das propriedades de escoamento dos pós da polpa de açaí, obtido pela secagem em leito fluidizado, foram realizados em duplicata através do equipamento Powder Flow Tester

(PFT) (Brookfield Engineering Laboratories) (FIGURA 7), do Laboratório de Controle de Qualidade de Alimentos e Secagem (LACONSA), seguindo as recomendações do manual do fabricante.

Figura 7--Equipamento Powder Flow Tester (PFT).



Fonte: Laboratório de Controle de Qualidade de Alimentos e Secagem (UFC).

Foram realizados dois testes: teste de função de fluxo (flow function) e teste de atrito de parede (wall friction).

Amostras de 20 g de pó da polpa de açaí contendo 10; 20; e 30 % (m/m) de maltodextrina DE20 foram colocadas em bandejas circulares de aço inox e transferidas ao equipamento, que aplicou tensões variadas na superfície dos pós através de disco circular de aço inox para medição dos parâmetros de escoamento.

O *software* do equipamento forneceu os dados de tensões principais de consolidação e não confinada de deslizamento, densidades aparente e de compactação, índice Carr, razão Hausner e ângulo de fricção com a parede (aço inox).

Para classificar o escoamento dos pós, utilizou-se o índice de fluxo (I_f) conforme Equação 14 e Tabela 7 de acordo com Lopes Neto *et al.* (2007).

$$I_f = \frac{\sigma_1}{\sigma_c} \quad (14)$$

Em que: I_f : Índice de fluxo; σ_1 : média da tensão principal de consolidação, kPa e σ_c : média da tensão não confinada de deslizamento, kPa.

Tabela 7 - Classificação do tipo de escoamento de produtos sólidos armazenáveis.

Tipo de escoamento	Índice de fluxo (If)
Sem escoamento	If < 1
Muito coesivo	1 < If < 2
Coesivo	2 < If < 4
Fácil	4 < If < 10
Livre	> 10

Fonte: Lopes Neto *et al.* (2007).

A partir da Densidade aparente e da Densidade de compactação, foram determinados o Índice Carr (Equação 15) e Razão de Hausner (Equação 16), e a polpa de açaí em pó foi classificada de acordo com Aziz *et al.*, (2018) descritos na Tabela 8.

$$IC = \frac{\alpha_c - \alpha_a}{\alpha_c} * 100 \quad (15)$$

$$RH = \frac{\alpha_c}{\alpha_a} \quad (16)$$

Em que IC = Índice de Carr; α_c = densidade de compactação (Kg/m^3); α_a = densidade aparente (Kg/m^3).

Tabela 8 - Índice de Carr e Razão de Hausener.

Fluidez	Índice de Carr (IC%)	Razão de Hausener
Excelente	< 10	1,00-1,11
Boa	11-15	1,12-1,18
Adequada	16 - 20	1,19-1,25
Aceitavel	21-25	1,26-1,34
Difícil	26-31	1,35-1,45
Muito difícil	32-37	1,46-1,59
Excessivamente difícil	>38	>1,60

Fonte: Aziz *et al.*, (2018).

3.10 Análise morfológica da polpa de açaí em pó

O estudo da análise morfológica foi realizado na polpa de açaí em pó, obtida pela secagem em leito fluidizado, nas amostras controle 0, 10, 20 e 30 % de maltodextrina, e também na maltodextrina.

A realização foi através de um Microscópio Eletrônico de Varredura (Quanta 450 FEG-FEI), localizado na Central Analítica do Departamento da Física, da Universidade Federal do Ceará.

As amostras foram fixadas em suportes metálicos (*stub*), com uma fita adesiva de dupla face. Em seguida, foram metalizadas com uma liga de ouro/paládio em uma metalizadora (QUORUM 150T ES).

As imagens foram capturadas com aumento de 800, 1000 e 2000x, em seguida digitalizadas, operando a 5 kv, fornecendo uma cobertura de 50 a 200 μm .

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Planejamento Experimental da Secagem da Polpa de Açaí

Os resultados do planejamento experimental estão dispostos logo a seguir, onde foram considerados como variáveis dependentes: rendimento, umidade, atividade de água, cor (coordenada L*, a*, b*), solubilidade, higroscopicidade e grau de *caking* (TABELA 9), bem como isothermas de adsorção (TABELA 10), análise de escoamento (TABELA 11) e análise morfológica, e utilizando como variável independente a concentração de maltodextrina com 10, 20 e 30 %.

4.1.1 Rendimento, umidade, atividade de água, cor (coordenada L*, a*, b*), solubilidade, higroscopicidade e grau de *caking*

Na Tabela 9 estão dispostos os resultados do planejamento experimental para as variáveis dependentes: rendimento, umidade, atividade de água, cor (coordenada L*, a*, b*), solubilidade, higroscopicidade e grau de *caking*.

Tabela 9 - Valores médios e desvio padrão do rendimento, umidade, atividade de água, cor (coordenada L*, a*, b*), solubilidade, higroscopicidade e grau de *caking* da polpa de açaí em pó, com diferentes concentrações de maltodextrina.

Análises	Ensaio			
	Controle 0%	10 %	20 %	30 %
Rendimento (%)	36,83 ^a ± 1,88	18,9 ^c ± 1,01	27,78 ^b ± 0,88	28,69 ^b ± 2,77
Umidade (%)	4,49 ^a ± 0,19	4,17 ^a ± 0,06	4,17 ^a ± 1,11	4,60 ^a ± 0,09
Atividade de água	0,5246 ^a ± 0,001	0,3743 ^b ± 0,003	0,3781 ^b ± 0,001	0,3433 ^c ± 0,002
Cor: coordenada L*	23,38 ^d ± 0,02	24,61 ^c ± 0,06	27,02 ^b ± 0,01	28,73 ^a ± 0,01
Cor: coordenada a*	1,46 ^c ± 0,04	3,42 ^b ± 0,11	4,68 ^a ± 0,07	4,85 ^a ± 0,05
Cor: coordenada b*	-1,73 ^d ± 0,02	-0,79 ^c ± 0,10	0,40 ^b ± 0,08	1,14 ^a ± 0,07
Solubilidade	33,76 ^b ± 0,02	84,74 ^a ± 10,14	87,75 ^a ± 4,06	92,89 ^a ± 1,64
Higroscopicidade	2,11 ^b ± 0,56	3,63 ^{ab} ± 0,86	3,18 ^b ± 0,27	5,08 ^a ± 0,58
Grau de <i>Caking</i>	3,16 ^b ± 0,52	11,08 ^a ± 1,12	9,53 ^a ± 1,11	11,05 ^a ± 3,57

Médias seguidas da mesma letra nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 95% de confiança. Fonte: Autora

No que se refere o rendimento, foi observado que ensaio com 20 % e 30 % de maltodextrina apresentou diferença significativa dos ensaios controle e 10 % ($p < 0,05$), apresentando variação de 18,9 % a 36,83 %, sendo inferior a encontrada por Costa *et al.* (2015), que encontraram uma variação de 26,59 % para 67,20 % na secagem de polpa de açaí em leite fluidizado. Todavia, foram utilizadas polpas de frutas diluídas em água destilada e temperaturas inferiores a 85 °C,

diferentemente do presente estudo. Os referidos autores constataram também que mudanças nas variáveis de temperatura do ar de secagem, vazão de ar de secagem e a concentração da maltodextrina causaram grande influência nessa resposta. Butzge, Godoi e Rocha (2014) observaram o mesmo comportamento, ao investigar a secagem de uma mistura de colágeno e polpa de uva no leito jorro.

O rendimento no ensaio controle apesar de ter sido superior aos demais ensaios, quando relacionado aos demais parâmetros analisados não foi considerado o parâmetro de decisão para a escolha da melhor condição de secagem por ter sofrido influência dos contratempos (variação climática e equipamento em manutenção) durante a realização de suas secagens.

Em relação a umidade, as polpas de açaí em pó, analisadas com as diferentes concentrações de maltodextrina, não apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) entre si. Os menores valores de umidade foram obtidos dos ensaios de 10 e 20 %. A umidade variou de 4,17 a 4,60 %, esses valores são inferiores aos 4,0 a 6,8 % observados por Sousa *et al.* (2008), que obtiveram polpa de tomate em pó, por pulverização a uma temperatura de 220–200 °C.

O maior teor de umidade foi observado para o ensaio de 30 %. Suravanichnirachorn *et al.* (2018), ao analisarem pós de Mao (*Antidesma bunius* L. Spreng) com carreadores, observaram que a medida que a concentração de carreadores aumentava, o conteúdo de umidade dos pós tendia a diminuir, embora houvesse um limite em que os pós assumiram o comportamento contrário, isto é a umidade aumentava, como pode ser observado com a concentração de 30 % do presente estudo, houve um aumento com relação aos demais ensaios. Sabe-se que a adição de grande quantidade de maltodextrina também pode dificultar a saída de água no processo de secagem, fazendo com que pós com maiores teores do adjuvante apresentem porcentagens maiores de umidade.

A legislação brasileira (BRASIL, 2005) estabelece um limite máximo de 25 % de umidade para polpa de açaí em pó, se encontrando todos os ensaios dentro de acordo com a legislação sendo considerados estáveis em relação à deterioração bioquímica e MO.

A atividade de água variou de 0,3433 a 0,5246, onde o maior valor obtido foi do ensaio controle e de menor valor o ensaio com 30 %. Quando o valor da atividade da água em qualquer alimento produto é $< 0,6$, é microbiologicamente estável e não indica crescimento de organismos deteriorantes e patógenos (SUBTIL *et al.*, 2014). Dessa forma, o valor da atividade de água de todos os quatro ensaios de polpa de açaí em pó indicou estabilidade microbiológica.

O aumento da concentração do adjuvante de secagem tendeu a diminuir os valores de a_w . O ensaio de 10 e 20 % não tiveram diferença significativa ($p < 0,05$) entre si. Santos *et al.* (2015a), ao secar polpa de caju em leito fluidizado nas temperaturas de 50, 60 e 70°C com 10 % de

maltodextrina, obtiveram um valor de 0,993 para a atividade de água, superior ao encontrado pelo presente trabalho, no qual foi utilizado 85°C.

No que se refere ao parâmetro cor da polpa do açaí em pó, a coordenada L* é um parâmetro da cor relacionado ao brilho, portanto mede a quantidade de luz que é refletida de uma cor (KONICA MINOLTA, 1998). Valores L* próximos a 100 representam maior brilho e mais próximo de 0 representam menos brilho. Podemos observar que todas as concentrações diferiram entre si ($p < 0,05$).

O ensaio que apresentou um menor índice de luminosidade (L*) foi o controle com 23,38 e a de maior brilho com 28,73 foi o de 30 %, caracterizando cor mais clara por estar mais próximo ao branco puro, resultado que pode estar associado à adição de maltodextrina na polpa. Resultados semelhantes, produtos com maior concentração de maltodextrina apresentam maior valor de L*, foram relatados por CAPARINO *et al.*, (2012) e MARQUES *et al.*, (2014) em relação à coloração de outros produtos obtidos por secagem por pulverização, como polpa de manga e extrato de milho.

A coordenada a* na análise de colorimétrica é uma coordenada que avalia a faixa de cor, variando do vermelho (+) ao verde (-) e a b* avalia do amarelo (+) ao azul (-) (GADONSKI *et al.*, 2018). Pela coordenada a*, notou-se que a polpa obteve valores que a aproximaram mais da cor vermelha do que da verde, enquanto que, pela coordenada b*, os valores a aproximaram mais da cor azul (roxo) que do amarelo. À medida que foi adicionando maltodextrina, a cor foi ficando menos roxa.

Santiago (2010) observou que os frutos considerados ricos em antocianinas são intensamente coloridos, com suas cores variando principalmente entre o roxo e o preto.

A solubilidade é uma importante propriedade dos pós que pode ser usada para determinar a facilidade com que o pó pode ser reconstituído em água à temperatura ambiente, pois pode ser reidratado antes de ser usado como um ingrediente alimentar ou como corante alimentar (SYAMALADEVI *et al.*, 2012).

Ao avaliar a solubilidade, a polpa de açaí em pó apresentou uma faixa de 33,76 a 92,89 %. A concentração de maltodextrina afetou fortemente a solubilidade da polpa de açaí em pó. Observou-se que a solubilidade elevou com o aumento da maltodextrina, sabemos que o adjuvante utilizado possui a capacidade de ser totalmente solúvel em água e possui um melhor poder de reconstituição, quando comparado a outros no mercado. Os ensaios com 10, 20 e 30 % de maltodextrina não apresentaram diferença significativa entre si ($p < 0,05$).

Caliskan e Dirim (2016), observaram o mesmo comportamento ao analisar extrato de sumagre e constataram que maiores quantidades de maltodextrina antes da secagem gera pós com maiores solubilidades. Cavalcante *et al.* (2018), também relataram que a secagem da graviola em

spray dryer, com a adição de maltodextrina como adjuvante de secagem, na obtenção de polpas de fruta em pó, resultou em pós com alta solubilidade.

A higroscopicidade é um dos fatores de maior importância na escolha de um pó de boa estabilidade, e que assegura suas características durante o armazenamento e indica a sua capacidade para atrair moléculas de água quando em contato com o ar circundante (COSTA, ROCHA e COSTA, 2014), refletindo também na eficácia da solubilidade.

No estudo, a higroscopicidade variou de 2,11 a 5,08 %. Podemos analisar através da Tabela 9 que o ensaio de 20 % não diferiu ($p < 0,05$) dos ensaios controle e 10 %. O pó com maior teor de maltodextrina não conseguiu diminuir essa higroscopicidade, esse adjuvante se comportou como observado na umidade, dificultando a saída da água no processo.

No estudo da aglomeração do pó (grau de *caking*) podemos observar que os ensaios com adição de maltodextrina não apresentaram diferença ($p < 0,05$) entre si, apresentando variação de 3,16 a 11,08 %, valores estes que, de acordo com GEA Niro Research Laboratory (2003), classificam-se como pós com ligeira formação de *caking*.

4.1.2 Isotermas de adsorção

As isotermas de adsorção dos pós da polpa de açaí obtido por secagem em leito de jorro, foram ajustadas para os modelos matemáticos GAB, BET, Henderson e Oswin. A escolha das temperaturas 25, 30, 35 e 40 °C para representação das isotermas foi justificada pela condição do ambiente ao qual este produto poderá ser exposto em sua comercialização.

Segundo Silva *et al.* (2005), Pedro, Telis-Romero e Telis (2010), Oliveira *et al.* (2014) e Rocha *et al.* (2014), pode-se considerar um modelo adequado para descrever um fenômeno em estudo quando este obtiver um erro relativo (E %) abaixo de 10 %. Ao analisar a referida tabela, foi possível verificar que se obteve o coeficiente de determinação (R^2) e o erro relativo (E %) para cada um destes modelos.

Baseado nestes parâmetros, foi possível escolher o modelo que melhor representou as isotermas dos pós de açaí, obtido no leito fluidizado.

Na Tabela 10 são apresentados os valores dos parâmetros calculados para os ajustes aos dados experimentais.

Tabela 10-Parâmetros dos modelos matemáticos ajustados com seus respectivos coeficientes de correlação (R²) e erros médios relativos (E%) das isotermas de adsorção da polpa de açaí com concentração de 10, 20, e 30 % de maltodextrina, produzida no leite de jorro.

Modelos	Parâmetros	10 % Maltodextrina				20 % Maltodextrina				30 % de Maltodextrina			
		25 °C	30 °C	35 °C	40 °C	25 °C	30 °C	35 °C	40 °C	25 °C	30 °C	35 °C	40 °C
GAB	X _m	0,0710	0,0645	0,0425	0,0369	0,0467	0,0550	0,0518	0,0441	0,0613	0,0701	0,0673	0,0605
	C	0,5134	0,7804	1,6132	2,2705	2,3509	1,8843	2,3135	3,5685	1,9348	1,7209	1,8636	2,3547
	K	0,9115	0,9137	0,9795	1,0115	0,9614	0,9389	0,9564	0,9933	0,9343	0,9122	0,9312	0,9582
	R ²	0,9957	0,9973	0,9992	0,9993	0,9994	0,9994	0,9990	0,9982	0,9990	0,9981	0,9985	0,9974
	E (%)	11,26	7,32	4,79	4,43	3,54	3,45	3,70	3,89	4,86	5,37	4,10	4,72
BET	X _m	0,0393	0,0404	0,0388	0,0401	0,0394	0,0426	0,0434	0,0424	0,0468	0,0497	0,0516	0,0515
	C	1,0266	1,4006	1,8448	1,8252	3,4343	3,0471	3,3123	4,0917	3,2703	3,0734	2,9247	3,2282
	n	22,5985	21,0542	28,5058	43,0484	25,9243	21,9535	23,5178	47,5142	21,1945	18,6246	19,5725	22,3044
	R ²	0,9967	0,9981	0,9994	0,9992	0,9996	0,9996	0,9990	0,9982	0,9994	0,9979	0,9985	0,9973
	E (%)	9,80	6,25	4,28	4,74	2,66	2,61	3,16	3,43	3,69	4,48	3,46	4,25
Henderson	a	5,0152	5,3263	5,0028	4,7156	5,3919	5,5303	5,3698	5,0619	5,2923	5,4595	5,1326	4,9371
	b	0,6051	0,6621	0,6466	0,6301	0,7178	0,7482	0,7484	0,7274	0,7644	0,7968	0,7791	0,7689
	R ²	0,9943	0,9963	0,9963	0,9945	0,9964	0,9976	0,9963	0,9927	0,9973	0,9972	0,9970	0,9950
	E (%)	13,79	9,45	11,31	13,33	9,10	7,44	9,24	11,57	6,92	6,70	7,49	9,20
Oswin	a	0,399	0,0494	0,0510	0,0520	0,0619	0,0662	0,0679	0,0679	0,0703	0,0745	0,0763	0,0753
	b	0,9069	0,8207	0,8355	0,8614	0,7622	0,7405	0,7561	0,7855	0,7720	0,7512	0,7683	0,8129
	R ²	0,9922	0,9967	0,9990	0,9996	0,9993	0,9990	0,9990	0,9981	0,9986	0,9977	0,9982	0,9981
	E (%)	12,85	7,50	5,18	3,13	3,74	3,66	3,34	5,61	4,86	4,50	3,80	4,12

Fonte: Autora.

Os valores dos coeficientes de determinação (R^2) foram superiores a 0,99 em todos os modelos; sendo, possível afirmar que as equações foram ajustadas adequadamente aos resultados experimentais para polpa de açaí em pó.

Comparando o modelo GAB, Henderson e Oswin com o modelo BET, pode-se observar que o modelo de BET tem R^2 mais próximo de 1,0 e valores do erro médio relativo (E%) abaixo de 10 % em relação aos outros.

O modelo de BET ajustou-se bem aos dados experimentais das isotermas dos pós de açaí com 10, 20 e 30 % de maltodextrina à 25, 30, 35 e 40 °C.

O modelo apresentou altos coeficientes de determinação (R^2), entre 0,9967 e 0,9996 e baixos valores do erro médio relativo (E%), entre 2,61 a 9,80 %. Desta forma, o modelo de BET foi escolhido para descrever as isotermas da polpa de açaí. Estudando o comportamento das isotermas de adsorção para os pós de cajá, Moura Neto *et al.* (2015) e Oliveira *et al.* (2014), e para os pós da fruta de pitaita (Molina *et al.*, 2014), obtiveram também melhores ajustes pelo modelo de BET.

O conteúdo de umidade na monocamada (X_m) corresponde à quantidade de água fortemente adsorvida a sítios específicos na superfície dos alimentos, expressa em g de $H_2O \cdot g^{-1}$ de matéria seca (ALVES, FÓZ e NICOLETI, 2015) e é considerado um valor crítico, acima do qual as taxas de algumas reações de degradação aumentam e a estabilidade da matriz alimentar diminui (COMUNIAN *et al.*, 2011).

Segundo Pavan, Schmidt e Feng (2012) os modelos de GAB e BET se baseiam no conceito de umidade na monocamada, sendo este um parâmetro importante para avaliação da estabilidade dos alimentos.

Avaliando os valores da umidade na monocamada (X_m) no modelo de BET foi possível observar que o conteúdo da monocamada (X_m) aumentou conforme o aumento da concentração de maltodextrina à uma mesma temperatura.

Foi possível observar também que com aumento da temperatura de 25 °C para 40 °C nas três diferentes concentrações, aumentou a umidade na monocamada. O aumento da umidade na monocamada com o aumento da temperatura não é comum a todos os alimentos. Tal comportamento pode ser explicado visto que, de acordo com Ferreira e Pena (2003), dois mecanismos podem ser utilizados para justificá-lo. Um aumento na temperatura pode: provocar modificações na estrutura física do produto, disponibilizando um maior número de sítios ativos com afinidade por moléculas de água, ou um aumento na solubilidade de solutos intrínsecos ao produto, fazendo com que um maior número de moléculas de água fique retido na monocamada.

A elevação da temperatura como fator predominante para o incremento dos valores da umidade na monocamada (X_m) também foi observado por Moreira *et al.* (2013) na isoterma de

adsorção da polpa de manga em pó, por Cavalcante *et al.* (2018) na isoterma de adsorção da polpa de graviola e por Moura Neto *et al.* (2015) no cajá em spray dryer.

Para Gabas *et al.* (2009) as diferenças entre os valores obtidos para X_m nas isotermas de frutas em diferentes trabalhos podem ser atribuídas à variação na composição da matéria-prima, principalmente no teor de açúcar.

Os resultados do conteúdo de umidade na monocamada (X_m) no modelo de BET apresentados na Tabela 10, demonstraram que com baixa a_w , o pó de polpa de açaí adsorveu pequenas quantidades de água e, em alta temperatura, o pó absorveu grandes quantidades de água, indicando armazenamento a 25°C.

Oliveira *et al.* (2014) também observaram, no estudo do comportamento higroscópico do pó da polpa de cajá que a dição de 17 % de maltodextrina elevou o valor do conteúdo de umidade da monocamada.

A constante C, é a função das interações entre os sítios ativos do produto e as moléculas de água (RIGANAKOS; DEMERTZIS; KONTOMINAS, 1994). Observou-se que o aumento da temperatura favoreceu o aumento dos valores de C. De forma semelhante no modelo de GAB a constante K aumentou com o aumento da temperatura de 25 °C para 40 °C.

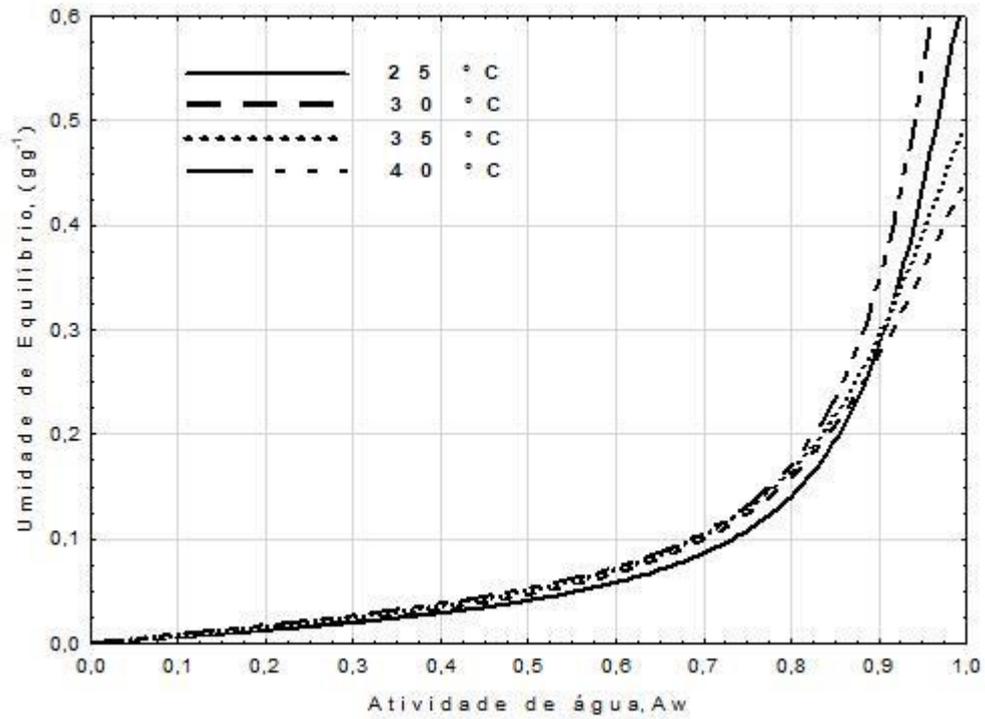
As constantes C e K são um indicativo do tipo de isoterma. Catelam, Trindade e Romero (2011) afirmaram que representam uma medida das interações entre as moléculas do adsorvato com o adsorvente. Para Timmermann (2003) a constante K do modelo de GAB aumenta com a força de interação entre adsorvato-adsorvente e valores maiores que 1 são fisicamente inadequados indicando uma sorção infinita.

No presente estudo foi observado valor de $k > 1$, tornando o modelo de GAB inconsistente fisicamente, tal comportamento foi reportado por Ribeiro, Costa e Afonso (2016) ao estudar as isotermas da polpa de acerola em pó obtida por liofilização.

Com relação aos parâmetros dos demais modelos, o de Henderson, o valor de 'a' deve ser maior que zero e 'b' maior que 1,0 e para o modelo de Oswin 'a' deve ser maior que zero e 'b' estar entre zero e 1,0 (ALCÂNTARA *et al.*, 2009). Os valores dos parâmetros de Henderson e Oswin obtidos neste estudo se encontraram dentro dessas limitações (TABELA 10). Quando esses parâmetros estão dentro desses intervalos indica que não há ponto de inflexão na curva, sendo assim, não há mudanças na concavidade das funções, logo estes parâmetros possuem consistência matemática e física (ALCÂNTARA *et al.*, 2009).

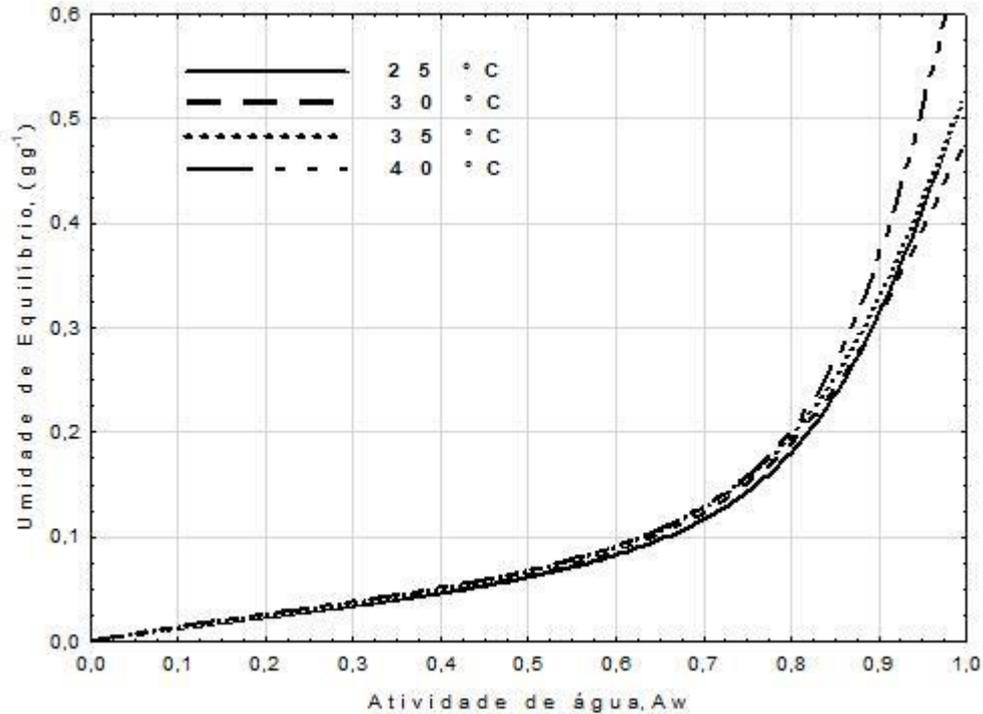
Estão apresentadas as isotermas de adsorção de umidade para o pó da polpa de açaí nas temperaturas de 25, 30, 35 e 40 °C com 10, 20 e 30% de maltodextrina, respectivamente, nas Figuras 8, 9 e 10, construídas pelo ajuste ao modelo de BET.

Figura 8-Isotermas de adsorção da polpa de açaí em pó nas temperaturas de 25, 30, 35 e 40 °C (linhas) com 10 % de teor de maltodextrina, ajustado pelo modelo de BET.



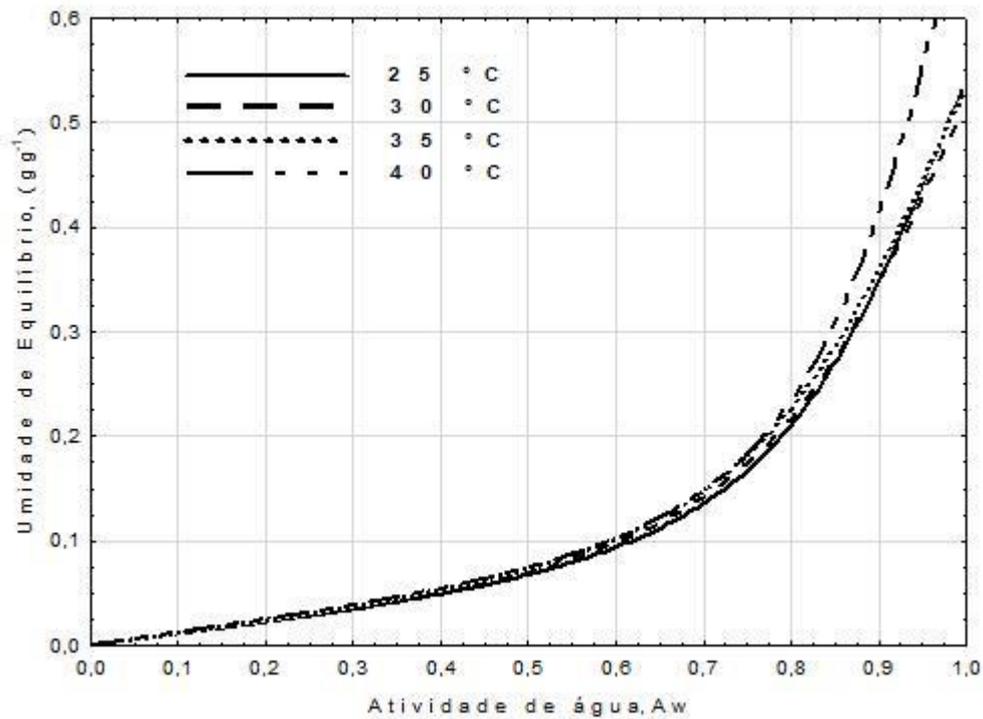
Fonte: Autora

Figura 9-Isotermas de adsorção da polpa de açaí em pó nas temperaturas de 25, 30, 35 e 40 °C (linhas) com 20 % de teor de maltodextrina, ajustado pelo modelo de BET.



Fonte: Autora

Figura 10-Isotermas de adsorção da polpa de açaí em pó nas temperaturas de 25, 30, 35 e 40 °C (linhas) com 30 % de teor de maltodextrina, ajustado pelo modelo de BET.



Fonte: Autora

A partir destas figuras, podemos verificar que existiu um aumento da umidade de equilíbrio (X_{eq}) com o aumento da atividade de água (a_w). Comportamento característico típico de isotermas do tipo III que é uma característica de alimentos com alto teor de açúcar na classificação IUPAC segundo Hérbrard *et al.*(2003) e Al-Muhtaseb *et al.* (2004), pois apresentam uma zona mais plana na sua primeira parte, ou seja, em formato de “J”. Outro parâmetro que caracteriza curvas no formato J, ou seja, isotermas do tipo III, é a constante C, pois, de acordo com Gogus, Maskan e Kaya (1998), a constante $C < 10$ indica isotermas com este formato. Foi observado que todos os modelos apresentaram $C < 10$, portanto, todas as isotermas são do tipo III.

As mesmas formas de isotermas foram obtidas por Silva *et al.* (2008) estudando o comportamento higroscópico do açaí e cupuaçu em pó e justificando que este comportamento é característico de materiais ricos em carboidratos. Este tipo de curva também foi observado por Tonon (2008), estudando o equilíbrio de açaí em pó atomizado com diferentes agentes carreadores, Pedro, Telis-Romero e Telis (2010) em polpa de maracujá e por Cavalcante *et al.*(2018) ao estudarem o pó de graviola obtido por spray dryer.

Observou-se através das figuras 8, 9 e 10, que não houve um alinhamento das curvas e apresentaram condições de atividade de água e umidade de equilíbrio muito próximas devido à estreita faixa de temperatura avaliada (25 °C para 40 °C). Este comportamento também foi observado no estudo de Moreira *et al.* (2013) nas isotermas de pó de manga liofilizada.

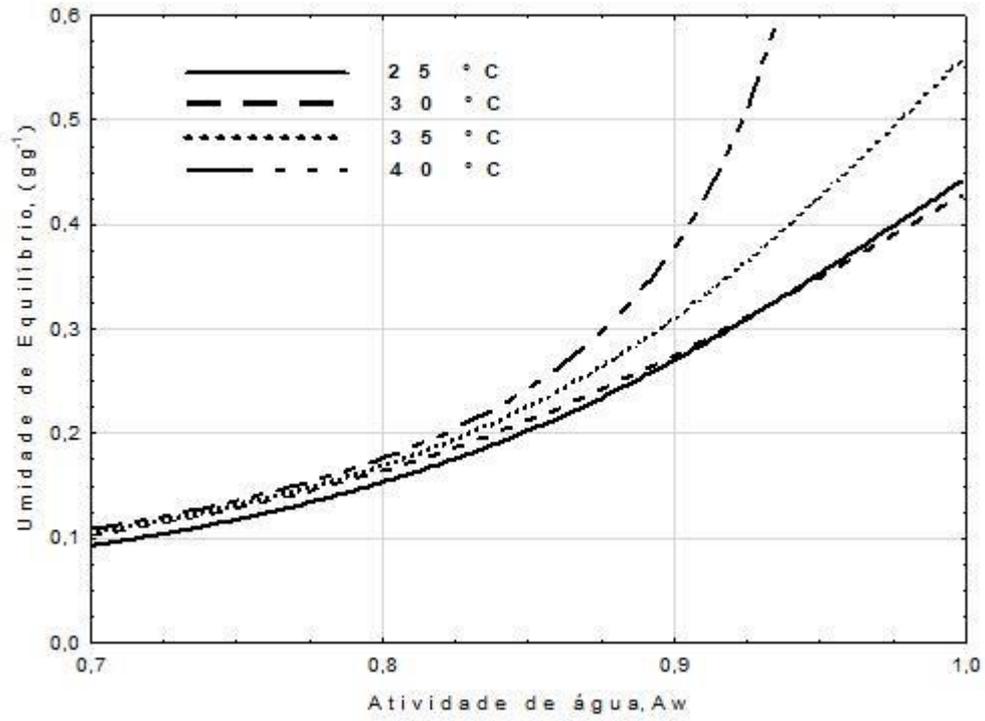
Em ambas as figuras foi visualizado uma tendência a maior absorção de água em temperaturas mais elevadas, no caso a 40 °C, tendência também reportada por Ribeiro, Costa e Afonso (2016), que justifica como fenômeno comum para produtos ricos em açúcar como pós de frutas.

Podemos verificar ainda que houve sobreposição de curvas, na Figura 8, com a mesma concentração de maltodextrina (10%) em função da variação da temperatura (25 a 40 °C), podemos notar que a curva de 25 °C ficou sobreposta a curva de 30 °C. Na Figura 9, pode-se verificar que com a concentração de 20 % maltodextrina nas faixas de temperaturas analisadas 25, 30, 35 e 40 °C, a curva de 35 °C também se sobrepôs a curva de 25 e 30 °C. Para a Figura 10 também foi observado sobreposições de curvas.

Alguns autores (AL-MUHTASEB *et al.*, 2004; GOULA *et al.*, 2008) relatam que o aumento da temperatura ocasionou diminuição da umidade de equilíbrio em uma mesma atividade de água. Comportamento contrário foi constatado no presente trabalho.

A partir dos Figuras 11, 12 e 13 podemos observar um comportamento de inversão do efeito da temperatura sobre as isotermas dos pós de açaí obtido pela secagem em leite fluidizado.

Figura 11-Inversão da isotermas do pó de açaí com 10 % de maltodextrina para as temperaturas 25, 30, 35 e 40 °C, segundo o modelo de BET.



Fonte: Autora

Figura 12-Inversão da isotermas do pó de açaí com 20 % de maltodextrina para as temperaturas 25, 30, 35 e 40 °C, segundo o modelo de BET.

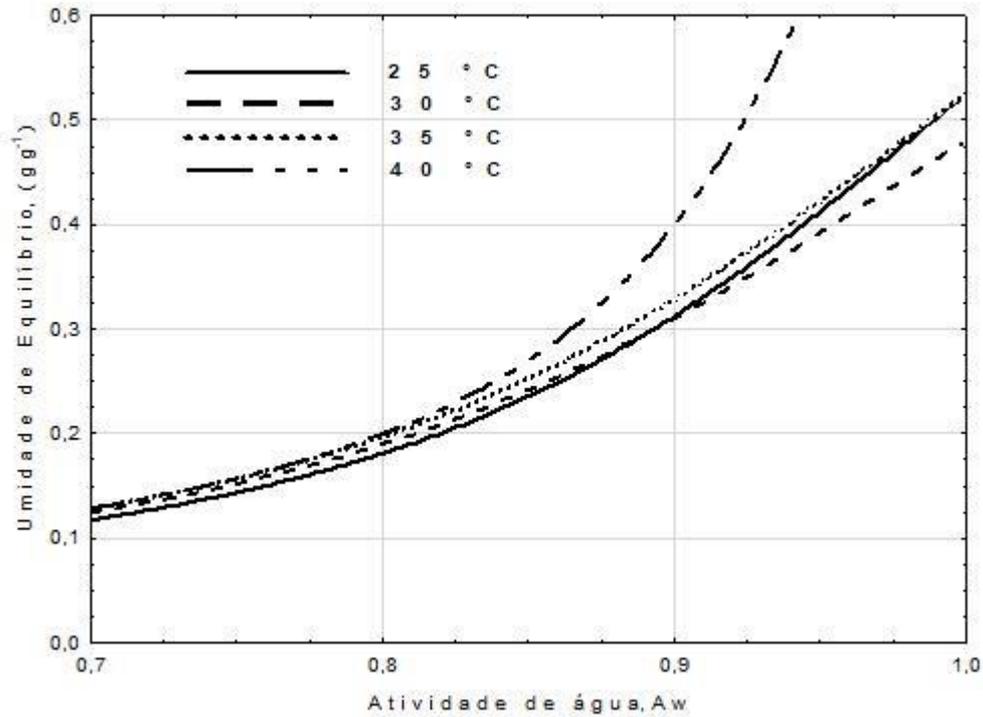
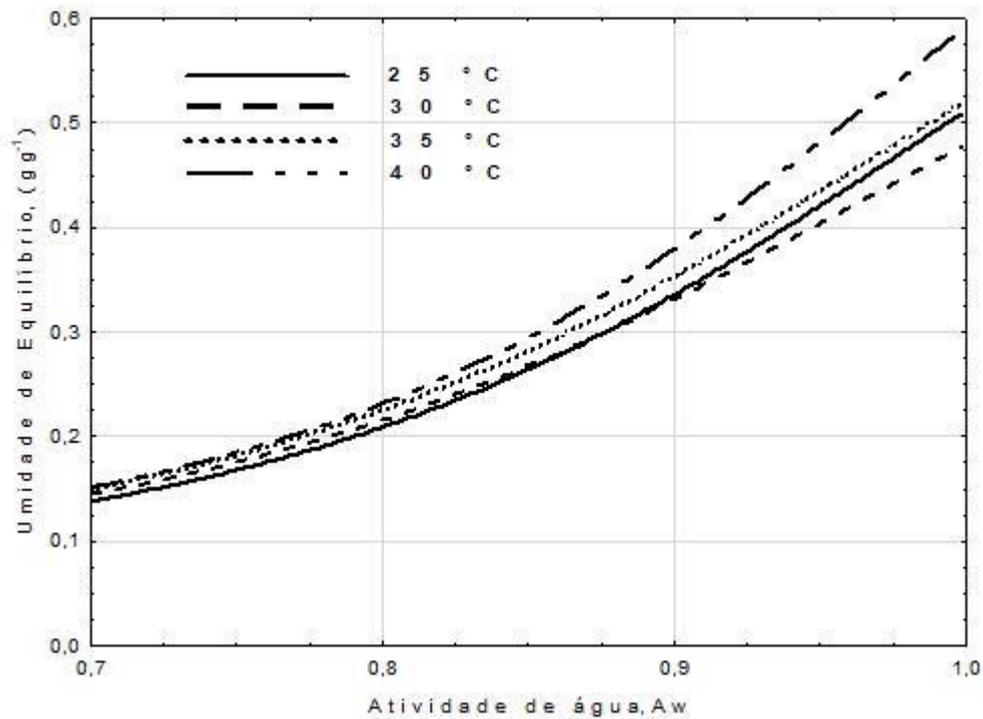


Figura 13-Inversão da isotermas do pó de açaí com 30 % de maltodextrina para as temperaturas 25, 30, 35 e 40 °C, segundo o modelo de BET.



Na Figura 11, a ocorrência de inversão do efeito da temperatura entre as isotermas de 25 e 30 °C sobre a umidade de equilíbrio do pó na faixa de atividade de água entre 0,9 e 1,0. Já nos pós com 20 % de maltodextrina (FIGURA 12), as isotermas de 25 e 30 °C permaneceram sobrepostas uma a outra na faixa de atividade de água de 0,8 e 1,0. Nos pós com 30 % do adjuvante de secagem (FIGURA 13), também se verificou inversão do efeito da temperatura entre isotermas de 25 e 30 °C, a partir da atividade de água de 0,8, ou seja, a partir dessa faixa de atividade de água, pode-se observar que com o aumento da temperatura, para a mesma atividade de água, houve uma redução na umidade de equilíbrio entre as temperaturas 25 °C e 30 °C.

Muitos trabalhos sobre isotermas apresentam uma inversão do efeito da temperatura em atividades de água. Tsami *et al.* (1999) afirmam que a inversão da temperatura ocorre em atividades de água acima de 0,7 para alimentos com alto conteúdo de açúcares, como as frutas. O comportamento da inversão das isotermas pode ser explicado pelo aumento da solubilidade dos açúcares na água pelo incremento na temperatura (PEDRO, TELIS-ROMERO e TELIS, 2010).

4.1.3 Análise de escoamento

No estudo das propriedades de escoamento da polpa de açaí em pó foram determinados os parâmetros de: Função de Fluxo (FF), Densidade Aparente (WF), Densidade de compactação, Ângulo de fricção interno com a parede (ϕ_w) e o Ângulo Efetivo de Atrito Interno δ (°), nas concentrações de 10, 20 e 30 % de maltodextrina DE 20.

A função de fluxo foi obtida a partir dos valores de tensões principais de consolidação (σ_1) e tensões não confinadas de deslizamento (σ_c). Os resultados obtidos da função de fluxo da polpa de açaí em pó com 10, 20 e 30 % de maltodextrina são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11-Tensões da polpa de açaí em pó com 10, 20 e 30 % de maltodextrina.

Tensões	Concentração de maltodextrina					
	10 % (m/m)		20 % (m/m)		30 % (m/m)	
	σ_1 (kPa)	σ_c (kPa)	σ_1 (kPa)	σ_c (kPa)	σ_1 (kPa)	σ_c (kPa)
Tensão Min.	1,555	1,145	1,518	0,981	1,563	1,172
	3,184	1,984	3,114	1,687	3,140	2,014
	6,389	3,365	6,141	2,943	6,313	3,414
	12,464	5,625	11,601	4,690	12,517	5,698
Tensão Max.	23,742	9,142	22,219	8,040	23,988	9,137

σ_1 – tensão principal de consolidação (kPa) e σ_c - tensão não confinada de deslizamento (kPa). Fonte: Autora.

A tensão não confinada de deslizamento (σ_c) sofreu influência da tensão principal de consolidação (σ_1), em que cada aumento da tensão principal de consolidação acarretou aumento na tensão não confinada de deslizamento.

Foi possível observar que a tensão não confinada de deslizamento (σ_c) aplicada na polpa de açaí em pó apresentou mudanças nas diferentes concentrações de maltodextrina. A polpa de açaí em pó adicionada de 10 e 30 % de maltodextrina apresentaram valores de σ_c de 9,142 e 9,137 kPa maiores com relação a amostra de 20 % que apresentou 8,040 kPa.

De acordo com Lopes neto *et al.* (2007) quanto maior o valor da tensão não confinada de deslizamento (σ_c) de um pó menor é sua fluidez frente à mesma tensão de consolidação, ou seja, maior a dificuldade de seu escoamento. Foi possível observar que, a adição do adjuvante de secagem, maltodextrina, influenciou diretamente na capacidade de escoamento dos pós, dificultando o escoamento para amostra de 10 e 30 %, sendo o melhor fluxo na concentração de 20 %.

A influência da maltodextrina nas propriedades de escoamento de pós de frutas, em relação as força de fluxos, foi relatado por Rocha *et al.* (2017) e Afonso *et al.* (2019) com a polpa de manga em pó, à medida que a maltodextrina foi adicionada a força de fluxo reduziu, comportamento diferenciado do presente estudo.

O comportamento diferenciado pode ser justificado por Crowley *et al.* (2014) quando afirmaram que as propriedades de fluxo dos produtos dependem da sua composição e características físicas, tais como a distribuição do tamanho das partículas, forma das partículas, a estrutura de superfície, densidade de partícula, densidade, teor de água e a composição química.

Conforme Santos, Condotta e Ferreira (2016), não apenas com uma propriedade física, mas uma combinação intrínseca de todas as propriedades, individual e coletiva das partículas que constituem o leite, tais como, distribuição granulométrica, densidades, porosidade, umidade, forma e textura de superfície, sendo a grande maioria destas afetadas pelo processamento industrial.

Sabe-se que a adição de grande quantidade de maltodextrina também pode dificultar a saída de água no processo de secagem, fazendo com que pós com maiores teores do adjuvante apresentem porcentagens maiores de umidade.

Com os dados da Tabela 11, que se referem aos valores das tensões (σ_1) e (σ_c), e da Equação 14, foi possível determinar o índice de fluxo (If) das amostras de polpa de açaí em pó com diferentes concentrações de maltodextrina. O índice de fluxo é definido como o inverso da inclinação da função de fluxo (LOPES NETO *et al.*, 2007).

Na Tabela 12 estão apresentados os valores médios obtidos para o índice de fluxo (If).

Tabela 12-Valores médios dos índices de fluxo de polpa de açaí em pó analisados com diferentes concentrações de maltodextrina.

Amostras	Índice de fluxo (If)
10% de maltodextrina	1,935
20% de maltodextrina	2,143
30% de maltodextrina	1,913

Fonte: Autora.

Ao analisar os valores obtidos do índice de fluxo, podemos verificar que a amostra de 20 % de maltodextrina, apresentou maior fluidez e a amostra de 30 % apresentou menor fluidez, dentre as amostras. Quanto maior o índice de fluxo, mais livre é o fluxo da amostra.

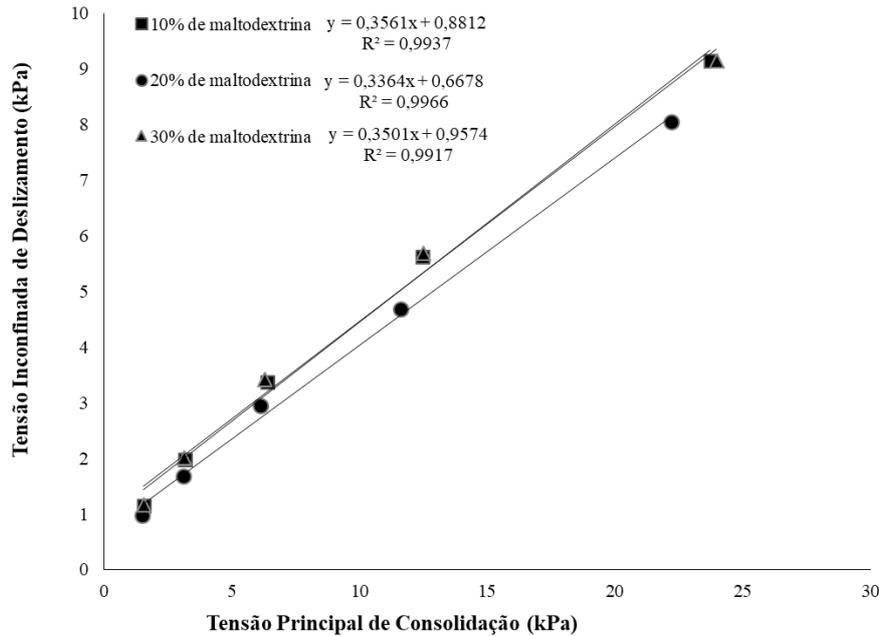
Maior teor de água cria pontes líquidas entre as partículas, levando à coesão (TEUNOU, FITZPATRICK e SYNNOTT, 1999), isso explica o baixo valor do índice de fluxo para amostra de 30% de maltodextrina, em virtude de ter umidade maior que a amostra de 20 %, conforme observado na Tabela 12.

De acordo com a classificação de Lopes Neto *et al.* (2007) apresentada na Tabela 7, as amostras de polpa de açaí em pó com 10 e 30 % de maltodextrina apresentaram comportamento de pós muito coesos ($1 < If < 2$) e amostra de 20 % de pós coesos ($2 < If < 4$).

O índice de fluxo também foi estudado por Ferreira (2017) com polpa de cajá em pó adicionada de 12,72 % de maltodextrina, utilizando também o leito fluidizado como equipamento de secagem e o PFT para análise das propriedades reológica, obtendo pós com comportamento semelhante a polpa de açaí em pó com 20% de maltodextrina, isto é, pós coesos.

A reta gerada no gráfico com coordenadas de tensões principais e tensões de não confinamento, descritas na Tabela 11, pode ser visualizado através da Figura 14, na qual a inclinação define o grau de escoabilidade (LOPES NETO, DA SILVA e DO NASCIMENTO, 2009).

Figura 14-Tensão não confinada de deslizamento () e tensão principal de consolidação () para polpa de açaí em pó, nas concentrações de 10, 20 e 30 % de maltodextrina.



Fonte: Autora.

Como podemos observar, a amostra com 10 e 30% de teor de maltodextrina apresentou maior distanciamento do eixo de tensão de principal de consolidação, enquanto que a amostra com 20 % de maltodextrina apresentou menor inclinação perante o mesmo eixo. Segundo Lopes Neto *et al.* (2007) a curva mais próxima ao eixo horizontal (tensão principal de consolidação) representa um produto de fluxo fácil, enquanto uma reta mais próxima do eixo vertical (tensão incofinada de deslizamento) tende a apresentar produto com maior resistência ao escoamento. Sendo assim, a amostra de polpa de açaí em pó adicionada de 20 % de maltodextrina apresentou menor resistência de escoamento em relação as demais amostras.

De acordo com Tonon (2009) e Barbosa-Canovás e Juliano (2005), a densidade é um parâmetro muito importante, por ser muito utilizado para estocagem de produtos em pó, sendo a partir desta característica que se pode mensurar o espaço ocupado por determinada quantidade deste produto. Conforme Seerangurayar *et al.*, (2017) e Shishir *et al.*, (2014) são úteis para prever a qualidade das partículas já que densidades maiores indicam que os pós têm melhores propriedades, como menor teor de umidade, maior rendimento, boa fluidez e maior vida útil do produto.

A densidade mais utilizada como parâmetro para estocagem em processos de microencapsulação é a densidade aparente (ρ_{bulk}) que considera o volume de material e o volume de ar entre partículas.

Os resultados das densidades aparentes e de compactação da polpa de açaí em pó, adicionada de 10, 20 e 30 % de maltodextrina, estão apresentados na Tabela 13.

Tabela 13-Densidade aparente e de compactação da polpa de açaí em pó obtida pela secagem em leito fluidizado, adicionada de 10; 20 e 30 % de maltodextrina.

Amostras (%)	Densidade (Kg/m ³)	
	Aparente	Compactação
10	314,9	656,2
20	366,9	668,8
30	346,1	644,2

Fonte: Autora.

Observou-se que as densidades aparentes, isto é, sem aplicação de tensões aos pós, variaram 314,9 a 366,9 kg/m³. O menor valor foi observado para amostra de 10 % e maior valor para amostra de 20 %. A densidade aparente é influenciada pelo do tamanho, forma e propriedades da superfície das partículas. Conforme Santana (2013) materiais de baixa densidade necessitam de espaço maior para armazenamento, o que gera aumento de custo. Ferrari *et al.* (2012) e Oliveira *et al.*, (2013) relataram que, quanto mais pesado o material, mais facilmente ele se acomoda nos espaços entre as partículas, ocupando menos espaço com menores quantidade de ar ocluso, resultando em maiores valores de densidade aparente, o que nos leva a afirmar que o açaí em pó com 20% de maltodextrina se faz necessário de um espaço menor, em comparação os demais ensaios, para o seu armazenamento.

Ferreira (2017) encontrou valor de 378,8 kg/m³ de densidade aparente para amostra de polpa de cajá em pó obtida pela secagem em leito fluidizado com 12,72 % de concentração de maltodextrina DE 20, valor superior ao do presente estudo que pode ser justificado por Oliveira *et al.* (2014) e Lee e Yoon (2015), onde destacaram que um sólido de partículas finas, quando comparado à um sólido com partículas grossas, terá um aumento de densidade, o que pode ter influenciado na diferença de densidade dos estudos.

As densidades de compactação, ou seja, medidas após aplicação de tensões aos pós variaram de 644,2 a 668,8 kg/m³, tendo a amostra com 30 % de maltodextrina apresentado menor densidade de compactação, seguida da amostra de 10 %. A amostra de 20 % se mostrou mais compacta, reforçando os resultados da densidade aparente.

A partir dos valores obtidos das densidades aparente e de compactação foram obtidos o índice de compressibilidade (Índice de Carr) e Fator de Hausner (TABELA 14) da polpa de açaí em pó, adicionada de 10, 20 e 30 % de maltodextrina.

Tabela 14-Índice de compressibilidade e fator de Hausner das amostras de polpa de açaí em pó com 10, 20 e 30% de maltodextrina.

Amostras (%)	Índice de Carr IC (%)	Razão de Hausner
10	52,01	2,08
20	45,14	1,82
30	46,27	1,86

Fonte: Autora.

Para o índice de compressibilidade foram encontrados valores de 45,14 a 52,01 % de índice de Carr, sendo classificados de acordo com a Tabela 8 como pós de compressibilidade excessivamente difícil (>38).

Dentre as amostras, a que mais apresentou a compressibilidade excessivamente difícil foi a amostra de 10 %, isto é, menos compacto. Pós menos compacto são pós com alta viscosidade, que tendem a formar partículas maiores (BHUSARI, MUZAFFAR e KUMAR, 2014). A amostra de 20 % foi dentre as amostras que obteve melhor compressão, mesmo sendo extremamente difícil.

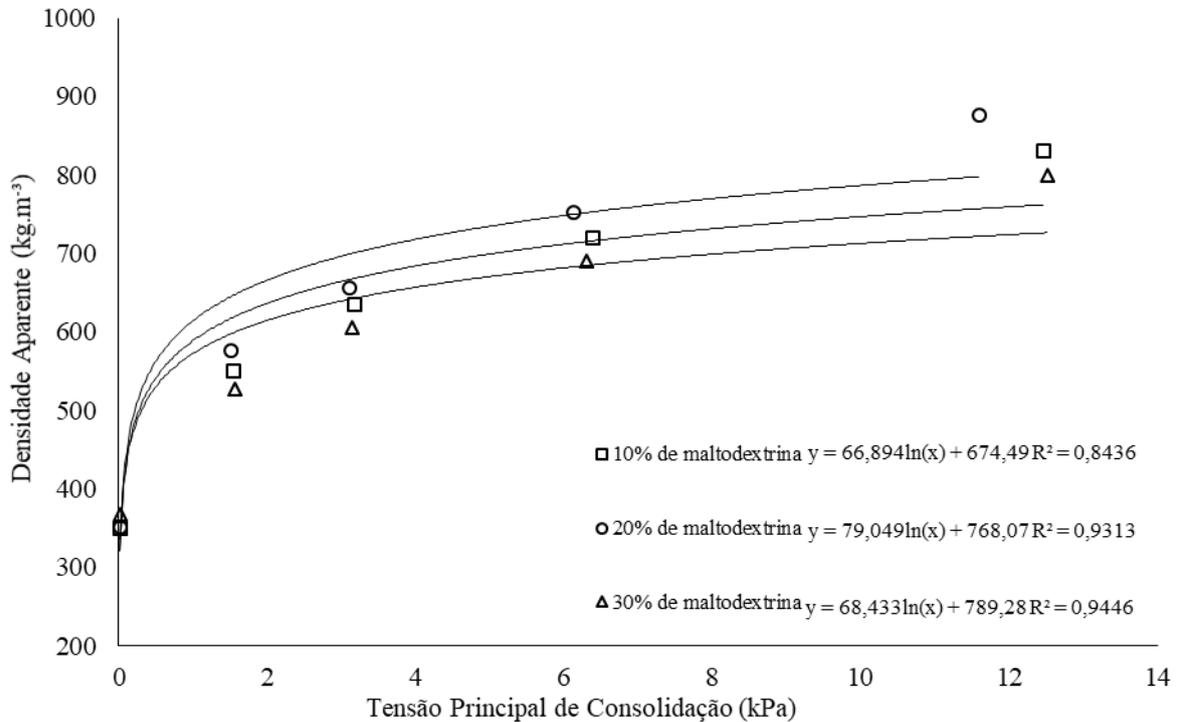
Quanto a razão de Hausner, de acordo com a Tabela 8, as amostras de polpa de açaí em pó foram classificadas como excessivamente difícil > 1,60. A amostra de 10 % de maltodextrina foi dentre as amostras que obteve o comportamento para o índice Carr e razão de Hausner mais elevado, assim apresentando condições de fluidez e compressibilidade inferior as demais amostras estudadas.

Costa *et al.* (2015) obtiveram para polpa de açaí em pó com 20,5 % de maltodextrina em leite fluidizado à 66 °C, valor para IC de 12,5 %, classificando-se como pó de excelente fluidez, valor este bem inferior ao encontrado neste presente trabalho.

De acordo com Juliano e Barbosa-Cánovas (2010), características das partículas como umidade, densidade e composição, forma e distribuição do tamanho de partículas, influenciam no escoamento das partículas.

Oliveira *et al.* (2014) e Lee e Yoon (2015) afirmaram que a densidade é fortemente ligada a tensão de consolidação. Na Figura 15, encontra-se a demonstração da densidade aparente das amostras de polpa de açaí em pó com 10, 20 e 30 % de maltodextrina em função da tensão principal de consolidação, na qual foi possível analisar que à medida que foi sendo aplicado os cinco níveis de tensão de consolidação na polpa de açaí em pó, foi aumentando a densidade aparente.

Figura 15-Densidade aparente das amostras de polpa de açaí em pó com 10, 20 e 30 % de maltodextrina em função da tensão principal de consolidação.



Fonte: Autora.

A influência do aumento da concentração da maltodextrina com a elevação da densidade aparente frente a tensão principal de consolidação já foi reportada por alguns autores, como Rocha *et al.* (2017) e Afonso *et al.* (2019), que observaram tal comportamento na secagem de polpa de manga. Na avaliação do açaí em pó não foi observado o referido comportamento.

Conforme Mohammed *et al.* (2011), a forma da partícula, rugosidade, coesão e a aglomeração, influencia a densidade aparente dos pós, o que justifica o comportamento diferenciado do presente estudo.

O ângulo de atrito com a parede representa o esforço de adesão entre o produto armazenado e a superfície do material do produto. É o ângulo medido entre a horizontal e uma linha reta a partir da origem que se cruzam (PRESCOTT, PLOOF e CARSON, 1999). Sua avaliação é essencial para projetos estruturais e de estabilidade de silos nos quais devem ser garantidas descargas seguras e consistentes (IQBAL e FITZPATRICK, 2006).

O ângulo efetivo de atrito interno δ (°) é a força tangencial necessária para vencer o atrito entre dois corpos (OLIVEIRA *et al.*, 2014).

Na Tabela 15 encontram-se os valores mínimos e máximos do ângulo de atrito com a parede (Θ_w) e efetivo de atrito interno δ ($^\circ$), da polpa de açaí em pó obtida em leite fluidizado adicionada de 10, 20 e 30 % de maltodextrina.

Tabela 15-Ângulo de atrito com a parede da polpa de açaí em pó obtida em leite fluidizado, adicionada de 10, 20 e 30 % de maltodextrina.

Amostras (%)	Ângulo de atrito com a parede (Θ_w)		Ângulo efetivo de atrito interno δ ($^\circ$)	
	Mínimo	Máximo	Minimo	Máximo
10	39,0	54,8	18,6	27,2
20	38,6	54,3	17,6	26,8
30	39,1	55,7	19,4	28,5

Fonte: Autora.

Podemos avaliar através da Tabela 15, que a amostra de 20 % apresentou valores inferiores para o valor mínimo e máximo no parâmetro de ângulo de atrito com a parede (Θ_w) e nos ângulos efetivo de atrito interno δ ($^\circ$), já a amostra com 30% de concentração de maltodextrina, apresentou maiores valores, ou seja, de acordo com Fitzpatrick *et al.* (2004), quanto maior o ângulo de atrito da parede, mais difícil para o pó se mover ao longo da parede. Dessa forma, quanto menores os valores desse ângulo, menores são as inclinações que uma parede necessita para assegurar o escoamento dos pós. Diante disso, a amostra de 20 % apresentou mais facilidade de movimentação em relação as demais.

De acordo com o estudo de Fitzpatrick *et al.* (2004) em estudos com leite em pó e Lopes Neto, Nascimento e Silva (2009) com diferentes rações, observaram que quanto menor o tamanho de uma partícula, maior será o ângulo de atrito com a parede.

Ainda de acordo com Fitzpatrick *et al.* (2004) mudanças de escoamento foram perceptíveis quando o tamanho das partículas diminuíram, pois há um aumento da área de contato entre as partículas, aumentando a interação entre as forças coesivas, mas não se pode relacionar a fluidez exclusivamente com base nessas propriedades. A composição dos pós, adição de adjuvantes de secagem e o método de secagem, conforme Aziz *et al.* (2018), influenciam a fluidez dos pós.

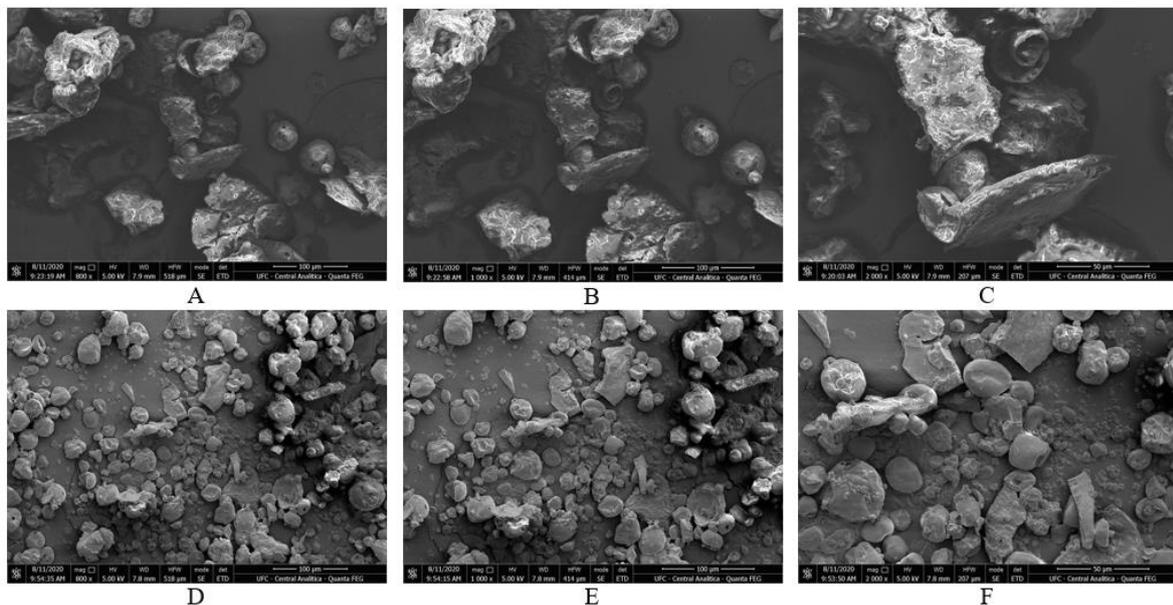
Para um melhor estudo na análise de escoabilidade quanto a influência das estruturas das partículas e da maltodextrina das amostras em estudo, foi realizada a análise morfológica em microscópio eletrônico de varredura (MEV), que será abordado a seguir.

4.1.4 Análise morfológica

Conforme citado anteriormente, com o intuito de se obter informações sobre características da forma, do tamanho, e informações referentes a superfície da polpa de açaí em pó, obtida através da secagem em leito fluidizado, e a influência da maltodextrina e do processamento de secagem, foi realizada a análise morfológica da polpa de açaí em pó, com diferentes concentrações de maltodextrina: controle, 10, 20 e 30 %, e a maltodextrina, através de microscopia eletrônica de varredura (MEV).

As imagens da microscopia eletrônica obtidas, podem ser visualizadas através das Figuras 16, 17 e 78.

Figura 16-Micrografias das microcápsulas da polpa de açaí em pó: (a, b, c) sem maltodextrina, com aumento de 800, 1000 e 2000x, respectivamente; e (d, e, f) com adição de 20% de maltodextrina, com aumento de 800, 1000 e 2000x, respectivamente.



Fonte: Autora

Conforme a Figura 16, as partículas da polpa de açaí em pó sem maltodextrina (A, B, C), apresentaram maiores tamanhos, com superfícies mais rugosas e aglomeradas quando comparadas com as partículas da polpa de açaí em pó com adição de 20 % de maltodextrina, que apresentaram tamanhos menores, mais lisas, mais dispersas e mais esféricas.

Ferrari, Ribeiro e Aguirre (2012) relataram que a maltodextrina com 20-24 DE contém uma grande quantidade de açúcares de baixo peso molecular, que podem atuar como plastificantes, impedindo o encolhimento. Caparino *et al.*, (2012) afirmam que essa característica favorece a

estabilidade do produto em pó, indicando menos susceptibilidade aos processos de degradação devido à menor área superficial disponível.

Tonon *et al.* (2009b) explicam que a presença de partículas maiores pode ser atribuída a um começo do processo de aglomeração, onde a formação de pontes de ligação irreversíveis, que levam à produção de partículas de tamanho maiores.

Costa *et al.* (2015) e Lucas, Zambiasi e Costa (2018), obtiveram comportamento diferenciado ao secar a polpa de açaí em leito fluidizado, ambos observaram pós com diferentes formas, além de estrutura com superfície porosa e irregular. Vale ressaltar que Costa *et al.* (2015) utilizaram polpa diluída e Lucas, Zambiasi e Costa (2018) não utilizaram maltodextrina, e temperaturas diferentes, como no presente estudo.

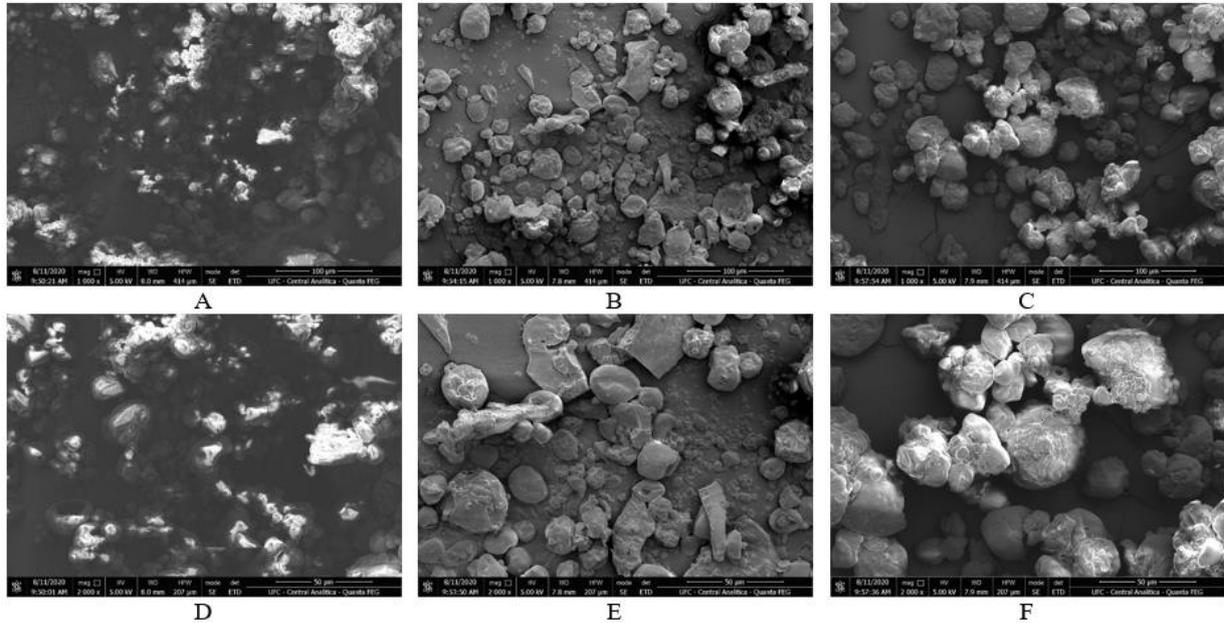
Tonon *et al.* (2009b), realizaram secagem da polpa de açaí em spray dryer e obtiveram resultados semelhantes ao do presente estudo, observaram uma forma predominantemente de partículas esféricas e regulares.

A partir da Figura 17, podemos observar, ao ampliarmos as imagens de 1000 para 2000x, uma forte aderência das partículas menores à superfície das maiores nas amostras de 10 e 30 % de maltodextrina, havendo menos espaços entre as partículas, formando muitos aglomerados, apresentando assim maiores tamanhos de partículas. Além disso, de acordo com Santos, Condotta e Ferreira (2016), maior formação de aglomerados, podem conter ar em seu interior, reduzindo a densidade aparente, o que aumenta a possibilidade de oxidação e, posteriormente, diminui durante o armazenamento a vida de prateleira do pó.

Portanto os resultados da análise morfológica corroboram com os resultados obtidos na análise de escoamento, quanto a densidade aparente, já que a polpa de açaí em pó com 10 e 30 % apresentaram densidade aparente inferior a da polpa de açaí com 20 % de maltodextrina.

Os aglomerados também podem ser justificados pela análise de higroscopicidade e grau de *caking*, realizada no item 4.1, em que foram classificados como pós com ligeira formação de *caking*, sendo para as amostras de 10 e 30% com mais probabilidade de formação de *caking*, que podemos constatar também pela análise de microscópica eletrônica de varredura.

Figura 17-Micrografias das microcápsulas da polpa de açaí em pó: (a) 10 % de maltodextrina; (b) 20 % de maltodextrina e (c) 30 % de maltodextrina, ambas com aumento de 1000x; e (d) 10% de maltodextrina; (e)20% de maltodextrina e (f) 30 % de maltodextrina, ambas com aumento de 2000x.



Fonte: Autora

De acordo com Fitzpatrick *et al.* (2007) sob condições suficientes de temperatura e teor de umidade, o componente amorfo pode se comportar como um fluxo de alta viscosidade, o que pode torná-los pegajosos e levar à aglomeração.

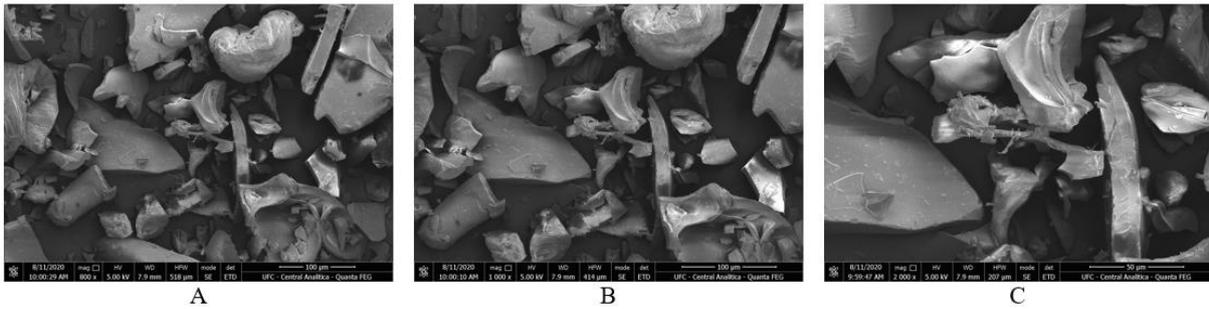
O alto índice de compressibilidade encontrado nas propriedades de escoamento da polpa de açaí pode ser justificado pela forma que foram distribuídas as partículas, que pode ser observado pelas imagens, principalmente para as amostras de 10 e 30 % de maltodextrina, onde encontram-se de uma forma próxima e com menos espaços entre as partículas.

Tamanho de partícula e a distribuição de partículas, manuseio de pó, processamento e outras propriedades, como densidade aparente, ângulo de repouso e compressibilidade da massa, desempenham um papel importante na fluidez (FITZPATRICK e AHRNÉ, 2005).

Segundo Saifullah *et al.* (2016), as partículas menores preenchem o espaço deixado pelas partículas maiores, causando aumento na resistência do fluxo, assim reduzindo sua fluidez, que pode ser devido a um aumento na fricção entre partículas. No presente trabalho foi encontrado partículas heterogêneas, assim justificando a difícil escoabilidade da amostra de polpa de açaí em pó, principalmente das amostras com 10 e 30 % de maltodextrina.

Na Figura 18, são apresentadas as micrografias da maltodextrina 20DE, que foi utilizada como adjuvante de secagem, no presente estudo.

Figura 18-- Micrografias da maltodextrina 20 DE com aumento: a) 800x; b) 1000x e c) 2000x.



Fonte:Autora

Observou-se que a maltodextrina possui partículas maiores e inteiras, com pouca rugosidade e ausência de porosidade em sua superfície externa, quando comparadas com as partículas da polpa de açaí em pó.

Araújo *et al.* (2015) explicam que durante a secagem em leito de jorro, as partículas inertes sofrem colisão entre si, e o pó se fragmenta, formando partículas menores.

Portanto, podemos concluir que a diferença da fluidez entre as amostras de polpa de açaí em pó foi provavelmente devido a diferença nos tamanhos de partículas, forma do pó e a interação das partículas de pó, como podemos observar através da morfologia das partículas da polpa de açaí em pó, aqui abordado.

Diante do exposto, em resposta ao delineamento experimental, foi escolhida uma concentração de maltodextrina considerando os resultados de rendimento, solubilidade, higroscopicidade, grau de *caking*, isoterma de adsorção e propriedades de escoamento, como fatores mais significativos, pois essas análises refletem diretamente a qualidade da polpa em pó, não apenas após a secagem, como também prevê o comportamento do mesmo durante o armazenamento.

Não houve diferença significativa entre as amostras de 20 e 30% e foi escolhida a menor, 20%. Os maiores valores de solubilidade se encontraram entre as amostras com 20 e 30 %, e não diferiu estatisticamente do ensaio com 10% a nível de 5 % de significância, apresentando teores entre 87,75 e 92,89 %, respectivamente.

Os valores de higroscopicidade e grau de *caking* mais baixos se relacionaram aos ensaios controle e 20 % de maltodextrina, que não diferiu estatisticamente do ensaio com 10%, sem apresentar diferença estatística, a nível de 5 % de significância.

O ensaio de 20% de maltodextrina foi o que apresentou comportamento mais adequado para o estudo das isotermas de adsorção e das propriedades de escoamento.

Portanto, a concentração de 20 % de maltodextrina foi a condição de secagem considerada como melhor para o processo de secagem em leito fluidizado.

4.2 Caracterização da polpa de açaí integral e em pó

A polpa de açaí integral foi analisada quanto aos parâmetros físico-químicos, assim como a polpa de açaí em pó, obtida por secagem em leito fluidizado com 20% de maltodextrina.

Na Figura 19, pode-se visualizar as amostras de polpa de açaí integral e em pó.

Figura 19-Polpa de açaí integral e em pó utilizada na caracterização.



Fonte: Autora.

Observou-se que para a polpa de açaí em pó obtida em leito fluidizado na concentração adequada de maltodextrina apresentou um aumento significativo ($p < 0,05$) no pH, sólidos solúveis totais, açúcares redutores e totais, e redução ($p < 0,05$) no conteúdo de umidade, atividade de água, acidez total, ácido ascórbico, L^* , a^* , b^* , carotenoides totais e antocianinas.

Os resultados obtidos para cada análise são apresentados na Tabela 16.

Tabela 16-Valores médios da caracterização física e físico-química da polpa de açaí integral e da polpa de açaí em pó.

Análises	Polpa integral	Açaí em Pó
Umidade (%)	84,59 ^a ± 0,72	5,53 ^b ± 0,15
Atividade de água (a _w)	0,99 ^a ± 0,00	0,38 ^b ± 0,00
pH	5,43 ^b ± 0,05	5,81 ^a ± 0,02
Sólidos solúveis totais (°Brix)	3,47 ^b ± 0,06	54,33 ^a ± 1,53
Acidez total titulável (% Ac. Cítrico)	0,40 ^a ± 0,01	0,22 ^b ± 0,02
Ácido ascórbico (mg.100g ⁻¹)	77,98 ^a ± 0,26	64,87 ^b ± 0,62
Cor parâmetro L*	30,32 ^a ± 0,55	27,03 ^b ± 0,02
Cor parâmetro a*	5,11 ^a ± 0,15	4,27 ^b ± 0,05
Cor parâmetro b*	2,05 ^a ± 0,14	1,16 ^b ± 0,03
Cor parâmetro H*	21,83 ^a ± 1,91	15,27 ^b ± 0,22
Cor parâmetro C*	5,51 ^a ± 0,09	4,42 ^b ± 0,06
Carotenoides totais (mg/100g)	8,18 ^a ± 0,45	1,44 ^b ± 0,22
Antocianinas (mg/100g)	60,63 ^a ± 0,71	54,27 ^b ± 3,39
Açúcares redutores (% b.u / % b.s) *	0,11 ^b ± 0,06 / 0,72 ^b ± 0,34	5,14 ^a ± 0,05 / 5,44 ^a ± 0,05
Açúcares totais (% b.u / % b.s) *	2,11 ^b ± 0,12 / 13,70 ^b ± 1,47	23,05 ^b ± 1,86 / 24,41 ^a ± 2,01
Solubilidade (%)	-	90,24 ± 5,43
Higroscopicidade (%)	-	3,04 ± 0,04
Grau de <i>Caking</i> (%)	-	8,01 ± 0,55

Médias seguidas por letras iguais não diferem estatisticamente entre si na mesma linha, pelo teste de Tukey (p ≤ 0,05).

*b.u representa base úmida, b.s representa base seca.

4.2.1 Umidade

O teor de umidade encontrado na polpa de açaí foi 84,59 %, indicando que a água é o principal constituinte dessa polpa, correspondendo cerca de 84 % do total da sua composição, sendo então um alimento muito propício à deterioração (FELLOWS, 2006). Esse valor é semelhante ao de 83,82 % encontrado por Costa *et al.* (2015).

A umidade reflete também a qualidade, estabilidade e composição de um produto. A umidade quando está fora das recomendações técnicas resulta em grandes perdas na estabilidade química, na deterioração microbiológica, nas alterações fisiológicas (brotação) e na qualidade geral dos alimentos (SILVA *et al.*, 2017). É de grande importância econômica por refletir o teor de sólidos de um produto e sua perecibilidade.

A legislação brasileira estabelece que a polpa de açaí apresente os sólidos totais acima de 14 % (BRASIL, 2018). Portanto a polpa em estudo apresentou um total de 15,41 % de sólidos totais, sendo classificado como tipo A (açaí grosso ou especial), de acordo com a legislação brasileira, e conforme a indicação do rótulo.

O resultado obtido para a polpa de açaí em pó foi de 5,53 % de umidade, superior ao relatado por Costa *et al.* (2015), que secaram polpa de açaí em um equipamento similar, variando a temperatura (48,2 °C a 81,8 °C), onde obtiveram valores entre 3,22 e 5,40 %.

O valor de umidade mais elevado do pó em estudo pode estar relacionado pelo fato do pó ter sido coletado da câmara de secagem e ciclone, o que ocorreu com Oliveira, Figueirêdo e Queiroz (2006) que encontraram umidades de 8,12 e 7,64 % para pó de pitanga desidratada em spray dryer e sendo também coletado da câmara de secagem e ciclone.

4.2.2 Atividade de água

A atividade de água na polpa de açaí integral apresentou 0,99. Dos Santos *et al.* (2008) encontram valores entre 0,92 e 0,99 no estudo de diferentes marcas comerciais de polpa de açaí. Essas variações, segundo os mesmos autores, podem ter ocorrido devido a adição de sais, açúcares e outras substâncias que provocaram a redução do valor de a_w dos alimentos, pois reduzem o valor da pressão parcial de vapor da água contida na solução ou no alimento. O congelamento também pode reduzir este parâmetro e o aumento no valor pode ser devido a possibilidade de uma possível adulteração com adição em excesso de água. A legislação para padrões de identidade e qualidade para polpa de açaí (BRASIL, 2018) não regulamenta este atributo.

A polpa de açaí em pó apresentou 0,38 de atividade de água. Como a a_w é proporcional à quantidade de água livre no produto, existe uma relação direta como valor da umidade (RAHMAN e LABUZA, 2007), sendo assim, o valor de a_w encontrado foi inferior ao reportado por Lucas, Zambiasi e Costa (2018), para pós de açaí com 4,75 % de umidade, obtido através de leito fluidizado a 90 °C.

Pavan, Schmidt e Feng (2012), utilizaram métodos de secagem diferentes para a obtenção do suco de açaí em pó, dentre eles a liofilização, e obtiveram 0,196 no teor de atividade de água. Tonon *et al.* (2009b) realizaram a caracterização físico-química e morfológica da polpa de açaí em pó por spray dryer com diferentes adjuvantes de secagem, dentre eles o mesmo que utilizado neste trabalho, e constataram um teor de 0,245 de atividade de água. No entanto, não é ideal compararmos com o leito fluidizado, porque as temperaturas hidrodinâmicas e de secagem em um leito fluidizado são completamente diferentes daquelas utilizadas em um spray dryer.

Como observado, há poucos dados publicados sobre o teor de atividade de água em amostras obtidas pela secagem de polpa de açaí em leito fluidizado. Dessa forma, os resultados aqui obtidos podem ser considerados satisfatórios ressaltando a efetividade do processo de secagem em leito fluidizado da polpa de açaí e podem ser aprimorados em estudos posteriores.

A polpa de açaí em pó pode ser considerada microbiologicamente estável ao apresentar a_w inferior a 0,6, pois esse valor inibe o crescimento de bactérias patogênicas, leveduras e fungos.

4.2.3 pH

Os dados de pH são importantes para a análise de cor, pois os compostos antocianicos apresentam cores diferentes dependendo do pH do meio (SIQUEIRA *et al.*, 2018). Esse parâmetro indica o nível de acidez do alimento variando de 1 a 14 e exerce influência sobre o sabor e a proliferação microbiana no alimento (CECCHI, 2003).

O valor do pH para polpa integral de açaí foi 5,43, valor semelhante ao encontrado por Sousa *et al.* (2006) de 5,4 ao avaliarem polpa de açaí comercializadas em Manaus.

Alves, Filgueiras e Moura (2000) descreveram a composição de frutos nativos da América Latina, dentre eles o açaí, e encontraram valor de pH superior (5,50), enquanto Canuto *et al.* (2010) observaram um pH inferior (3,3), ao caracterizarem polpas de frutos da Amazônia, dentre elas o açaí. Dos Santos *et al.* (2008) ao estudarem doze marcas diferenciadas de polpas comerciais de açaí obtiveram pH entre 3,55 e 4,89. Tonon, Brabet e Hubinger (2008) relataram valor de 5,18. Tais diferenciações nos valores podem ser justificadas pelas especificidades referentes às áreas de produção, como, por exemplo, a temperatura, a umidade relativa, o tipo de solo e a própria composição química dos solos, que podem influenciar nas características físico-químicas dos frutos e, conseqüentemente, de suas polpas (SOUSA *et al.*, 2006).

No que se refere ao padrão de identidade e qualidade para polpa de açaí (BRASIL, 2018), o pH da polpa de açaí estudado está de acordo ao determinado pela legislação, onde o pH deve estar compreendido entre 4,00 e 6,20.

O valor do pH para a polpa de açaí após a secagem foi 5,81. Oliveira *et al.* (2019) obtiveram valor de 5,51 de pH para polpa de açaí liofilizada.

Os valores de pH nos alimentos são classificados como de baixa acidez ($\text{pH} > 4,50$), ácidos (pH de 4,00 a 4,50) e muito ácidos ($\text{pH} < 4,00$), desta forma a polpa de açaí em pó é considerada como de baixa acidez.

4.2.4 Sólidos solúveis totais

A polpa integral apresentou 3,47 °Brix, valor relativamente baixo, próximo aos valores encontrados por Almico *et al.* (2018), que estudaram três marcas diferentes de polpa de açaí, com

faixa de SST de 1,89 a 3,03 °Brix, e Silva *et al* (2016a), que apresentaram uma faixa de SST de 1,0 a 2,7 °Brix, indicando provável diluição das polpas.

De acordo com os padrões de identidade e qualidade da polpa de açaí, o teor mínimo de sólidos solúveis é de 40°Brix (BRASIL, 2018), sendo assim, os SST das polpas de açaí avaliadas estão em desacordo com a legislação. Essa variação depende da maneira como as polpas são produzidas devido à adição de água, mas também pode ser justificado pelas condições de cultivo (SIQUEIRA *et al.*, 2018).

Para o teor de sólidos solúveis do pó, o valor obtido foi de 54,33 ° Brix, podendo ser observado um aumento, sendo justificado pela retirada de água que provocou a concentração dos constituintes, assim como também pode ser atribuída a adição de 20 % de maltodextrina. Costa *et al.* (2015), também relacionaram o uso de maltodextrina ao aumento da concentração de sólidos.

4.2.5 Acidez total titulável

O resultado médio da acidez para a polpa integral foi de 0,40 % ácido cítrico, este parâmetro atendeu a legislação que estabelece uma ATT máxima de 0,45g ácido cítrico/100g para o açaí grosso (BRASIL, 2018), assim, com base na legislação, o produto confirmou-se como açaí do tipo A ou grosso, estando em acordo com as informações do rótulo que informavam que a polpa de açaí era do tipo grosso.

Coutinho *et al.* (2017), ao estudarem cinco marcas de polpas de açaí comercializadas nos estados de Minas gerais e Pará, encontraram valores de 0,17g 100g⁻¹ e 0,49g 100g⁻¹, onde duas das marcas não estavam dentro dos parâmetros propostos, como também Alminco *et al.* (2018) encontraram valores na faixa de 2,05 a 3,49 g ácido cítrico/100 g de açaí, acima do permitido pela legislação.

O valor da acidez do pó da polpa de açaí obtido neste trabalho foi de 0,22 % ácido cítrico, notoriamente houve uma diminuição após o processo de secagem com adição do agente carreador. Comportamento similar a este trabalho foi encontrado por Santos *et al* (2015a), que obtiveram 0,60 % ácido cítrico para polpa de caju integral e 0,52 % ácido cítrico no pó de caju, pelo mesmo processo de secagem utilizado neste trabalho, justificando a diminuição da acidez pelo uso de matodextrina.

4.2.6 Vitamina C

Avaliando o teor de ácido ascórbico na polpa integral podemos constatar 77,98 mg/100g de ácido ascórbico, valor este próximo ao encontrado por Souza (2007) de 80,81mg de vitamina C/100g, ao estudar progênies (descendentes) de açaizeiro. Dos Santos *et al.* (2008), ao estudarem a atividade oxidante e compostos bioativos de doze marcas de polpas comerciais de açaí, encontram valores inferiores com variações entre 5,64 e 41,20 mg/100g de vitamina C. As variações em relação ao teor de vitamina C podem ser devido a regiões de produção e cultivos diferentes, que podem influenciar na composição do fruto.

Com relação a polpa de açaí em pó, o valor obtido foi 64,87 mg de ácido ascórbico/100g, onde podemos observar uma diminuição no seu teor após o processo de secagem.

O comportamento de redução do teor de vitamina C foi observado em secagens com outras frutas, como reporta Fujita *et al.*(2013), que ao secarem camu-camu em leite fluidizado utilizando maltodextrina com $9 \leq DE \leq 12$, observaram uma diminuição de 45 a 64 % no teor de vitamina C, no presente estudo foi observado uma redução de 16,81 % de ácido ascórbico, fato que pode ser explicado pela vitamina C ser conhecida pela termolabilidade e a diferença na utilização da maltodextrina DE 20 usada neste trabalho pode ter contribuído de maneira eficaz na proteção deste componente.

Apesar do processo de secagem ter provocado perdas no teor de ácido ascórbico, a polpa de açaí em pó ainda se caracteriza como boa fonte de vitamina C, visto que, a dose de ingestão diária recomendada (IDR) para um adulto saudável exigida pela legislação brasileira é de 45 mg (BRASIL, 2005).

4.2.7 Cor (L^* a^* b^*)

Na análise colorimétrica, a coordenada da luminosidade apresentou valores médios de $30,32 \pm 0,55$ e $27,03 \pm 0,02$ para a polpa de açaí integral e em pó, respectivamente, demonstrando diferença significativa ($p < 0,05$). O valor de luminosidade mais escura (menor L^*) para o pó, próximo ao encontrado por Oliveira *et al.* (2019) de 29,53 ao obterem polpa de açaí em pó liofilizada e Tonon, Brabet e Hubinger (2009) de 33,78 ao obterem pó de suco de açaí por spray dryer.

A coordenada a^* , que estabelece valores que caracterizam a região de coloração do vermelho ($+a^*$) ao verde ($-a^*$), apresentou valor médio de 5,11 e 4,27 para a polpa integral e em pó, respectivamente, havendo diferença significativa entre as amostras ($p < 0,05$). O pó apresentou uma menor intensidade da cor vermelha (menor a^*).

No que se refere a coordenada b^* , a polpa integral e o pó apresentaram diferença estatística pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. Houve uma diminuição desta coordenada para a polpa de açaí em pó quando comparada com a integral, o que mostrou uma intensificação da coloração azul (menor b^*), semelhante ao encontrado por Tonon, Brabet e Hubinger (2009), ao obter pó do suco de açaí em spray dryer, no valor de 1,62 para a coordenada b^* .

Estas características de coloração mais escura do pó podem ser justificadas pelo fato do processamento em secador permitir a oxidação de parte das antocianinas, que são pigmentos responsáveis pela coloração laranja, vermelho, azul e violeta em diferentes frutas e flores (ENG KHOO *et al.*, 2017), pelo contato com o oxigênio e com o calor.

Em relação ao valor de H^* , o valor encontrado no presente trabalho foi inferior ao descrito por Siqueira *et al.* (2018) de H^* de 48,7, sendo assim a tonalidade da polpa utilizada no estudo deles se apresentou escuro avermelhado (preto). Já a do presente trabalho foi de 15,27 ($\pm 0,22$) mais próxima da região do vermelho escuro e azul, representando roxo, essa diferença pode ter ocorrido pela variação do teor dos pigmentos existentes na polpa. O valor encontrado para C^* 4,42 ($\pm 0,06$) indicou uma cor de roxo mais puro e saturado.

Lucas, Zambiasi e Costa (2018), ao estudarem métodos diferentes de secagem da polpa de açaí, observaram que os pós obtidos da secagem em leito jorro e na liofilização, apresentaram menor diferença total de cor, em relação às polpas.

4.2.8 Carotenóides

No que diz respeito ao teor de carotenóides, a polpa integral de açaí apresentou 8,18 mg/100g e a polpa de açaí em pó apresentou 1,44 mg/100g. No estudo de Torma *et al* (2017) com diferentes genótipos de açaí obtiveram diferentes concentrações entre 26,38 e 41,81 μg de carotenóides/g de matéria seca, com β -caroteno representando o constituinte principal (14,75–27,28 $\mu\text{g/g}$ de matéria), seguida pela luteína (3,29–9,49 $\mu\text{g/g}$ de matéria seca).

Foi observado no presente trabalho uma redução significativa deste pigmento após a secagem. Lucas, Zambiasi e Costa (2018), observaram comportamento semelhante de redução no teor de carotenóides, ao secarem a polpa de açaí, utilizando diferentes métodos de secagem (spray dryer, leito fluidizado e liofilizador) e observaram que, todos os métodos de secagem resultaram em uma diminuição significativa ($p < 0,05$) deste pigmento comparado com a polpa integral, e após a secagem em spray dryer, a polpa de açaí apresentou maior redução no teor de carotenóides.

A influência da secagem na redução sobre os carotenoides também foi observada em trabalhos com outras frutas e em outros equipamentos, como relatado por Etzbach *et al.* (2020) ao secarem suco de amora em spray dryer.

De acordo com Silva *et al.* (2016c) a diminuição da concentração de biocompostos pode ser devida a fatores como calor, luz ou exposição ao oxigênio.

4.2.9 Antocianinas

As antocianinas são responsáveis pelo azul, vermelho e cores violetas da maioria das frutas (SIQUEIRA *et al.*, 2018).

O valor de antocianinas presentes na polpa integral foi de 60,63 mg/ 100g, Coutinho *et al* (2017) ao estudarem marcas de polpas congeladas obtiveram valores que variaram de 12,05 mg/ 100g a 24,98 mg /100 g, e Costa *et al.* (2015) obtiveram 55,19 mg/100g de polpas de açaí comercializadas no estado do Pará. De acordo com Kuskoski *et al.* (2006), quanto maior o teor de antocianina, maior é a capacidade antioxidante.

O valor de antocianinas apresentado para o pó foi de 54,27 mg/ 100g, havendo uma redução quando comparado com a polpa. Esse comportamento pode ser explicado porque as antocianinas são instáveis na presença de calor sendo suscetíveis à degradação durante o processo de secagem (COSTA *et al.*, 2015).

Lucas, Zambiasi e Costa (2018), ao estudarem diferentes métodos de secagem para a polpa de açaí, sem o uso da maltodextrina, obtiveram 1,36 mg/ 100g em leiteo fluidizado, resultado inferior ao do presente estudo, fato que pode ter sido provavelmente devido ao uso da maltodextrina como agente transportador, que segundo Fujita *et al.* (2013) no estudo da secagem da polpa de camu-camu em leiteo fluidizado, descobriram que o uso de maltodextrina pode proteger conteúdos bioativos.

A concentração de antocianinas obtida pelo processo de secagem foi superior ao valor de 50 mg/100.g⁻¹ obtido por Gallori *et al.* (2004) e menor que o valor de 319 mg/100.g⁻¹ obtido por Schauss *et al.* (2006), que examinaram o pó liofilizado do açaí. É importante ressaltar que Gallori *et al.* (2004) e Schauss *et al.* (2006) realizaram liofilização da remoção da polpa das frutas do açaí e não a partir de polpa congelada, obtida comercialmente, como realizada neste estudo. Notou-se também que a base de cálculo utilizada pelos autores na literatura não foi detalhada, dificultando a comparação dos resultados. A variedade do açaí, a região de origem, o período de colheita das espécies estudadas pode, provavelmente, ter provocado esta diferença (ROSSO, HILLEBRAND e MONTILLA, 2008).

4.2.10 Açúcares totais e redutores

A presença de açúcares nos frutos tem importância nutricional, é importante também para a aceitação in natura, aceitação de frutos processados e o potencial da sua capacidade fermentativa (OLIVEIRA *et al.*, 2019).

Os valores obtidos no parâmetro açúcar total para polpa foi de 2,11 %, valor intermediário ao encontrado por Fregonesi *et al.* (2010), que ao estudarem as características físico-química de polpas congeladas de açaí, obtiveram valores entre 0,27 a 5,64%. O teor médio de açúcar total (em base seca) da polpa de açaí integral foi de 13,70 %. Levando-se em consideração o Regulamento Técnico para Fixação dos Padrões de Identidade e Qualidade, Anexo II (BRASIL, 2000;2016) para a polpa de açaí observou-se que os valores de açúcares totais estavam inseridos nos limites estabelecidos pela legislação em vigor, que se limita ao valor máximo de 40 % de matéria seca de açúcares totais.

Após a secagem, o valor dos açúcares totais apresentou um considerável aumento (24,41 %), tal comportamento também foi verificado para os açúcares redutores. O aumento no teor de açúcares totais nos produtos da secagem foi em virtude da adição do adjuvante de secagem que contribuiu para elevação dos açúcares da amostra e a retirada de água promoveu a concentração dos solutos presentes na amostra.

4.2.11 Solubilidade

As análises de solubilidade, higroscopicidade e grau de *caking* são aplicadas apenas para produtos em pó.

O pó resultante da secagem em leito fluidizado apresentou uma solubilidade de 90,24 %. Estudos da solubilidade com outras polpas em leito fluidizado foram reportados, como o de Sousa *et al.* (2016) ao obterem suco de caju em pó à 80 °C com 12 % de maltodextrina (DE <20) observaram uma solubilidade superior a 90 %. Ferreira (2017) obteve polpa de cajá em pó com uma solubilidade de 92,40 %, a temperatura de 82 °C e 15 % de maltodextrina.

Tonon *et al* (2009b) estudaram as propriedades físico-química do suco de açaí obtido por secagem em spray dryer a temperatura de 140 °C. Os referidos autores utilizaram diferentes adjuvantes, dentre estes, a maltodextrina DE 20. A proporção que utilizaram foi de 6 %, onde constataram que com o uso da maltodextrina o suco de açaí em pó apresentou 96,12 % de solubilidade.

Oliveira *et al.* (2013) obtiveram polpa em pó através da liofilização e realizaram um estudo de sua reconstituição observando que o aumento da temperatura durante a reconstituição influenciou significativamente ($p < 0,05$) na solubilidade.

Diante do que foi exposto, a solubilidade da polpa de açaí em pó apresentou um nível considerado e pode ser que o uso da temperatura, o tipo de DE da maltodextrina, a exposição do pó ao ser coletado do ciclone e da câmara tenha afetado a umidade. De acordo com Goula e Adamopoulos (2005) o ganho de umidade pode influenciar em valores inferiores de solubilidade. Moreira *et al.* (2013), atribuem ao aumento da solubilidade dos açúcares relacionado ao aumento da temperatura. Jafari, Ghalehnoei e Dehnad (2017) afirmam que a solubilidade do pó pode ser afetada pela temperatura e pela composição da matéria-prima.

Como observado, estudos da influência da secagem em leito fluidizado na avaliação da solubilidade em polpa de açaí em pó com o uso da maltodextrina ainda é insuficiente na literatura, portanto necessário um estudo mais aprofundado em futuros trabalhos.

4.2.12 Higroscopicidade

A higroscopicidade obtida na polpa de açaí em pó apresentou um valor médio de 3,04 %.

Estudos com o açaí utilizando outros métodos de secagens foram realizados. Tonon, Brabet e Hubinger (2008), obtiveram pó de açaí em spray dryer, utilizando maltodextrina ($9 \leq DE \leq 12,0$). Observaram que a higroscopicidade dos pós diminuiu com o aumento da concentração de maltodextrina. Também observaram que em temperaturas de ar de entrada inferiores, como também crescentes vazões de alimentação influenciaram em valores menores de higroscopicidade.

O estudo da higroscopicidade na secagem de outras frutas no leito fluidizado com maltodextrina foram reportados por Araújo *et al.* (2015) ao estudarem a desidratação do suco de acerola, observaram um aumento significativo da higroscopicidade quando se empregou baixa concentração de maltodextrina. Ferreira *et al.* (2015), ao secarem polpa de cajá com 15 % de maltodextrina à 82°C, obtiveram 11,25 % de higroscopicidade, pós ligeiramente higroscópicos, ressaltando então a necessidade de teores mais elevado de maltodextrina, enquanto Sousa *et al.* (2016) obtiveram um teor de 9,41 % de higroscopicidade para a secagem de suco de caju, justificando que o uso da maltodextrina favoreceu na redução da higroscopicidade, pois obtiveram pós não higroscópicos.

Os pós de frutas geralmente apresentam valores de higroscopicidade elevados devido aos açúcares simples de sua composição, que favorecem a ligação com água da atmosfera. No presente trabalho foi possível observar que a adição de 20% da maltodextrina na polpa de açaí para a

realização da secagem resultou de forma positiva no comportamento da higroscopicidade, confirmando a sua eficiência na secagem.

4.2.13 Grau de *caking*

A partir da higroscopicidade foi realizada a análise de grau de *caking*, uma aglomeração que ocorre em alimentos desidratados em pó.

Na polpa de açaí em pó, o valor médio obtido para o grau de *caking* foi de 8,01 %.

A influência da secagem em leite fluidizado sobre a utilização da maltodextrina como adjuvante, com relação ao grau de *caking*, foi reportado por outros autores, utilizando frutas diferentes. Ferreira *et al.* (2015) e Sousa *et al.* (2016), ao secarem polpa de cajá e suco de caju em leite fluidizado, respectivamente, obtiveram 86,08 % e 74,69 % de grau de *caking*, com o uso de 15 % e 12 % de maltodextrina, respectivamente, resultando em pós com muita formação de *caking* para a polpa de cajá e para o suco de caju. Os autores relataram que somente a adição de maltodextrina não foi suficiente para reduzir o grau de *caking* do suco de caju em pó, para isto, seria necessário a adição de um agente *anticaking*.

Estudos sobre a influência da maltodextrina no valor do grau de *caking* já foram discutidos na literatura como Goula e Adamopoulos (2010) atomizando suco de laranja concentrado com maltodextrina de diferentes graus de dextrose equivalente (DE) encontraram valores de grau de *caking* de 5,9 a 24,8 %, eles relataram que o grau de *caking* principalmente em alimentos ricos em açúcares como as polpas de frutas deve-se a absorção de umidade.

A baixa temperatura de transição vítrea (T_g) de maneira geral são fatores críticos em alimentos ricos em açúcares, pois estes facilitam a absorção de água, promovendo a formação de aglomerados, a dissolução de açúcares amorfos e a recristalização dos mesmos (JULIANO e BARBOSA-CÁNOVAS, 2010). Farahnaky, Mansoori e Majzoobi (2016) mostraram que aumentar o conteúdo de maltodextrina, aumenta a temperatura de transição vítrea, e assim reduz o grau de *caking*.

Goula e Adamopoulos (2008) afirmam que uma alta higroscopicidade promove o *caking*, como podemos observar no item anterior (4.2.13) a polpa de açaí em pó foi classificada como não higroscópica, levando a não formação de *caking*.

De acordo com a classificação GEA Niro Research Laboratory (2003), a polpa de açaí em pó é classificada como sem formação de *caking* (< 10 %) e se encontram dentro do desejável de até 34% para pós alimentícios, conforme descrito por Jaya e Das (2004).

4.3 Estabilidade físico-química da polpa de açaí em pó

A conservação das polpas de frutas em pó não depende somente de seus fatores intrínsecos, mas também de fatores extrínsecos, tais como condições ambientais de armazenamento e propriedades da embalagem utilizada no armazenamento (JULIANO *et al.*, 2014).

A embalagem fica em contato com o alimento e pode ser considerada a ferramenta mais simples e viável para fornecer informações sobre a qualidade do alimento embalado, durante o transporte e acondicionamento (OLIVEIRA *et al.*, 2015). Deve ter uma barreira contra a umidade e ser capaz de impedir a transferência de oxigênio para o produto (CONEGERO *et al.*, 2017).

Com esses propósitos foi feito o estudo da estabilidade da polpa de açaí em pó obtida do processo de secagem em leito fluidizado, acondicionado em dois tipos de Embalagem: Laminada (EL) e Plástica Transparente (EPT), ambas sem vácuo. Foram armazenadas por um período de 90 dias a temperatura ambiente ($28^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$), sendo caracterizadas em intervalos de 15 dias.

4.3.1 Umidade

Os resultados dos valores médios da umidade do pó da polpa de açaí nas Embalagens Laminadas (EL) e Plásticas Transparente (EPT) durante os 90 dias de armazenamento estão apresentados na Tabela 17.

Tabela 17-Estabilidade do pó da polpa de açaí obtido por secagem em leito fluidizado, armazenado em diferentes embalagens para o parâmetro de umidade (%).

Dias	Umidade (%)	
	Embalagens	
	Laminadas	Plásticas transparente
0	5,53 ^{a, AB} ± 0,15	5,53 ^{a, B} ± 0,15
15	5,59 ^{a, AB} ± 0,34	5,75 ^{a, B} ± 0,09
30	5,39 ^{a, AB} ± 0,33	5,84 ^{a, B} ± 0,22
45	5,45 ^{b, AB} ± 0,14	5,92 ^{a, B} ± 0,05
60	5,17 ^{b, B} ± 0,14	5,74 ^{a, B} ± 0,29
75	5,51 ^{a, AB} ± 0,24	5,76 ^{a, B} ± 0,12
90	5,82 ^{b, A} ± 0,12	6,40 ^{a, A} ± 0,09

Médias seguidas por mesma letra minúscula não diferem entre si ($p \geq 0,05$) na mesma linha, pelo teste de Tukey. Médias seguidas por mesma letra maiúscula não diferem entre si ($p \geq 0,05$) na mesma coluna, pelo teste de Tukey.

Verificou-se que para esse parâmetro houve um aumento ao se comparar os pontos inicial e final do período da estabilidade, nas diferentes embalagens utilizadas. Na Embalagem Laminada, a umidade inicial de 5,53 % (tempo 0) passou para 5,82 % (tempo 90), não havendo diferença

estatística ($p < 0,05$). Na Plástica Transparente, a umidade inicial de 5,53 % (0 dias) passou a 6,4 % (90 dias), havendo diferença estatística ($p < 0,05$).

Avaliando as embalagens individualmente, constatou-se oscilações no teor de umidade durante o armazenamento, no entanto, houve um aumento entre o tempo 0 dias e 90 dias de armazenamento, conforme citado anteriormente, ficando mais evidente no pó acondicionado na Embalagem Plástica Transparente (EPT), onde o ganho de umidade representou um percentual de 15,73 %, diferentemente do que aconteceu com a laminada, com ganho de 5,24 %.

Todisco *et al.* (2013) durante o armazenamento da polpa em pó de siriguela com o uso de 10 % de maltodextrina, observaram aumento de 123,16 % na embalagem plástica e 63,89 % em embalagem laminada, tal comportamento foi explicado devido a influência da baixa concentração de maltodextrina, sendo o ganho de umidade durante o armazenamento é-inevitável, quando a embalagem não é impermeável ao vapor de água. Em relação a dextroses da maltodextrina, Tonon *et al.* (2009b) investigaram o efeito de agentes carreadores como a maltodextrina, com dextroses equivalentes de 10 e 20 e goma arábica sobre o suco de açaí em pó e revelaram que as partículas produzidas com maltodextrina na DE = 10 mostraram menor velocidade de adsorção de umidade, enquanto que as demais amostras obtiveram comportamento contrário.

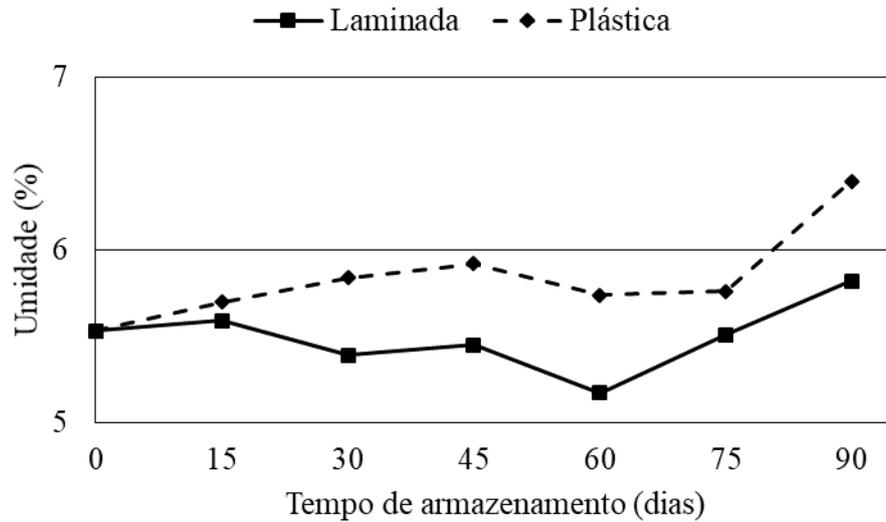
O aumento do teor de água durante a estabilidade também foi verificado por Oliveira *et al.* (2015), na polpa do *Cereus jamacaru* em pó durante 50 dias, com 10 e 14 % de maltodextrina, relatam valores mais altos de umidade no final do armazenamento, com variações de 10 a 13 %. Costa *et al.* (2019) ao estudarem manga em pó liofilizada, observaram maior aumento de umidade com um ganho de ± 73 % durante período de estabilidade, mostrando uma diferença significativa em quase todos os tempos de estabilidade, ao usar a embalagem plástica (sem vácuo).

Diferindo do presente estudo, uma pesquisa realizada por Costa *et al.* (2013b) com polpa de maracujá atomizada armazenada em embalagem metálica mostrou redução do conteúdo da umidade ao final de 90 dias de estudo de ± 9 % do valor inicial.

Analisando os dias de armazenamento, percebeu-se que nos tempos de 45,60 e 90 dias houve diferença estatística ($p < 0,05$) entre as embalagens laminada e plástica transparente.

A embalagem laminada mostrou uma tendência a manter os níveis de umidade do pó, embora tenha havido ponto de aumento e diminuição da variável, os pontos iniciais e finais estiveram em nível semelhante, onde tal comportamento pode ser evidenciado através do Figura 20.

Figura 20-Comportamento da umidade da polpa de açaí em pó durante o armazenamento de 90 dias.



Fonte: Autora

4.3.2 Atividade de água

Na Tabela 18 estão descritos os valores médios referentes à atividade de água, com os respectivos desvios padrão da polpa de açaí em pó, armazenada na Embalagem Laminada (EL) e Plástica Transparente (EPT), durante os 90 dias de estudo.

Tabela 18-Estabilidade da polpa de açaí em pó obtido por secagem em leite fluidizado, armazenado em diferentes embalagens para o parâmetro de atividade de água.

Dias	Atividade de Água	
	Embalagens	
	Laminadas	Plásticas transparente
0	0,423 ^{aC} ± 0,00	0,423 ^{aC} ± 0,00
15	0,454 ^{bB} ± 0,00	0,489 ^{aB} ± 0,00
30	0,504 ^{bA} ± 0,00	0,524 ^{aA} ± 0,00
45	0,465 ^{bD} ± 0,00	0,509 ^{aD} ± 0,00
60	0,465 ^{bD} ± 0,00	0,505 ^{aD} ± 0,00
75	0,465 ^{bD} ± 0,00	0,504 ^{aD} ± 0,00
90	0,469 ^{bD} ± 0,00	0,504 ^{aD} ± 0,00

Médias seguidas por mesma letra minúscula não diferem entre si ($p \geq 0,05$) na mesma linha, pelo teste de Tukey. Médias seguidas por mesma letra maiúscula não diferem entre si ($p \geq 0,05$) na mesma coluna, pelo teste de Tukey.

Verificou-se que para esse parâmetro de atividade de água houve um aumento ao se comparar os pontos inicial e final do período da estabilidade, nas diferentes embalagens utilizadas.

A polpa de açaí em pó apresentou a_w inicial no tempo 0 dias valor de 0,423, chegando ao valor máximo de 0,504 ao término do estudo da estabilidade.

Na embalagem laminada, o percentual do aumento na a_w da amostra representou 10,87 % e para a embalagem plástica transparente, foi de 19,15 %. Todisco *et al.* (2013) obtiveram para a embalagem plástica um aumento de 30,60 % e para a embalagem laminada observaram um comportamento contrário, com redução de 15,79 %.

O aumento da a_w também foi observado por Conegero *et al.* (2017), no armazenamento de pó de mangaba, em embalagens laminada e plástica transparente com e sem vácuo. Oliveira *et al.* (2015) afirmaram que o aumento da atividade de água é esperado no armazenamento em embalagens que não sejam totalmente impermeáveis. Santos *et al.* (2016) explicaram que o aumento da a_w em pós armazenados resultam da transferência de vapor de água através da embalagem ou por folhas na área de selagem a quente, tornando biodisponível o solvente aquoso no estado livre, que pode ser usado em reações químicas.

Pelos dados apresentados da Tabela 18 podemos verificar um aumento significativo na a_w da polpa de açaí em pó de 0 até 30 dias, em ambas embalagens. Na embalagem laminada, o aumento do tempo inicial aos 30 dias de armazenamento foi de 19,15 %, já para a embalagem plástica transparente, no mesmo período, foi de 23,88 %.

Conegero *et al.* (2017) relataram também que a atividade de água ficou inalterada nos tempos de 15 e 75 dias nas embalagens laminadas com e sem vácuo. Podemos observar que no presente estudo a atividade de água nas amostras de polpa de açaí em pó ficaram inalteradas nas duas embalagens, sem o uso de vácuo, a partir do tempo 45 dias.

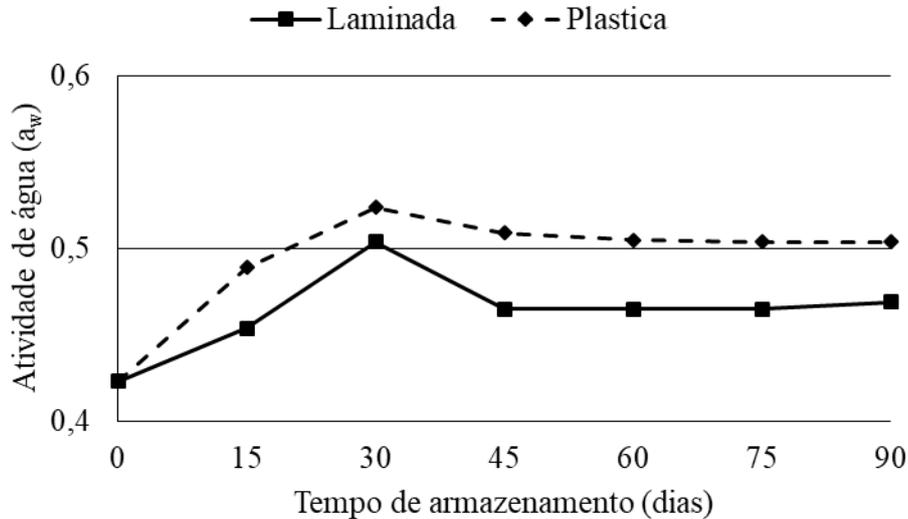
Completados os 90 dias de armazenamento, o pó da polpa de açaí em ambas as embalagens pode ser classificado como estável e seguro, conforme afirmam Melo Filho e Vasconcelos (2011), e que a velocidade de crescimento dos microrganismos diminui com a menor atividade de água, podendo até sofrer paralisação completa em atividades de água menor que 0,6, com variação mínima com o tipo de microrganismo.

Ao final do período de estabilidade, todas as embalagens apresentaram $a_w < 0,6$, conferindo estabilidade microbiológica para todas as condições de armazenamento.

Na Figura 21, podemos confirmar o comportamento mostrado na Tabela 18, no qual se obteve um ganho de atividade de água maior no pó armazenado em embalagem plástica transparente. Em termos de embalagens estudadas, a embalagem laminada conferiu melhor proteção para a polpa de açaí em pó, diante do parâmetro de atividade de água. Ao longo do período de estabilidade observou-se que os maiores valores de atividade de água relevaram-se relacionados ao uso da embalagem PT e os menores valores relacionados ao uso da embalagem L, tendo a

embalagem laminada ofertado maior barreira ao vapor de água, assim como ocorreu para o parâmetro da umidade.

Figura 21-Comportamento da Atividade de água da polpa de açaí em pó durante o armazenamento de 90 dias.



Fonte: Autora

4.3.3 pH

Na Tabela 19 estão apresentados os resultados dos valores médios do pH da polpa de açaí em pó, armazenados durante 90 dias, nas Embalagens Laminadas (EL) e Plástica Transparente (EPT).

Tabela 19- Estabilidade da polpa de açaí em pó obtido por secagem em leito fluidizado, armazenado em diferentes embalagens para o parâmetro de pH.

Dias	pH	
	Embalagens	
	Laminadas	Plásticas transparente
0	5,81 ^{aAC} ± 0,02	5,81 ^{aC} ± 0,02
15	5,86 ^{aC} ± 0,05	5,82 ^{aBC} ± 0,01
30	5,85 ^{aC} ± 0,02	5,84 ^{aAB} ± 0,01
45	5,75 ^{aAB} ± 0,03	5,74 ^{aD} ± 0,01
60	5,74 ^{aB} ± 0,01	5,74 ^{aD} ± 0,01
75	5,84 ^{aC} ± 0,02	5,84 ^{aA} ± 0,01
90	5,71 ^{bB} ± 0,01	5,73 ^{aD} ± 0,01

Médias seguidas por mesma letra minúscula não diferem entre si ($p \geq 0,05$) na mesma linha, pelo teste de Tukey. Médias seguidas por mesma letra maiúscula não diferem entre si ($p \geq 0,05$) na mesma coluna, pelo teste de Tukey.

Notou-se que pH da polpa de açaí em pó na embalagem laminada apresentou oscilações de 5,86 a 5,71, e para a embalagem plástica transparente as oscilações foram de 5,84 a 5,73.

Pode-se observar que ao final do tempo de armazenamento (90 dias) houve uma redução no valor do pH para as embalagens estudadas. O decréscimo para a embalagem laminada (L) foi de 1,72 % enquanto que para a embalagem plástica transparente apresentou 1,38 %. Loureiro *et al.* (2013) observaram tal comportamento durante o armazenamento do buriti em pó, revelando uma redução no valor de 3,4% do pH em relação ao valor inicial. Este fato pode ser uma indicação de deterioração da amostra, em razão do desenvolvimento de bactérias que produzem ácidos, diminuindo desta forma o pH.

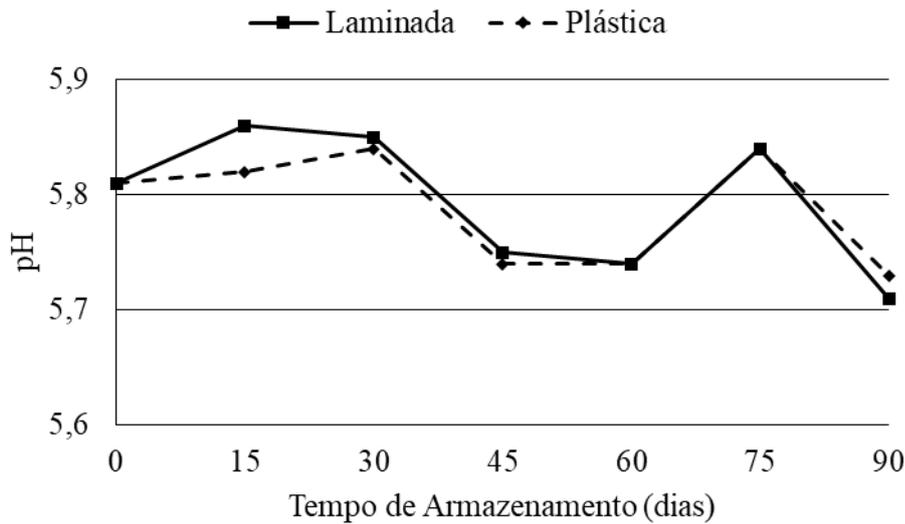
Silva *et al.* (2010), notaram comportamento contrário nos valores de pH que aumentou com o armazenamento de tomates secados em secador de cabine na temperatura de 65 °C e velocidade do ar em torno de 1,6 m.s⁻¹ por 14 h e acondicionados em embalagens de vidro.

Verificou-se que a embalagem laminada manteve por mais tempo a estabilidade do pH do que a embalagem plástica transparente. Podemos observar que a laminada permaneceu estável do período inicial até os 45 dias de armazenamento, isto é, sem diferença significativa ($p < 0,5$), enquanto que a embalagem plástica se manteve estável apenas nos 30 primeiros dias.

Observou-se que houve diferença significativa entre o tipo de material das embalagens plástica e laminada, apenas no último tempo (90 dias). Sousa *et al.* (2016) no estudo da estabilidade do suco de caju em pó obtido pela secagem em leito fluidizado, também observaram este comportamento de diferença no pH entres os pós armazenados nas embalagens laminada e plástica seladas a vácuo no período de 15 dias e permaneceram durante os 60 dias.

Diante do exposto, podemos afirmar que o teor de redução observado foi tão baixo e de poucas diferenças significativas entres os valores de pH, que de forma geral a tendência do pH avaliado nas embalagens laminada e plástica transparente se mantiveram com comportamento semelhante.

Figura 22-Comportamento do pH do pó de açaí durante o armazenamento de 90 dias.



Fonte: Autora

4.3.4 Sólidos solúveis totais

Avaliando os resultados referentes ao teor de sólidos solúveis totais da polpa de açaí em pó, verificou-se que os valores do °Brix no pó de açaí oscilaram no decorrer dos períodos estudados, reduzindo e aumentando nas embalagens laminada e plástica transparente.

Na Tabela 20 estão descritos os resultados com os valores médios dos sólidos solúveis totais (° Brix) e desvio padrão, durante os 90 dias de armazenamento da polpa de açaí em pó, nas Embalagens Laminadas (EL) e Plástica Transparente (EPT).

Tabela 20-Estabilidade da polpa de açaí em pó obtido por secagem em leito fluidizado, armazenado em diferentes embalagens para o parâmetro de sólidos solúveis totais.

Dias	Sólidos Solúveis Totais (°Brix)	
	Embalagens	
	Laminadas	Plásticas transparente
0	54,33 ^{aA} ± 1,53	54,33 ^{aA} ± 1,53
15	61,67 ^{aCD} ± 3,21	66,67 ^{aBC} ± 2,52
30	67,67 ^{aB} ± 1,15	67,00 ^{aBC} ± 0,00
45	57,33 ^{aAD} ± 0,03	53,33 ^{aA} ± 4,04
60	70,00 ^{aB} ± 0,00	70,67 ^{aB} ± 1,15
75	62,00 ^{aCD} ± 1,00	61,67 ^{aC} ± 0,58
90	65,33 ^{aBC} ± 0,58	66,33 ^{aC} ± 0,58

Médias seguidas por mesma letra minúscula não diferem entre si ($p \geq 0,05$) na mesma linha, pelo teste de Tukey. Médias seguidas por mesma letra maiúscula não diferem entre si ($p \geq 0,05$) na mesma coluna, pelo teste de Tukey.

Verificou-se que, para a embalagem laminada, entre o período inicial (0 dia) e 30 dias houve um aumento no teor de sólidos solúveis totais, logo em seguida uma redução em relação ao tempo anterior e aumento aos 60 dias, com redução aos 75 dias e aumento aos 90 dias. Entre os tempos 75 dias e 90 dias não houve diferença significativa ($p \geq 0,05$). O comportamento de oscilações foi observado também para a embalagem plástica transparente. Este fato pode ser atribuído a redução e acréscimos no teor de água, como reportado no item 4.3.1, que também foi evidenciado a ocorrência de oscilações.

Entre o período inicial e final, a embalagem laminada apresentou um acréscimo de 20,25 % e para plástica transparente 22,09 %, fato que pode ser atribuído à redução do teor de água ocorrida durante o período de armazenamento. Alexandre *et al.* (2014) com polpa de pitanga em pó, no final do período de armazenamento, observaram que a amostra formulada com 30% de goma arábica apresentou teores de sólidos superiores a 90% devido ao menor teor inicial de água e menor taxas de absorção de água, ao longo do armazenamento.

Os sólidos solúveis totais foram inversamente correlacionados com a água, aumentando significativamente sempre que o conteúdo de água diminuía nos pós. Observações semelhantes foram relatadas por Santos *et al.* (2016) com cajá-umbu liofilizado em que o conteúdo de sólidos solúveis totais diminuía sempre quando o conteúdo de água aumentava.

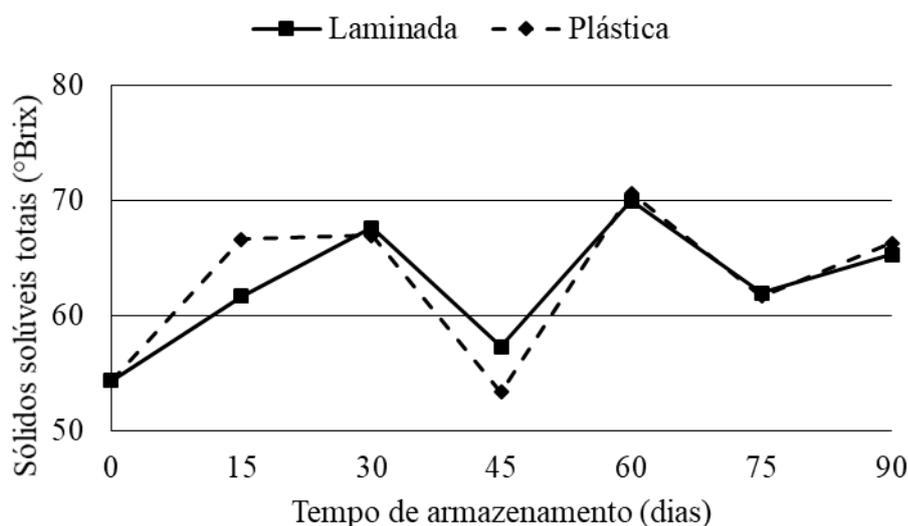
O teor de sólidos solúveis totais é um importante fator de qualidade quanto ao sabor dos produtos, utilizado como medida indireta do teor de açúcares, pois à medida que os teores de açúcares se acumulam na fruta, os teores sólidos solúveis totais aumentam (COSTA *et al.*, 2017). No entanto, o teor de SST de uma polpa em pó está relacionado a concentração dos solutos dissolvidos em água após o processo de secagem (OLIVEIRA; AFONSO; COSTA, 2011).

Ao se comparar as embalagens laminadas com a plástica transparente, pode-se observar que as amostras não diferiram entre si ($p < 0,5$) nos mesmos tempos de estudo, assim as embalagens

apresentaram comportamento semelhantes no que se refere a estabilidade quanto ao teor de sólidos solúveis totais na polpa de açaí em pó.

Para uma melhor visualização da Figura 23 podemos observar tais oscilações dos valores para os sólidos solúveis totais nas embalagens estudadas durante os 90 dias de armazenamento, e que pela diferença de acréscimo entre ambas, a embalagem laminada com 20,25 % contribuiu melhor com a estabilidade do produto, do que com a embalagem plástica transparente com 22,09 %.

Figura 23-Comportamento dos sólidos solúveis totais (°Brix) do pó de açaí durante o armazenamento de 90 dias.



Fonte: Autora

4.3.5 Teor de ácido ascórbico

Os resultados dos valores médios do teor de ácido ascórbico (mg/100g) do pó da polpa de açaí nas Embalagens Laminadas (EL) e Plástica Transparente (EPT), em função do tempo de armazenamento, estão apresentados na Tabela 21.

Tabela 21-Estabilidade da polpa de açaí em pó obtido por secagem em leite fluidizado, armazenado em diferentes embalagens para o parâmetro de teor de ácido ascórbico.

Dias	Ácido Ascórbico (mg/100g)	
	Embalagens	
	Laminadas	Plásticas transparente
0	66,31 ^{aA} ± 2,57	66,31 ^{aA} ± 2,57
15	65,48 ^{aA} ± 11,38	62,20 ^{aA} ± 5,68
30	61,29 ^{aA} ± 5,66	62,10 ^{aA} ± 5,36
45	62,26 ^{aA} ± 5,56	59,08 ^{aA} ± 0,10
60	59,12 ^{aA} ± 0,01	59,09 ^{bA} ± 0,01
75	59,22 ^{aA} ± 0,04	59,19 ^{aA} ± 0,01
90	59,31 ^{aA} ± 0,01	59,28 ^{bA} ± 0,00

Médias seguidas por mesma letra minúscula não diferem entre si ($p \geq 0,05$) na mesma linha, pelo teste de Tukey. Médias seguidas por mesma letra maiúscula não diferem entre si ($p \geq 0,05$) na mesma coluna, pelo teste de Tukey.

O teor de ácido ascórbico presente na polpa de açaí em pó apresentou tendência a redução entre o período inicial e final do armazenamento, no entanto, sem diferença significativa ($p \geq 0,05$). A estabilidade promovida pelas embalagens também sugeriu que o uso de maltodextrina durante a secagem contribuiu na preservação do ácido ascórbico pela ação de encapsulamento. A Embalagem Laminada (EL), apresentou uma redução de 10,56 % e a Plástica Transparente (EPT) 10,60 %.

Ao analisarmos as embalagens com relação aos dias, podemos perceber que em ambas se comportaram de forma semelhante até o tempo de 45 dias de estudo, com decréscimos gradativos do teor de vitamina C presentes nos pós, no entanto sem perdas significativas ($p < 0,5$).

Observando a Tabela 21 podemos ainda verificar que nas embalagens em estudo, aos 60 e 90 dias, as amostras apresentaram comportamentos distintos quanto ao teor de ácido ascórbico, onde a embalagem EL conservou maior conteúdo de vitamina C com 59,12 % e 59,31 % em relação a embalagem EPT com 59,09 % e 59,28 %. Sousa *et al.* (2016) elaborando suco de caju em pó-por leite fluidizado reportaram perdas acentuadas no teor de ácido ascórbico com o uso de embalagens plásticas após 45 dias de armazenamento até o fim do período da estabilidade com perdas de ± 22 %, enquanto a laminada à vácuo, apresentaram perdas de ± 12 %.

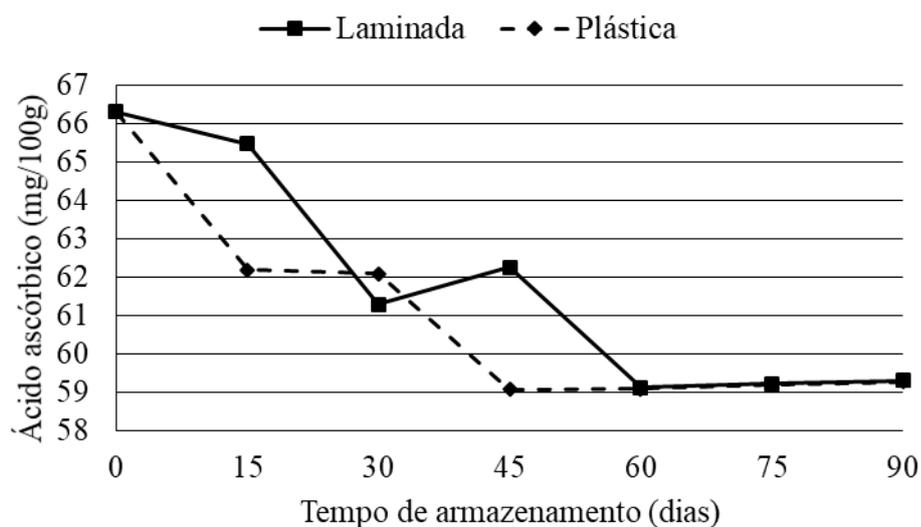
Juliano *et al.* (2014) afirmaram que a redução no teor de ácido ascórbico pode estar relacionada à absorção de água durante o armazenamento, porque o aumento do teor de água dos alimentos ao longo do armazenamento pode acelerar a oxidação do ácido ascórbico, uma vez que o maior teor de água leva para maior mobilidade molecular. Santos *et al.* (2013) afirmam que deve-se considerar que a degradação deste componente em produtos agrícolas transformados pode ser devido a reações causadas pela ação da enzima ascorbato oxidase e auto-oxidação, ou seja, o processo da oxidação do ácido ascórbico pelo oxigênio presente na embalagem.

Teixeira e Monteiro (2006) afirmaram que a embalagem influencia a qualidade dos produtos e deve mantê-los protegidos do oxigênio, luz e umidade, pois esses fatores podem levar a alterações sensoriais e perda de vitaminas. Oliveira *et al.* (2015) citaram que, além da influência do tipo de embalagem, o teor de ácido ascórbico pode ser alterado pelo pH, teor de água e oxigênio do meio, além da temperatura e umidade relativa do armazenamento.

Embora, durante o armazenamento, perdas tenham sido evidenciadas em ambas embalagens, a polpa de açaí em pó ao final do armazenamento caracterizou-se como uma boa fonte de vitamina C, visto que, a dose de ingestão diária recomendada (IDR) para um adulto saudável exigida pela legislação brasileira de 45 mg (BRASIL, 2005).

Através do Figura 24, podemos evidenciar o comportamento do teor de ácido ascórbico na polpa de açaí em pó nas embalagens laminadas e plástica transparente. Durante o armazenamento podemos perceber que a embalagem laminada revelou melhor barreira à degradação de ácido ascórbico no pó. Tal comportamento pode ser observado pelo fato das amostras acondicionadas na embalagem plástica transparente apresentar teores de vitamina C inferiores em relação as amostras acondicionadas na embalagem laminada, apesar de mínima diferença.

Figura 24-Comportamento do teor de ácido ascórbico do pó de açaí durante o armazenamento de 90 dias.



Fonte: Autora

4.3.6 Análise instrumental da cor

4.3.6.1 Parâmetro colorimétrico L^*

Os valores médios e desvios padrões para o parâmetro colorimétrico L*, correspondente a luminosidade (preto =0 a branco =100), do pó da polpa de açaí nas Embalagens Laminadas (EL) e Plástica Transparente (EPT), em função do tempo de armazenamento, estão apresentados na Tabela 22.

Tabela 22-Estabilidade da polpa de açaí em pó obtido por secagem em leito fluidizado, armazenado em diferentes embalagens para o parâmetro colorimétrico L*.

Dias	Cor L*	
	Embalagens	
	Laminadas	Plásticas transparente
0	27,03 ^{aB} ± 0,02	27,03 ^{aBC} ± 0,02
15	25,84 ^{aA} ± 0,27	26,44 ^{aC} ± 0,32
30	27,30 ^{aB} ± 0,11	27,22 ^{aAB} ± 0,25
45	27,10 ^{aB} ± 0,14	26,84 ^{bBC} ± 0,04
60	27,30 ^{bB} ± 0,01	27,73 ^{aA} ± 0,18
75	27,13 ^{aB} ± 0,04	26,78 ^{aC} ± 0,24
90	27,34 ^{aB} ± 0,01	26,83 ^{aC} ± 0,38

Médias seguidas por mesma letra minúscula não diferem entre si ($p \geq 0,05$) na mesma linha, pelo teste de Tukey. Médias seguidas por mesma letra maiúscula não diferem entre si ($p \geq 0,05$) na mesma coluna, pelo teste de Tukey.

As embalagens não apresentaram diferenças significativa ($p < 0,5$) entre o período inicial e o final, no parâmetro colorimétrico L*. A embalagem laminada com polpa de açaí em pó apresentou um comportamento de acréscimo no parâmetro L* de 1,15 %, indicando tendência ao branqueamento do pó de açaí com o prolongamento do período de armazenamento.

Contrariamente, a embalagem plástica apresentou redução de 0,74 % revelando-se mais escura, essa diminuição mostrou-se muito inferior à redução relatada em outros estudos. Comportamento de redução no parâmetro L* foi reportado por Gomes, Figueirêdo e Queiroz (2004) ao estudarem o armazenamento da polpa de acerola em embalagens de polietileno sob temperatura ambiente verificaram uma redução de 18,8 % após 60 dias de armazenamento. Oliveira *et al.* (2015) ao estudarem a estabilidade da polpa de mandacaru em pó, reportaram que com uso de 10 % de maltodextrina e dextroses diferentes (DE 10 e DE 14) observaram redução da luminosidade no final do armazenamento na DE = 10 foi de 24,50% e na DE = 14 foi 23,06%, em relação ao tempo inicial.

Ao avaliarmos os dias de armazenamento em uma mesma embalagem, podemos comprovar que houve oscilações nos teores de L*, tanto para a EL como para EPT. A redução no valor da luminosidade pode ser devida, provavelmente ao ganho de umidade e/ou oxidação de carotenóides e ácido ascórbico durante armazenamento ou mesmo de uma reação não enzimática, como à ocorrência da reação de Maillard (RIBEIRO, COSTA e AFONSO, 2016).

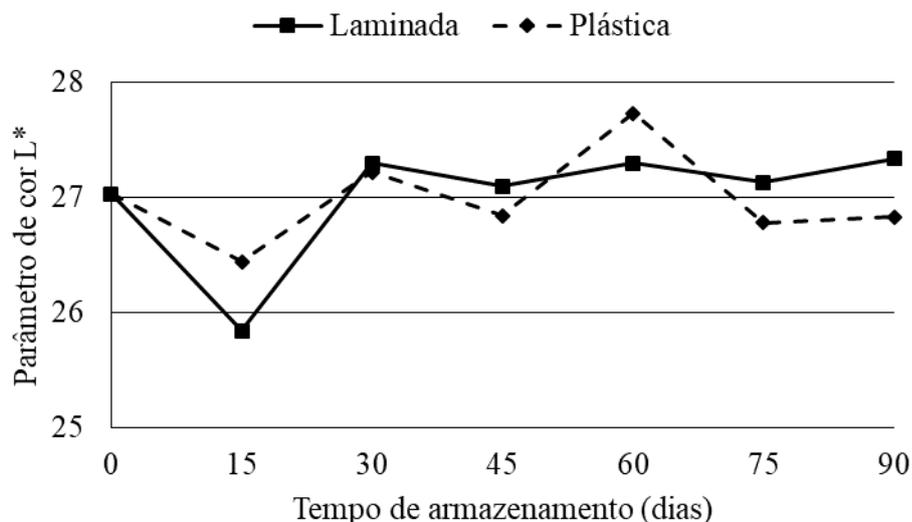
A maior disponibilidade de ácido ascórbico, além dos maiores teores de água e atividade de água, contribuiu para o nível mais alto de escurecimento, afirmam Todisco *et al.* (2013) que em seu estudo com armazenamento de siriguela em pó, observaram que todos os pós apresentaram reduções significativas de luminosidade (L^*) durante o período avaliado.

As embalagens em estudo não apresentaram diferença significativa até os 30 primeiros dias. Galdino *et al.* (2016), ao estudarem a estabilidade de figo-da-índia em pó, desidratado em spray dryer com 35% de maltodextrina, armazenado em embalagens laminadas por um período de 40 dias, sob condições controladas de temperaturas e umidades relativa, observaram que a luminosidade se manteve estável durante todo o período estudado nas amostras armazenadas a temperaturas de 25°C e 40°C.

No presente trabalho, a diferença estatística foi observada entre as embalagens nos tempos 45 e 60 dias. A embalagem laminada apresentou valor de 27,10 e 27,30 enquanto a embalagem plástica transparente apresentou 26,84 e 27,73 nos respectivos dias. Após os 60 dias, a L^* permaneceu estável em ambas embalagens.

Através da Figura 25, podemos observar o comportamento do parâmetro L^* durante os 90 dias de estudo da polpa de açaí em pó, armazenada em embalagem laminada e plástica transparente. Ficou evidente a tendência da amostra na embalagem laminada ao branqueamento e na embalagem plástica transparente ao escurecimento. Tais tendências são bem mínimas (menor que 2 %), ao ponto de considerarmos comportamento semelhantes para ambas embalagens e estabilidade do produto.

Figura 25-Comportamento do parâmetro colorimétrico L* do pó de açaí durante o armazenamento de 90 dias.



Fonte: Autora

4.3.6.2 Parâmetro de cor a* (intensidade do vermelho)

Para coordenada a* do parâmetro de cor, os valores médios e desvios padrão da polpa de açaí em pó, nas Embalagens Laminadas (EL) e Plástica Transparente (EPT), em função dos 90 dias de armazenamento, estão representados na Tabela 23.

Tabela 23-Estabilidade da polpa de açaí em pó obtido por secagem em leito fluidizado, armazenado em diferentes embalagens para o parâmetro de cor a*.

Dias	Cor a*	
	Laminadas	Plásticas transparente
0	4,27 ^{aB} ± 0,05	4,27 ^{aAB} ± 0,05
15	3,94 ^{aA} ± 0,04	4,22 ^{aAB} ± 0,17
30	4,26 ^{aB} ± 0,06	4,28 ^{aAB} ± 0,08
45	4,24 ^{aB} ± 0,16	4,11 ^{aB} ± 0,02
60	4,30 ^{bB} ± 0,05	4,54 ^{aA} ± 0,09
75	4,19 ^{aB} ± 0,10	4,17 ^{aB} ± 0,16
90	4,32 ^{aB} ± 0,09	4,26 ^{aAB} ± 0,19

Médias seguidas por mesma letra minúscula não diferem entre si ($p \geq 0,05$) na mesma linha, pelo teste de Tukey. Médias seguidas por mesma letra maiúscula não diferem entre si ($p \geq 0,05$) na mesma coluna, pelo teste de Tukey.

O parâmetro de cor a* está relacionado a vermelho (+ a*) e verde (- a*). Assim como no parâmetro L*, os valores médios para a* apresentaram oscilações com valores de redução e de acréscimo durante o período de armazenamento, no entanto os valores foram bem próximos, não diferindo estatisticamente entre o dia 0 e após 90 dias.

Na avaliação do parâmetro a^* , verificou-se que entre o período inicial e final do armazenamento da polpa de açaí em pó na embalagem laminada (L) houve um aumento de 1,17 %, tendendo a cor vermelho. O comportamento do parâmetro de cor a^* foi inverso, apresentando redução de 0,24 % para a embalagem plástica transparente, com tendência para cor verde, apesar de continuarem com valores positivos.

Os dois comportamentos diferentes foram evidenciados por Santos *et al.* (2016) durante o estudo do armazenamento da polpa de cajá-umbu obtida por liofilização, com concentrações diferentes de goma arábica. Foram observados diminuição significativa de a^* dos pós com níveis mais altos de goma arábica. O valor da dextrose também influenciou na intensidade do vermelho, como reportaram Oliveira *et al.* (2015) com a polpa de mandacaru em pó, onde constataram que a maltodextrina com DE14 mostrou aumento e com a DE10 mostrou redução significativa nesta coordenada.

O aumento no componente a^* , segundo Oliveira *et al.* (2015), em algumas amostras, ocorreu devido ao provável efeito de proteção que altos valores de goma arábica causam em pós de frutas, o que também pode ter acontecido com o uso da maltodextrina. Lisboa, De Figueiredo e Queiroz (2012) obtiveram aumento da intensidade do vermelho no armazenamento em embalagem laminada de figo da índia em pó ao final de 80 dias de estudo estabilidade.

A estabilidade foi observada durante todo período de armazenamento da polpa de açaí em pó na embalagem laminada (EL), exceto no tempo 15 dias, onde foi possível observar uma redução. Costa *et al.*, (2013b) verificaram que não houve diferença significativa na amostra de polpa de maracujá orgânica em pó na coordenada a^* , durante 360 dias de armazenamento, em embalagem laminada.

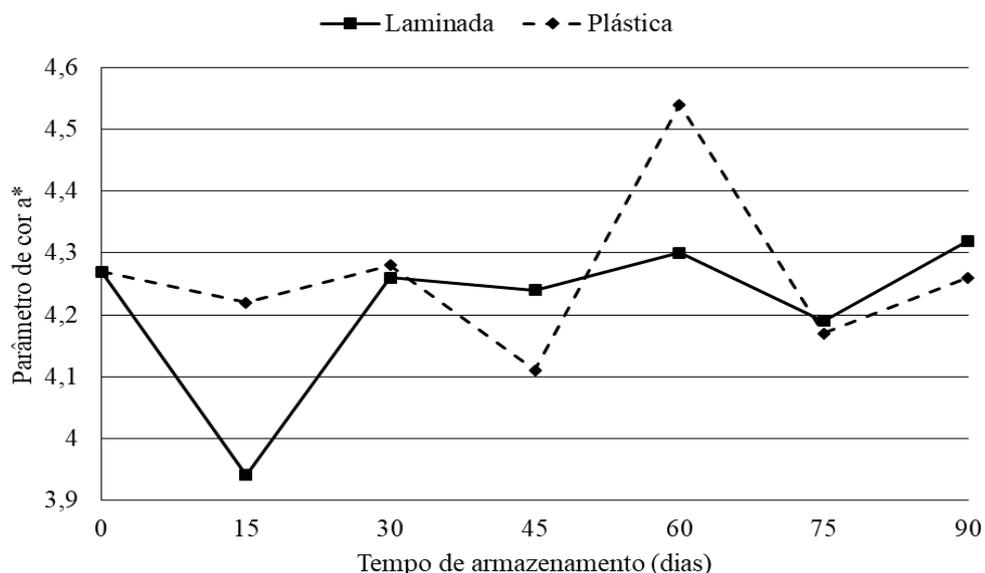
A diminuição do a^* foi reportado por Alexandre *et al.* (2014) que, ao analisarem o armazenamento de pitanga em pó ao longo de 60 dias, obtiveram a mesma tendência de diminuição do valor de a^* , conseqüentemente, suas amostras se tornaram menos vermelhas e mais verdes. Loureiro *et al.* (2013), também relataram diminuição na intensidade do vermelho durante o armazenamento de buriti em pó em embalagens laminadas e plásticas, onde a redução foi mais visível para a embalagem plástica.

Na embalagem plástica transparente (EPT), podemos constatar que no tempo de 60 dias houve diferença significativa em relação aos tempos de 45 e 75 dias e em relação ao tempo de 60 dias da embalagem laminada, demonstrando valor superior de todos os tempos estudados e ao longo dos 60 dias também foi possível observar que em relação ao tempo inicial, as duas embalagens até este período mantiveram o mesmo comportamento de aumento no a^* .

A embalagem laminada se mostrou como a melhor forma de armazenamento, onde houve manutenção da cor do pó relacionado ao parâmetro a^* , por estar mais próximo da região a^* (5,11) da polpa integral, estudada no item 4.2.7.

Podemos verificar, através da Figura 26, o comportamento inverso entre as embalagens testadas. Enquanto o parâmetro de cor a^* na embalagem laminada demonstrou pequeno aumento, na plástica transparente observou-se uma pequena redução no período final de armazenamento.

Figura 26-Comportamento do parâmetro de cor a^* do pó de açaí durante o armazenamento de 90 dias.



Fonte: Autora

4.3.6.3 Parâmetro de cor b^* (intensidade do amarelo)

Os valores médios do parâmetro cor para coordenada b^* , da polpa de açaí em pó, nas Embalagens Laminadas (EL) e Plástica Transparente (EPT), em função dos 90 dias de armazenamento, estão representados na Tabela 24.

Tabela 24-Estabilidade da polpa de açaí em pó obtido por secagem em leite fluidizado, armazenado em diferentes embalagens para o parâmetro de cor b*.

Dias	Cor b*	
	Embalagens	
	Laminadas	Plásticas transparente
0	1,16 ^{aB} ± 0,03	1,16 ^{aAB} ± 0,03
15	0,63 ^{aAC} ± 0,10	0,92 ^{aBC} ± 0,20
30	1,11 ^{aBC} ± 0,05	1,12 ^{aABC} ± 0,12
45	1,02 ^{aBC} ± 0,12	0,88 ^{aBC} ± 0,01
60	1,09 ^{bBC} ± 0,10	1,46 ^{aA} ± 0,09
75	0,89 ^{aAC} ± 0,10	0,75 ^{aC} ± 0,16
90	1,02 ^{aBC} ± 0,09	0,83 ^{aBC} ± 0,19

Médias seguidas por mesma letra minúscula não diferem entre si ($p \geq 0,05$) na mesma linha, pelo teste de Tukey. Médias seguidas por mesma letra maiúscula não diferem entre si ($p \geq 0,05$) na mesma coluna, pelo teste de Tukey.

Segundo o padrão CIELAB, (+b) indica amarelo e (-b) indica azul, ou seja, podemos observar (TABELA 24) que o pó da polpa de açaí sofreu oscilações ao longo do armazenamento, com redução do teor de b* nas diferentes embalagens estudadas.

Podemos observar que entre 0 e 15 dias houve um decréscimo da intensidade de amarelo (+b). Já em 30 dias, a intensidade de amarelo aumentou, seguindo essas oscilações ao longo do armazenamento, nas duas embalagens estudadas.

Essas alterações na cor durante o armazenamento, segundo Sinela *et al* (2017) e Weber, Boch e Schieber (2017), podem estar relacionadas com degradação de antocianinas por reações de condensação e oxidação, e outras substâncias fenólicas.

Na embalagem laminada, foi possível verificar que entre o período inicial e final, houve uma degradação de 12,07 % de cor na faixa amarelo.

Para a embalagem plástica transparente, a redução foi de 28,45 %. A polpa de açaí em pó nesta embalagem apresentou maior deslocamento na direção do azul.

Costa *et al.* (2019), durante o armazenamento (90 dias) da polpa de manga em pó obtida por liofilização com 20 % de maltodextrina, evidenciaram que a embalagem laminada selada sem vácuo apresentou um decréscimo entre o valor inicial e final de 17,86 % e para a embalagem plástica seladas sem vácuo houve uma redução de 16,01 %. Soares e Pereira (2020), ao secar jambolão em leite fluidizado também verificaram redução do parâmetro b* durante o estudo da estabilidade, relatando indicativos de reações de alteração dos produtos e redução de antocianinas.

Santos *et al.* (2016) no período de armazenamento (180 dias) do pó de umbu-cajá obtido por liofilização com diferentes concentrações de goma arábica, observaram decréscimo significativos na intensidade do amarelo (+ b *). Tais reduções da intensidade do amarelo poderiam estar

relacionados a reações de oxidação de carotenoides (GRANATO, MASSON e FREITAS, 2010), que foram favorecidos por certa permeabilidade da embalagem laminada ao oxigênio do ambiente.

Para a polpa de açaí em pó também foi constatada a presença de pequenas quantidades de carotenoides (item 4.2.8) que, possivelmente, tenham sofrido reações de oxidação por causa da permeabilidade das embalagens, observado através dos prováveis aumentos dos teores de água (item 4.3.1), que assim desencadearam redução na intensidade do amarelo, favorecendo a cor azul, isto é, ao escurecimento das amostras. Parte das antocianinas, de acordo com Eng Khoo *et al.* (2017) também sofrem oxidação pelo contato com o oxigênio.

As amostras da polpa de açaí em pó acondicionadas na embalagem laminada apresentaram estabilidade praticamente durante todo o período de armazenamento, exceto no tempo inicial. Nos tempos 15 e 75 dias, no entanto não houve diferença estatística ($p < 0,5$) do tempo final.

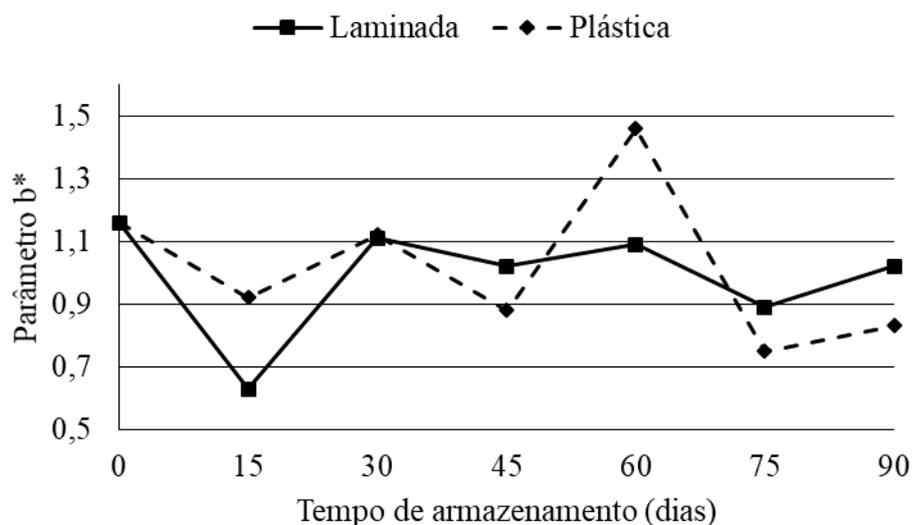
Na embalagem plástica foi possível observar que o tempo inicial diferiu estatisticamente do tempo 75 dias, sendo que estes, não diferiram do tempo final de 90 dias.

A coordenada b^* , entre os tempos de estudo e embalagens, apresentou diferença estatística ($p < 0,5$) apenas no tempo de 60 dias, onde a embalagem EL apresentou valor de 1,09 e a embalagem EPT valor de 1,46, atingindo seu valor máximo em relação a intensidade do amarelo.

Diante do exposto, podemos perceber que a Embalagem Laminada (EL), ao final dos 90 dias de armazenamento, foi a embalagem que melhor conservou o parâmetro colorimétrico b^* por se aproximar da faixa b^* da polpa de açaí integral (2,05) de acordo com o item 4.2.7 estudado.

Podemos observar, através da Figura 27, o comportamento do parâmetro b^* da polpa de açaí em pó, armazenada em embalagens laminada e plástica durante os 90 dias. Nele, podemos perceber que o pó armazenado na embalagem plástica transparente apresentou menores valores de b^* , conseqüentemente, uma coloração menos amarela, mais escuro.

Figura 27-Comportamento do parâmetro de cor b* do pó de açaí durante o armazenamento de 90 dias.



Fonte: Autora

4.3.7 Acidez Total Titulável

Com relação aos resultados da acidez total titulável, os valores médios e desvios padrão do pó da polpa de açaí nas Embalagens Laminadas (EL) e Plástica Transparente (EPT), em função dos 90 dias de armazenamento, estão representados na Tabela 25.

Tabela 25-Estabilidade da polpa de açaí em pó obtido por secagem em leito fluidizado, armazenado em diferentes embalagens para o parâmetro acidez.

Dias	Acidez (% Ác. Cítrico)	
	Embalagens	
	Laminadas	Plásticas transparente
0	0,22 ^{aA} ± 0,02	0,22 ^{aA} ± 0,02
15	0,78 ^{aAB} ± 0,02	0,79 ^{aB} ± 0,12
30	1,07 ^{aB} ± 0,17	0,97 ^{aB} ± 0,17
45	0,89 ^{aB} ± 0,30	0,88 ^{aB} ± 0,29
60	0,86 ^{aB} ± 0,28	0,86 ^{aB} ± 0,28
75	0,89 ^{aB} ± 0,30	0,79 ^{aB} ± 0,18
90	1,03 ^{aB} ± 0,16	0,88 ^{aB} ± 0,15

Médias seguidas por mesma letra minúscula não diferem entre si ($p \geq 0,05$) na mesma linha, pelo teste de Tukey. Médias seguidas por mesma letra maiúscula não diferem entre si ($p \geq 0,05$) na mesma coluna, pelo teste de Tukey.

A acidez total titulável da polpa de açaí em pó apresentou um aumento tendencioso no decorrer do período de armazenamento na embalagem laminada e plástica transparente. No estudo de Galdino *et al.* (2016) com figo da índia em pó, obtido por atomização, também foi possível observar pequenas oscilações ao longo do tempo de armazenamento de 40 dias, mas sem diferenças significativas entre a acidez inicial e ao final.

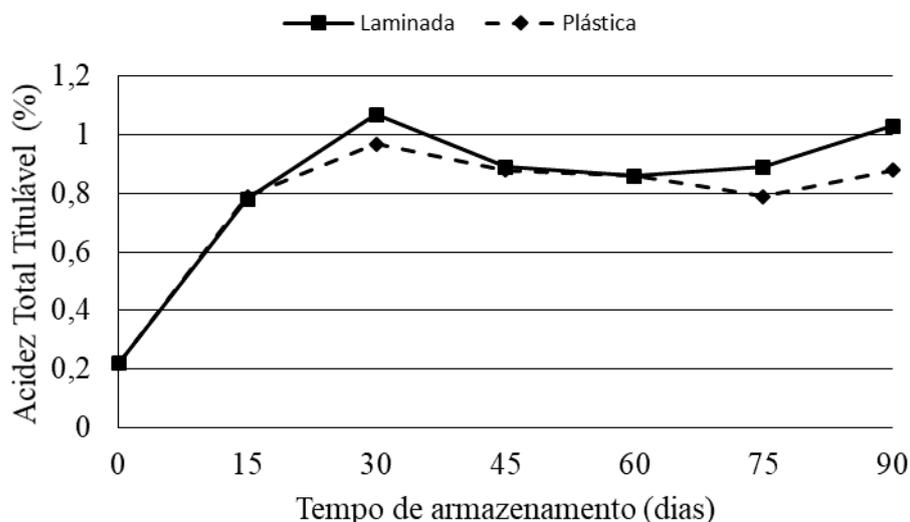
Entre o período inicial e final podemos observar que houve um acréscimo na acidez em ambas embalagens, na ordem de 368,18 % para embalagem EL e de 300 % para embalagem EPT, apresentando diferença significativa ($p < 0,5$) apenas entre o período inicial e final. Durante os mesmos tempos de estudo, isto é, nos mesmos dias, as embalagens não apresentaram diferença significativa ($p < 0,5$), sugerindo que as embalagens não influenciaram no período de armazenamento, havendo influência somente do tempo. A elevação da acidez observada é satisfatória à conservação do produto, visto que constitui obstáculo e/ou barreira para impedir a deterioração e garantir a estabilidade dos produtos (MOREIRA et al., 2011).

Moreira *et al.* (2011), ao trabalharem com cupuaçu desidratado, também observaram aumento no teor de acidez em função do armazenamento, com valores superiores ao do presente estudo. No início e no final do armazenamento foram: T1 - 46 horas: 1,80 e 1,9 2%; T2 - 52 horas: 1,89 e 2,2 % e T3 - 58 horas: 2,1 e 2,5 % de ATT, respectivamente.

Oliveira *et al.* (2015) estudando a estabilidade da polpa de mandacaru em pó contendo 10% de diferentes dextroses equivalentes de maltodextrina (DE10 e DE14) obtiveram amostras estáveis com o tempo de armazenamento. As dextroses influenciaram no teor de acidez, os valores foram superiores nas amostras com DE = 14 quando comparados com a DE = 10 em todos os tempos de armazenamento, sem diferença significativa.

Através da Figura 28, foi possível visualizarmos o comportamento de acidez total titulável da polpa de açaí em pó, armazenada na embalagem laminada e plástica transparente, durante os 90 dias de armazenamento. A embalagem laminada apresentou o mesmo comportamento da embalagem plástica transparente ao longo do armazenamento.

Figura 28-Comportamento do parâmetro acidez total titulável do pó de açaí durante o armazenamento de 90 dias.



Fonte: Autora

4.3.8 Solubilidade

Os resultados com seus valores médios e desvios padrão para o parâmetro solubilidade, durante os 90 dias de armazenamento da polpa de açaí em pó, nas Embalagens Laminadas (EL) e Plástica Transparente (EPT), estão representados na Tabela 26.

Tabela 26-Estabilidade da polpa de açaí em pó obtido por secagem em leite fluidizado, armazenado em diferentes embalagens para o parâmetro solubilidade.

Dias	Solubilidade (%)	
	Embalagens	
	Laminadas	Plásticas transparente
0	90,24 ^{aA} ± 5,43	90,24 ^{aA} ± 5,43
15	88,84 ^{aA} ± 10,74	91,34 ^{aA} ± 7,20
30	81,64 ^{bA} ± 0,28	86,84 ^{aA} ± 0,16
45	82,48 ^{aA} ± 0,17	85,76 ^{aA} ± 2,35
60	83,51 ^{bA} ± 2,31	85,86 ^{aA} ± 1,32
75	80,55 ^{bA} ± 1,94	87,43 ^{aA} ± 0,42
90	86,35 ^{aA} ± 1,56	87,02 ^{aA} ± 0,96

Médias seguidas por mesma letra minúscula não diferem entre si ($p \geq 0,05$) na mesma linha, pelo teste de Tukey. Médias seguidas por mesma letra maiúscula não diferem entre si ($p \geq 0,05$) na mesma coluna, pelo teste de Tukey.

A solubilidade da polpa de açaí em pó armazenada nas Embalagens EL e EPT sofreu um decréscimo entre o período inicial e final do armazenamento, em ambas embalagens, apresentando a EL, redução de 4,31 % e a EPT de 3,57 %, com diferença de menos de 1 %

entre elas. Sousa *et al.* (2016) em seu estudo com suco de caju obtido por leite fluidizado, verificaram a redução na solubilidade ao final de 60 dias de armazenamento.

As reduções nos valores de solubilidade das amostras no presente estudo não apresentaram diferença estatística ($p > 0,5$) ao analisarmos as embalagens individualmente, enquanto Sousa *et al.* (2016) relataram que a amostra do período do dia 0 para a embalagem laminada diferiu das amostras dos períodos dos dias 15 e 60, e para a embalagem plástica houve apenas diferença entre as amostras dos períodos dos dias 15 e 30.

Entre os dias de armazenamento podemos perceber que houve oscilações com acréscimos e decréscimos na solubilidade da polpa de açaí em pó. Tal comportamento foi observado por Costa *et al.* (2013b), ao analisarem a estabilidade de pós de maracujá por 360 dias, onde os pós de maracujá alternaram teores crescentes e decrescentes ao longo do tempo de armazenamento.

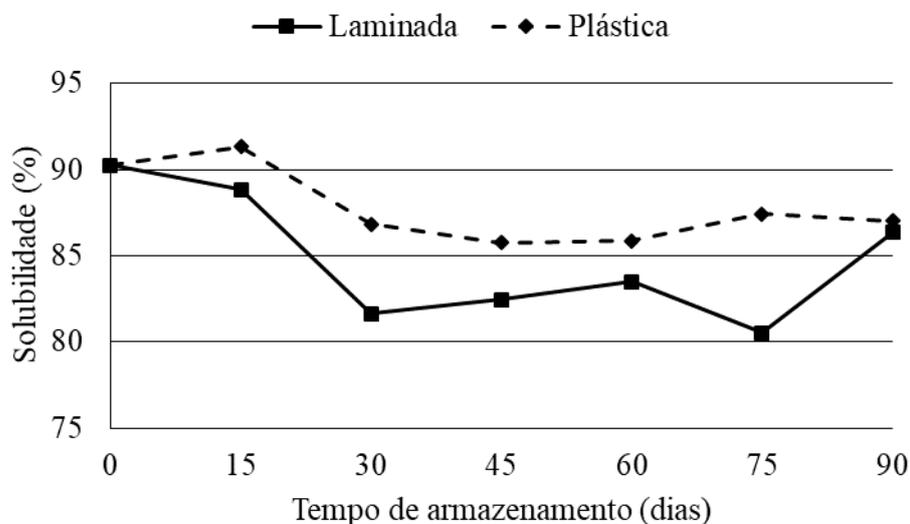
Ao final do tempo de armazenamento podemos perceber que a solubilidade da polpa de açaí em pó ficou acima de 85 %. Souza *et al.* (2016) encontraram teores de solubilidade acima de 90 %, superiores ao do presente estudo. Cavalcante *et al.* (2018) após a secagem da polpa de graviola em spray dryer, obtiveram 55,74 % de solubilidade, e a consideraram como um potencial ingrediente em produtos alimentícios, como bebidas e preparados de sobremesas instantâneos. Este valor foi bem inferior ao obtido no final do tempo de armazenamento, no presente estudo.

Ao analisarmos as embalagens e os dias, podemos evidenciar que a embalagem laminada diferiu estatisticamente a nível de 95% de confiança da embalagem plástica transparente nos dias 30, 60 e 75, onde a embalagem plástica transparente apresentou valores de solubilidade maiores. Sousa *et al.* (2016) com o armazenamento do suco de caju em pó em embalagens laminada e plástica, encontraram diferença entre as embalagens somente no período de 30 dias.

Goula e Adamopoulos (2005) atribuem a diminuição da solubilidade ao ganho de umidade do material. O ganho de umidade foi evidenciado em ambas embalagens no item 4.3.1 do presente trabalho.

Na Figura 29, foi possível verificar que a solubilidade assumiu valores crescentes e decrescentes ao longo do armazenamento. A polpa de açaí em pó na embalagem laminada assumiu valores inferiores ao da embalagem plástica como foi estudado, no entanto, no final do período de armazenamento não apresentaram diferenças significativas entre ambas embalagens, com teores de redução de solubilidade de menos de 1 % entre as embalagens no período final.

Figura 29-Comportamento do parâmetro solubilidade do pó de açaí durante o armazenamento de 90 dias.



4.3.9 Higroscopicidade

Para os resultados do parâmetro higroscopicidade do pó da polpa de açaí nas Embalagens Laminadas (EL) e Plástica Transparente (EPT), em função dos 90 dias de armazenamento, os valores médios e desvios padrão foram inseridos na Tabela 27.

Tabela 27-Estabilidade da polpa de açaí em pó obtido por secagem em leite fluidizado, armazenado em diferentes embalagens para o parâmetro higroscopicidade.

Dias	Higroscopicidade	
	Embalagens	
	Laminadas	Plásticas transparente
0	3,18 ^{aB} ± 0,27	3,18 ^{aB} ± 0,27
15	3,42 ^{aB} ± 0,34	3,09 ^{aC} ± 0,55
30	2,16 ^{aB} ± 0,12	2,07 ^{aBC} ± 0,16
45	3,16 ^{aB} ± 0,35	2,16 ^{bBC} ± 0,19
60	5,31 ^{bA} ± 0,44	4,69 ^{aA} ± 0,64
75	2,56 ^{aB} ± 0,88	1,27 ^{aB} ± 0,18
90	2,19 ^{aB} ± 0,46	2,98 ^{aC} ± 0,19

Médias seguidas por mesma letra minúscula não diferem entre si ($p \geq 0,05$) na mesma linha, pelo teste de Tukey. Médias seguidas por mesma letra maiúscula não diferem entre si ($p \geq 0,05$) na mesma coluna, pelo teste de Tukey.

Os valores da higroscopicidade também apresentaram decréscimos entre o período inicial e final do armazenamento. A polpa de açaí em pó armazenada na EL apresentou uma redução de 31,13 % e na EPT de 6,29 %. A redução da higroscopicidade durante o período de

armazenamento também foi constatado por Sousa *et al.* (2016) com o suco de caju obtido por leite fluidizado.

Os pós armazenados na EL apresentaram distinção ($p < 0,05$) entre os armazenados na EPT nos tempos de 45 e 60 dias de armazenamento. No tempo de 90 dias de armazenamento a polpa de açaí em pó acondicionados em ambas embalagens não diferiram entre si a um nível de 95 % de confiança. Sousa *et al.* (2016) relatam diferenças da higroscopicidade nas embalagens apenas nos tempos 30 e 60 dias, e o período final diferenciou dos demais dias e embalagens.

Ao analisarmos individualmente as embalagens, o armazenamento do pó de açaí na embalagem laminada não apresentou diferença estatística significativa ($p < 0,05$) entre os dias armazenados, exceto no tempo de 60 dias. Já para a embalagem plástica transparente, a polpa de açaí em pó apresentou diferença estatística significativa ($p < 0,05$) entre os tempos 0, 15 e 60 dias. Sousa *et al.* (2016) observaram estabilidade da higroscopicidade durante todo o período de armazenamento para a embalagem laminada e na embalagem plástica houve distinção entre os tempos de 15, 30 e 45 dias.

No tempo de 60 dias podemos observar que em ambas as embalagens existiu um pico no índice de higroscopicidade. A embalagem laminada apresentou valor superior com relação a embalagem plástica transparente. Fato este relacionado aos menores índices de umidade neste período, abordado no item 4.3.1.

A alteração na higroscopicidade em relação a umidade foi observada por Tonon, Brabetet e Hubinger (2009), que afirmaram que pós com umidades mais baixas tem maior facilidade em adsorver água, ou seja, são mais higroscópicos, o que está relacionado ao maior gradiente de concentração de água existente entre o produto e o ambiente.

Comportamento semelhante foi observado por Goula, Adamopoulos e Kazakis (2004) em seu trabalho com secagem de polpa de tomate em spray dryer, variando a temperatura do ar, a pressão de atomização e o fluxo de ar comprimido. Esses autores observaram que a higroscopicidade dos pós produzidos foi inversamente proporcional à sua umidade.

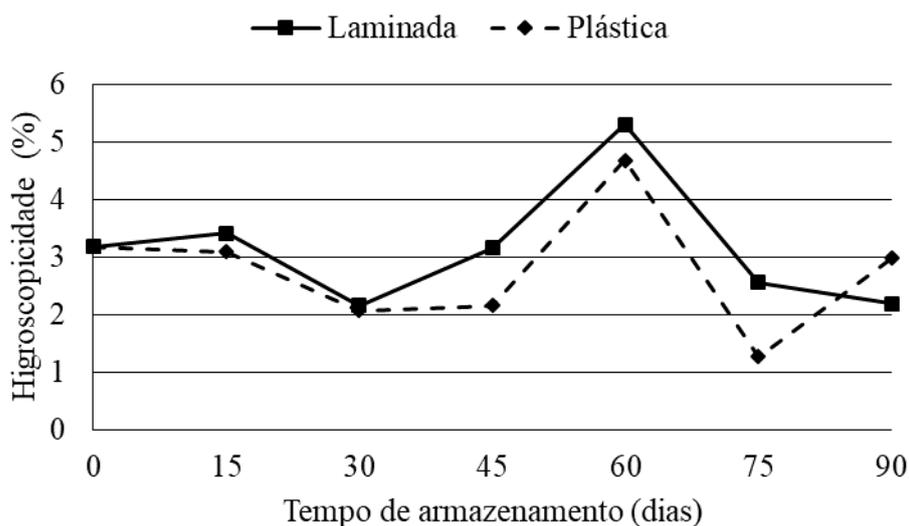
Costa *et al.* (2019) com o estudo do armazenamento da polpa de manga liofilizada, observaram que a higroscopicidade foi menor na embalagem plástica selada sem vácuo e associaram tal comportamento a maior umidade da amostra armazenada em embalagens plásticas (sem vácuo) durante o período de estabilidade. Os referidos autores e Ribeiro, Costa e Afonso (2016) relataram que quando amostras possuem uma maior umidade, menos locais estariam disponíveis para se ligar as moléculas de água no ambiente, havendo um menor gradiente de concentração de água entre o ambiente e o produto.

Molina *et al.* (2014), estudando polpa de pitáia liofilizada evidenciaram resultados diferentes. Houve um aumento na higroscopicidade dos pós para os dois tipos de embalagem em relação ao armazenamento, com uma diferença significativa entre a embalagem plástica e laminada.

Diante do exposto, podemos constatar que ao final do período de 90 dias de armazenamento, conforme os padrões de higroscopicidade estabelecidos por GEA Niro Research Laboratory (2003), a polpa de açaí em pó armazenada nas embalagens estudadas pode ser classificada como não higroscópico por apresentar valores inferiores a 10 %.

Através do Figura 30, podemos observar que o comportamento do parâmetro solubilidade em relação as embalagens laminada e plástica transparente. Ao final dos 90 dias, podemos perceber que a embalagem laminada promoveu menor valor de higroscopicidade em relação a embalagem plástica, no entanto não houve diferença estatística significativa ($p < 0,05$) entre ambas embalagens.

Figura 30-Comportamento do parâmetro higroscopicidade do pó de açaí durante o armazenamento de 90 dias.



Fonte: Autora

4.3.10 Grau de caking

Os valores médios do parâmetro grau de *caking* do pó da polpa de açaí nas Embalagens Laminadas (EL) e Plástica Transparente (EPT), em função dos 90 dias de armazenamento, estão representados na Tabela 28.

Tabela 28-Estabilidade da polpa de açaí em pó obtido por secagem em leite fluidizado, armazenado em diferentes embalagens para o parâmetro grau de caking.

Dias	Grau de <i>caking</i>	
	Embalagens	
	Laminadas	Plásticas transparente
0	9,53 ^{aB} ± 1,10	9,53 ^{aC} ± 1,10
15	14,10 ^{aBC} ± 5,78	9,21 ^{aC} ± 0,92
30	8,54 ^{aC} ± 1,62	8,17 ^{aC} ± 0,50
45	11,80 ^{aBC} ± 3,98	12,28 ^{aBC} ± 3,65
60	23,16 ^{aAB} ± 4,22	19,96 ^{aAB} ± 1,91
75	21,90 ^{aAB} ± 0,00	18,14 ^{aABC} ± 4,73
90	28,50 ^{aA} ± 0,23	24,54 ^{aA} ± 3,17

Médias seguidas por mesma letra minúscula não diferem entre si ($p \geq 0,05$) na mesma linha, pelo teste de Tukey. Médias seguidas por mesma letra maiúscula não diferem entre si ($p \geq 0,05$) na mesma coluna, pelo teste de Tukey.

A polpa de açaí em pó revelou comportamento com tendência crescente da aglomeração (*caking*) durante a estocagem, independente da embalagem utilizada.

A embalagem laminada apresentou um aumento de 199,06% e a embalagem plástica transparente 157,50% no grau de *caking*, entre o período inicial e final do armazenamento.

A variável grau de *caking* durante o armazenamento da polpa de açaí em pó na embalagem laminada apresentou diferença estatística ($p < 0,05$) entre os tempos 0, 30 e 90 dias. Já para a embalagem plástica transparente, a diferença estatística ($p < 0,05$) foi entre os tempos 0, 60 e 90 dias.

Como podemos perceber os valores sofreram oscilações com acréscimos e decréscimos, em ambas embalagens. No estudo de Sousa *et al.* (2016) no armazenamento de suco de caju em pó, obtido por leite fluidizado, podemos também evidenciar tal comportamento de oscilações no parâmetro grau de *caking* para as embalagens que foram estudadas. Comportamento semelhante foi observado por Ribeiro, Costa e Afonso (2016), revelando que estas variações podem ser decorrentes de erro experimental ocasionado por alterações que ocorreram na manutenção da temperatura da estufa, por exemplo, ou mesmo por erros causados pela inadequação da própria metodologia escolhida.

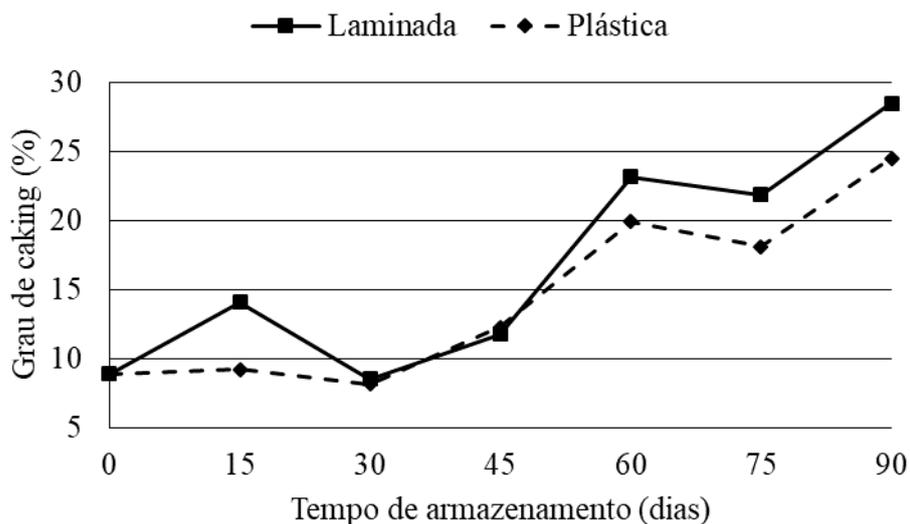
Podemos perceber que a embalagem laminada (L) apresentou amostras com valores mais elevados do que as amostras acondicionadas na embalagem plástica transparente (PT), exceto no tempo de 45 dias.

Sousa *et al.* (2016) obtiveram no final de 60 dias de armazenamento do suco de caju em pó valores de 79,67 e 79,20 % de grau de *caking*, na embalagem laminada e plástica, respectivamente, valores estes superiores aos observados no presente trabalho, em que os valores de grau de *caking* da polpa de açaí em pó, para ambas embalagens, ao final do período

de armazenamento foram de 28,50% e 24,54 %. Segundo a classificação de GEA Niro Research Laboratory (2003) a polpa de açaí em pó pode ser rotulada como pó com formação de *caking*.

Através da Figura 31, foi possível observar o comportamento do parâmetro grau de *caking* da polpa de açaí em pó, armazenada na embalagem laminada e plástica transparente.

Figura 31-Comportamento do parâmetro grau de *caking* do pó de açaí durante o armazenamento de 90 dias.



Fonte: Autora

5 CONCLUSÃO

A polpa de açaí integral apresentou alto conteúdo de umidade, ácido ascórbico e antocianinas; e baixos índices de sólidos solúveis e açúcares totais.

Em resposta ao delineamento experimental, foi escolhida a polpa de açaí em pó com 20 % de maltodextrina, considerando os resultados da solubilidade, higroscopicidade, grau de *caking*, isotermas e propriedades de escoamento, como fatores mais significativos.

Quanto as características físico-químicas da polpa de açaí integral e da polpa de açaí adicionada de 20 % de maltodextrina, evidenciou-se que a secagem em leito fluidizado foi capaz de reduzir o conteúdo de umidade, atividade de água, acidez total, ácido ascórbico, L*, a*, b*, carotenoides totais e antocianinas; e aumentar significativamente o pH, sólidos solúveis totais, açúcares redutores e totais.

Durante o estudo da estabilidade de 90 dias, a embalagem laminada apresentou melhor barreira de proteção quanto aos parâmetros de umidade, atividade de água, sólidos solúveis totais, L*, a* e b*, teor de ácido ascórbico. A embalagem plástica ofereceu melhor barreira para acidez total titulável, pH, solubilidade, higroscopicidade e grau de *caking*.

O modelo de BET foi o modelo que melhor descreveu as isotermas de adsorção da polpa de açaí em pó com 20 % de maltodextrina. O pó deve ser armazenado entre as temperaturas de 25 e 30°C, e suporta umidade relativas inferiores a 70%. As curvas obtidas no estudo foram do tipo III.

Quanto a escoabilidade, a polpa de açaí em pó adicionada de 20% foi classificada quanto ao índice de fluxo como pós coesos e apresentou menor resistência de escoamento.

Com relação à morfologia do pó, a adição da maltodextrina resultou em partículas com superfícies menores e lisas, enquanto as partículas produzidas sem maltodextrina foram maiores, com grau de rugosidade.

Os resultados aqui obtidos podem ser considerados satisfatórios ressaltando a efetividade do processo de secagem em leito fluidizado da polpa de açaí e podem ser aprimorados em estudos posteriores, com a utilização de temperatura inferior a 85°C, com a coleta do pó do leito fluidizado de apenas um lugar específico do equipamento e estudar faixas de temperaturas mais distantes nas isotermas.

REFERÊNCIAS

- ABIA- Associação Brasileira de Indústria de Alimentos. Indústria de alimentos fecha 2018 com aumento de 2,08 % em faturamento.2019. Disponível em: https://www.abia.org.br/vsn/tmp_2.aspx?id=393. Acesso em: 02 maio 2019.
- ABRAFRUTAS- Associação Brasileira dos Produtores Exportadores de Frutas e Derivados. Estatística de exportações de frutas no primeiro trimestre de 2020. Disponível em <https://abrafrutas.org/2020/04/23/estatistica-de-exportacoes-de-frutas-no-tres-trimestres-de-2020/>. Acesso em: 02 maio 2020.
- ADAPEC - Agência de Defesa Agropecuária. **Fruticultura**. Governo do Estado do Tocantins. Disponível em <https://adapec.to.gov.br/vegetal/sanidade-vegetal/fruticultura/>. Acesso em: 28 set. 2018.
- AFONSO, M. R.; RODRIGUES, B. K.; COSTA, J.; RYBKA, A. C.; WURLITZER, N. J. Microstructure and flow properties of lyophilized mango pulp with maltodextrin. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande - PB, v. 23, n. 2, p. 133-137, 2019.
- AGÊNCIA IBGE NOTÍCIAS. **PAM 2017**: valor da produção agrícola nacional cai 0,6% após sete anos de alta. Publicado em: 13/08/2018. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/22575-pam-2017-valor-da-producao-agricola-nacional-cai-0-6-apos-sete-anos-de-alta> Acesso em: jun. 2019.
- ALCÂNTARA, S. R.; ALMEIDA, F. A. C.; SILVA, F. L. H.; GOMES, J. P. Isotermas de adsorção do pedúnculo seco do caju. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande - PB, v. 13, n. 1, p. 81- 87, 2009.
- ALEXANDRE, H. V. *et al.* Armazenamento de pitanga em pó. **Comunicata Scientiae**, v. 5, n. 1, p. 83–91, jan./mar. 2014.
- ALMICO, J. D.; FERREIRA, I. M.; RAMOS, G. D.; OLIVEIRA, A. A. M.; CARVALHO, M. G. Avaliação da qualidade microbiológica, físico-química e química de polpas de açaí (*Euterpe oleracea* Mart) pasteurizadas congeladas comercializadas em Aracaju-SE. **Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal**, [s.l.], v. 12, n. 2, p. 156-168, 2018.
- ALVES, F. M. S.; MACHADO, A. V.; QUEIROGA, K. H. Alimentos produzidos a partir de farinhas de caju, obtida por secagem. **Revista Verde de Agroecologia e desenvolvimento Sustentável**, Mossoró - RN, v. 6, n. 3, p. 131-138, 2011.
- ALVES, R.E.; FILGUEIRAS, H.A.C.; MOURA, C.F.H. **Caracterização de frutas nativas da América Latina**. Jaboticabal: Funep, (Série Frutas Nativas, 9), p. 66, 2000.
- ALVES, T. P.; FÓZ, H. D.; NICOLETI, J. F. Isotermas de dessorção de pimentão verde e energia envolvida no processo. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas -SP, v. 18, n. 2, p. 137-145, 2015.

ANDRADE, R. D., LEMUS M, R., PÉREZ, C.C. E. Models of sorption isotherms for food: uses and limitations. **Vitae**, [s.l.], v. 18, n. 3, p. 325-334, 2011.

ANJOS, R. A., GROSSI, E. C., MARTINS, S. R. D. Avaliação físico-química de polpas de frutas produzidas pela Copabase/Arinos - MG. 2016. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 5., 2016, Montes Claros. **Anais...** Disponível em: <https://www.ifnmg.edu.br/arquivos/2016/proppi/sic/resumos/c8d6e7e8-c517-4481-b967-0e940f4d2fe5.pdf>. Acesso em: 09 out. 2018.

AQUALAB. Analisador de Atividade de Água Decagon. ABRASEQ, Brasil, 1997.

ARAÚJO, A. D. A.; COELHO, R. M.; FONTES, C. P. M.; SILVA, A. R. A., COSTA, J. M. C.; RODRIGUES, S. Production and spouted bed drying of acerola juice containing oligosaccharides. **Food and Bioproducts Processing**, [s.l.], v. 94, p. 565-571, 2015.

ANSELMO, G. C. S., MATA, M. E. R. M. C., ARRUDA, P. C. Determinação da higroscopicidade do cajá em pó por meio da secagem por atomização. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Sergipe, v. 6, n. 2, p. 58-65, 2006.

ASAE, AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **Moisture Relationship of Grains**. St. Joseph, p. 363-7, 1991.

AZEREDO, H. M. C. de. **Fundamentos de estabilidade de alimentos**. Brasília: Editora Embrapa, 2012. p. 326.

AZIZ, M. G.; YUSOF, Y. A.; BLANCHARD, C.; SAIFULLAH, M., FARAHNAKY, A.; SCHEILING, G. Material properties and tableting of fruit powders. **Food engineering reviews**, [s.l.], v. 10, n. 2, p. 66-80, 2018.

BAG, S. K.; SRIVASTAV, P. P.; MISHRA, H. N. Optimization of process parameters for foaming of bael (*Aegle marmelos* L.) fruit pulp. **Food Bioprocess Technology**, Oxford, v. 4, p. 1450-1458, 2011.

BARBOSA, L. DE S.; MACEDO, J. L.; DOS SANTOS, C. M.; MACHADO, A. V. Estudo da secagem de frutos tropicais do nordeste. **Revista Verde e Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró–RN, v. 9, n. 1, p. 186-190, 2014.

BARBOSA-CÁNOVAS, G.V.; JULIANO, P. Physical and chemical properties of food powders. In: ONWULATA, C. (Ed.). **Encapsulated and powdered foods**, Boca Raton, Taylor & Francis, p. 39-71, 2005.

BARBOSA, S. J. **Qualidade de suco de pó de mistura de frutas obtido por spray drying**. 2010. 107 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal no Semiárido) – Programa de Pós-Graduação, Universidade Estadual de Montes Claros, Minas Gerais, 2010.

BEZERRA, C. V., AMANTE, E. R., OLIVEIRA, D. C., RODRIGUES, A.M.C., SILVA, L. H. M. Green banana (*Musa cavendishii*) flour obtained in spouted bed - Effect of drying on physicochemical, functional and morphological characteristics of the starch. **Industrial Crops and Products**, [s.l.], v. 41, n. 1, p. 241-249, 2013.

BEZERRA, M; ARAUJO, A.; SANTOS, K.; CORREIA, R. Caprine frozen yoghurt produced with fresh and spray dried jambolan fruit pulp (*Eugenia jambolana* Lam.) and *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis* BI-07. **LWT - Food Science and Technology**, [s.l.], v. 62, n. 2, p. 1099-1104, 2015.

BEZERRA, V. S. Açaí Congelado. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2007.

BHANDARI, B. R.; HARTEL, R. W. Phase transitions during food powder production and powder stability. **Encapsulated and powdered foods**. CRC Press, 2005, p. 273-304.

BHUSARI, S. N.; MUZAFFAR, K.; KUMAR, P. Effect of carrier agentes on physical and microstructural properties of spray dried tamarind pulp powder. **Powder Technology**, [s.l.], v. 266, p. 354-364, 2014.

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

BOQUET, R.; CHIRIFE, J.; IGLESIAS, H. A. Equations for fitting water sorption isotherms of foods: II. Evaluation of various two-parameter models. **International Journal of Food Science & Technology**, [s.l.], v. 13, n. 4, p. 319-327, 1978.

BOTELHO, L.N.S., ROCHA, D.A., BRAGA, M.A., SILVA, A.; ABREU, C.M.P. Quality of guava cv. 'Pedro Sato' treated with cassava starch and cinnamon essential oil. **Scientia Horticulturae**, [s.l.], v. 209, p. 214-220, 2016.

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

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC nº 269, de 22 de setembro de 2005**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2005.

BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. **Instrução Normativa nº 1, de 7 de janeiro de 2000**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 10 de janeiro de 2000.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução normativa nº 37, de 01 de outubro de 2018**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2018.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Portaria nº 58, de 30 de agosto de 2016**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2016.

BRUIJN J.; RIVAS, F.; RODRIGUEZ, Y.; LOYOLA, C.; FLORES, A.; MELIN, P.; BORQUEZ, R. Effect of Vacuum Microwave Drying on the Quality and Storage Stability of Strawberries. **Journal of Food Processing and Preservation**, [s.l.], v. 40, n. 5, p. 1104–1115, 2016.

BRUNAUER, S., EMMET, T.H., TELLER, F. Adsorption of gases in multimolecular layers. **Journal of the American Chemical Society**, [s.l.], v. 60, n. 2, p. 309-319, 1938.

- BUENO, S. M., GRACIANO, R. A. S., FERNANDES, E. C. B., GARCIA-CRUZ, C. H. Avaliação da qualidade de Polpas de Frutas Congeladas. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, São Paulo, v. 62, n. 2, p. 121-126, 2002.
- BUTZGE, J. J., GODOI, F. C., ROCHA, S. C. S. Drying of hydrolyzed collagen with grape pulp in spouted bed: Influence of process variables on the powder production efficiency. **Journal Drying Technology**, Lyon, France, v. 32, n. 16, p. 2012 – 2014, 2014.
- CALAPRICE, A.; LIPSCOMBE, T. **Albert Einstein: a biography**. Greenwood Publishing Group, 2005.
- CALISKAN, G.; DIRIM, S. N. The effect of different drying processes and the amounts of maltodextrin addition on the powder properties of sumac extract powders. **Powder technology**, [s.l.], v. 287, p. 308-314, 2016.
- CANO-CHAUCA, M., STRINGHETA, P. C., RAMOS, A. M., & CAL-VIDAL, J. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, [s.l.], v. 6, p. 420 - 428, 2005.
- CANO-HIGUITA, D. M., VILLA-VÉLEZ, H. A., TELIS-ROMERO, J., VÁQUIRO, H. A., TELIS, V R.N. Influence of alternative drying aids on water sorption of spray dried mango mix powders: A thermodynamic approach. **Food and Bioproducts Processing**, [s.l.], v. 93, p.19–28, 2015.
- CANUTO, G. A. B.; XAVIER, A. A. O.; NEVES, L. C.; BENASSI, M. T. Caracterização físico-química de polpas de frutos da Amazônia e sua correlação com a atividade anti-radical livre. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 32, n. 4, p. 1196-1205, 2010
- CAPARINO, O. A.; TANG, J.; NIND, C. I.; SABLANI, S. S.; POWERS, J. R.; FELLMAN, J. K. Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (Philippine ‘Carabao’var.) powder. **Journal of Food Engineering**, Amsterdã, v. 111, n. 1, p. 135-148, 2012.
- CARLOS, L. D A.; RESENDE, J. D.; CAL-VIDAL, J. Redução da Higroscopicidade de Pós Liofilizados pela Indução da Cristalização em Soluções-Modelo de Açúcares Constituintes de Frutas. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas -SP, v. 8, n. 2, p. 163-173, 2005.
- CARMONA, P. A. O. **Secagem por atomização de óleo de laranja**: estudo das propriedades da emulsão e do tipo de material de parede sobre as características do pó e a estabilidade de D-Limoneno. 2011. 176 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos). Faculdade de Engenharia de Alimentos (FEA), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.
- CATELAM, K. T.; TRINDADE, C. S. F.; ROMERO, J. T. Water adsorption isotherms and isosteric sorption heat of spray-dried and freeze-dried dehydrated passion fruit pulp with additives and skimmed milk. **Ciência e Agrotecnologia**, [s.l.], v. 35, p. 1196- 1203, 2011.

CAVALCANTE, C. E. B.; RODRIGUES, S.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. Comportamento higroscópico da polpa de graviola em pó obtida por secagem em spray dryer. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas -SP, v. 21, 2018.

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

CELESTINO, SONIA MARIA COSTA. Princípios de secagem de alimentos. **Embrapa Cerrados-Documentos (INFOTECA-E)**, 2010.

CHEN, X. D., PATEL, K. C. Manufacturing better quality food powders from spray drying and subsequent treatments. **Drying Technology**, [s.l.], v. 26, n. 11, p. 1313-1318, 2008.

CHINNAN, M.S., BEUCHAT, L.R. Sorption isotherms of whole cowpeas and flours. **Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie**, [s.l.], v. 18, p. 83-88, 1985.

CHONG, C. H.; LAW, C. L. Drying of Exotic Fruits. In: S. V., Law, C. L. and Mujumdar, A. S. **Vegetables and Fruits**. Singapore: Editora Jangam, 2011. p. 1- 42.

CHUN, B. S., LEE, D. H., EPSTEIN, N., GRACE, J. R., PARK, A. H. A., KIM, S. D., LEE, J. K. Layer inversion and mixing of binary solids in two-and three-phase fluidized beds. **Chemical engineering science**, [s.l.], v. 66, n. 14, p. 3180-3184, 2011.

COMUNIAN, T.A.; MONTERREY-QUINTERO, E. S.; THOMAZINI, M.; BALIEIRO, J. C. C.; PICCONE, P.; PITTIA, P.; FAVARO-TRINDADE, C. S. Assessment of production efficiency, physicochemical properties and storage stability of spray-dried chlorophyllide, a natural food colourant, using gum Arabic, maltodextrin and soy protein isolate-based carrier systems. **International Journal of Food Science and Technology**, [s.l.], v. 46, p.1 259-1265, 2011.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuario-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-acai/item/download/26662_6f6c9579f91d6e83fea8a5f692d44f3a. 2019. Acesso em: 01 maio 2020.

CONEGERO, J.; RIBEIRO, L. C.; COSTA, J.; MONTEIRO, A. R. Stability of ‘mangaba’ pulp powder obtained by freeze drying. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande - PB, v. 21, n. 9, p. 645–650, 2017.

COSTA, A. G. V.; GARCIA-DIAZ, D. F.; JIMENEZ, P.; SILVA, P. I. Bioactive compounds and health benefits of exotic tropical red-black berries. **Journal of Functional Foods**, [s.l.], 5, 539–549, 2013a.

COSTA, J. N.; FIGUEIREDO, R. W.; SOUSA, P. H. M.; COSTA GONZAGA, M. L.; CONSTANT, P. B. L.; SOARES, D. J. Study of the stability of passion fruit powder (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) from organic farming. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 2, p. 705-716, 2013b.

COSTA, J. P.; ROCHA, E. M. F. F.; COSTA, J. M. C. Study of the physicochemical characteristics of soursop powder obtained by spray-drying. **Food Science and Technology**, [s.l.], v. 34, n. 4, p. 663-666, 2014.

COSTA, R. G., ANDREOLA, K., DE ANDRADE MATTIETTO, R., DE FARIA, L. J. G., & TARANTO, O. P. Effect of operating conditions on the yield and quality of açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) powder produced in spouted bed. **LWT-Food Science and Technology**, [s.l.], v. 64, n. 2, p. 1196-1203, 2015.

COSTA, O.D.L. Obtenção de polpa de manga em pó pelo processo de liofilização. 2017. 119 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

COSTA, O. L.; JUNIOR, L. M. J.; COSTA, D. C.M.J.; AFONSO, A.R.M.; RODRIGUES, S.; WURLITZERS, N. J. Stability and microstructure of powdered pulp of the Palmer mango obtained by the process of lyophilisation. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 50, n. 2, p. 251-258, 2019.

COUTINHO, A. P. C. Produção e caracterização de maltodextrinas a partir de amidos de mandioca e batata-doce. 2007. 137 f. Tese (Doutorado Ciências em Agrônômicas). Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2007.

COUTINHO, R.M.P; FONTES, E.A.F.; VIEIRA, L. M.; DE BARROS, F. A. R.; DE CARVALHO, A.F.; STRINGHETA, P. C. Physicochemical and microbiological characterization and antioxidant capacity of açaí pulps marketed in the states of Minas Gerais and Pará, Brazil. **Revista Ciência Rural**, Rio Grande do Sul, v. 47, n. 01, 2017.

CROWLEY, S. V.; MEGEMONT, M.; GAZI, I.; KELLY, A. L.; HUPPERTZ, T., O'MAHONY, J. A. Heat stability of reconstituted milk protein concentrate powders. **International Dairy Journal**, [s.l.], v. 37, n. 2, p. 104-110, 2014.

CRUZ, W. F. **Obtenção da polpa de goiaba (*Psidium guajava* L.) em pó pelo método de secagem de espuma**. 2013. 78 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2013.

CUQ, B., RONDET, E., ABECASSIS, J. Food powders engineering, between knowhow and science: Constraints, stakes and opportunities. **Powder Technology**, [s.l.], v. 208, p. 244 – 251, 2011.

DA SILVA, A. O.; DE LIMA MERA, W. Y. W.; SANTOS, D. C. R.; DE SOUZA, D. P.; SILVA, C. G. N.; RAIOL, L. L.; DA SILVA JÚNIOR, A. M. G.; SILVA, D.A.S.; VIÉGAS, I. D. J. M. Estudo da produção de açaí (*Euterpe oleracea* Mart): aspectos econômicos e produtivos baseados nos anos de 2015 a 2017. /Açaí (*Euterpe oleracea* Mart) production study: economic and productive aspects based on 2015-2017. **Brazilian Journal of Development**, [s.l.], v. 6, p. 1629-1641, 2020.

DEV, S. R. S.; RAGHAVAN, V. G. S. Advancements in Drying Techniques for Food, Fiber, and Fuel. **Drying Technology**, [s.l.], v. 30, n. 11–12, p. 1147–1159, 2012.

DOS SANTOS, G. M.; MAIA, G. A.; DE SOUSA, P. H. M.; DA COSTA, J. M. C.; DE FIGUEIREDO, R. W.; DO PRADO, G. M. Correlação entre atividade antioxidante e compostos bioativos de polpas comerciais de açaí (*Euterpe oleracea* Mart). **Archivos latinoamericanos de nutrición**, [s.l.], v. 58, n. 2, p. 187, 2008.

DU, W.; ZHANG, L.; ZHANG, B.; BAO, S.; XU, J.; WEI, W.; BAO, X. Flow regime transition and hydrodynamics of spouted beds with binary mixtures. **Powder Technology**, [s.l.], v. 281, p.138-150, 2015.

ENG KHOO, H.; AZLAN, A.; TENG TANG, S.; MENG LIM, S. Anthocyanidins and anthocyanins: Colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits. **Food & Nutrition Research**, [s.l.], v. 61, p. 1-2, 2017.

EPSTEIN, N.; GRACE, J. R. **Spouted and Spout-Fluid Beds**: fundamentals and applications. New York: Cambridge University press, 2011.

ESPÍRITO SANTO, A. P., SILVA, R. C., SOARES, F. A. S. M., ANJOS, D., GIOIELLI, L. A., OLIVEIRA. Açaí pulp addition improves fatty acid profile and probiotic viability in yoghurt. **International Dairy Journal**, [s.l.], v. 20, p.415–422, 2010.

ETZBACH, L.; MEINERT, M.; FABER, T.; KLEIN, C.; SCHIEBER, A.; WEBER, F. Effects of carrier agents on powder properties, stability of carotenoids, and encapsulation efficiency of goldenberry (*Physalis peruviana* L.) powder produced by co-current spray drying. **Current Research in Food Science**, [s.l.], v. 3, p. 73-81, 2020.

EZHILARASI, P. N., INDRANI, D., JENA, B. C., ANANDHARAMAKRISHNAN, C. Freeze drying technique for microencapsulation of Garcinia fruit extract and its effect on bread quality. **Journal of Food Engineering**, Amsterdã, v. 117, p. 513–520, 2013.

FALAMART. Priorizar sabores de maior giro aumenta as vendas na categoria “Bebidas em Pó”. 2016. Disponível em: <https://www.falamart.com.br/priorizar-sabores-de-maior-giro-aumenta-as-vendas-na-categoria-bebidas-em-po/>. Acesso em: 08 maio 2020.

FANG, Z.; BHANDARI, B. Comparing the efficiency of protein and maltodextrin on spray drying of bayberry juice. **Food Research International**, [s.l.], v. 48, p. 478-483, 2012.

FAO. Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação. FAOSTAT. **Divisão de estatística**. 2017. Disponível em: <http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E>. Acesso: em 24 jul. 2019.

FARAHNAKY, A.; MANSOORI, N.; MAJZOABI, M.; BADI, F. Physicochemical and sorption isotherm properties of date syrup powder: antiplasticizing effect of maltodextrin. **Food Bioprod. Process.**, [s.l.], v. 98, p. 133–141, 2016.

FELLOWS, PJ. **Tecnologia do Processamento de Alimentos**. Artmed editora, 2006.

FERRARI, C. C.; GERMER, S. P. M.; ALVIM, I. D.; VISSOTTO, F. Z.; DE AGUIRRE, J. M. Influence of carrier agents on the physicochemical properties of blackberry powder produced by spray drying. **International Journal of Food Science & Technology**, [s.l.], v. 47, n. 6, p. 1237-1245, 2012.

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

FERREIRA, A.; SOUSA, S.; LIMA, D.; COSTA, J. Caracterização de polpa de cajá em pó obtida pelo método de secagem em leito de jorro. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, [s.l.], v. 1, n. 2, p. 3997-4004, 2015.

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

FERREIRA, A. P. R. **Polpa de cajá em pó obtida pelo processamento de secagem em leito de jorro**: caracterização física, físico-química e estudo da estabilidade. 2017. 112 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

FERNANDES, E. T. M. B., MACIEL, V. T., SOUZA, M. L., FURTADO, C. M., WADT, L. H. O., CUNHA, C. R. Physicochemical composition, color and sensory acceptance of low-fat cupuaçu and açai nectar: characterization and changes during storage, **Food Science and Technology**, Campinas, 36, 413-420, 2016.

FITZPATRICK J, AHRNÉ, L. Food powder handling and processing: Industry problems, knowledge barriers, and research opportunities. **Chemical Engineering and Processing: Process Intensification**, [s.l.], v. 44, n. 2, p. 209-214, 2005.

FITZPATRICK, J. J.; HODNETT, M.; TWOMEY, M.; CERQUEIRA, P. S. M.; O'FLYNN, J.; ROOS, Y. H. Glass transition and the flowability and caking of powders containing amorphous lactose. **Powder Technology**, [s.l.], v. 178, n. 2, p. 119-128, 2007.

FITZPATRICK, J. J.; IQBAL, T.; DELANEY, C.; TWOMEY, T.; KEOGH, M. K. Effect of powder properties and storage conditions on the flowability of milk powders with different fat contents. **Journal of Food Engineering**, Amsterdã, v. 64, n. 4, p. 435-444, 2004.

FORNY, L., MARABI, A., & PALZER, S. Wetting, disintegration and dissolution of agglomerated water soluble powders. **Power Technology**, [s.l.], v. 206, n. 1, p. 72-78, 2011.

FRANCIS, F.J. Analysis of anthocyanins. In: MARKAKIS, P. (Ed.). **Anthocyanins as Food Colors**, New York: Academic Press, 1982, p. 182-205.

FREGONESI, B. M.; YOKOSAWA, C. E.; OKADA, I. A.; MASSAFERA, G.; COSTA, T. M. B.; PRADO, S. P. T. Polpa de açai congelada: características nutricionais, físico-químicas, microscópicas e avaliação da rotulagem. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, São Paulo, v. 69, n. 3, 2010.

FUJITA, A.; BORGES, K.; CORREIA, R.; DE MELO FRANCO, B. D. G.; GENOVESE, M. I. Impact of spouted bed drying on bioactive compounds, antimicrobial and antioxidant activities of commercial frozen pulp of camu-camu (*Myrciaria dubia* Mc. Vaugh). **Food Research International**, [s.l.], v. 54, n. 1, p. 495-500, 2013.

GABAS, A. L.; TELIS-ROMERO, J.; GIRALDO-GÓMEZ, G. I.; TELLIS, V. R. N. Propiedades termodinámicas de sorción de agua de la pulpa de lulo en polvo con encapsulantes. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 29, n. 4, p. 911 - 918, out./dez. 2009.

GALDINO, P. O.; FIGUEIRÊDO, R. M.; QUEIROZ, A. J. D. M.; GALDINO, P. O.; FERNADESS, T. K. D. S. Stability of cactus-pear powder during storage. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande - PB, v. 20, n. 2, p. 169 - 173, 2016.

GALLORI, S.; BILIA, A. R.; BERGONZI, M. C.; BARBOSA, W. L. R.; VINCIERI, F. F. Polyphenolic constituents of fruit pulp of *Euterpe oleracea* Mart. (Açaí palm). **Chromatographia**, [s.l.], v. 59, p. 739 e743, 2004.

GADONSKI, A. P. *et al.* Two nanoparticulate composite resins chromatic effect evaluation submitted to coffee solution. **Revista de Odontologia da UNESP**, São Paulo, v. 47, n. 3, p. 137-142, jun. 2018.

GEA NIRO RESEARCH LABORATORY. **GEA Niro analytical methods**: analytical methods dry milk products. 14th ed. Søborg: GEA, p. 103, 2003.

GOGUS, F.; MASKAN, M.; KAYA, A. Sorption Isotherms of Turkish Delight. **Journal of Food Protection**, [s.l.], v. 22, n. 5, 345-357.1998.

GOMES DE OLIVEIRA, A.R., BORGES, S.V.; FARIA, R.K.; ENDO, E.; GREGÓRIO, S.R. Influência das condições de secagem por atomização sobre as características sensoriais de sucos maracujá (*passiflora edullis*) e abacaxi (*ananas comosus*) desidratados. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 38, n. 3, p.251-256, 2007.

GOMES, P. M. A.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Armazenamento da polpa de acerola em pó a temperatura ambiente. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 24, n. 3, p. 384-389, 2004.

GONELI, A. L. D., VIEIRA, M. C., VILHASANTI, H.C.B., & GONÇALVES, A. A. Modelagem matemática e difusividade efetiva de folhas de aroeira durante a secagem. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 44, n. 1, p. 56-64, 2014.

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

GOULA, A. M.; KARAPANTSIOS, T. D.; ACHILIAS, D. S.; ADAMOPOULOS, K.G. Water sorption isotherms and glass transition temperature of spray dried tomato pulp. **Journal of Food Engineering**, Amsterdã, v. 85, n. 1, p. 73-83, 2008.

GOULDING, M.; SMITH, N. **Palms**: Sentinels for Amazon Conservation. Missouri Botanical Garden Press, St. Louis, 2007.

GRANATO, D.; MASSON, M. L.; FREITAS, R. J. S. Stability studies and shelf life estimation of a soy-based dessert. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 30, p. 797-807, 2010.

GREESPAN, L. Moisture pontos fixos de soluções aqueuos saturada binários. **Jornal de Pesquisa do Nacional de Padrões A: Física e Química**, [s.l.], v. 81, n. 1, p, 89-96, 1977.

GURGEL, C. E. M. R. **Secagem da polpa de graviola (annona muricata L.) em camada de espuma - desempenho do processo e características do produto**. 2014. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

HALSEY, G. Physical adsorption on uniform surfaces. **The Journal of Chemical Physics**, [s.l.], v. 16, n. 10, p. 931-937, 1985.

HENDERSON, A. **The Palms of the Amazon**. New York: Oxford University Press, 1995.

HÉRBRARD, A.; OULAHNA, D.; GALET, L.; CUQ, B.; ABECASSIS, J.; FAGES, J. Hydration Properties of Durum Wheat Semolina: Influence of Particle Size. **Powder Technology**, [s.l.], v. 130, n. 1-3, p. 211-218, 2003.

HIGBY, W. K. A Simplified method for determination of some aspects of the carotenoid distribution in natural and carotene-fortified orange juice. **Journal of Food Science**, [s.l.], v. 27, n. 1, p. 42 - 49, 1962.

HISHIR, M. R. I.; CHEN, W. Trends of spray drying: A critical review on drying of fruit and vegetable juices. **Trends In Food Science & Technology**, [s.l.], 65, p. 49-67, 2017.

IAL, Instituto Adolfo Lutz. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. *In*: ZENEON, O.; PASCUET, N. S.; TIGLEA, **Núcleo de Informação e Tecnologia**, São Paulo, 2008. p.1020.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção da extração vegetal e da silvicultura. 2018. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pevs/quadros/brasil/2018>. Acesso em: 15 fev. 2019.

IQBAL, T.; FITZPATRICK, J. J. Effect of powder properties on the wall friction characteristics of three food powders. **Journal of Food Engineering**, Amsterdã, n. 72, p. 273-280, 2006.

JAFARI, S. M., GHALENOEI, M. G., & DEHNAD, D. Influence of spray drying on water solubility index, apparent density, and anthocyanin content of pomegranate juice powder. **Powder Technology**, [s.l.], v. 311, p. 59–65, 2017.

JANGAM, S. V., JOSHI, V. S., MUJUMDAR, A. S., & THORAT, B. N. Studies on Dehydration of Sapota (Achras zapota). **Drying Technology**, [s.l.], v. 26, p. 369-377, 2008.

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

JAYA, S., & DAS, H. Glass Transition and Sticky Point Temperatures and Stability/Mobility Diagram of Fruit Powders. **Food and Bioprocess Technology**, [s.l.], v. 2, p. 89-95, 2009.

JULIANO, F. F., DA SILVA, P. P. M., CASEMIRO, R. C., COSTA, M. H., & SPOTO, M. H. F. Polpa de camu-camu liofilizada e armazenada em diferentes embalagens. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, Paraná, v. 8, n. 2, p. 1374-1384, 2014.

JULIANO, P.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. Food powders flowability characterization: theory, methods, and applications. **Annual review of food science and technology**, [s.l.], v. 1, p. 211-239, 2010.

KANTAR WORLDPANEL. Disponível em:
<https://www.kantarworldpanel.com/br/Releases/Em-meio--crise-suco-em-p-est-em-alta>.
 Acesso em: 08 maio 2020.

KHAN, M. I. H.; WELLARD, R. M.; NAGY, S. A.; JOARDDER, M. U. H.; KARIM M. A. Investigation of bound and free water in plant-based food material using NMR T2 relaxometry. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, [s.l.], v. 38, p. 252–261, dez. 2016.

KILMARTIN, P.A. REID, D.S. SAMSON, I. Dielectric properties of frozen Maltodextrin solutions with added NaCl across the glass transition. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, [s.l.], v. 84, p. 1277–1284, 2004.

KONICA MINOLTA, Konica minolta Sensing, inc. **Precise color communication. Color control from perception to instrumentation**. Daisennishimachi, sakai. Osaka, japan. P. 59, 1998.

KUMAR, P.; MISHRA, H. N. Moisture sorption characteristics of mango–soy-fortified yogurt powder. **International journal of dairy technology**, [s.l.], v. 59, n. 1, p. 22-28, 2006.

KUSKOSKI, M.E.; ASUERO, A. G.; MORALES, M. T.; FETT, R Wild fruits and pulps of frozen fruits: antioxidant activity, polyphenols and anthocyanins. **Ciência Rural**, Rio Grande do Sul, v. 36, p. 1283-1287, 2006.

LABMAQ do Brasil Ltda. (2003) Manual de Operações do Mini “leito fluidizado” FBD 3.0. Disponível em <http://www.labmaqdobrasil.com.br>.

LACERDA, M. A. D., LACERDA, R. D., & ASSIS, P. C. D. O. B A participação da fruticultura no agronegócio brasileiro. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Sergipe, v. 4, n. 1, 2004.

LANGMUIR, I. The adsorption of gases in a plane surfaces of glass, mica and platinum. **Journal of the American Chemical Society**, [s.l.], v. 40, n. 9, p. 1361-1403, 1918.

LARROSA, A. P. Q.; CADAVAL, T. R. S.; PINTO, L. A. A. Influence of drying methods on the characteristics of a vegetable paste formulated by linear programming maximizing antioxidant activity. **Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie-Food Science and Technology**, [s.l.], 60, 178–185, 2015.

LEE, Y. J., YOON, W. B. Flow behavior and hopper design for black soybean powders by particle size. **Journal of Food Engineering**, Amsterdã v. 144, p. 10-19, 2015.

LINS, A. D., ROCHA, A., GOMES, J. P., FEITOSA, R. M., ARAUJO, G. T., & SANTOS, D. D. C. Adsorption isotherms of the red mombin powder produced in spouted bed dryer. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande - PB, v. 21, n. 8, p. 562-567, 2017.

LISBÔA, C. G., FIGUEIREDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Armazenamento de figo-da-índia em pó. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande - PB, v. 16, n. 2, p. 216-221, 2012.

LIU, D. K.; XU, C. C.; GUO, C. X.; ZHANG, X. X. Sub-zero temperature preservation of fruits and vegetables: A review. **Journal of Food Engineering**, Amsterdã, p. 109881, 2019.

LOPES NETO, J.P; SILVA, V. R.; NASCIMENTO, J. W. B. Propriedades de fluxo de produtos pulverulentos alimentícios. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande - PB, v. 13, n. 5, p. 639–644, 2009.

LOPES NETO, J. P.; NASCIMENTO, J. W. B do; SILVA, V. R. da. Efeito do tempo de armazenagem de rações avícolas no dimensionamento de silos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal - SP, v. 29, n. 4, 518-527, 2009.

LOPES NETO, J. P.; NASCIMENTO, J. W. B.; SILVA, V. R.; LOPES, F. D. M. Flow properties and flowability characteristics of poultry rations for design of silos. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras - MG, v. 31, n. 3, p. 851–859, jun. 2007.

LOUREIRO, M. N.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; OLIVEIRA, E. N. A. Armazenamento de buriti em pó: Efeito da embalagem nas características físicas e químicas. **Bioscience Journal**, [s.l.], v. 29, p. 1092-1100, 2013.

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

MACIEL, R. M. G.; LIMA, S. B.; COSTA, J. M. C.; AFONSO, M. R. A. Influência da maltodextrina nas propriedades de escoamento do pó da polpa de cupuaçu/Influence of maltodextrin on the flow properties of the cupuaçu pulp powder. **Brazilian Journal of Development**, [s.l.], v. 6, n. 2, p. 5829-5839, 2020.

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

MARTINS, P. C. **Estudo da influência de uma fase lipídica na aglomeração de pós alimentícios**. 2006. 178 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Química) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 178p. 2006.

MATHLOUTHI, M.; ROGÉ, B. Water vapour sorption isotherms and the caking of food powders. **Food chemistry**, [s.l.], v. 82, n. 1, p. 61-71, 2003.

MATHUR, K. B., GISHLER, P. E. A technique for contacting gases with coarse solid particles. **AIChE Journal**, [s.l.], v. 1, n. 2, p. 157–164, 1955.

MCNAMEE, B. F.; O'RIORDA, E. D.; O'SULLIVAN, M. Emulsification and Microencapsulation Properties of Gum Arabic. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [s.l.], v. 46, n. 11, p. 4551–4555, 1998.

MEDEIROS, M. F. D.; DE ALSINA, O. L.; ROCHA, S. C.; JERÔNIMO, C. E. D. M.; MATA, A. L.; DE MEDEIROS, U. K.; FURTUNATO, A. A. Escoabilidade de leitos de partículas inertes com polpa de frutas tropicais: efeitos na secagem em leite de jorro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande - PB, 2001.

MELO, K. S., NASCIMENTO, M. A., GOMES, W. C., CABRAL, S. B., ROCHA, A. P. T. Fluidodinâmica de leite de jorro com leite de cabra e polpa de cajá. **Revista Verde de agroecologia e desenvolvimento sustentável**, [s.l.], v. 5, n. 4, p. 6167, 2010.

MELO FILHO, A. B.; VASCONCELOS, M. A. S. **Química de alimentos**. Recife: UFRPE, 2011.

MILLER, G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugars. **Analytical Chemistry**, [s.l.], v. 31, p. 426 - 428, 1959.

MISHRA, P., BRAHMA, A., & SETH, D. Physicochemical, functionality and storage stability of hog plum (*Spondia pinnata*) juice powder produced by spray drying. **Journal food science technology**, [s.l.], v. 54, p. 1052-1061, 2017.

MOHAMMED, S. A.; ABDULLAH, E. C.; GELDART, D.; RAMAN, A. A. A. Measuring powder flowability with a modified Warren Spring cohesion tester. **Particuology**, [s.l.], v. 9, p. 148-154, 2011.

MOLINA, R.; CLEMENTE, E.; SCAPIM, M. R. D. S.; VAGULA, J. M. Physical evaluation and hygroscopic behavior of dragon fruit (*Hylocereus undatus*) lyophilized pulp powder. **Drying technology**, [s.l.], v. 32, n. 16, p. 2005-2011, 2014.

MORAES, F. D. Polpa desidratada de caju amarelo (*Anacardium occidentale* L.) por atomização em spray dryer: caracterização físico-química, bioativa e estudo da vida de prateleira do produto. 2014. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

MOREIRA, T. B., ROCHA, É. M. F. F., AFONSO, M. R. A. & COSTA, J. M. C. Comportamento das isotermas de adsorção do pó da polpa de manga liofilizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande -PB, v. 17, p. 1093-1098, 2013.

MORENO, T., DE PAZ, E., NAVARRO, I., RODRÍGUEZ-ROJO, S., MATÍAS, A., DUARTE, C., SANZ-BUENHOMBRE, M., & COCERO, M. J. Spray Drying Formulation of Polyphenols-Rich Grape Marc Extract: Evaluation of Operating Conditions and Different Natural Carriers. **Food and Bioprocess Technology**, [s.l.], v. 9, n. 12, p. 2046–2058, 2016.

MOURA NETO, L. G., ROCHA, É. M. D. F. F., AFONSO, M. R. A & COSTA, J. M. C. Adsorption isotherms of hog plum (*Spondias mombim* L.) pulp powder obtained by spray dryer. **Acta Scientiarum. Technology**, Maringá - PR, v. 37, n. 2, p. 273-277, 2015.

MURRIETA-PAZOS, I.; GAIANIA, C.; GALETB, L.; CALVETB, R.; CUQC, B.; SCHER, J. Food powders: Surface and form characterization revisited. **Journal of Food Engineering**, Amsterdã, v. 112, p. 1–21, 2012.

MUZAFFAR, K.; KUMAR, P. Moisture sorption isotherms and storage study of spray dried tamarind pulp powder. **Powder Technology**, [s.l.], v. 291, p. 322–327, 2016.

NASCIMENTO, M. J. M. **Palmito e Açaí**: Organização empresarial e processo produtivo. Universidade Federal do Pará. Belém. 1993.

NOGUEIRA, A. K. M.; SANTANA, A. C. Benefícios socioeconômicos da adoção de novas tecnologias no cultivo do açaí no Estado do Pará. **Revista Ceres**, Minas Gerais, v. 63, n. w1, p. 001-007, 2016.

OKOS *et al.* Food Dehydration. In: Heldman e Lund (ed.). **Handbook of food engineering**. Boca Raton: CRC Press. 2007.

OLIVEIRA, A. C. D.; FARIAS FILHO, S. M. D. Um paralelo entre os produtores de frutas do polo petrolina-juazeiro com os fruticultores de toda a área de atuação do BNB. **RDE-Revista de desenvolvimento econômico**, Bahia, v. 14, n. 26, p. 13-25, 2013.

OLIVEIRA, A. D. S., DE FIGUEIRÊDO, R. M., M. Q., ALEXANDRE, J., DE BRITO, J. G. Estabilidade da polpa do *Cereus jamacaru* em pó durante o armazenamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande - PB, v. 19, n. 2, 2015.

OLIVEIRA, A. R.; RIBEIRO, A. E. C.; OLIVEIRA, É. R.; GARCIA, M. C.; SOARES JÚNIOR, M. S.; CALIARI, M. Structural and physicochemical properties of freeze-dried açaí pulp (*Euterpe oleracea* Mart.). **Food Science and Technology**, [s.l.], v. 40, p. 282-289, 2019.

OLIVEIRA, F. M. N.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Análise comparativa de polpas de pitanga integral, formulada e em pó. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 25-33, 2006.

OLIVEIRA, G. D., CORRÊA, P. C., SANTOS, F. L., VASCONCELOS, W. L., CALIL JÚNIOR, C., BAPTESTINI, F. M., & VARGAS-ELÍAS, G. A. Caracterização física de café após torrefação e moagem. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 4, p. 1813-1828, 2014.

OLIVEIRA, G. S.; COSTA, J. M. C.; AFONSO, M. R. A. Caracterização e comportamento higroscópico do pó da polpa de cajá liofilizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande - PB, v. 18, p. 1059-1064, 2014.

OLIVEIRA, M. do SP; SCHWARTZ, G. Açaí - *Euterpe oleracea*. In: Exotic Fruits. Academic Press, p. 1-5, 2018.

- OLIVEIRA, M. I. S.; TONON, R. V., NOGUEIRA, R. I.; CABRAL, L. M. C. Estabilidade da polpa de morango atomizada utilizando diferentes agentes carreadores. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas –SP, v. 16, n. 4, p. 310-318, 2013.
- OLIVEIRA, V.S.; AFONSO, M.R.A.; COSTA, J.M.C. Caracterização físico-química e comportamento higroscópico de sapoti liofilizado. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42(2), p. 342–348, 2011.
- ORDÓÑEZ, J., CAMBERO, M. **Tecnologia de Alimentos** - componentes dos alimentos e processos. Porto Alegre: Arned, 2005.
- PALLAI, E.; SZENTMARJAY, T.; MUJUMDAR, A.S. Spouted bed drying. **Handbook of industrial drying**, [s.l.], p. 363-384. 2006.
- PARK, K. J. B., BIN, A., BROD, F. P. R. Obtenção das isotermas de sorção e modelagem matemática para a pêra bartlett (*Pyrus sp.*) com e sem desidratação osmótica. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 21, p. 73-77, 2001.
- PARK, K.J., NOGUEIRA, R.I. Modelos de ajuste de isotermas de sorção de alimentos. **Engenharia Rural**, São Paulo, v.3, n. 1, p.81-86, 1992.
- PASCUAL-PINEDA, L. A; ALAMILLA-BELTRÁN, L.; GUTIÉRREZ-LÓPEZ, G. F.; AZUARA, E.; FLORES-ANDRADE, E. Prediction of storage conditions of dehydrated foods from a water vapor adsorption isotherm. **Revista Mexicana de Ingeniería Química**, México, p. 207-220, 2017.
- PAUL, I. D.; DAS, M. Moisture sorption isotherm and thermodynamic properties of jamun (*Syzygium cumini* L.) powder made from jamun pulp and seed. **International Journal of Food Studies**, [s.l.], v. 8, n. 1, 2019.
- PAVAN, M. A.; SCHMIDT, S. J.; FENG, H. Water sorption behavior and thermal analysis of freeze-dried, refractance window dried and hot-air dried açai (*Euterpe oleracea* Martius) juice. **LWT-Food Science and Technology**, [s.l.], v. 48, p. 75-81, 2012.
- PEDRO, M. A. M.; TELIS-ROMERO, J.; TELIS, V. R. N. Effect of drying method on the adsorption isotherms and isosteric heat of passion fruit pulp powder. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 30, p. 993-1000, 2010.
- PELEG, M. Assessment of a semi-empirical four parameter general model for sigmoid moisture sorption isotherms. **Journal of Food Processing Engineering**, [s.l.], v. 16, n. 1, p. 21-37, 1993.
- PENA, R. S.; RIBEIRO, C. C.; GRANDI, J. G. Influência da temperatura nos parâmetros de modelos bi-parametricos que predizem isotermas de adsorção de umidade do guaraná (*Paullinia cupana*) em pó. **Food Science and Technology**, [s.l.], v. 17, n. 3, p. 229-232, 1997.
- PHISUT, N. Spray drying technique of fruit juice powder: some factors influencing the properties of product. **International Food Research Journal**, [s.l.], v. 19, p. 1297-1306, 2012.

PRESCOTT, J. K.; PLOOF, D. A.; CARSON, J. W. Developing a better understanding of wall friction. **Powder Processing and Handling**, [s.l.], v. 11(1), p. 25–36, 1999.

PROSAPIO, V.; NORTON, I. Influence of osmotic dehydration pre-treatment on oven drying and freeze drying performance. **LWT-Food Science and Technology**, [s.l.], v. 80, p. 401–408, jul. 2017.

RAMOS, A. P., LIMAYLLA-GUERRERO, K. M., ROMERO, J. T., FILHO, J. F. L. Isotermas e calor isostérico de adsorção da água do amido de quinoa. **Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial**, Colômbia, v. 15, p. 95-104, 2017.

RANA, S., SIDDIQUI, S. & GOYAL, A. Extension of the shelf life of guava by individual packaging with cling and shrink films. **Journal of Food Science and Technology**, [s.l.], vol. 52, n. 12, p. 8148–8155, 2015.

RAO, G. N., NAGENDER, A., SATYANARAYANA, A., & RAO, D. G. Preparation, chemical composition and storage studies of quamachil (*Pithecellobium dulce* L.) aril powder. **Journal of food science and technology**, [s.l.], v. 48, n. 1, p. 90-95, 2011.

RAY, S.; RAYCHAUDHURI, U.; CHAKRABORTY, R. An overview of encapsulation of active compounds used in food products by drying technology. **Food Bioscience**, [s.l.], 13, p. 76-83, 2016.

RAHMAN, M; S.; LABUZA, T. P. Handbook of food preservation. **Water Activity and Food Preservation**. Nova Iorque, E.U.A.: CRC Press, 2007.

RIBEIRO, L. C.; COSTA, J. M. C.; AFONSO, M. R. Hygroscopic behavior of lyophilized acerola pulp powder. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande - PB, v. 20, n. 3, p. 269-274, 2016.

ROCHA, E. M. F. F.; RODRIGUES, S.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. Mathematical modeling for isotherms of mango pulp powder, obtained by atomization. **Journal of Encapsulation and Adsorption Science**, [s.l.], v. 4, n. 01, p. 8-14, 2014.

ROCHA, F. O.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C.; RYBKA, A. C. P.; WURLITZER, N. J. Influência da maltodextrina nas propriedades de escoamento do pó de manga. **Higiene Alimentar**, São Paulo, v. 31, p. 4372- 4376, 2017.

RODRÍGUEZ-BERNAL, J. M.; FLORES-ANFRADE, E.; LIZARAZO-MORALES, C.; BONILLA, E.; PASCUAL-PINEDA, L. A.; GUTIERRÉZ-LÓPEZ, G.; QUINTANILLA-CARVAJAL, M. X. Moisture adsorption isotherms of the borojó fruit (*Borojoa patinoi*. Cuatrecasas) and gum arabic powders. **Food and Bioproducts Processing**, [s.l.], v. 94, p. 187-198, 2015.

ROSSO, V.V.; HILLEBRAND, S.; MONTILLA, E.C.;BOBBIO, F.O.; Winterhalter, P.; Mercadante, A.Z. Determination of anthocyanins from acerola (*Malpighia emarginata* DC.) and açai (*Euterpeoleracea* Mart.) by HPLC-PDA-MS/MS. **Journal of Food Composition and Analysis**, [s.l.], 21, 291–299, 2008.

SABBE, S., VERBEKE, W., DELIZA, R., MATTA, V., DAMME, P. V. Effect of a health claim and personal characteristics on consumer acceptance of fruit juices with different concentrations of açai (*Euterpe oleracea* Mart.). **Appetite**, [s.l.], 53, 84–92, 2009.

SAIFULLAH, M.; YUSOF, Y. A.; CHIN, N. L.; AZIZ, M. G. Physicochemical and flow properties of fruit powder and their effect on the dissolution of fast dissolving fruit powder tablets. **Powder technology**, [s.l.], v. 301, p. 396-404, 2016.

SAMOTICHA, J., WOJDYŁO, A., & GOLIS, T. Phenolic composition, physicochemical properties and antioxidant activity of interspecific hybrids of grapes growing in Poland. **Food Chemistry**, [s.l.], v. 215, p. 263-273, 2017.

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

SANTANA, M. F. S.; LIMA, A. K. V. O.; MOURÃO, M. Avaliação Prospectiva do Açai: Análise através dos pedidos de patentes e referências bibliográficas. **Gestão, Inovação e Tecnologias**, [s.l.], v. 4, n. 1, p. 437-452, 2014.

SANTIAGO, M. C. P. D. A. **Avaliação de processos para obtenção de produtos ricos em antocianinas utilizando suco de romã**. 2014. 137 f. Tese (Doutorado em Tecnologia de processos químicos e bioquímicos), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

SANTIAGO, M. C. P. A. **Avaliação via Cromatografia Líquida de Alta Eficiência do efeito da microfiltração do suco da amora-preta (*Rubus spp.*) sobre a composição de suas antocianinas majoritárias**. 2010, 93 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

SANTOS, D. C.; OLIVEIRA, E. N. A.; MARTINS, J. N.; CELESTINO, S. S. R. Preparados sólidos para refrescos sabor laranja: Estabilidade do ácido ascórbico e acidez total titulável. **Higiene Alimentar**, São Paulo, v. 27, p. 119-123, 2013.

SANTOS, D. D.C.; OLIVEIRA, E. N. A.; MARTINS, J. N.; ROCHA, A. P. T. Secagem da polpa de caju em secador de leito de jorro. **Revista Brasileira de Tecnologia**, [s.l.], v. 9, n. 2, p. 1875-1887, 2015a.

SANTOS, D. D. C.; ROCHA, A.; GOMES, J. P.; DE OLIVEIRA, E. N. A.; ALBUQUERQUE, E.; ARAUJO, G. T. D. Storage of ‘umbu-cajá’ pulp powder produced by lyophilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande - PB, v. 20, n. 12, p. 1118-1123, 2016.

SANTOS, K.G; FRANCISQUETTI, M.C.C.; MALAGONI, R.A; BARROZO, M.A.S. Fluid dynamic behavior in a spouted bed with binary mixtures differing in size. **Drying Technology**, [s.l.], v. 33(14), p. 1746-1757, 2015b.

SANTOS, L. C.; CONDOTTA, R.; FERREIRA, M. C. Obtenção e análise das propriedades de fluxo de açúcares. *In: XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Química – COBEQ.*, 2016, Fortaleza – CE. **Anais...** Fortaleza: ENBEQ, 2016.

SCHAUSS, A.G.; Wu, X.; PRIOR, R.L.; OU, B.; PATEL, D.; HUANG, D.; KABABICK, J.P. Phytochemical and nutrient compositions of the freeze-dried amazonian palm berry, *Euterpe oleracea* Mart.(acai). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [s.l.], v. 54, p. 8598-8603, 2006.

SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. Agronegócio Fruticultura. **Boletim de Inteligência: Agronegócio Fruticultura**. 2015. Disponível em [https://bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/64ab878c176e5103877bfd3f92a2a68f/\\$File/5791.pdf](https://bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/64ab878c176e5103877bfd3f92a2a68f/$File/5791.pdf). Acesso em: 17 set. 2018.

SEERANGURAYAR, T. *et al.* Effect of carrier agents on flowability and microstructural properties of foam-mat freeze-dried date powder. **Journal of Food Engineering**, Amsterdã, v. 215, p. 33–43, dez. 2017.

SERRA, F. R. CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento**. Disponível em https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuario-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-acai/item/download/25312_2335ac0327e2c3b9ea5997c46bea0b09+&cd=1&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br. Acesso em: 17 fev. 2020.

SHISHIR, M. R. I. *et al.* Physical Properties of Spray-dried Pink Guava (*Psidium Guajava*) Powder. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**, [s.l.], v. 2, p. 74–81, jan. 2014.

SIERRA, D. D. M.; ROSA, N. N.; GABAS, A. L. Influência da adição de maltodextrina na atomização de polpa de manga em 'spray dryer'. *In: RESUMOS SLACA; CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS EM BENEFÍCIO A SOCIEDADE: LIGANDO A AGRICULTURA À SAÚDE*. **Anais...** Campinas: UNICAMP, 2007.

SILVA, A. E.; SILVA, L. H. M.; SILVA, P. R. Hygroscopic behavior of açai and cupuaçu powders. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 4, p. 895 e 901, 2008.

SILVA, A.K.N.; BECKMAN, A.M.C.; RODRIGUES, A.M.C.; SILVA, L.H.M. Avaliação da composição nutricional e capacidade antioxidante de compostos bioativos da polpa de açai. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, Paraná, v. 11, n. 1, p. 2205-2216, 2017.

SILVA, C.E.F.; MOURA, E.M.O.; ANDRADE, F.P.; GOIS, G.N.S.B.; SILVA, I.C.C.; SILVA, L.M.O.; SOUZA, J.E.A.; ABUD, A.K.S. A importância da monitoração dos padrões de identidade e qualidade na indústria de polpa de fruta. **Journal of Bioenergy and Food Science**, Macapá, v. 3, n. 1, p. 17-27, 2016a.

SILVA, F. C., ROSS, D. A., CARDOSO, V. L., & REIS, M. H. M. Stabilization of açai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice by the microfiltration process. **Acta Scientiarum. Technology**, Maringá- PR, v. 38, n. 1, p. 7-11, 2016b.

- SILVA, L. B., ANNETTA, F. E., ALVES, A. B., QUEIROZ, M. B., FADINI, A. L., SILVA, M. G., EFRAIM, P. Effect of differently processed açai (*Euterpe oleracea* Mart.) on the retention of phenolics and anthocyanins in chewy candies. **International Journal of Food Science and Technology**, [s.l.], v. 51, p. 2603–2612, 2016c.
- SILVA, L. B., QUEIROZ, M. B., FADINI, A. L., FONSECA, R. C. C., GERMER, S. P. M., & EFRAIM, P. Chewy candy as a model system to study the influence of polyols and fruit pulp (açai) on texture and sensorial properties. **LWT- Food Science and Technology**, [s.l.], v. 65, p. 268–274, 2016d.
- SILVA, Q. C.; GOMES, J. D. S.; SOUZA, V. F.; WADT, L. D. O. Avaliação inicial do plantio de enriquecimento de açai solteiro em reserva legal. **South American Journal of Basic Education Technical and Technological**, Rio Branco, v. 6, n. 9, p. 1-3, 2019.
- SILVA, V. K. L.; PINHEIRO, E. S.; DOMINGUES, M. A. F.; AQUINO, A. C.; FIGUEIREDO, E. A.; COSTA, J. M. C.; CONSTANT, P. B. L. Efeito da pressão osmótica no processamento e avaliação da vida de prateleira de tomate seco. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, p. 55- 66, 2010.
- SILVA, R. N. G.; FIGUEIREDO, R. M. F. D.; QUEIROZ, A. J. D. M.; GALDINO, P. O. Armazenamento de umbu-cajá em pó. **Ciência Rural**, Rio Grande do Sul, v. 35, p. 1179-1184, 2005.
- SINELA, A.; RAWAT, N.; MERTZ, C.; ACHIR, N.; FULCRAND, H.; DORNIER, M. Anthocyanins degradation during storage of Hibiscus sabdariffa extract and evolution of its degradation products. **Food Chemistry**, [s.l.], v. 214, p. 234-241, 2017.
- SINGH, C. S.; PASWAN, V. K.; RAI, D. C. Process optimization of spray dried Jamun (*Syzygium cumini* L.) pulp powder. **Lebensmittel-Wissenschaft Technologie**, [s.l.], v. 109, p. 1-6, 2019.
- SIQUEIRA, A. P. S.; SANTOS, K. F., BARBOSA, T. A., FREIRE, L. A. S.; CAMÊLO, Y. A. Technological differences between açai and juçara pulps and their sorbets. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas –SP, v. 21, p. 1-6, 2018.
- SOARES, A. C.; PEREIRA, N. R. Secagem da polpa de jambolão (*Syzygium cumini*) em secador de leito de jorro: efeito da clara de ovo como agente carreador de secagem na qualidade do produto. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas –SP, v. 23, 2020.
- SOUSA, A. S. D.; BORGES, S. V.; MAGALHÃES, N. F.; RICARDO, H. V.; AZEVEDO, A. D. Spray-dried tomato powder: reconstitution properties and colour. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, [s.l.], v. 51, n. 4, p. 607-614, 2008.
- SOUSA, L. C. F. S., DA SILVA SOUSA, J., BORGES, M. D. G. B., MACHADO, A.V., DA SILVA, M. J. S., FERREIRA, R. T. F. V., & SALGADO, A. B. Tecnologia de embalagens e conservação de alimentos quanto aos aspectos físico, químico e microbiológico. **Agropecuária Científica no Semiárido**, Campina Grande, v. 8, n. 1, 19-27, 2013.

SOUSA, M. A. C.; YUYAMA, L. K. O.; AGUIAR, J.P. L; PANTOJA, L. Suco de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.): avaliação microbiológica, tratamento térmico e vida de prateleira. **Acta Amazônica**, Manaus, v.36, n. 4, p. 483-496, 2006.

SOUSA, S. L.; MORAIS, B. A. D.; RIBEIRO, L. C.; COSTA, J. Stability of cashew apple juice in powder dehydrated in spouted bed. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande – PB, v. 20, n. 7, p. 678-682, 2016.

SOUZA, J. S.D. **Secagem de misturas de polpa de frutas tropicais em leito de jorro**. 2009. 155 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

SOUZA, M. C. de. Qualidade e Atividade Antioxidante de Frutos de Diferentes Progenies de Açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart). 2007. 125 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Pró - Reitoria de Pesquisa e Pós- Graduação, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.

STATSOFT, I. N. C. **Programa computacional Statistica 7.0**. EUA 2004.

STEPIEŃ, A.; WITCZAK, M.; WITCZAK, T. Moisture sorption characteristics of food powders containing freeze dried avocado, maltodextrin and inulin. **International Journal of Biological Macromolecules**, [s.l.], v. 149, p. 256-261, 2020.

STROHECKER, R., & HENNING, H. M. **Analisis de vitaminas: métodos comprobados**. 1967.

SUBTIL, S.F.; ROCHA-SELMÍ, G.A.; THOMAZINI, M.; TRINDADE, M.A.; NETTO, F.M.; FAVARO-TRINDADE, C.S. Effect of spray drying on the sensory and physical properties of hydrolysed casein using gum arabic as the carrier. **Journal of food science and technology**, [s.l.], v. 51, n. 9, 2014.

SURAVANICHNIRACHORN, W.; HARUTHAITHANASAN, V.; SUWONSICHON, S.; SUKATTA, U.; MANEEBOON, T.; CHANTRAPORNCHAI, W. Effect of carrier type and concentration on the properties, anthocyanins and antioxidant activity of freeze-dried mao [*Antidesma bunius* (L.) Spreng] powders. **Agriculture and Natural Resources**, v. 52, n. 4, p. 354-360, 2018.

SYAMALADEVI, R. M.; INSAN, S. K. DHAWAN, S.; ANDREWS, P.; SABLANI, S. S. Physicochemical properties of encapsulated red raspberry (*Rubus idaeus*) powder: Influence of high-pressure homogenization. **Drying technology**, v. 30, n. 5, p. 484-493, 2012.

SZENTMARJAY, T.; PALLAI, E.; TÓTH, J. Mechanical spouting. In: Epstein e Grace(Ed.). **Spouted and spout-fluid beds: Fundamentals and applications**. New York: Cambridge University Press., p. 297-304, 2011.

TEIXEIRA, M; MONTEIRO, M. Degradação da vitamina c em suco de fruta. **Revista Alimentos e Nutrição**, v. 17, p. 219-227, 2006.

TEUNOU, E.; FITZPATRICK, J. J.; SYNNOTT, E. C. Characterisation of food powder flowability. **Journal of Food Engineering**, Amsterdã, v. 39, n. 1, p. 31-37, 1999.

TIMMERMANN, E. O. Multilayer sorption parameters: BET or GAB values? **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 220, n. 1-3, p. 235-260, 2003.

TODISCO, K. M.; COSTA, J. M. C.; RODRIGUES, S.; CLEMENTE, E. Microencapsulation of Red Mombi (*Spondias purpurea* L.) pulp using spray-drying. **International Journal of Sciences**, v. 2, p. 1-11, 2013.

TONON, R. B. **Secagem por atomização do suco de açaí**. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos). 242f, 2009. Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP, 2009.

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

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

TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Influência da temperatura do ar de secagem e da concentração de agente carreador sobre as propriedades físico-químicas do suco de açaí em pó. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, p. 444-50, 2009.

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

TONON, R. V., BRABET, C., PALLET, D., BRAT, P., HUBINGER, M. D. Physicochemical and morphological characterisation of açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) powder produced with different carrier agents. **International Journal of Food Science and Technology**, [s.l.], v. 44, p. 1950 - 1958, 2009b.

TORMA, P.C.M.R.; BRASIL, A.V.S.; CARVALHO, A.V.; JABLONSKI, A.; RABELO, T.K.; MOREIRA, J.C.F.; GELAIN, D.P.; FLÔRES, S.H.; AUGUSTI, P.R.; DE OLIVEIRA RIOS, A. Hydroethanolic extracts from different genotypes of açaí (*Euterpe oleracea*) presented antioxidant potential and protected human neuron-like cells (SH-SY5Y). **Food Chemistry**, [s.l.], 222, p. 94- 104, 2017.

VASCONCELOS, B. G., MARTINEZ, R. C. R., CASTRO, I. A., SAAD, S. M. I. Innovative Açaí (*Euterpe oleracea*, Mart., Arecaceae) Functional Frozen Dessert Exhibits High Probiotic Viability throughout Shelf-life and Supplementation with Inulin Improves Sensory Acceptance. **Food Science and Biotechnology**, [s.l.], v. 23, p. 1843-1849, 2014.

VIEIRA, A. H.; RAMALHO, A. R.; ROSA NETO, C.; CARARO, D. C.; COSTA, J. N. M.; VIEIRA JUNIOR, J. R.; WADT, P. G. S.; SOUZA, V. F. **Cultivo do açaizeiro (*Euterpe oleracea* Martius) no noroeste do Brasil**. Porto Velho, RO: Embrapa Rondônia, 2018.

VIEIRA, M. G. A.; DONIDA, M. W.; ROCHA, S. C. S. Adhesion of aqueous polymeric suspension to inert particles in a spouted bed. **Drying Technology**, [s.l.], v. 22, p. 1069-1085, 2004.

VIMERCATI, W. C.; MACEDO, L. L.; ARAÚJO, C. D. S.; TEIXEIRA, L. J. Q.; SARAIVA, S. H. Efeito da temperatura na cinética de secagem em leite de espuma e na degradação de antocianina em morango. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas –SP, v. 22, 2019.

VINCENZETTI, S.; CHECCHI, T.; PERINELLI, D. R.; PUCCIARELLI, S.; POLSONETTI, V.; BONACUCINA, G.; ARIANI, A.; PARROCCHIA, L.; SPERA, D.M.; FERRETTI, E.; VALLESI, P.; POLIDORI, P.. Effects of freeze-drying and spray-drying on donkey milk volatile compounds and whey proteins stability. **LWT - Food Science And Technology**, [s.l.], 88, p. 189-195, 2018.

WEBER, F.; BOCH, K.; SCHIEBER, A. Influence of copigmentation on the stability of spray dried anthocyanins from blackberry. **Lebensmittel-Wissenschaft + Technologie**, [s.l.], 75, 72-77, 2017.

XAVIER, T.; LIBARDI, B.P; LIRA, T.S.; BARROZO, M. A. S. Fluid dynamics analysis for pyrolysis of macadamia shell in a conical spouted bed. **Powder Technology**; [s.l.], v. 299, p. 210-216, 2016.

YAMAGUCHI, K. K. L., PEREIRA, L. F. R., LAMARAO, C. V., LIMA, E. S., & da VEIGA-JUNIOR, V. F. Amazon açai: Chemistry and biological activities: A review. **Food Chemistry**, [s.l.], vol. 179, p. 137-151, 2015.

ZARDO, I. **Extração e microencapsulação de compostos antociânicos do bagaço de mirtilo (*Vaccinium corymbosum* L.)**. 2014. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Escola de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

ZOTARELLI, M. F. *et al.* Production of mango powder by spray drying and cast-tape drying. **Powder Technology**, [s.l.], 305, p. 447-454, 2017.