



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

RAFAELLA MARACAJÁ NUNES COLAÇO

**ESTUDO DA SECAGEM DA POLPA DE AÇAÍ PELO MÉTODO DE CAMADA DE
ESPUMA**

BELÉM - PA

2019



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

RAFAELLA MARACAJÁ NUNES COLAÇO

**ESTUDO DA SECAGEM DA POLPA DE AÇAÍ PELO MÉTODO DE CAMADA DE
ESPUMA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Pará como requisito para obtenção do grau de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientadora: Profa. Dra. Nadia Cristina Fernandes Corrêa.

BELÉM - PA

2019

RAFAELLA MARACAJÁ NUNES COLAÇO

**ESTUDO DA SECAGEM DA POLPA DE AÇAÍ PELO MÉTODO DE CAMADA DE
ESPUMA**

DATA: _____

CONCEITO: _____

BANCA EXAMINADORA:

Profa. Dra. Nadia Cristina Fernandes Corrêa
(PPGCTA/ITEC/UFPA - Orientadora)

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

Prof. Dr. Jesus Nazareno Silva de Souza
(FEA/ITEC/UFPA – Membro externo)

Profa. Dra. Geormenny Rocha dos Santos
(PPGCTA/ITEC/UFPA – Membro suplente interno)

Dr. Marcus Arthur Marçal de Vasconcelos
(EMBRAPA/CPATU – Membro suplente externo)

*Dedico esta dissertação aos meus pais,
Silvana Maria e Marco Robério, por terem
feito o melhor que podiam, sempre.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço especialmente à minha mãe Silvana Maria, que não mediu esforços para garantir a conclusão dos meus estudos, desde sempre; e, pelo amor incondicional de mãe. Sou muito grata!

Agradeço a todos da minha família, sem exceções, pelo amor e pelo apoio. Especialmente aos meus avós, maternos e paternos, ao meu pai e aos meus irmãos. Sendo ainda mais grata ao meu irmão Marco Aurélio, o qual admiro demais, e até me inspiro. Também sou grata pela minha cunhada Amanda, por todo carinho. E, com certeza, sou muito agradecida à minha sobrinha e afilhada Monique, que me enche de amor e alegria!

Sou eternamente grata à Profa. Dra. Nadia Corrêa, pela orientação, confiança e paciência durante todo o meu período de pós-graduação e ao Prof. Dr. Luiz França pelas valiosas contribuições.

Meus agradecimentos também a todos os professores da FEA e do PPGCTA pelos ensinamentos, em especial aos Profs. Drs. Renan Chisté, Nelson Rosa, Vanessa Albres e Eder Araújo, por sanar algumas dúvidas referentes a minha dissertação.

Gostaria de expressar minha gratidão aos Professores Jesus Souza e Raul Carvalho pelo tempo, orientações e disponibilidade para compor a banca examinadora.

Agradeço aos colegas da pós-graduação por compartilhar comigo conhecimentos diversos, experiências, apoio e risadas: Ananda, Anna Paula, Cleidiane, Giselle, Larissia, Lucely, Maria, Marielba, Marília, Mayara, Mozaniel, Osienne, Priscila, Rafael Holanda, Rafael Olivo, Raíra, Robson.

Reforço minha gratidão eterna à Robson, Raíra, Osienne, Priscila, Késsia e Maria: se toquem, vocês são maravilhosos! Obrigada por suportarem as minhas perturbações.

Agradeço a todas as pessoas incríveis que pude conhecer enquanto estive no LAOS e puderam me auxiliar, me amparar, me confortar e me fazer dar boas risadas: Adriano, Bruno, Carlos, Fernando, Geovana, Jaqueline, July, Junior, Karla, Karina, Marcia, Matheus, Milena, Patrick, Paulo, Pedro, Ricardo, Romulo, Sara, Talita e Tomaz. Obrigada, companheiros!

Agradeço a ARGUS FRUIT pela matéria-prima fornecida para esta pesquisa, especialmente ao Romulo e ao Isaiás, que possibilitaram esta parceria.

Reforço os meus agradecimentos ao Romulo Almeida, por todo apoio desde o laboratório e até mesmo à distância.

Agradeço ao PPGCTA e à UFPA pela estrutura para o desenvolvimento da pesquisa; À CAPES pela concessão da bolsa; e à Hadriane por ter sido sempre tão prestativa!

Agradeço aos amigos de dentro e fora da UFPA por terem me ouvido e apoiado sempre: Carlos, Carol, Fernanda, Fillipe, Liza, Mariane, Mayara, Natália, Nayane e Thalissa. Agradeço também ao Pedro Torres por todo o carinho e por ter sido um grande amigo e companheiro nesta minha jornada.

Todas essas bênçãos eu agradeço imensamente à Deus!

“Sempre haverá outra montanha
Eu sempre vou querer movê-la
Sempre será uma batalha difícil
Às vezes eu vou ter que perder
Não importa o quão rápido eu chegarei lá
Não importa o que está esperando do outro lado
Mas, sim, a escalada”
The Climb.

RESUMO

A secagem em camada de espuma foi utilizada como método de desidratação da polpa de açaí (*Euterpe oleracea*). Inicialmente, foram avaliados os tipos de aditivos para a formação de espuma, seguido da influência da variação das concentrações de aditivo e dos tempos de agitação para a formação da espuma. A partir da escolha do melhor tempo de agitação, foi realizado o estudo da secagem da espuma de açaí em diferentes temperaturas. Para isto, um primeiro estudo foi realizado utilizando um Planejamento Composto Central Rotacional, cujos resultados levaram a um novo planejamento experimental, para a determinação das melhores condições de concentração de aditivo e de temperatura de secagem, desta vez um Planejamento Fatorial 2², com três pontos centrais foi realizado. Avaliou-se a influência das condições de processo de secagem sobre as respostas de antocianinas totais, umidade, atividade de água e luminosidade (L*). Além disso, foi realizado um estudo de consumo energético baseado na estimativa dos equipamentos necessários nos processos de obtenção de açaí desidratado. O estudo permitiu a identificação do Emustab® como bom aditivo na formação de espuma de açaí, por ter formado espumas com valores de densidade, expansão e estabilidade adequados para a realização da secagem em camada de espuma. A temperatura de secagem apresentou efeitos significativos ($p \leq 0,05$) sobre as respostas antocianinas totais e umidade, enquanto os efeitos estatisticamente significativos ($p \leq 0,05$) para L* foram a concentração de aditivo e a interação concentração e temperatura. A condição otimizada foi encontrada pela função desejabilidade. Embora tenha perdido coloração, o açaí obtido por secagem em camada de espuma apresentou 92,29 mgC3G/100g b.s. de antocianinas totais e pode ser utilizado em formulações. Ainda, a estimativa do consumo energético demonstrou o processo de secagem de açaí em camada de espuma como menos intensivo em energia. Portanto, este estudo mostrou a viabilidade do método de secagem por espuma, técnica e financeira, para a obtenção de polpa de açaí em pó.

Palavras-chaves: *Foam-Mat Drying*; Emustab®; *Euterpe oleracea*; Desidratação de alimentos;

ABSTRACT

The foam-mat drying was used as a dehydration method for açai (*Euterpe oleracea*) pulp. Initially, the types of foaming agents were evaluated, also the influence of concentration's and whipping times' variation were evaluated for foam formation. By the choice of the best whipping time, the same diferente concentrations were used for the study of drying at different temperatures. For this, a prior study using a Central Composite Rotational Design were realized, which results have leading to a new experimental design to determine the best conditions of additive concentration and drying temperature, this time a 2² Factorial Design, with three central points were realized. The influence of the drying process conditions on the total anthocyanins, moisture, water activity and lightness (L*) was evaluated. Furthermore, an energy consumption study was performed based on the estimation of the equipment needed in the processes of obtaining dehydrated acai. This study allowed identify Emustab® as a good foaming agent for açai foam, because it was produced foams with adequate density, expansion and stability for foam-mat drying. The drying temperature showed significative effects ($p \leq 0,05$) on total anthocyanins and moisture responses, whereas the effects staisically significant ($p \leq 0,05$) for L* were concentration of additive and the interaction between concentration and temperature. The optimized condition was found by the desirability function. Although it lost color, the acai obtained by foam-mat drying presented 92.29 mgC3G / 100g d.b. total anthocyanins and can be used in formulations. Still, estimation of energy consumption demonstrated the process of drying açai in foam layer as less energy intensive. Therefore, this study showed the feasibility of the technical and financial foam drying method for obtaining powdered açai pulp.

Keywords: Foam-Mat Drying; Emustab®; *Euterpe oleracea*; Food Dehydration;

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	3
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 PRINCÍPIO DE CONSERVAÇÃO DE ALIMENTOS	4
3.2 SECAGEM OU DESIDRATAÇÃO	5
3.3 PRINCIPAIS MÉTODOS DE SECAGEM E CONSUMO ENERGÉTICO	6
3.3.1 <i>Secagem por ar quente</i>	6
3.3.2 <i>Atomização</i>	7
3.3.3 <i>Liofilização</i>	7
3.4 SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA	7
3.4.1 <i>Formação da camada de espuma</i>	9
3.4.2 <i>Agentes espumantes</i>	9
3.5 AÇAÍ	11
3.5.1 <i>Importância econômica</i>	11
3.5.2 <i>Importância nutricional</i>	12
3.5.3 <i>Principais utilizações do açaí</i>	12
3.6 PRODUÇÃO DE AÇAÍ EM PÓ	13
4 MATERIAL E MÉTODOS	15
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA	15
4.1.1 <i>Densidade (ρ)</i>	15
4.1.2 <i>Teor de umidade e sólidos secos</i>	15
4.1.3 <i>Atividade de água (A_w)</i>	16
4.1.4 <i>Sólidos solúveis totais (SST)</i>	16
4.1.5 <i>Potencial hidrogeniônico (pH)</i>	16
4.1.6 <i>Acidez total titulável (ATT)</i>	16
4.1.7 <i>Antocianinas Totais</i>	16
4.1.8 <i>Cor</i>	17
4.2 OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS ESPUMAS	17
4.2.1 <i>Teste de formação de espuma</i>	17
4.2.2 <i>Avaliação da densidade, expansão e estabilidade da espuma de açaí</i>	18
4.3 ESTUDO DA SECAGEM DE AÇAÍ EM CAMADA DE ESPUMA	18

4.3.1	<i>Ensaio prévios</i>	18
4.3.2	<i>Planejamento experimental</i>	19
4.3.3	<i>Caracterização das amostras em pó</i>	20
4.4	CONSUMO ENERGÉTICO	20
4.5	TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS EXPERIMENTAIS	21
5	RESULTADO E DISCUSSÃO	22
5.1	CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA	22
5.2	OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS ESPUMAS	23
5.2.1	<i>Determinação do melhor aditivo para formação de espuma de açaí</i>	23
5.2.2	<i>Avaliação da densidade, expansão e estabilidade da espuma de açaí</i>	24
5.3	SECAGEM DE AÇAÍ EM CAMADA DE ESPUMA	26
5.3.1	<i>Planejamento fatorial</i>	28
5.3.2	<i>Otimização das condições de secagem: função desejabilidade</i>	33
5.4	CARACTERIZAÇÃO DO AÇAÍ DESIDRATADO NA CONDIÇÃO OTIMIZADA	34
5.5	CONSUMO ENERGÉTICO	39
6	CONCLUSÃO	41
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42
	ANEXO A	47

1 INTRODUÇÃO

A secagem é uma operação unitária altamente intensiva em energia e de grande importância em todos os setores industriais. É uma etapa importante na preservação de alimentos para aumentar a vida de prateleira e reduzir o ataque microbiológico, porém, é necessário manter a qualidade do produto durante o processo, além de obter-se os menores custos de secagem. A liofilização, embora seja a melhor maneira de desidratar a maioria dos produtos alimentícios, está associada a altos gastos energéticos (JANGAM; LAW; MUJUMDAR, 2010).

Portanto, pesquisas no desenvolvimento de processos de secagem alternativos são de grande interesse. A secagem em camada de espuma é um método alternativo de secagem por ar quente que apresenta várias vantagens em relação ao processo tradicional, não espumado. A principal vantagem está na baixa temperatura utilizada, resultando em menor tempo de secagem, comparado com matrizes não espumadas, nas mesmas condições, reduzindo assim a degradação térmica do produto. Esse menor tempo de secagem depende da superfície de contato exposta ao ar e das características específicas de transferência de calor e massa das espumas (ZANG; BHANDARI; FANG 2017; MOUNIR, 2017).

A secagem em camada de espuma é um método relativamente simples, sendo considerado um processo mais barato que a liofilização e o *spray drying* para produção de alimentos desidratados em pó. Além disso, este método é eficiente para alimentos termossensíveis, pegajosos ou viscosos, que são difíceis de secar por atomização (ZANG; BHANDARI; FANG, 2017; MOUNIR, 2017).

Na região amazônica, o açaí tem um papel socioeconômico relevante. Geralmente, é consumido com farinha de tapioca e peixe como acompanhamento, sendo prato típico da região. Conhecido como bebida energética, o açaí tem sido aceito além da região amazônica. É consumido mundialmente em bebidas, misturas de frutas e sorvetes, sendo reconhecido pelos consumidores como uma polpa de elevado poder nutricional (OLIVEIRA; SCHWARTZ, 2018).

Devido o açaí ter um nível elevado de contaminação microbiana, ele possui uma curta vida de prateleira que limita o seu valor e dificulta a sua comercialização (ROGEZ; A, 2011). Desta forma, a vida de prateleira do açaí pode ser prolongada a partir da secagem para obtenção do produto desidratado, o que facilita transporte, manuseio e armazenamento, além da sua utilização como matéria-prima para elaboração de outros produtos.

Algumas técnicas alternativas para a obtenção de açaí em pó já foram avaliadas, como a utilização do secador de leito de jorro com partículas inertes (COSTA et al., 2015), em substituição ao *spray drying*, *Refractance Window* (PAVAN, 2010; PAVAN) e o *cast-tape drying* (SOUZA, 2015), tecnologia de secagem por espalhamento similar ao *Refractance Window*. Entretanto, nenhum trabalho anterior avaliou a obtenção de açaí em pó pelo método de secagem em camada de espuma.

2 OBJETIVOS

OBJETIVO GERAL

Estudar o processo de secagem de açaí pelo método da camada de espuma, avaliando a melhor condição de secagem quanto a qualidade da polpa seca.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estabelecer qual o agente espumante para a formação de espuma de açaí;
- Definir as concentrações de agente espumante e o tempo de agitação adequados para a formação de espumas de açaí estáveis à secagem;
- Estudar os efeitos da concentração de agente espumante e da temperatura de secagem, nas respostas antocianinas totais, umidade, atividade de água e luminosidade (parâmetro de cor);
- Determinar as condições operacionais ótimas para o processo de secagem do açaí em camada de espuma através da função de desejabilidade;
- Comparar o açaí desidratado obtido por camada de espuma na condição otimizada em estufa com a polpa de açaí liofilizada e a espuma de açaí liofilizada;
- Verificar o gasto de energia que ocorre entre o método de camada de espuma e os métodos de secagem convencionais.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 PRINCÍPIO DE CONSERVAÇÃO DE ALIMENTOS

A deterioração dos alimentos por microrganismos pode ocorrer rapidamente, enquanto as reações químicas e enzimáticas ocorrem mais lentamente durante o armazenamento. Em ambos os casos, o teor de água é um fator importante para o controle da taxa de deterioração. Entretanto, conhecimento do teor de umidade por si só não é suficiente para prever a estabilidade dos alimentos. Alguns alimentos são instáveis em um baixo teor de umidade (por exemplo, o óleo de amendoim se deteriora, mesmo com umidade excedendo 0,6%), enquanto outros alimentos são estáveis em teores de umidade relativamente elevados (como a fécula de batata, estável à 20% de umidade) (FELLOWS, 2009).

A secagem de alimentos requer cuidado importante quanto a disponibilidade de água para o crescimento de microrganismos, a germinação de esporos e para a participação em vários tipos de reações químicas (JANGAM; LAW; MUJUMDAR, 2010). É esta disponibilidade da água para as reações químicas, microbiológicas e enzimáticas que determina a vida útil de um alimento, e esta é determinada pela atividade de água (A_w) de um alimento (FELLOWS, 2009).

A atividade de água é definida como a relação entre a pressão de vapor de água em um alimento e a pressão de vapor da água pura, na mesma temperatura, conforme equação 1:

$$A_w = \frac{P}{P_w} \quad (1)$$

A atividade da água (A_w) é um dos fatores mais críticos na determinação da qualidade e segurança de produtos alimentícios. Ela afeta a vida de prateleira, a segurança, a textura, o sabor e o cheiro dos alimentos. Embora a temperatura, o pH e vários outros fatores possam influenciar se e com que velocidade os microrganismos crescerão em um produto, a atividade da água pode ser o fator mais importante no controle da deterioração (JANGAM; LAW; MUJUMDAR, 2010).

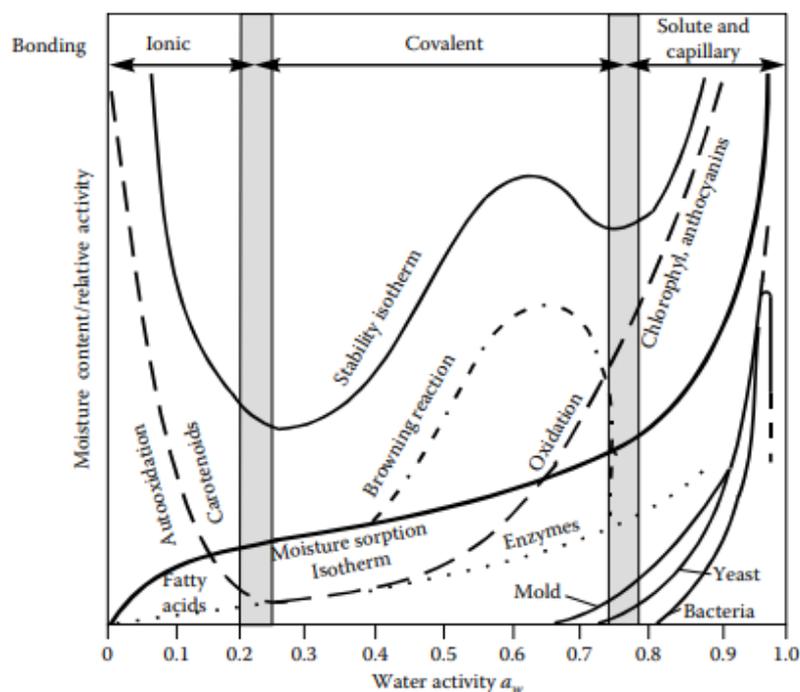


Figura 1. Atividade de água – Diagrama de estabilidade. Fonte: Mujumdar (2015).

3.2 SECAGEM OU DESIDRATAÇÃO

A secagem ou desidratação talvez seja a forma mais antiga e mais comum de preservação de alimentos. Tem-se conhecimento que desde o tempo pré-histórico, frutas, verduras, peixes e carnes são preservados por secagem. Em áreas tropicais e mais quentes estes alimentos foram secos em bandejas ao sol. Em regiões mais frias e úmidas foram utilizados fogo e fumaça (WOODROOF; GUY, 1986). Atualmente, este processo se refere a aplicação de calor sob condições controladas de temperatura, umidade e fluxo de ar, para remover a água naturalmente presente nos alimentos, por evaporação, ou, por sublimação, como no caso da secagem por liofilização (FELLOWS, 2009; JANGAM; LAW; MUJUMDAR, 2010).

O peso e o volume de alimentos secos reduzem os custos de transporte e armazenamento. A desidratação também fornece produtos convenientes que têm um longo prazo de validade em temperatura ambiente para o consumidor, como cereais, condimentos e temperos, farinhas, café instantâneo, frutas, chá, etc.; ou ingredientes que são mais facilmente manipulados pelas indústrias de alimentos, os exemplos incluem produtos lácteos (leite, proteínas do soro, queijo, manteiga, misturas de sorvete), pós de soja, proteína isolada de soja, ovo inteiro, gema de ovo e albumina, aromas encapsulados e corantes, polpas de fruta e

vegetais, maltodextrinas, pós de lactose, sacarose ou frutose, enzimas e leveduras (DEIS, 1997 apud FELLOWS, 2009).

O principal objetivo da secagem é prolongar a vida de prateleira dos alimentos, através da redução da atividade de água, a qual inibe o crescimento microbiano e a atividade enzimática. Entretanto, a temperatura do processamento geralmente é insuficiente causar a inativação destas. Além disto, qualquer aumento do teor de umidade durante o armazenamento, ocasionado, por exemplo, pelo acondicionamento inadequado, pode resultar em uma rápida deterioração (FELLOWS, 2009).

Há uma tendência na adoção de tecnologias totalmente alternativas, como a secagem em camada de espuma. Este método alternativo de secagem se adequa a produtos termicamente sensíveis, alimentos ricos em açúcar ou viscosos com constituintes de comportamento pegajoso. Tais produtos são muito difíceis de secar por secagem convencional por atomização/aspersão/pulverização. A secagem em camada de espuma geralmente é realizada sob condições brandas de temperatura, não causando danos ou existindo poucas alterações na qualidade. Isso explica por que, nos últimos anos, este método encontrou importantes aplicações como uma técnica de secagem alternativa que pode ser aplicada em escala industrial (MOUNIR, 2017).

3.3 PRINCIPAIS MÉTODOS DE SECAGEM E CONSUMO ENERGÉTICO

3.3.1 Secagem por ar quente

A secagem convectiva por ar quente é um método tradicional de conservação de alimentos que proporciona a extensão do prazo de validade e a redução do peso do produto para o transporte. Este método foi bastante aplicado a frutos secos e alimentos misturados. No entanto, sabe-se que a qualidade do alimento é negativamente afetada pelos parâmetros de operação da secagem de ar quente, tais como altas temperaturas e a presença de oxigênio. A secagem com ar quente pode causar mudanças drásticas nas propriedades físicas do produto (ou seja, cor e estrutura), bem como deterioração dos compostos aromáticos ou degradação de substâncias nutricionais, reduzindo inevitavelmente a qualidade do produto. A secagem por ar quente é, no entanto, um dos métodos menos onerosos de secagem em termos de consumo de energia e requerimento de equipamento, em comparação com outros processos de desidratação como a secagem por atomização, a liofilização etc. (RATTI, 2013).

3.3.2 Atomização

A secagem por atomização/pulverização/aspersão ou ainda, do inglês, *spray drying* é um método de desidratação em que um líquido/pasta é pulverizado em partículas finas em contato com ar a temperaturas elevadas. Este método é comumente utilizado na obtenção de leite em pó, whey, fermento em pó e outros produtos de alto valor, devido a sua boa qualidade final (RATTI, 2013).

As principais vantagens na secagem por atomização são secagem rápida, produção contínua em larga escala de pós com propriedades praticamente controladas, baixos custos de mão-de-obra e controle, operação e manutenção relativamente simples. As principais limitações são os altos custos de capital inicial e a necessidade de um teor de umidade relativamente alto na alimentação para garantir que ela possa ser bombeada para o atomizador, o que resulta em maiores custos de energia para remover a umidade e maiores perdas voláteis (FELLOWS, 2009).

3.3.3 Liofilização

A liofilização é um caso de secagem especial sob vácuo a uma temperatura abaixo o ponto triplo da água; a água (gelo) sublima diretamente em vapor de água. Embora o calor requerido para sublimação seja inferior ao da vaporização, o processo à vácuo é dispendioso. A liofilização do café, por exemplo, custa de duas a três vezes mais do que a secagem por atomização. Por outro lado, a qualidade do produto e a retenção do sabor são melhores na liofilização (MUJUMDAR, 2015). Em comparação a secagem de ar, os custos de produção utilizando a liofilização são de aproximadamente quatro a oito vezes maior (RATTI, 2013).

3.4 SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA

Em 1950, devido a algumas dificuldades enfrentadas pelos processos de produção de frutas e legumes em pó por secagem por atomização ou secagem em tambor, surgiram algumas alternativas de modo a superar estes problemas, como o uso de metilcelulose para a preparação de pós de suco de laranja por atomização. Posteriormente, Morgan e colaboradores desenvolveram o processo de secagem em camada de espuma, envolvendo camadas finas de material espumado, aquecido à pressão atmosférica, considerando-o mais barato do que os métodos de secagem por liofilização ou atomização (WOODROOF; GUY, 1986; JANGAM; LAW; MUJUMDAR, 2010).

Os custos do método de secagem em camada de espuma podem ser considerados mais altos em relação a atomização, por necessitar de uma grande área de superfície para altas taxas de produção, o que gera grandes custos de capital, porém, o custo é menor em relação a liofilização (FELLOWS, 2009) A secagem em camada de espuma apresenta um alto custo de capital em comparação a secagem convencional, por requerer grandes áreas de superfície para grandes quantidades de espuma. Entretanto, seu consumo energético pode ser reduzido em 80% em relação a secadores tradicionais (GALANAKIS; BARBA; PRASAD; 2015).

A diferença entre a secagem em camada de espuma e outros métodos de secagem é que na secagem em camada de espuma a estrutura física da matriz é alterada pela quebra da parede celular e a incorporação de gás (ar), enquanto em outros métodos de secagem a estrutura da matriz não sofre nenhuma alteração antes da secagem, exceto nos casos em que a mesma passa por algum pré-tratamento (MOUNIR, 2017).

A transformação de alimentos líquidos e semilíquidos em espuma tem sido reconhecida como um dos métodos de redução do tempo de secagem. Na última década, essa tecnologia relativamente antiga, recebeu atenção renovada devido à sua capacidade adicional de processar materiais difíceis de secar, obter produtos com propriedades desejáveis (como reidratação favorável) e reter voláteis que de outra forma seriam perdidos durante a secagem de alimentos não espumados (MUJUMDAR, 2015).

A principal vantagem da espuma é que a estrutura fornece uma grande superfície em que a água pode evaporar rapidamente. O vapor de água produzido abaixo das partes ultraperiféricas já secas difunde-se através das paredes finas e quentes destas partes exteriores, e não através da camada espessa e densa de um material não espumado. A mesma estrutura assegura a reidratação rápida do produto seco (JANGAM; LAW; MUJUMDAR, 2010). Desta forma, em geral, a secagem em camada de espuma ocorre mais rapidamente do que se a matriz em questão não estiver espumada, embora certas espumas como a do leite de soja exibam maiores taxas de secagem no início da secagem, enquanto em que matrizes como o tomate, bananas e manga, as taxas de secagem são muito aceleradas no final da secagem (MUJUMDAR, 2015). Rocha (2013) comparou a secagem na forma espumada e não espumada de suco misto de açaí, acerola e morango, e constatou que a elaboração de uma espuma para posterior secagem diminuiu o tempo do processo de aproximadamente 324,24 minutos para 232,08 minutos.

Devido às taxas de secagem serem geralmente mais elevadas, o tempo de secagem das matrizes em espuma é, notavelmente, mais curto, o que se traduz em menor consumo de

energia e maior rendimento do secador, resultando em menos secadores e economia de custo de capital (MUJUMDAR, 2015).

3.4.1 Formação da camada de espuma

As espumas são sistemas de duas fases que têm bolhas de gás dispersos em um líquido ou um sólido, separados uns dos outros por uma fina película (FELLOWS, 2009). Podem ser formadas agitando (batendo) uma solução aquosa contendo um agente espumante na presença de uma quantidade de gás ou ar. A agitação pode ser realizada em uma variedade de dispositivos que agitam vigorosamente o líquido e sua interface com a fase gás/ar (JANGAM; LAW; MUJUMDAR, 2010).

A característica mais desejável para a camada de espuma consiste em um grande número bolhas pequenas e uniformes que devem manter sua estrutura na camada durante a secagem. Quantidades adequadas de estabilizadores são adicionados para fornecer estabilidade à espuma, caso contrário haverá o colapso da estrutura antes de toda a umidade ser removida durante a secagem (JANGAM; LAW; MUJUMDAR, 2010).

A qualidade da espuma pode ser avaliada através de algumas propriedades como densidade, expansão e estabilidade da espuma, que estão relacionadas ao tipo e concentração de agente espumante (JANGAM; LAW; MUJUMDAR, 2010; MOUNIR, 2017).

3.4.2 Agentes espumantes

Agentes espumantes são surfactantes que reduzem a tensão superficial entre dois líquidos, ou entre um líquido e um sólido, e facilita a formação da espuma. Um bom agente espumante deve a ser absorvido imediatamente na interface ar-água, reduzir a tensão interfacial, interagir mutuamente com as proteínas que se desdobram na interface, e formar um forte, coesivo e visco-elástico filme, que possa resistir as agitações térmicas e mecânicas (MOUNIR, 2017).

Para espumas naturais, como a clara de ovo, suco de abacaxi etc., não é necessária a adição de algum agente espumante. Proteínas vegetais (como a proteína solubilizada da soja), gomas e vários emulsificantes (por exemplo, monoestearato de Glicerina (GMS), monoestearato de propilenoglicol, carboximetilcelulose (CMC), etc.) são geralmente adicionados à sucos, purês, polpas ou concentrados como agentes espumantes. Então, as misturas são agitadas usando um misturador ou algum equipamento próprio (JANGAM; LAW; MUJUMDAR, 2010).

Dentre vários agentes emulsificantes disponíveis comercialmente, destacam-se a albumina e o Emulstab®, por apresentarem um papel importante nas indústrias alimentícias e bom desempenho na formação de espumas. O Emulstab®, além de emulsificante (composto principalmente por monoglicérides destilados, monoestearato de sorbitana e polisorbato 60), apresenta em sua constituição compostos que agem como estabilizantes e espessantes (FREITAS, 2016). O Quadro 1 apresenta alguns exemplos do tipo e concentração de agente espumante, além do tempo de agitação necessários para obtenção da espuma de algumas matrizes alimentícias.

Quadro 1. Estudos sobre secagem em camada de espuma, em suas melhores condições

Autores	Matéria-prima	Agente (s) espumante (s)	Concentração	Tempo de agitação
Rocha, 2013	Suco misto de açaí, acerola e morango	Albumina	5%	20 minutos
Gurgel et al., 2015	Graviola	Emulstab® + Super liga neutra®	1% + 1%	20 minutos
Alves e Rodovalho, 2016	Abacate.	Emulstab®	5%	5 minutos
Ferreira, 2017	Jabuticaba	Emulstab® + Super liga neutra® + goma <i>guar</i>	1% + 1% + 0,5%	20 minutos
Carvalho et al., 2017	Jambolão	Emulstab® + Super liga neutra® + Maltodextrina DE	10 % + 2,5 % + 20 %	15 minutos
Feitosa et al., 2017	Murta	Emulstab® e Super Liga Neutra®	1,5% + 0,5%	10 minutos
Maciel et al., 2017	Goiaba	Albumina	4% e 8%	5 minutos
Lobo et al., 2017	Manga	Lecitina de soja + carboximetilcelulose (CMC)	0,3% + 0,3%	10 minutos
Araújo et al., 2017	Acerola	Emulstab®	4%	20 minutos

3.5 AÇAÍ

3.5.1 Importância econômica

O açaí destinado ao consumo como bebida é definido, segundo os padrões de identidade e qualidade mínima para polpa de açaí (BRASIL, 2000), como produto extraído da parte comestível do fruto do açazeiro (*Euterpe oleracea*, Mart. – Figura 2) após amolecimento através de processos tecnológicos adequados, sendo classificado de acordo com a adição ou não de água e seus quantitativos em:

A) Polpa de açaí: polpa extraída do açaí, sem adição de água, por meios mecânico e sem filtração, podendo ser submetido a processo físico de conservação;

B) Açaí grosso ou especial (tipo A): polpa extraída com adição de água e filtração, apresentando acima de 14% de sólidos totais e uma aparência muito densa;

C) Açaí médio ou regular (tipo B): polpa extraída com adição de água e filtração, apresentando acima de 11 a 14% de sólidos totais e uma aparência densa;

D) Açaí fino ou popular (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.



Figura 2. Frutos de *Euterpe oleracea*. Fonte: Oliveira; Schwartz, 2018.

Na região amazônica, o açaí tem um papel socioeconômico relevante. Geralmente, é consumido com farinha de tapioca e peixe como acompanhamento, sendo prato típico da região (YAMAGUCHI et al., 2015; OLIVEIRA; SCHWARTZ, 2018). Assim, o norte do Brasil concentra a maior parte da produção de frutos de açaí, com Pará e Amazonas correspondendo por 87,5% do total (CONAB, 2019). O Pará produz 95% da produção nacional do fruto, sendo a maior parte destinada à venda para outras regiões não amazônicas

ou para exportação, na forma de polpa. A partir daí, o açaí passa pelos mais diversos beneficiamentos (OLIVEIRA; SCHWARTZ, 2018; SAUMA; MAIA, 2019).

Sendo o maior produtor mundial de açaí e o maior exportador brasileiro, o Pará tem dobrado sua produção nos últimos dez anos (CONAB, 2019). O açaí tornou-se um produto de interesse internacional, não só pelo seu sabor exótico, como também por ser potencialmente benéfico à saúde (BICHARA; ROGEZ, 2011).

Cerca de 77% do total do açaí exportado vai para as indústrias de processamento norte americanas, sendo eles o principal mercado importador do fruto, que, no entanto, já está conquistando a preferência de outras regiões, como Países Baixos, Japão, Austrália, entre outros (CONAB, 2019).

3.5.2 Importância nutricional

Considerado uma boa fonte de minerais (como manganês, cobre, boro e cromo) e de vitamina E, o açaí também é reconhecido pelo elevado teor de lipídios, fibras e proteínas (correspondentes a 52, 25 e 10%, respectivamente, da matéria seca). O perfil graxo da composição lipídica do açaí assemelha-se a do azeite de oliva, em termos de qualidade e de equilíbrio nutricional e as quantidades de α -tocoferóis e de antocianinas presente no fruto, fazem do açaí uma excelente fonte de antioxidantes (ROGEZ, 2000).

O açaí também é rico em polifenóis, Rogez e Bichara (2011) relataram diversos estudos demonstrado que dietas ricas em polifenóis, especialmente flavonoides, estão diretamente associados a redução de doenças cardiovasculares. Desta forma, o açaí chama a atenção de pessoas buscam uma alimentação saudável, natural e energética, principalmente, por ser um alimento rico em nutrientes e possuir potencial terapêutico (SILVA et al., 2018).

3.5.3 Principais utilizações do açaí

No Pará, o açaí que não é destinado ao consumo local é congelado. Este açaí se destina principalmente à elaboração de alimentos nos quais ele é utilizado como ingrediente, como cremes, gelados, sorvetes, geleias etc. (ROGEZ, 2000). Em outras partes do Brasil se popularizou a utilização do açaí como o chamado “açaí na tigela”, sendo comercializado em praças, academias e ruas. Este produto consiste na polpa da fruta congelada batida no liquidificador e acompanhada de frutas e outros ingredientes como granola, xarope de guaraná, castanhas; normalmente servida em uma tigela (SILVA et al., 2018).

Apesar do consumo tradicional do açaí, a polpa também é usada na produção industrial e artesanal de sorvetes, cremes e geleias. Várias outras maneiras de usar o produto tem sido introduzidas no mercado, como, por exemplo, açaí pasteurizado, açaí com xarope de guaraná, açaí em pó, leite condensado com açaí e licor de açaí. As perspectivas na utilização da fruta como corante natural são significativas e importante para utilização como ingrediente para bebidas energéticas (YAMAGUCHI et al., 2015).

Dos alimentos processados que contêm açaí e lançados no mercado mundial nos últimos 5 anos, 22% são representados por sucos, 12% bebidas energéticas e esportivas, 9% lanches, 7% sobremesas e sorvetes, 5% na categoria láctea e 3% em doces e balas, estando como países mais representativos no lançamento desses produtos os Estados Unidos (30%), o Brasil (19%) e o Canadá (8%). Os Estados Unidos são ainda o maior processador e exportador de produtos à base de açaí (CONAB, 2019).

3.6 PRODUÇÃO DE AÇAÍ EM PÓ

Devido à alta perecibilidade do açaí (ROGEZ, 2000), a produção da polpa de açaí em pó é uma forma de criar um produto com baixa umidade, boa estabilidade e vida de prateleira prolongado (COSTA et al., 2015). Além disso, o produto pode garantir redução de custos com transporte e armazenamento, por não necessitar manter-se refrigerado e ainda apresentar volume reduzido (SOUZA, 2015).

As técnicas mais utilizadas para obtenção de açaí em pó são por liofilização e por atomização. O açaí liofilizado é um produto de alta qualidade, entretanto é um processo bastante oneroso. A técnica de desidratação por atomização também requer altos investimentos, como acompanhamento técnico e necessidade de boas instalações elétricas (ROGEZ, 2000). Embora esta técnica seja capaz de permitir a produção de açaí em pó com alto teor de antocianinas (ROGEZ; BICHARA, 2011), existe o fato de o elevado conteúdo de lipídeos na polpa ocasionar problemas durante o processo, como incrustações e entupimento do equipamento. De modo a evitar tais problemas, Tonon et al. (2010) indicam a filtração prévia da polpa, possibilitando a obtenção de resultados satisfatórios para a formação de açaí em pó. Entretanto, a filtração da polpa de açaí resulta em perdas que interferem no seu valor nutricional (COSTA et al., 2015).

Técnicas alternativas para a obtenção de açaí em pó têm sido estudadas. A secagem de açaí por *Refractance Window* foi comparada com a secagem com ar quente, e apresentou um produto de qualidade superior (PAVAN; SCHMIDT; FENG, 2012). Souza (2015) avaliou

a secagem por espalhamento *cast-tape drying* do açaí, concluindo que este método pode ser utilizado como uma alternativa para a produção de pó de açaí, por garantir um produto com estabilidade microbiológica e manutenção da coloração arroxeada e da atividade antioxidante. Costa et al. (2015) produziram açaí em pó através do secador de leito de jorro. Como resultado, obtiveram um produto nutritivo e energético, com baixo teor de umidade, alto teor de antocianinas, excelente fluidez e uma superfície heterogênea porosa. Os autores ainda concluíram que o açaí desidratado por este método pode ter uma aplicação interessante para o desenvolvimento de alimentos funcionais.

Como o mercado para o açaí segue trajetória crescente, surge o desafio do Brasil em suprir a demanda futura, especialmente nos períodos de entressafra, bem como para se consolidar como grande processador e exportador, lugar hoje ocupado pelos norte-americanos (CONAB, 2019). O método de secagem em camada de espuma para o açaí ainda não foi reportado na literatura, sendo uma técnica alternativa avaliada no presente estudo, para a produção de açaí desidratado.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Operações de Separação (LAOS) e no Laboratório de Produtos de Origem Animal (LAPOA) da Universidade Federal do Pará, campus Belém – Pará.

O açaí tipo médio utilizado nos experimentos (figura 3) foi fornecido pela indústria ARGUS FRUITS, localizada no município de Benevides-PA, mantido congelado em *freezer* até a realização dos experimentos e análises. O descongelamento procedeu conforme as instruções de consumo do fornecedor, indicadas na embalagem do produto, que consistiu em descongelar 50% da polpa e, em seguida, levar ao liquidificador.



Figura 3. Açaí médio congelado. Fonte: Foto tirada pela autora.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA PRIMA

4.1.1 Densidade (ρ)

Para a determinação da densidade, utilizou-se uma proveta de 500 mL até completar certo volume da amostra, cuja massa foi verificada em balança analítica, para a obtenção da massa por volume (g/cm^3), conforme a equação 2:

$$\rho = m/V \quad (2)$$

Onde: m – Massa da amostra (g); V – Volume ocupado pela amostra na proveta (cm^3).

4.1.2 Teor de umidade e sólidos secos

Os teores de umidade e de sólidos secos do açaí foram determinados por aparelho infravermelho (GEHAKA, modelo VI 2000).

4.1.3 Atividade de água (Aw)

A atividade de água foi determinada por meio do aparelho Aqualab (Decagon Devices - 4TE, Pullman, WA, E.U.A), na temperatura de 25 °C.

4.1.4 Sólidos solúveis totais (SST)

O teor de sólidos solúveis totais foi determinado utilizando-se um refratômetro abbé de bancada (Quimis - Q767B, Diadema, SP, Brasil), com os resultados expressos em °Brix, conforme método oficial nº 932.12 da AOAC (1997).

4.1.5 Potencial hidrogeniônico (pH)

O pH foi determinado em pHmetro de bancada digital (Akso – LineLab, São Leopoldo, RS, Brasil), conforme IAL (2008).

4.1.6 Acidez total titulável (ATT)

A acidez total titulável foi efetuada utilizando em conjunto o pHmetro digital durante a titulação, na qual alíquotas de 10 mL da amostra em 90 mL de água destilada foi titulada com solução padronizada de NaOH 0,1 N, até pH = 8,2. Os resultados foram expressos em g/100g de ácido cítrico (IAL, 2008).

4.1.7 Antocianinas Totais

O teor de antocianinas totais foi determinado pelo método do pH diferencial (Giusti e Wrolstad, 2001), utilizando espectrofotômetro UV/Vis (Thermo Scientific, modelo Genesys 10-S). As amostras foram diluídas em duas soluções tampão [pH 1,0 = cloreto de potássio (0,025 M) e pH 4,5 = acetato de sódio (0,4 M)], em seguida foram filtradas e efetuadas as leituras nos comprimentos de onda de máxima absorção na região visível (514 nm) e a 700 nm. A absorbância foi calculada a partir da equação 3 e o teor de antocianinas monoméricas (AM) foi calculado pela equação 4.

$$A = (A_{m\acute{a}x} - A_{700})_{pH\ 1.0} - (A_{m\acute{a}x} - A_{700})_{pH\ 4.5} \quad (3)$$

$$AM(mg/L) = \frac{A \times PM \times FD \times 10^3}{\epsilon \times L} \quad (4)$$

Onde: A – diferença de absorvância entre pH 1,0 e pH 4,5; PM – Peso molecular da cianidina-3-glicosídeo = 449,2; FD – fator de diluição; ϵ – absorvância molar = 26.900; L – caminho óptico = 1,0 cm.

Os resultados foram expressos em função da cianidina-3-glicosídeo. Após encontradas as concentrações de antocianina em mg equivalentes de cianidina-3-glicosídeo (C3G) por litro de solução, foram realizados os cálculos necessários para encontrar a concentração de antocianinas, em miligramas por cem gramas de açaí, em base seca (mgC3G/100g b.s.).

4.1.8 Cor

A determinação da coloração foi efetuada com o auxílio de um colorímetro (Konica Minolta, CR 400, Osaka, Osaka, Japão). Os parâmetros avaliados foram L* (luminosidade), a* (vermelho ao verde), b* (amarelo ao azul), h (ângulo de tonalidade) e C* (saturação) com os valores obtidos diretamente no colorímetro.

4.2 OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS ESPUMAS

4.2.1 Teste de formação de espuma de açaí

Consistiu na realização de testes de diferentes aditivos em que se avaliou visualmente a formação ou não de espuma, além da verificação da densidade conforme item 4.1.1. As formulações que não estivessem entre 0,2 – 0,6 g/cm³ de densidade (MOUNIR, 2017) foram consideradas inadequadas para o procedimento de secagem, enquanto as demais que se encontraram dentro da faixa foram avaliadas também quanto as propriedades de expansão e estabilidade.

Os ativos utilizados para o teste de formação da espuma foram: Goma Guar e Goma Xantana (Daxia Doce Aroma Industria e Comercio Ltda, Guarulhos, SP, Brasil), Whey (Firmino Vieira e Cia. Ltda., SP, São Paulo), CMC (Arcolor®, São Lourenço, São Paulo, Brasil), Albumina (Natuovos, Salvador do Sul, RS, Brasil), Emustab Selecta® (Duas Rodas Industrial Ltda., Jaraguá do Sul, SC, Brasil), Liga Neura e Emulsificante Marvi Gel Plus (Marvi Ltda., Rodovia Mello Peixoto SP-PR Km 376, Brasil). Esses aditivos foram adicionados à polpa de açaí, em diferentes proporções (que variou de 0,5% a 10% em massa) e cada mistura foi submetida à agitação, em uma batedeira doméstica (Arnor Agilli, SX10, 200 W, 1100 rpm) na velocidade 2, durante alguns minutos. Os tempos de agitação e concentrações de aditivos, bem como a mistura ou não de mais de um aditivo, foram baseadas nas metodologias empregadas no Quadro 1.

4.2.2 Avaliação da densidade, expansão e estabilidade da espuma de açaí

Após a escolha do aditivo mais apropriado para a formação da espuma de açaí e foi avaliada a influência da variação de diferentes concentrações de aditivo e tempos de agitação. O procedimento realizado foi o mesmo utilizado no teste anterior, sendo os tempos de agitação avaliados: 3, 5, 7, 9 e 11 minutos; e as concentrações de aditivo: 5 e 10 %. Propriedades como densidade, expansão e estabilidade da espuma foram determinadas. As densidades das espumas foram calculadas conforme descrito no item 4.1.1. A expansão da espuma, que indica a habilidade da espuma em incorporar ar em sua estrutura, foi determinada a partir da equação 5:

$$\text{Expansão (\%)} = \frac{1/\rho_{\text{espuma}} - 1/\rho_{\text{polpa}}}{1/\rho_{\text{espuma}}} \times 100 \quad (5)$$

Onde: ρ_{espuma} – densidade da espuma (g/cm^3); ρ_{polpa} – densidade da polpa (g/cm^3).

Para avaliar a estabilidade das espumas, foi utilizado o método proposto por Muthukumar, Ratti e Raghavan (2003), com algumas modificações. Um funil de *Buchner* foi preenchido com 50 mL da espuma e o líquido drenado pela ação da gravidade foi coletado em uma proveta de 50 mL. O volume V (mL) do líquido drenado foi medido diretamente na proveta, em função do tempo, durante 120 minutos. Foi avaliada a percentagem de espuma coalescida em relação ao volume inicial.

4.3 ESTUDO DA SECAGEM DE AÇAÍ EM CAMADA DE ESPUMA

4.3.1 Ensaios prévios

Após a definição do tempo de agitação, um primeiro teste foi realizado utilizando um delineamento composto central rotacional (DCCR) 2², com 4 pontos axiais e triplicata no ponto central, totalizando 11 ensaios (tabela 1). As variáveis independentes foram concentração de Emustab® e temperatura de secagem e as variáveis dependentes foram umidade e atividade de água.

Tabela 1. Variáveis e níveis utilizados nos ensaios prévios

Variáveis	Níveis				
	- α	-1	0	+1	+ α
Concentração de Emustab® (%)	3,96	5,00	7,50	10,00	11,04
Temperatura de secagem (°C)	55,86	50,00	60,00	70,00	84,14

A secagem foi realizada em estufa microprocessada (Quimis, modelo Q314M242, Diadema, SP, Brasil) com circulação forçada de ar e aproximadamente 30 g de espuma foram distribuídas em placas de pétri com altura de aproximadamente um cm, em triplicata. A cada 10 minutos, as amostras foram pesadas até peso constante para elaboração das curvas de secagem, que serviram para avaliar previamente o comportamento da secagem de açaí em camada de espuma. Por fim, com o auxílio de gral e pistilo de porcelana, procedeu-se a desintegração das espumas desidratadas em pó e realizou-se as análises de resposta.

4.3.2 Planejamento experimental

Após verificado nos ensaios prévios, o tempo de processamento foi mantido constante (três horas, em média) a fim de que os pós obtidos estivessem preferencialmente na faixa de atividade de água de 0,3 – 0,4. Desta vez, as espumas foram distribuídas em bandejas inox de dimensões 0,5 x 30 x 40 cm (altura x largura x comprimento) (figura 4 a) e submetidas à secagem. No final da secagem foi realizada a raspagem das bandejas e desintegração das espumas desidratadas em pó (figura 4 b), para realização das análises de resposta.



Figura 4. Espuma de açaí (a) distribuída na bandeja e (b) desintegrada após a secagem.

A secagem de açaí em camada de espuma foi realizada através de um planejamento fatorial de segunda ordem (2^2), contendo quatro pontos fatoriais com triplicata do ponto central, totalizando sete ensaios. O objetivo deste planejamento foi avaliar a influência das variáveis: concentração de Emustab® e temperatura de secagem, sobre as respostas: antocianinas totais, umidade, atividade de água e parâmetro de cor luminosidade (L^*).

Na tabela 2, encontram-se as variáveis e níveis do planejamento fatorial utilizado para o estudo da secagem de açaí em camada de espuma.

Tabela 2. Variáveis e níveis utilizados na secagem de açaí em camada de espuma

Variáveis	Níveis		
	-1	0	+1
Concentração de Emustab® (%)	5,0	7,5	10,0
Temperatura de secagem (°C)	50	60	70

Por meio da Metodologia de Superfície de Resposta (RSM) e da Função Desejabilidade, a melhor condição de secagem para as respostas de antocianinas totais, umidade e L^* foi estudada.

4.3.3 Caracterização das amostras em pó

A figura 6 apresenta o fluxograma de das análises realizadas para o açaí desidratado. Para fins comparativos, uma parte do açaí utilizado como matéria-prima para elaboração das espumas e outra da espuma produzida com a mesma concentração de Emustab® da melhor condição de secagem escolhida foram liofilizadas. O processo foi realizado em um liofilizador LS6000 (TERRONI EC, SP, Brasil), durante 48 horas.

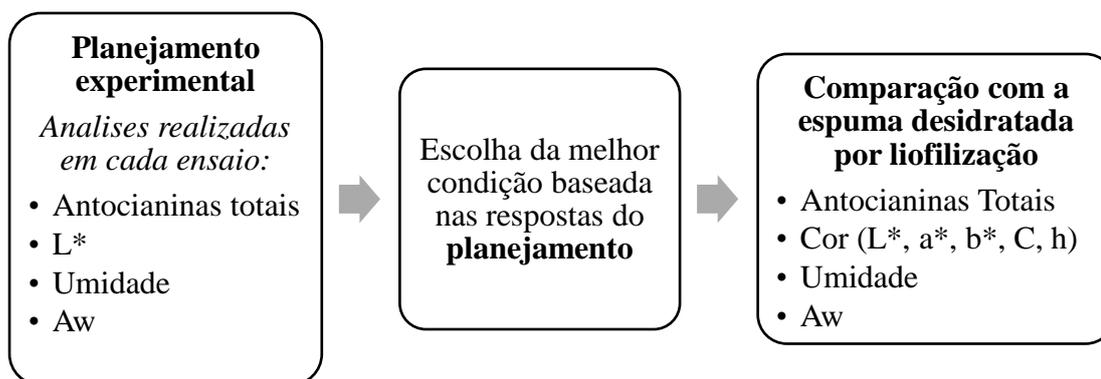


Figura 5. Fluxograma de análises. Fonte: Elaborado pela autora

4.4 CONSUMO ENERGÉTICO

A demanda energética dos processos de desidratação de açaí pelo método da camada de espuma, por liofilização e por atomização foram estimados, desconsiderando-se a energia dissipada, a partir da equação 6:

$$E = (\sum P) \times t \quad (6)$$

Onde: E – Consumo energético requerido; P – Potência (em kW) do(s) equipamento(s) que compõe o sistema; t – Tempo (em horas) de funcionamento do equipamento.

Os resultados foram determinados a partir do consumo energético total de cada processo, considerando-se a potência total do equipamento, o tempo de funcionamento e a capacidade máxima de operação (massa de produto/batelada), utilizando como base de cálculo 100 kg de polpa a ser processada.

Para o cálculo do consumo energético do método de secagem em camada de espuma, considerou-se a somatória dos processos unitários da bateadeira e do secador. Já para estimativa do processo de liofilização, considerou-se a somatória dos processos unitários do *ultrafreezer* e do sistema liofilizador e bomba de vácuo.

O rendimento do processo foi calculado pela razão entre a massa de pó, em base seca [$m_{pó} \times (1 - U_{pó})$] e a massa de sólido na espuma antes da secagem [$m_{espuma} \times (1 - U_{espuma})$]:

$$\text{Rendimento do processo (\%)} = \frac{m_{pó} \times (1 - U_{pó})}{m_{espuma} \times (1 - U_{espuma})} \times 100 \quad (7)$$

Para compor os dados de rendimento do processo de açaí desidratado por atomização e por liofilização, utilizou-se os dados presentes na literatura. O detalhamento para a estimativa do consumo energético encontra-se no apêndice A.

4.5 TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS EXPERIMENTAIS

Os resultados das análises da caracterização da polpa de açaí foram avaliados em triplicata, com os resultados dispostos em média \pm desvio padrão.

Para avaliar a influencia do tempo de agitação e concentração de aditivo Emustab® nas respostas densidade, expansão, estabilidade da espuma, foi utilizada a análise de variância (ANOVA) com teste de *Tukey* a 5% de probabilidade, para a comparação das médias, utilizando o software Statistica® versão 7.0 (StatSoft, Inc., EUA).

No planejamento fatorial, a ANOVA, o teste de falta de ajuste (teste F), a determinação dos coeficientes de regressão, obtenção das superfícies de resposta e aplicação da função desejabilidade foram realizadas com o auxílio dos softwares Statistica® e Microsoft Office Excel 2010.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA

Os resultados da caracterização da polpa de açaí estão apresentados na Tabela 3. O açaí apresentou 13,55% de sólidos (umidade = 86,45%), sendo considerado açaí tipo médio, conforme o indicado pelo rotulo e pela legislação (BRASIL, 2000). Os valores de pH e acidez titulável também estão de acordo com a legislação, que estabelece uma faixa de pH 4 a 6,2 e um máximo de acidez de 0,4 g/100g de ácido cítrico, para o açaí médio (BRASIL, 2000).

Os valores de pH e atividade de água encontrados neste trabalho se assemelham ao relatado por Souza (2015) para açaí tipo grosso. A autora enfatiza a necessidade da realização de tratamentos de conservação do açaí, pelo mesmo ser classificado como um alimento pouco ácido ($\text{pH} \geq 4,5$), o que possibilita o desenvolvimento de formas microbianas esporulantes e, ainda, a alta atividade de água da polpa permite a ocorrência de processos químicos e microbianos de degradação.

Tabela 3. Resultados da caracterização do açaí

Componente		Açaí
Umidade (g/100g)		86,45 ± 0,91
pH		5,01 ± 0,00
Densidade (g/cm ³)		0,8381 ± 0,00
Acidez Titulável Total (g/100g de Ác. Cítrico)		0,1707 ± 0,02
Sólidos Solúveis Totais (°Brix)		3,25 ± 0,35
Atividade de água		0,9984 ± 0,00
Cor	L* - Luminosidade	18,7 ± 0,46
	a* - Vermelho vs verde	6,66 ± 1,50
	b* - Amarelo vs azul	5,62 ± 0,79
	h - Tonalidade	40,39 ± 2,41
	C* - Saturação	8,72 ± 1,65

Resultados expressos por média ± desvio padrão.

A legislação vigente (BRASIL, 2000) não possui o padrão para o teor de sólidos solúveis, sendo o valor encontrado neste trabalho ($3,25 \pm 0,35$ °Brix) maior que o encontrado por Rocha (2013) de $1,92 \pm 0,1$ °Brix e menor do valor encontrado por Souza (2015) de $10,0 \pm 1,2$ °Brix.

Pereira et al. (2002) determinaram as densidades (massa específica) de açaís tipos A, B e C e seus resultados experimentais estiveram na faixa de 1,007 a 1,025 g/cm³, diferentemente do que foi determinado no presente trabalho, de 0,8381 g/cm³. É provável que

essa diferença da densidade tenha ocorrido devido as medições terem sido feitas logo após a homogeneização do açaí em liquidificador, resultando na incorporação de ar durante esta etapa e consequente diminuição da densidade.

A luminosidade varia de 0 (preto) a 100 (branco), portanto quanto mais próximo ao zero, mais escura a coloração. Em relação ao açaí caracterizado, a luminosidade indicou coloração mais escura, estando próximo ao valor encontrado por Canuto et al. (2010) de $L^*=16,6$. Os mesmos autores também relataram valores de $h = 48,7^\circ$ e $C^*= 12,9$, indicando uma tonalidade amarelo-avermelhada e cor mais opaca.

5.2 OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS ESPUMAS

5.2.1 Determinação do melhor aditivo para formação de espuma de açaí

Como pode ser observado no Quadro 2, em nenhuma das concentrações e tempos de agitação avaliados os aditivos Goma Guar, Goma Xantana, CMC, Whey, Albumina, Liga Neura e Emulsificante Marvi Gel Plus utilizados sozinhos foram capazes de reduzir suficientemente a densidade do açaí para abaixo de $0,6 \text{ g/cm}^3$.

Quadro 2. Resultados da avaliação da formação de espuma

		Formulação*														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Aditivo	Goma Guar	x								x						x
	Goma Xantana		x													
	CMC			x							x	x	x			
	Whey				x											
	Albumina					x						x		x		
	Liga Neutra						x			x	x				x	x
	Emulsificante Marvi Gel							x		x	x				x	x
	Emustab®								x				x	x		
Formação de espuma		N	N	N	N	N	N	N	S	N	N	N	S	S	N	N

*Proporções baseadas nas metodologias empregadas no Quadro 1. S: houve formação de espuma. N: não houve formação de espuma.

A albumina e o CMC quando utilizados na proporção de 0,5% mais 4,5% do aditivo Emustab® produziram espumas de densidades de $0,4330$ e $0,5072 \text{ g/cm}^3$, respectivamente. Provavelmente a redução da densidade está associada a maior concentração de Emustab®

adicionada nas formulações, uma vez que com 5% deste aditivo somente foi capaz de produzir uma espuma com densidade de 0,3750 g/cm³.

Freitas (2016), ao estudar as espumas da polpa de manga ubá formadas com os aditivos albumina, Emustab®, Superliga neutra® e maltodextrina, nas concentrações de 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 e 2,5, obteve resultados semelhantes em que somente com a adição do emulsificante Emustab® ocorreu redução da densidade.

Segundo Chaux Gutiérrez (2015), os monoglicerídeos presentes no Emustab® permitiram diminuir substancialmente a tensão superficial e interfacial da espuma de manga (variedade *Tommy Atkins*), a níveis suficientemente baixos para manter a sua estabilidade e reduzir a sua densidade a valores muito mais baixos do que se utilizando a albumina.

Ao avaliar os aditivos albumina e Emustab® na formação de espumas de suco misto contendo açaí, morango e acerola na mesma proporção, Rocha (2013) observou que em todas as concentrações utilizadas (2,5 a 10%) o Emustab® não provocou uma redução suficiente nos valores da densidade, enquanto a albumina se mostrou eficiente na redução da densidade em todas as concentrações.

Este fato pode ser justificado pela adição do morango ao suco misto, uma vez que em trabalhos posteriores, a utilização de albumina foi capaz de formar espuma, em baixas concentrações de 1 a 2,5% na polpa de morango (RONCHETI, 2014; VIMERCATI et al., 2016), mesmo que o aditivo Emustab® tenha sido mais eficiente na redução da densidade da espuma de acerola (ARAÚJO et al., 2017) e no presente estudo, este aditivo também tenha sido eficiente para a formação de espuma de açaí. Isso evidencia que a natureza tanto do aditivo, como da matriz a ser transformada em espuma, influenciam na sua produção e estabilidade. As outras matrizes estudadas por Ronchetti (2014) foram cenoura, tomate, beterraba e em todas o Emustab® foi capaz de formar espuma.

5.2.2 Avaliação da densidade, expansão e estabilidade da espuma de açaí

De acordo com o observado, o Emustab® foi o aditivo mais adequado para a avaliação da influência do tempo de agitação e da concentração de aditivo. Assim, conforme os resultados da tabela 4, foi avaliada a condição que promovesse as melhores características nos parâmetros de densidade, expansão e estabilidade da espuma.

A densidade é um dos principais parâmetros para avaliar a qualidade da espuma, principalmente durante a agitação. Quanto mais ar é incorporado durante a agitação, menor será a densidade da espuma. Além disso, quanto mais ar é incorporado na espuma, maior é a

capilaridade. Em contrapartida, densidades maiores resultam em um tempo de secagem prolongado, levando a uma baixa qualidade do produto causada pela degradação térmica. Com base em vários estudos, a faixa adequada para a formação de espuma estaria entre 0,2 a 0,6 g/cm³ (MOUNIR, 2017).

Tabela 4. Características das espumas de açaí formadas pelo aditivo Emustab®

Densidade (g/cm³)					
Concentração (%)	Tempo de agitação (min.)				
	3	5	7	9	11
5	0,4653Aa	0,3542Ba	0,3401Ba	0,3643ABb	0,3856ABb
10	0,4071Aa	0,4068Aa	0,3837Aa	0,4489Aa	0,4353Aa
Expansão (%)					
Concentração (%)	Tempo de agitação (min.)				
	3	5	7	9	11
5	44,64Ba	57,86Aa	59,54Aa	56,66ABa	54,12Ba
10	51,56Aa	51,60Aa	54,34Aa	46,59Ab	48,20Ab
Estabilidade (%)					
Concentração (%)	Tempo de agitação (min.)				
	3	5	7	9	11
5	95,00Aa	96,80Aa	100Aa	99,50Aa	100Aa
10	100Aa	100Aa	100Aa	100Aa	100Aa

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na mesma linha e médias seguidas da mesma letra minúscula na mesma coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P > 0,05$).

Assim, em todas as concentrações e tempos de agitação avaliados a densidade da espuma de açaí encontrou-se na faixa estabelecida, sendo a menor densidade (0,3401 g/cm³) obtida com a utilização de 5% de Emustab® durante 7 minutos de agitação. A menor densidade também indica o maior volume de expansão, desta forma, esta condição igualmente foi a que apresentou a maior expansão obtida. A maior densidade (0,4653 g/cm³) foi observada na mesma concentração, no tempo de agitação de 3 minutos, evidenciando que a concentração mínima utilizada foi influenciada pelo tempo de agitação. Esta condição igualmente foi a que apresentou a menor expansão de espuma.

Chaux Gutiérrez (2015) ao avaliar os tempos de agitação 5 e 10 minutos, observou que não houve efeito significativo na diminuição da densidade da espuma de manga, optando também pelo menor tempo. Enquanto Rajkumar et al. (2007) observaram que conforme aumentava o tempo de agitação, maior era a expansão da espuma de manga Alphonso. Desta forma, os autores optaram pelo tempo de agitação de mínimo (25 minutos) em que houve

aumento significativo da expansão (não houve aumento significativo na expansão da espuma com o aumento do tempo de 25 a 30 minutos).

Para a concentração de 5% de Emustab® o tempo de agitação de 7 minutos foi adequado para a obtenção de espumas de baixa densidade, estáveis e com maior expansão. Já para a concentração de 10%, o tempo de agitação não apresentou influência significativa nas propriedades de densidade, expansão e estabilidade da espuma. Para avaliar a influência destas concentrações nas respostas de secagem, foi estabelecido o tempo de agitação de 7 minutos.

5.3 SECAGEM DE AÇAÍ EM CAMADA DE ESPUMA

Os estudos prévios foram importantes para determinar a faixa de trabalho utilizada na desidratação do açaí em camada de espuma. Os primeiros ensaios consistiram na utilização de placas de Pétri com 10 cm de diâmetro e 1 cm de profundidade, contendo 30 gramas de espuma de diferentes concentrações, levadas para estufa em diferentes temperaturas. No estudo foi realizado um delineamento composto central rotacional (DCCR), contendo quatro pontos fatoriais, quatro pontos axiais e três pontos centrais. Na tabela 5 é apresentada a matriz de planejamento utilizado neste estudo prévio, que teve como objetivo avaliar a influência das variáveis independentes de concentração de Emustab® e temperatura do ar de secagem sobre as variáveis dependentes umidade, atividade de água.

Tabela 5. Matriz de planejamento com os resultados das respostas obtidos nas diferentes concentrações (*C*) e temperaturas (*T*)

Ensaio	<i>C</i> (%)	<i>T</i> (°C)	Umidade (%)	<i>A_w</i>
1	5,00	60,00	7,0	0,6168
2	5,00	80,00	7,9	0,6787
3	10,00	60,00	10,5	0,8502
4	10,00	80,00	3,1	0,6073
5	3,96	70,00	9,7	0,7206
6	11,04	70,00	6,7	0,6632
7	7,50	55,86	3,0	0,4182
8	7,50	84,14	2,9	0,1739
9	7,50	70,00	4,3	0,5521
10	7,50	70,00	5,9	0,5753
11	7,50	70,00	4,5	0,5664

Nestes ensaios, o açaí foi desidratado no intervalo de tempo entre 150 e 450 minutos (\approx 2,5 a 7,5 horas), determinado pela não variação significativa da massa da amostra em base úmida, no decorrer do processo de secagem. A espuma formada pelo método de secagem em

camada de espuma se caracteriza por sua grande área de contato. Quando a espuma é exposta à corrente de ar quente, desidrata facilmente devido ao movimento da umidade pelas forças capilares através da película líquida que separa as bolhas da espuma (LOBO, 2017), isto resulta num processo de secagem mais rápido, em relação ao processo em que não há formação de espuma. Para obter o açaí desidratado por secagem de ar quente, Pavan, Schmidt e Feng (2012) utilizaram camadas finas de polpa de 1 a 2 cm, em bandejas de metal, na temperatura de 65°C, o processo durou aproximadamente 20 horas (1200 minutos). A secagem por ar quente, embora muito comum, envolve altas temperaturas e longos tempos de processamento, que ocasiona perdas no valor nutricional e propriedades sensoriais dos alimentos (Ratti, 2013).

O teor de umidade das espumas de açaí desidratadas pelo método da camada de espuma neste planejamento variou de 2,9 a 10,5% (Tabela 4). Esta faixa de umidade foi semelhante ao encontrado por Lobo (2017), de 4,1 a 11,2% em polpas de manga desidratadas pelo mesmo método e em condições de temperatura similares a do presente estudo (53°C a 87°C). A Anvisa (2005) preconiza que a umidade de produtos de frutas secos ou desidratados seja de até 25 %, por tanto, todas as amostras avaliadas estão de acordo com legislação, quanto ao teor de umidade.

Entretanto, nos alimentos a estabilidade microbiológica ocorre em $a_w < 0,6$ (MUJUMDAR, 2015). Neste planejamento, a A_w final dos produtos ficou entre 0,1739 a 0,8502, logo, nem todas as condições experimentais estudadas conseguiram garantir a estabilidade do produto. Pavan, Schmidt e Feng (2012) obtiveram atividades de água para açaí desidratado em *refractance window*, liofilização e utilizando ar quente de 0,240; 0,196 e 0,119, respectivamente. Atividades de água muito baixas para um alimento rico em lipídeos como o açaí, torna-se preocupante, devido a oxidação lipídica se intensificar também abaixo de atividades de água de 0,2 (MUJUMDAR, 2015).

Lobo (2017) encontrou valores de atividade de água entre 0,35 e 0,45, para manga desidratada por camada de espuma, indicado uma disponibilidade muito pequena de água para a ocorrência de reações químicas e para o crescimento microbiano.

Embora os resultados de umidade tenham estado em conformidade com a legislação, os valores de atividade de água encontrados neste planejamento não foram adequados. Além disto, houve uma grande falta de ajuste para as respostas de atividade de água. Assim, através desse primeiro estudo foi verificado as condições necessárias de secagem do açaí em camada de espuma para se obter faixas de umidade e atividade de água mais adequadas do produto em

pó. Portanto, um novo planejamento foi realizado modificando alguns dos parâmetros de secagem.

A faixa de temperatura escolhida para o novo planejamento foi de 50 a 70 °C. Também foi estabelecido o tempo médio de três horas (180 minutos) para o processo de secagem, uma vez que os novos testes foram realizados em bandejas de inox formando uma camada de espuma de aproximadamente 0,5 cm, menor em relação a camada de 1 cm das espumas desidratadas em placas de Pétri, o que permitiu não só a redução do tempo, como também que a atividade de água final dos pós estivesse dentro ou próximo da faixa de 0,3 a 0,4. Os ensaios referentes aos pontos axiais do novo planejamento foram realizados, mas, obtiveram tempos de processamento inferior ou superior a três horas, ou seja, não se enquadraram no tempo de secagem estabelecido. Ainda, os pós resultantes destes ensaios também se encontraram fora da faixa de atividade de água proposta. Assim, os pontos axiais foram excluídos do novo planejamento, e modelos lineares de segunda ordem foram suficientes para descrever as faixas de concentração e temperatura estudada.

5.3.1 Planejamento fatorial

As faixas de variação entre os limites inferior e superior de cada variável independente foram estabelecidas de acordo com ensaios prévios e dados encontrados na literatura para secagem em camada de espuma (CARVALHO et al., 2017; LOBO et al., 2017).

Para a análise e interpretação dos efeitos de todas as variáveis de resposta foi considerado o nível de significância $\alpha = 0,05$ (confiança de 95%).

Não houve diferença estatística ($p > 0,05$) entre as respostas de atividade de água, em virtude de ter-se estabelecido a faixa de 0,3 a 0,4. No entanto, como pode ser observado na tabela 6, o segundo ensaio não foi capaz de reduzir suficientemente a atividade de água para a faixa proposta. Nos ensaios prévios o mesmo comportamento foi observado: a maior concentração de aditivo (10%) seguido da menor temperatura de secagem (60°C) apresentou uma alta atividade de água (0,8502); este fato pode estar relacionado a retenção de água pelo aditivo, o que faz a amostra não atingir a faixa ideal de atividade de água, quando em baixas temperaturas e altas concentrações de aditivo.

Tabela 6. Matriz do planejamento fatorial da secagem de açaí em camada de espuma, com os resultados para Antocianinas Totais (AT), Umidade (U), L* e Atividade de água (Aw) obtidos em diferentes concentrações (C) e temperaturas (T)

Ensaio	C (%)	T (°C)	AT (C3G mg/100g b.s.)	U (%)	L*	Aw
1	10,00	70	93,81	3,5	21,69	0,3510
2	10,00	50	67,83	15,0	18,33	0,8712
3	5,00	70	105,52	5,5	23,15	0,4436
4	5,00	50	57,47	10,0	31,33	0,5024
5	7,50	60	73,36	3,5	25,93	0,4421
6	7,50	60	71,90	5,7	24,99	0,3151
7	7,50	60	83,90	4,9	23,81	0,4723

A tabela 7 apresenta os resultados da análise estatística, aplicados aos dados experimentais de antocianinas totais, de umidade e de luminância (L*) obtidos na secagem açaí em camada de espuma. Os efeitos dos fatores e da interação, destacados em negrito, são significativos a um intervalo de 95% de confiança ($p \leq 0,05$).

Tabela 7. Efeito estimado, erro puro, grau de significância estatística para Antocianinas Totais, Umidade e L*

Antocianinas Totais				
Variáveis	Efeito estimado	Erro puro	t(2)	Significância estatística (p)
Média	79,112	2,474	31,968	0,000
Concentração	-0,675	6,547	-0,103	0,927
Temperatura	37,015	6,547	5,653	0,029
Concentração x Temperatura	-11,035	6,547	-1,685	0,233
Umidade				
Variáveis	Efeito estimado	Erro puro	t(2)	Significância estatística (p)
Média	6,871	0,420	16,326	0,003
Concentração	1,500	1,113	1,347	0,310
Temperatura	-8,000	1,113	-7,184	0,018
Concentração x Temperatura	-3,500	1,113	-3,143	0,088
L*				
Variáveis	Efeito estimado	Erro puro	t(2)	Significância estatística (p)
Média	24,175	0,401	60,213	0,000
Concentração	-7,230	1,062	-6,806	0,020
Temperatura	-2,410	1,062	-2,268	0,151
Concentração x Temperatura	5,770	1,062	5,431	0,032

A faixa de antocianinas totais do planejamento esteve entre 57,47 a 105,52 mg/100g b.s. Costa et al. (2015) utilizaram um planejamento composto central rotacional (PCCR) para a secagem de açaí em leite fluidizado e encontraram valores de concentração de antocianinas na faixa de 81,07 a 269,82 mg/100g (b.s). Os autores atribuíram essas diferenças à

instabilidade das antocianinas na presença de calor, sendo suscetíveis a degradação durante o processo.

A temperatura foi a única variável com efeito estatisticamente significativo ($p \leq 0,05$) para as respostas de antocianinas totais, apresentando um efeito positivo com o aumento da temperatura, ou seja, o uso de temperaturas mais elevadas resultou em maior concentração desses compostos.

Para Tonon et. al (2010) e Costa et. al (2015) a temperatura de secagem também foi significativa na concentração de antocianinas totais de açaí desidratado, entretanto, com efeitos negativos nas respostas.

A concentração de Emustab® não foi significativa no teor de antocianinas, mas apresentou um efeito negativo, o que pode estar relacionado ao efeito de “diluição” dos pigmentos do açaí provocada pela adição do Emustab®. Embora o Emustab® apresente maior teor de sólidos (27,50%) em relação ao açaí, as concentrações de Emustab® adicionadas no presente estudo permitiram que 80 a 90% dos sólidos totais presentes nos pós fossem majoritariamente de açaí, única fonte responsável por conter antocianinas.

A umidade variou de 3,5 a 15,0 %, proporcionando pós estáveis e dentro do permitido para Anvisa (2005) em relação a umidade de produtos de frutas secos ou desidratados de até 25 %.

A temperatura para a resposta umidade foi a única variável com efeito estatisticamente significativo ($p \leq 0,05$) na secagem de açaí em camada de espuma, apresentando um efeito negativo com o aumento da temperatura. Este efeito negativo é desejável para a obtenção de baixas umidades nos produtos finais. O mesmo comportamento foi observado por Costa et al. (2015) na secagem de açaí por leite fluidizado e Tonon et al. (2010) na secagem de açaí por atomização.

Embora, para as respostas de L^* , a temperatura não tenha apresentado diferença estatística, os efeitos para a interação concentração e temperatura e para a concentração de Emustab® foram significativos. O efeito negativo apresentado na concentração de Emustab® sugere que o aumento deste aditivo resultou em pós mais escuros, ou seja, com menores valores de L^* .

Chaux-Gutiérrez et al. (2016) verificou a influência da temperatura e de diferentes aditivos, entre eles o Emustab®, nas respostas de L^* para pós de manga obtidos em camada de espuma e, apenas a concentração dos aditivos e as interações entre elas demonstraram efeitos significativos. Os autores atribuíram os altos valores de L^* ao ar incorporado durante a

etapa de produção da espuma, a qual incorpora mais ar conforme o aumento na concentração de aditivo. Para a interação concentração e temperatura o efeito foi positivo, mesmo que a variável temperatura tenha apresentado um efeito negativo e não significativo.

Eliminando-se os fatores não-significativos, verificou-se a significância da regressão e da falta de ajuste em relação a 95% de confiança ($p \leq 0,05$), através do teste F, na análise de variância (tabela 8).

Tabela 8. Análise de Variância (ANOVA) para Antocianinas Totais, Umidade e L*

Antocianinas Totais						
Fatores	Soma quadrática	Grau de liberdade	Média quadrática	F _{calculado}	F _{tabelado*}	R ²
Regressão	1370,11	1	1370,11	27,74	6,60	0,8472
Resíduo	246,98	5	49,39			
Falta de ajuste	161,24	3	53,74	1,25	19,16	
Erro puro	85,74	2	42,87			
Total	1617,09	6				
Umidade						
Fatores	Soma quadrática	Grau de liberdade	Média quadrática	F _{calculado}	F _{tabelado*}	R ²
Regressão	88,75	2	44,37	10,45	6,94	0,8390
Resíduo	16,98	4	4,24			
Falta de ajuste	14,50	2	7,25	5,85	19,00	
Erro puro	2,48	2	1,24			
Total	105,73	6				
L*						
Fatores	Soma quadrática	Grau de liberdade	Média quadrática	F _{calculado}	F _{tabelado*}	R ²
Regressão	85,56	2	42,78	15,71	6,94	0,8870
Resíduo	10,89	4	2,72			
Falta de ajuste	8,63	2	4,31	3,83	19	
Erro puro	2,25	2	1,12			
Total	96,46	6				

De maneira geral, mais de 80% da variabilidade das respostas podem ser explicadas pelos três modelos gerados (coeficientes de regressão de 0,8472; 0,8390 e 0,8870 para antocianinas totais, umidade e L*, respectivamente), representados pelas equações 6, 7 e 8.

$$\text{Antocianinas Totais (mg/100g C3G)} = 79,11 + 18,50 T \quad (6)$$

$$\text{Umidade (\%)} = 6,87 - 4,00 T \quad (7)$$

$$L^* = 24,17 - 3,61 C + 2,88 CT \quad (8)$$

Os modelos também apresentaram regressões significativas ao nível de 95% de confiança (F calculado superior ao F tabelado) e falta de ajuste não significativa no mesmo nível de confiança (F calculado inferior ao F tabelado), assim tornam-se modelos uteis.

Segundo Box e Wetz (1973), para um modelo ser considerado não só útil, mas também preditivo, o valor do F calculado deve ser superior a três ou quatro vezes o valor de F tabelado. Portanto, apenas o modelo para antocianinas totais (equação 6) atende a este critério e pode ser considerado preditivo, sendo os gráficos de superfície de resposta e de contorno para umidade e L* uteis apenas como gráficos de tendência.

Os gráficos de superfície de resposta e de contorno gerados para antocianinas totais encontram-se na figura 6. Os gráficos corroboram com o observado na análise dos efeitos (tabela 7), então, pode-se dizer que o uso de temperaturas mais elevadas resultou em maior concentração de antocianinas.

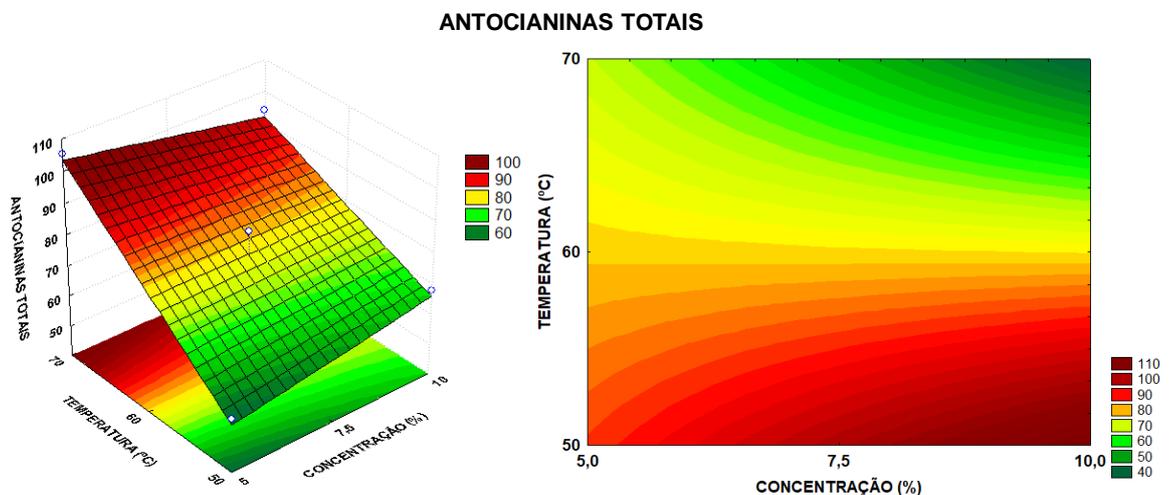


Figura 6. Gráfico de superfície de resposta e de contorno para a resposta antocianinas totais no processo de secagem em camada de espuma.

Na figura 7 pode-se verificar que a umidade dos pós tende a ser mais baixa conforme o aumento da temperatura.

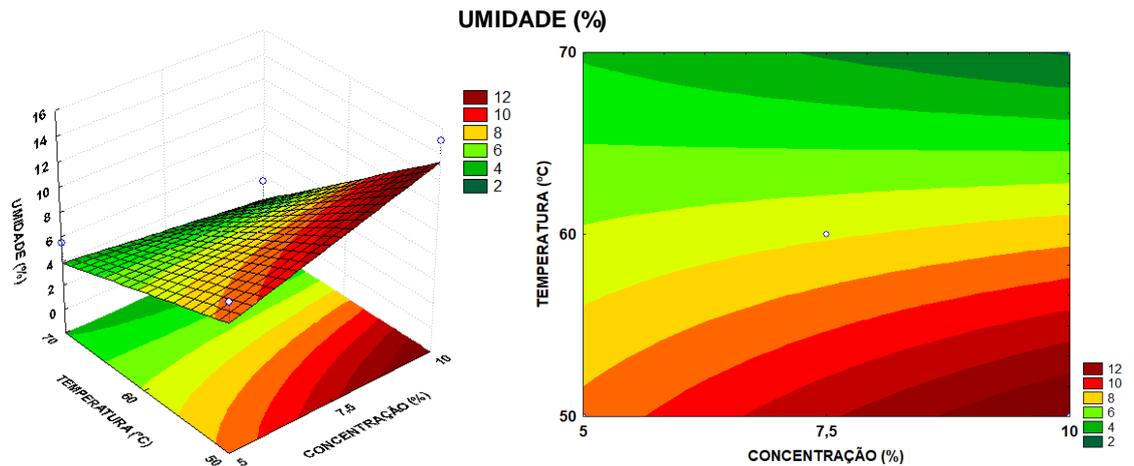


Figura 7. Gráfico de superfície de resposta e curva de nível para a resposta umidade no processo de secagem em camada de espuma.

Na figura 8, observa-se uma tendência na produção de pós mais claros, com maior valor de L^* , quando há o aumento da concentração de Emustab®.

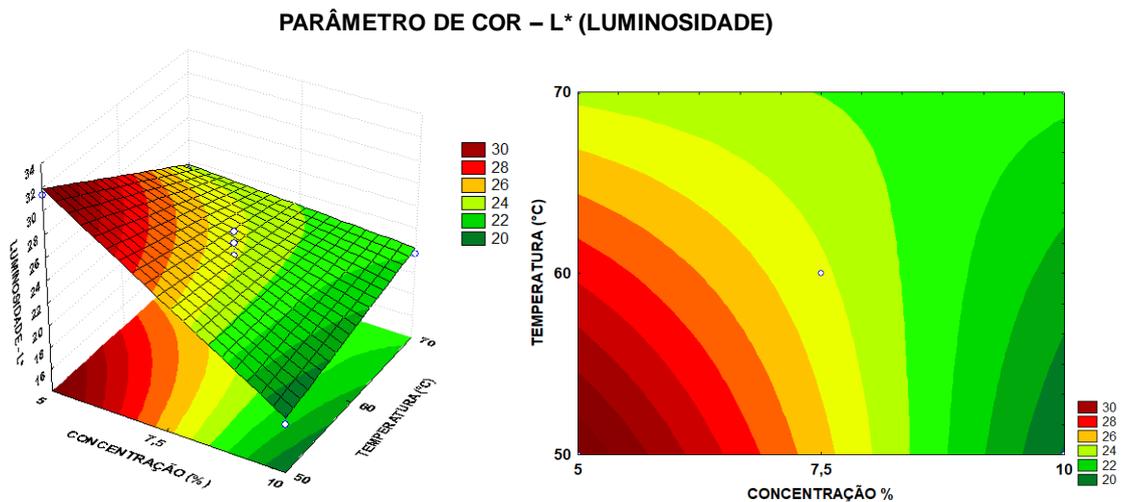


Figura 8. Gráfico de superfície de resposta e de contorno para a resposta L^* no processo de secagem em camada de espuma.

5.3.2 Otimização das condições de secagem: função desejabilidade

A estimativa das condições ótimas da secagem em camada de espuma de açaí foi realizada por meio da Função Desejabilidade, apresentada na figura 9. As características desejáveis foram estabelecidas em: maior concentração de antocianinas totais (1,0), baixa umidade (0,0) e luminosidade moderada (0,5). As linhas tracejadas verticais (em vermelho) sinalizam as condições de concentração e temperatura de máxima desejabilidade global, cujo atinge o valor de 0,9457, considerado aceitável e excelente, conforme a classificação de Akhnazarova e Kafarov (1982).

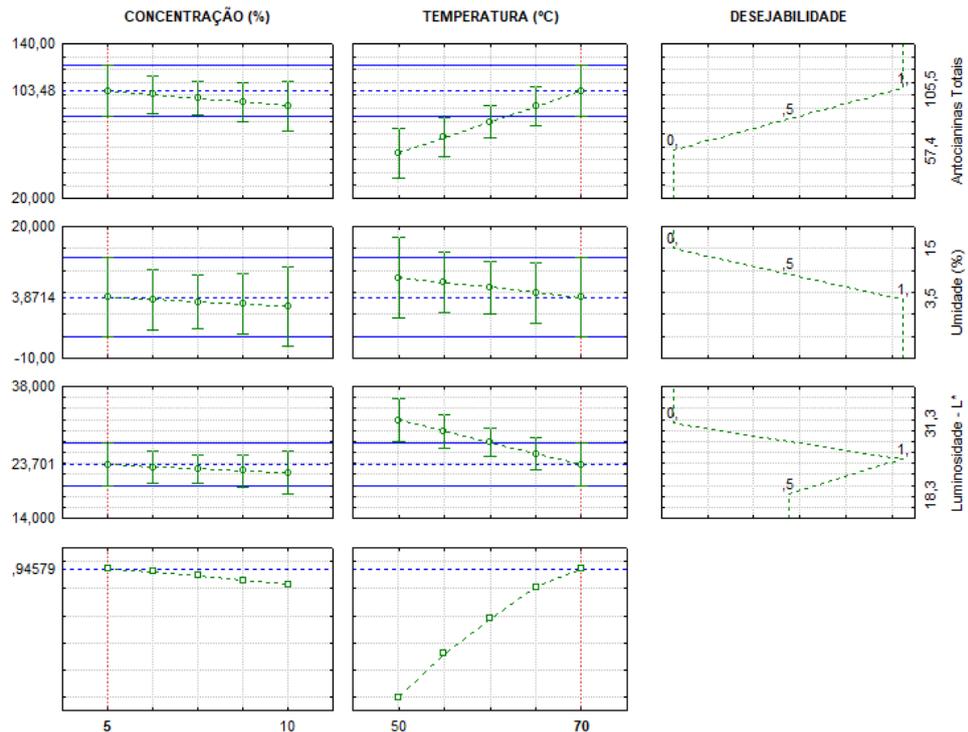


Figura 9. Perfil de desejabilidade para otimização de açaí em camada de espuma.

Portanto, o pó produzido com a concentração de 5% seguido da secagem a 70 °C, poderá apresentar valores médios de 103,48 mgC3G/100g b.s. para antocianinas totais, 3,87% de umidade e 23,7 de luminosidade.

Os resultados obtidos no perfil desejabilidade corroboram com os dados experimentais avaliados através da superfície de resposta, na qual foi observada uma tendência para utilização de baixas concentrações de Emustab® e altas temperaturas de secagem.

5.4 CARACTERIZAÇÃO DO AÇAÍ DESIDRATADO NA CONDIÇÃO OTIMIZADA

O açaí obtido na condição ótima de secagem em camada de espuma foi comparado à espuma liofilizada (contendo a mesma concentração de Emustab®) e com polpa de açaí liofilizada. Na tabela 9 encontram-se os resultados para umidade, atividade de água e análise da cor.

Quanto à umidade dos açaís desidratados, a espuma de açaí liofilizada (EL) apresentou a maior média e diferença estatística ($p \leq 0,05$) em relação ao açaí liofilizado (AL) e ao açaí obtido na condição ótima de secagem em camada de espuma (ES), que não apresentaram diferenças entre si ($p > 0,05$).

A atividade de água também foi maior para a EL, apresentando diferença estatística ($p \leq 0,05$) entre os demais. Este fator pode estar relacionado a retenção da água pelo aditivo, como foi observado nos pontos do planejamento experimental (tabela 5) que ao secar em baixas temperaturas não atingiu valores baixos para atividade de água.

Tabela 9. Resultado das médias de açais desidratados para umidade, atividade de água (A_w) e parâmetros de cor (L^* , a^* , b^* , C^* e h)

	AL	EL	ES
Umidade (%)	6,65 ± 0,35 b	9,1 ± 0,28 a	6,35 ± 0,63 b
A_w	0,4871 ± 0,04 b	0,7077 ± 0,00 a	0,3798 ± 0,37 b
L^*	27,43 ± 0,02 a	20,31 ± 0,26 c	23,48 ± 0,46 b
a^*	9,17 ± 0,17 a	4,20 ± 0,30 c	8,05 ± 0,18 b
b^*	5,18 ± 0,05 b	2,83 ± 0,24 c	9,29 ± 0,02 a
C^*	10,31 ± 0,14 b	5,18 ± 0,03 c	12,30 ± 0,10 a
h	29,23 ± 0,48 b	30,98 ± 0,13 b	49,10 ± 0,70 a

Resultados expressos por média ± desvio padrão. Médias seguidas da mesma letra na mesma linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

Todos os açais desidratados diferiram quanto aos parâmetros de cor L^* , a^* , b^* e C^* . Apenas AL e EL não diferiram ($p > 0,05$) em relação a tonalidade (h). Estas diferenças na coloração podem ser observadas visualmente na figura 10.

Grosso modo, os baixos valores de L^* indicam que os pós são escuros. Os valores de a^* positivos demonstram a predominância da coloração vermelha sobre a verde (a^* negativo), sendo também positivos os valores de b^* , indicadores da predominância da coloração amarela sobre a azul (b^* negativo). A intensidade da cor indicada por C^* foi baixa em todas as amostras, indicando uma cor acinzentada, fraca ou diluída. A tonalidade da cor (h) em todos os açais desidratados esteve entre 0° (referente ao amarelo + a^*) e 90° (referente ao amarelo + b^*).

A tabela 10 apresenta os valores de antocianinas totais encontrados em diferentes condições da matéria-prima: não processada, transformada em espuma e após a secagem em camada de espuma.

A estabilidade do açai em relação a cor, antioxidantes e polifenóis é influenciada pelo processamento, armazenamento e temperatura, além de depender das interações entre os componentes da própria matriz (PACHECO-PALENCIA et al., 2007). Sendo assim, a determinação das antocianinas totais se torna um critério importante na avaliação do processo de secagem de açai em camada de espuma.

Tabela 10. Valores de antocianinas totais para açaí *in natura* e liofilizado, espuma com 5% de Emustab® *in natura* e liofilizada e espuma com 5% de Emustab® desidratada à 70°C pelo método de secagem em camada de espuma

Amostra	Antocianinas Totais (mgC3G/100g b.s.)
Açaí <i>in natura</i>	345,42 ± 25,87 a
Açaí Liofilizado	404,56 ± 46,96 a
Espuma 5% <i>in natura</i>	331,23 ± 5,05 a
Espuma 5% liofilizada	376,10 ± 4,79 a
Espuma 5% desidratada à 70°C	92,29 ± 8,16 b

Resultados expressos por média ± desvio padrão. Médias seguidas da mesma letra na mesma coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

Não houve diferença significativa ($p > 0,05$) entre o processo de transformação do açaí em espuma, embora o açaí *in natura* e o liofilizado tenham apresentado maiores médias quando comparados às espumas *in natura* e a liofilizada, respectivamente. Isto pode ser explicado pela incorporação do ar à matéria-prima durante a formação de espuma, dada à instabilidade das antocianinas na presença de agentes como oxigênio, luz, calor etc. (TONON et al, 2010). Nota-se diferença também entre os valores das médias dos açaís e das espumas liofilizados em relação às suas formas *in natura*. Diferenças na quantificação das médias de antocianinas do açaí líquido e liofilizado também foi observado por Souza (2015). Uma possível justificativa é que as matrizes quando transformadas em pó adquiriram maior área superficial e proporcionou maior eficiência na extração das antocianinas, o que consequentemente refletiu na sua quantificação.

A concentração de antocianinas foi expressivamente maior nas amostras desidratadas pela liofilização em relação as amostras desidratadas em camada de espuma à 70°C, existindo diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre os dois processos.

Carvalho et al. (2017) avaliaram as mudanças qualitativas e quantitativas das antocianinas presentes em suco de jambolão desidratado por camada de espuma e por liofilização; como resultado, os dois processos não diferenciaram estatisticamente na concentração de antocianinas totais. Através dos resultados, os autores reforçam como a estrutura das antocianinas pode influenciar na sua estabilidade; as antocianinas 3-glicosídicas foram mais instáveis e mais reativas do que as derivadas de antocianinas 3,5-diglicosídicas, especialmente a cianidina-3-glicosídeo. Ou seja, normalmente, antocianinas diglicosídicas são mais estáveis do que as monoglicosídicas.

No açaí as antocianinas majoritárias são monoglicosídicas (ROGEZ, 2000; GALORI et al., 2004; PACHECO-PALENCIA et al, 2007; GOUVÊA, 2010; BICHARA e ROGEZ,

2011), sendo estas muito mais instáveis ao calor, oxigênio, luz, etc., agentes bastante presentes no processo de secagem em camada de espuma.

O método de quantificação de antocianinas totais no presente estudo foi o método do pH diferencial. Segundo Lao e Giusti (2016), o método do pH diferencial é uma ótima alternativa para quantificação de antocianinas totais, produzindo resultados muito similares ao método de cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE ou HPLC), quando utilizado o comprimento de onda apropriado (2016). Entretanto, Gouvêa (2010), ao quantificar antocianinas de açaí pelo método do pH diferencial e por HPLC, observou que o método do pH diferencial superestimou a quantidade de antocianinas, devido à presença de possíveis substâncias que interferiram apenas nos resultados provenientes da análise de quantificação por pH diferencial e não nos resultados cromatográficos. Além disso, o autor apresenta como antocianina majoritária do açaí a cianidina-3-rutenosídeo e não a cianidina-3-O-glucosídeo, e justifica que os erros na determinação também estão relacionados aos dados como massa molar e coeficiente de absorvidade (utilizados para a quantificação das antocianinas totais pelo método do pH diferencial), os quais não provem da antocianina majoritária do açaí.

Deve-se enfatizar que método do pH diferencial é uma medida dos pigmentos das antocianinas monoméricas e o resultado pode não estar correlacionado a intensidade da cor do produto, ou seja, como é percebida visualmente. Isso porque as antocianinas poliméricas e pigmentos marrons decorrentes do escurecimento enzimático, a reação de Maillard e a degradação das antocianinas também contribuem para a intensidade da cor (ASKAR e TREPTOW, 1993).

Através da figura 10 é possível perceber visualmente a diferença na coloração dos açaís desidratados na melhor condição da secagem em camada de espuma, da espuma liofilizada produzida com a mesma concentração do processo otimizado e da polpa de açaí liofilizada. O açaí desidratado em camada de espuma visualmente apresentou coloração marrom, isso pode estar relacionado à perda das antocianinas e ao escurecimento enzimático durante o processo de secagem. O escurecimento do produto é indesejável, uma vez que os consumidores sempre o atribuem à má qualidade, e, para minimizar este efeito sugere-se a adição de agentes anti-escurecimento (KARIM e CHEE-WAI, 1999).



Figura 10. Pó de açaí obtido por: espuma com 5% de Emustab® desidratada em estufa à 70°C, espuma com 5% de Emustab® liofilizada, polpa liofilizada, respectivamente.

Alguns estudos sobre secagem em camada de espuma relacionam o escurecimento dos produtos finais às altas temperaturas (KARIN; WAI, 1999; KANDASAMY et al., 2012; FRANCO et al, 2015). Franco et al (2010) atribuem uma série de fatores que podem estar relacionados ao escurecimento acentuado, dentre elas, a atividade enzimática, também bastante presente no suco de yacon e que, durante a secagem, a temperatura estimula a atividade das enzimas peroxidase (POD) e polifenoloxidase (PPO), promovendo a degradação dos compostos fenólicos e gerando pigmentos pretos ou marrons.

O açaí apresenta naturalmente as enzimas POD e PPO, responsáveis pelo escurecimento enzimático; a pasteurização do açaí com adição de ácido cítrico permite a inativação destas enzimas e proteção parcial das antocianinas (ROGEZ, 2000). Na polpa de açaí pasteurizada as antocianinas decrescem linearmente e seguem uma cinética de primeira ordem, enquanto na polpa não-pasteurizada a degradação das antocianinas segue uma cinética de segunda ordem e estas decrescem exponencialmente (ALBARICI; PESSOA, 2012). Entretanto, o açaí utilizado no atual estudo, embora fornecido de uma empresa, não sofreu nenhum tratamento térmico prévio. Ainda, o ar incorporado na espuma associado as temperaturas utilizadas, pode ter contribuído na degradação.

Contudo, o valor de antocianinas totais para o açaí desidratado em camada de espuma foi similar ao encontrado em suco de amora-silvestre atomizado (DÍAZ et al., 2015) e polpa de jaboticaba atomizada (LANCHA et al., 2012). Assim, o açaí desidratado por camada de espuma pode ser utilizado em formulações, uma vez que também tem sido bastante utilizado fora da região amazônica em misturas com banana, guaraná, leite condensado e cereais (OLIVEIRA; SCHWARTZ, 2018).

Ainda, o açaí desidratado é uma boa opção para garantir a disponibilidade da fruta durante períodos entressafra, facilitar transporte e o armazenamento. A secagem em camada de espuma pode ser utilizada como ferramenta de secagem mais simples.

5.5 CONSUMO ENERGÉTICO

A tabela 11 dispõe o estudo comparativo de três processos de secagem para obtenção de açaí desidratado. O estudo pode ser visto detalhadamente nas tabelas A e B, presentes no Apêndice A.

Propôs-se a utilização de duas batedeiras industriais a com capacidade de 80 litros, devido a expansão da espuma ($\approx 59\%$, conforme tabela 4) e a utilização de um secador de bandejas, contendo 96 bandejas. Embora o volume das bandejas seja 10 litros, foi considerada a camada de 5 mm de espuma nas bandejas, totalizando 1,65 litros por bandeja. Ao considerar a potência das batedeiras, ambas trabalhando por sete minutos, mais a potência do secador de bandejas durante as três horas de secagem, o processo de secagem de açaí em camada de espuma consumiria 54,7 kWh.

Tabela 11. Estudo do consumo energético de diferentes processos para obtenção de açaí desidratado

	Processos de secagem		
	Liofilização	Atomização	Secagem em camada de espuma
Consumo energético total (kWh)	2652	300	54,7
Tempo do processo	48	20	3,12
Capacidade máxima inicial (kg)	100	100	100
Rendimento do processo (%)	99,75*	78,61*	86,17

*fonte: Monteiro, 2011.

Para o processo de liofilização foi considerado o consumo energético no tempo de 24 horas para a etapa de congelamento do açaí, cuja demanda seria de 12 kWh, mais o tempo de 48 horas no liofilizador, totalizando 2652 kWh para o processamento de 100 litros de açaí.

No consumo energético do processo de atomização foi considerado a utilização do atomizador durante 20 horas para processar 100 litros de açaí.

Quanto ao rendimento, o menor valor para o processo de atomização se deve provavelmente pelas perdas de pó que fica aderido no equipamento durante o processo, diferentemente da liofilização onde o rendimento é aproximadamente 100% (MONTEIRO, 2011). Na secagem em camada de espuma as perdas podem ocorrer pela quantidade de

espuma não totalmente transferida da batadeira (retidas nas hastes do equipamento) para as bandejas e do pó retido nas paredes das bandejas, mesmo após a raspagem.

Costa et al. (2015) estudou o rendimento do processo de secagem de açaí em leito de jorro e observou uma variação considerável de 26,59 a 67,20%, nos quais o aumento da temperatura, do fluxo de ar e da concentração de maltodextrina contribuíram para um maior rendimento. Monteiro (2011) também constatou a influência do aumento da temperatura e da concentração de maltodextrina no aumento do rendimento na produção de açaí atomizado. Assim, a secagem de açaí em camada de espuma possui um bom rendimento em relação aos processos de secagem por atomização e em leito de jorro.

Como pode ser observado na tabela 11, a secagem de açaí em camada de espuma apresenta menor tempo de processamento e é menos intensivo em energia.

6 CONCLUSÃO

Dentre os aditivos testados, o Emustab® foi o mais adequado na formação de espuma de açaí. Embora a temperatura de secagem tenha apresentado efeito positivo sobre as antocianinas totais, nas variações de concentrações e temperaturas avaliadas, houve perdas (cerca de 1/3) significativas destes pigmentos em relação aos pós de açaí e espuma liofilizados. Apesar da perda da coloração, o açaí obtido por secagem em camada de espuma apresentou 92,29 mgC3G/100g b.s. de antocianinas totais, comparável ao suco de amora-silvestre e ao de jabuticaba desidratados por atomização e pode ser utilizado em formulações. Com base nas estimativas do consumo energético, a secagem em camada de espuma demonstrou-se mais vantajosa, por consumir menos energia durante todo o processo. Assim, a secagem em camada de espuma pode ser utilizada como uma alternativa de secagem mais simples para a obtenção de açaí desidratado. Mais estudos são necessários para avaliar a obtenção de açaí em pó, pelo método da camada de espuma, bem como suas possíveis aplicações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA – ANVISA. Resolução da Diretoria Colegiada - RDC nº 272, de 22 de setembro de 2005. Dispõe sobre o Regulamento Técnico para produtos de vegetais, produtos de frutas e cogumelos comestíveis. Diário Oficial da República Federativa do Brasil: Brasília, DF, 2005.

AKHNAZAROVA, S.; KAFAROV, V. **Experiment optimization in chemistry and chemical engineering**. Moscow: Mir, 1982.

ALBARICI, T. R.; PESSOA, J. D. C. Effects of heat treatment and storage temperature on the use of açai drink by nutraceutical and beverage industries. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, v.32, n.1, p. 9-14, 2012.

AOAC. **Association of Official Agricultural Chemists**. Official Methods of Analysis. 16 ed. Gaithersburg: AOAC; 1997.

ARAÚJO, C. S.; MACEDO, L. L.; VIMERCATI, W. C.; SARAIVA, S. H.; OLIVEIRA, A. do N.; TEIXEIRA, J. Q. Cinética de secagem de acerola em leito de espuma e ajuste de modelos matemáticos. **Braz. J. Food Technol.** Campinas – SP, v. 20, e2016152, 2017.

ASKAR, A. TREPTOW, H. **Quality Assurance in Tropical Fruit Processing**. Springer laboratory, 1993.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Análise mensal. **Açai (fruto) – Conab**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 28/06/2019.

BOX, G. E. P.; WETZ, J. **Criteria for judging adequacy of estimation by an approximate response function**, n. 9. University of Wisconsin Technical Report: Madison, 1973.

BRASIL. Ministério da Agricultura do Abastecimento. Instrução Normativa nº 01/00, de 07/01/00. **Regulamento técnico geral para fixação dos padrões de identidade e qualidade para polpa de fruta**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 10 jan. 2000. Seção 1, p.54-58.

CANUTO, G. A. B.; XAVIER, A. U. O.; NEVE, L. C.; BENASSI, M. T. Caracterização Físico-Química de Polpas de Frutos da Amazônia e sua Correlação com a Atividade Anti-radical Livre. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal - SP, v. 32, n. 4, p. 1196-1205, 2010.

CARVALHO, T. I. M.; NOGUEIRA, T. Y. K.; MAURO, M. A.; GÓMEZ-ALONSO, S.; GOMESA, E.; SILVA, R.; HERMOSÍN-GUTIÉRREZ, I.; LAGO-VANZELA, E. S. Dehydration of jambolan [*Syzygium cumini* (L.)] juice during foam mat drying: Quantitative and qualitative changes of the phenolic compounds. **Food Research International**, v. 102, p. 32–42, 2017.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Análise mensal. **Açai (fruto) – Conab**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 28/06/2019.

CHAUX GUTIÉRREZ, A. M. **Desidratação de polpa de manga em leito de espuma com e sem intermitência térmica**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) – Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", São José do Rio Preto, 2015.

COSTA, R. G.; ANDREOLA, K.; MATTIETTO, R. A.; FARIA, L. S. G.; TARANTO, O. P. Effect of operating conditions on the yield and quality of açai (*Euterpe oleracea* Mart.) powder produced in spouted bed. **Food Science and Technology**, v. 64, p. 1196-1203, 2015.

DÍAZ, D. I.; BERISTAIN, C. I.; AZUARA, E.; LUNA, G.; JIMENEZ, M. Effect of wall material on the antioxidant activity and physicochemical properties of *Rubus fruticosus* juice microcapsules. **Journal of Microencapsulation**, v. 32, n. 3, p. 247–254., 2015.

FEITOSA, R. M.; de FIGUEIREDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. de M.; LIMA, F. C. dos S.; de OLIVEIRA, E. N. A. Drying and characterization of myrtle pulp. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.21, n.12, p.858-864, 2017.

FELLOWS, P. J. **Food processing technology: Principles and practice**. 3 ed. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2009.

FERNETO. Disponível em: <<http://ferneto.com/equipamentos/batedeiras>>. Acesso em: 01/07/2019.

FERREIRA, M. N. **Estudo da secagem de jabuticaba (polpa e casca) pelo método de camada de espuma**. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Escola Agrônômica, da Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.

FRANCO, T. S.; PERUSSELLO, C. A.; ELLENDERSEN, L. de S. N. MASSON, M. L. Foam mat drying of yacon juice: Experimental analysis and computersimulation. **Journal of Food Engineering**, v.158, p.48–57, 2015.

FREITAS, R. C. P. **Caracterização do Processo de Secagem em Leito de Espuma para Obtenção de Pó de Manga Ubá**. 2016. Tese (doutorado em Engenharia Agrícola) – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2016.

GALLORI, S.; BILIA A. R.; BERGONZIL, M. C.; BARBOSA, W. L. R.; VINCIERI, F. F. Polyphenolic Constituents of Fruit Pulp of *Euterpe oleracea* Mart. (Açai palm). **Chromatographia**, v. 59, n. 11/12, p. 739–743, 2004.

GALANAKIS, C. M.; BARBA, F. J.; PRASAD, K. N. **Cost and safety issues of emerging technologies against conventional techniques**. In: GALANAKIS, Charis. **Food Waste Recovery**, 2015, p. 321–336.

GIUSTI, M.M.; WROLSTAD, R.E. **Current Protocols in Food Analytical Chemistry**. Nova York: Wiley, 2001.

GOUVÊA, A. C. M. S. **Quantificação das antocianinas majoritárias do açai por cromatografia líquida de alta eficiência**. Seropédica, 2010. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Instituto de Tecnologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2010.

IAL. INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 1ª Edição Digital, 2008.

JANGAM, S. V.; LAW, C. L.; MUJUMDAR, A. S. **Drying of Foods, Vegetables and Fruits (Volume 1)**. 2010.

KANDASAMY, P.; VARADHARAJU, N.; KALEMULLAH, S.; MOITRA, R. Production of papaya powder under foam-mat drying using methyl cellulose as foaming agent. **Asian Journal of Food and Agro-Industry**, v.5, n.5, p.374-387, 2012.

KARIM, A. A.; WAI, C. C. Foam-mat drying of starfruit (*Averrhoa carambola* L.) purée. Stability and air drying characteristics. **Food Chemistry**, v.64, n.3, p. 337-343, 1999.

LANCHA, J. P.; GERMER, S. M. M.; DEA, R. C. D.; FERRARI, C. C.; ALVIM, I. D. Desidratação de polpa de pitanga e jabuticaba em *spray dryer*: condições de processo e propriedades físico-químicas do pó. In: 6º CONGRESSO INTERINSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA – CIIC, 02 2012, Janguariúna. **Anais [...]**, Janguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2012.

LAO, F.; GIUSTI, M. M. Quantification of Purple Corn (*Zea mays* L.) Anthocyanins Using Spectrophotometric and HPLC Approaches: Method Comparison and Correlation. **Food Anal. Methods**, v.9, n.5, p.1367-1380, 2016.

LABMAQ. Disponível em: <<http://www.labmaqdobrasil.com.br/>>. Acesso em: 01/07/2019.

LOBO, F.A.; NASCIMENTO, M. A.; DOMINGUES, J. R.; FALCÃO, D. Q; HERNANZ, C.; HEREDIA, F. J.; ARAUJO, K. G. L. Foam mat drying of Tommy Atkins mango: Effects of air temperature and concentrations of soy lecithin and carboxymethylcellulose on phenolic composition, mangiferin, and antioxidant capacity. **Food Chemistry**, 221, 258–266, 2017.

MARQUES, L. G.; PRADO, M. M.; FREIRE, J. T. Rehydration characteristics of freeze-dried tropical fruits. **LWT - Food Science and Technology**. v. 42, n. 7, p. 1232–1237 2009.

MONTEIRO, R. B. B. **Produção de açaí (*Euterpe oleracea* mart.) em pó desengordurado através de processo combinado de desidratação e extração supercrítica**. Belém, 2011. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2011.

MOUNIR, S. Foam Mat Drying. In: **Drying Technologies for Foods**. 2017.

MUJUMDAR, A. S. **Handbook of Industrial Drying**. 4 ed. Boca Raton: CRC Press, 2015.

MUTHUKUMARAN, A.; RATTI, C; RAGHAVAN, V. G. S. Foam-Mat Freeze Drying of Egg White and Mathematical Modeling Part I Optimization of Egg White Foam Stability. **Drying Technology: An International Journal**, v. 26, n. 4, p. 508-512, 2003.

OLIVEIRA, M. S. P.; SCHWARTZ, G. Açaí – *Euterpe oleracea*. In: **Exotic Fruits Reference Guide**. 1. Ed. Elsevier, 2018. p. 1-5.

PACHECOPALENCIA, L.; HAWKEN, P.; TALCOTT, S. Juice matrix composition and ascorbic acid fortification effects on the phytochemical, antioxidant and pigment stability of açai (*Euterpe oleracea* Mart.). **Food Chemistry**, v.105, n.1, p.28–35, 2007.

PAVAN, M. A.; SCHMIDT, S. J.; FENG, HAO. Water sorption behavior and thermal analysis of freeze-dried, Refractance Window-dried and hot-air dried açai (*Euterpe oleracea* Martius) juice. **LWT - Food Science and Technology**, v. 48, n. 1, 75-81, 2012.

PEREIRA, E. A.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, M. F. R. Massa específica de polpa de açai em função do teor de sólidos totais e da temperatura. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.3, p.526-530, 2002.

RAJKUMAR, P.; KAILAPPAN, R.; VISWANATHAN, R.; RAGHAVAN, G. S. V.; RATTI, C. Foam Mat Drying of Alphonso Mango Pulp, **Drying Technology: An International Journal**, v. 25, n.2, p. 357-365, 2007.

RATTI, C. **Freeze drying for food powder production** In: Bhandari, B.; Bansal, N.; Zhang, M., **Handbook of Food Powders: Processes and Properties**, 2013, p. 57 – 84.

ROCHA, C. T. **Obtenção de suco misto de açai, morango e acerola em pó por diferentes processos de secagem**. 2013. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2013.

ROGEZ, H. R. **Açai: preparo, composição e melhoramento da conservação**. Belém: EDUFPA, 2000, p. 313.

RONCHETI, E. F. S. **Estudo do processo de secagem em leito de espuma de cenoura, tomate, beterraba e morango**. 2014. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2014.

SAUMA, J.; MAIA, C. **Caminhos do açai: Pará produz 95% da produção do Brasil, fruto movimenta US\$ 1,5 bi e São Paulo é o principal destino no país**. G1 – PA. Disponível em: <<https://g1.globo.com/pa/para/noticia/2019/03/15/caminhos-do-acai-para-produz-95-da-producao-do-brasil-fruto-movimenta-us-15-bi-e-sao-paulo-e-o-principal-destino-no-pais.ghtml>>, Acesso em: 20/04/2019.

SHIV SHAKTI. Disponível em: <<http://www.shivshaktiequipments.com/traydryers.php>> Acesso em: 01/07/2019.

SIDOLIM. Disponível em: <<http://sentinainc.com>>. Acesso em: 01/07/2019.

SILVA, S. R.; LOPES, P.C.; MARTINS, T.R.; ELLER, L. K. W. Avaliação de Parâmetros Microbiológicos para Determinar as Condições Higiênico Sanitárias em Preparações de “Açai na Tigela” Comercializados em Presidente Prudente – SP. **Colloquium Vitae**, v.10, n.1, p.1-9, 2018.

SOUZA, P. G. **Produção e Caracterização de Açai (*Euterpe oleracea* Mart.) Desidratado em Pó por Casttpe Drying**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

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

VIMERCATI, WC; ARAÚJO, CS; MACEDO, LL; TEIXEIRA, LJQ; SARAIVA, SH. Ajustes de Modelos Matemáticos à Cinética de Secagem de Polpa de Morango (*Fragaria* sp.). *In: XX Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, XVI Encontro Latino Americano de Pós-Graduação e VI Encontro de Iniciação à Docência, São José dos Campos. Anais [...].* São José dos Campos: Universidade do Vale do Paraíba, 2016.

WOODROOF, J. G.; LUH, B. S. **Commercial fruit processing 2 ed.** Connecticut: The AVI Publishing Company, 1986.

YAMAGUCHI, K. K. L.; PEREIRA, L. F. R.; LAMARÃO, C.V.; LIMA, E. S.; VEIGA-JUNIOR, V. F. Amazon acai: Chemistry and biological activities: A review. **Food Chemistry**, v. 179, p. 137–151, 2015.

ZANG, M.; BHANDARI, B; FANG, B. **Handbook of Drying of Vegetables and Vegetable Products.** Boca Raton: CRC Press, 2017.

APÊNDICE A

Tabela A. Equipamentos utilizados para a estimativa do consumo energético dos diferentes processos de desidratação de açaí

Fornecedor	Equipamento/modelo	Capacidade (L)	Po (kW)
Ferneto	Batedeira industrial (BTI080i)	80	3
Shiv Shakti	Secador de bandejas (SS-96)	960*	18
SiDoLim	<i>Ultrafreezer</i> (86-118-H)	118	0,5
SiDoLim	Liofilizador (SDL-PFD-100)	100	55
LabMaq	Atomizador (<i>Spray Dryer</i> SD 5.0)	100	15

*Equipamento com 96 bandejas (406mm x 812mm x 32mm \approx 10 litros cada bandeja)

Tabela B. Estimativa da energia (E) consumida por cada equipamento ao processar 100 litros de açaí, a partir da potência (Po), tempo de funcionamento e repetições durante o processo

Equipamentos	Operação dos equipamentos			
	Po (kW)	Tempo (min.)	n° de vezes	E (kWh)
<i>Ultrafreezer</i>	0,5	1440	1	12,0
Liofilizador	55,0	2880	1	2640,0
Atomizador	15,0	60	20	300,0
Batedeira	3,0	7	2	0,7
Estufa	18,0	180	1	54,0