

SECAGEM DO RESÍDUO DE JAMBOLÃO EM LEITO DE JORRO

LARA POSES MUSSI

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE
DARCY RIBEIRO**

**CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
FEVEREIRO DE 2014**

SECAGEM DO RESÍDUO DE JAMBOLÃO EM LEITO DE JORRO

LARA POSES MUSSI

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestrado em Produção Vegetal.

Orientadora: Prof^a Nádía Rosa Pereira

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ

FEVEREIRO DE 2014

FICHA CATALOGRÁFICA

Preparada pela Biblioteca do **CCTA / UENF** 062/2014

Mussi, Lara Poses

“Secagem do resíduo de jambolão em leite de jorro” / Lara Poses
Mussi. – 2014.
84 f. : il.

Orientador: Nádya Rosa Pereira.

Dissertação (Mestrado - Produção Vegetal) – Universidade
Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e
Tecnologias Agropecuárias. Campos dos Goytacazes, RJ, 2014.

Bibliografia: f. 57 – 62.

1. Fluidodinâmica 2. *Syzygium cumini* 3. Conservação de alimentos
4. Antocianinas 5. Planejamento experimental 6. Atividade
antioxidante I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy
Ribeiro. Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. II. Título.

CDD – 664.0284

SECAGEM DO RESÍDUO DE JAMBOLÃO EM LEITO DE JORRO

LARA POSES MUSSI

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestrado em Produção Vegetal.

Aprovada em 20 de Fevereiro de 2014.

Comissão Examinadora



Prof. Gustavo César Dacanal (Doutor em Engenharia de Alimentos) –
USP/Pirassununga



Profª Karla Silva Ferreira (Doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos) –
UENF/CCTA/LTA



Prof. Pedro Amorim Berbert (Ph.D em Engenharia Agrícola) – UENF/CCTA/LEAG



Profª Nádia Rosa Pereira (Doutora em Engenharia de Alimentos) – UENF/CCTA/LTA
Orientadora

*"A descoberta consiste em ver o que
todo mundo viu e pensar o que ninguém
pensou".*

A. Szent-Gyorgyi

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, equilíbrio de minha vida, pelo incentivo e apoio em todas as minhas decisões. Não seria nada e não estaria onde estou sem a presença, o amor e a compreensão deles.

AGRADECIMENTOS

À Deus, presença marcante, que me fortaleceu ao longo dessa caminhada, agradeço-lhe todos os dias por mais uma etapa vencida em minha vida.

Aos meus pais, César e Tenilza, pela dedicação, pelo amor e pelo zelo, enfim, por tudo que sempre fizeram por mim, minha gratidão. Levo para minha vida o que de mais precioso recebi de vocês: o caráter.

Árvores fornecem sombras e sob elas nos refrescamos, assim foi com minha família que me deu suporte, especialmente meus padrinhos, meu tio Nêmer e meus primos, meu reconhecimento pelo incentivo recebido.

Registro agradecida a presença impar do meu amor Diógenes Neto, por todo apoio, incentivo, amor e paciência.

Agradeço a presença-qualidade da professora Nádia Rosa Pereira pela orientação profissional somada à confiança depositada em mim como prova de amizade. Levarei seus conselhos para a vida.

Ao professor André que colocou à minha altura sua sabedoria como mestre e, principalmente, pela ajuda, pela colaboração e pelo aprendizado durante as realizações da análise de fotoacústica, meu agradecimento.

Aos professores da banca pela colaboração, contribuindo para engrandecer o trabalho.

Aos professores do LTA: Victor Haber Perez, Meire Lelis Leal Martins, Daniela Barros de Oliveira, Selma Bergara Almeida, Karla Silva Ferreira, Éder Dutra de Resende por toda assistência oferecida.

À técnica do laboratório Valdinéia por sempre estar disposta em ajudar a todos, meu particular apreço pelo que acrescentou ao meu trabalho.

Ao Francemir, ao Thiago e a Pollyane que me ajudaram na colheita dos frutos de jambolão. Obrigada pela contribuição ao meu trabalho.

Às minhas amigas, Pollyane Corrêa e Ana Sílvia Boroni, companheiras de batente no laboratório. O dia a dia fortaleceu nossa amizade e companheirismo ao longo desses 2 anos. A reciprocidade foi nossa aliada que cobriu os pontos fracos que pudessem existir. Sentirei muitas saudades... Vocês são especiais!

Aos colegas do laboratório de tecnologia de alimentos Larissa, Lucy, Fernando, Wellington, Letícia, Simone, Suellen, Geovany, Euripedes, Geraldo, Diana, Lázaro, Patrícia e René por todo momento de descontração e de muito estudo também.

Às minhas amigas Júlia, Thaís, Andresa, Fabiana, Rebeka, Roberta e Pollyana pela amizade de sempre e por todo apoio.

A FAPERJ, a CNPq e a UENF minha gratidão pelo indispensável apoio financeiro, que determinou o rumo dessa pesquisa.

E a todos que ajudaram de alguma forma para a realização desse trabalho e que acreditaram em mim para que eu conseguisse vencer mais essa etapa, muito obrigada!

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS -----	x
LISTA DE TABELAS -----	xiii
RESUMO -----	xv
ABSTRACT -----	xvii
1. INTRODUÇÃO -----	1
2. REVISÃO DE LITERATURA -----	4
2.1. Característica do jambolão -----	4
2.2. Secagem -----	8
2.3. Secagem em leito de jorro-----	11
3. OBJETIVOS -----	14
3.1. Objetivo Geral-----	14
3.2. Objetivos Específicos -----	14
4. MATERIAIS E MÉTODOS -----	15
4.1. Caracterização da matéria-prima -----	15
4.2. Metodologia Experimental -----	17
4.2.1. Processo de secagem em leito de jorro-----	17
4.2.3. Planejamento experimental-----	19
4.2.2. Caracterização físico-química das partículas de resíduo de jambolão	20
4.2.2.1. <i>Determinação do teor de umidade</i> -----	20
4.2.2.2. <i>Determinação do teor de sólidos solúveis totais (SST)</i> -----	21

4.2.2.3. <i>Determinação da atividade de água</i> -----	21
4.2.2.4. <i>Determinação da acidez total titulável</i> -----	21
4.2.2.5. <i>Determinação do pH</i> -----	22
4.2.2.6. <i>Determinação de minerais</i> -----	22
4.2.2.7. <i>Determinação de antocianinas totais</i> -----	22
4.2.2.8. <i>Determinação da atividade antioxidante</i> -----	24
4.2.2.9. <i>Distribuição do tamanho de partículas</i> -----	25
4.2.2.10. <i>Massa específica do leite</i> -----	26
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO -----	27
5.1. Caracterização do jambolão-----	27
5.2. Fluidodinâmica do resíduo de jambolão no secador de leite de jorro-----	30
5.3. Cinética de secagem em leite de jorro-----	32
5.4. Caracterização físico-química das partículas de resíduo de jambolão-----	41
6. CONCLUSÕES -----	55
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS -----	57
ANEXO A -----	63
ANEXO B -----	64

LISTA DE TABELAS

Figura 1. Estrutura básica das antocianinas. Cátion <i>flavylium</i> (2-fenilbenzopirona). R_1 e $R_2 = -H, -OH$ ou $-OCH_3$, $R_3 = -glicosil$, $R_4 = -H$ ou $-glicosil$ (DAMODARAN, PARKIN e FENNEMA, 2010 adaptado).....	6
Figura 2. Diagrama da transferência simultânea de calor e massa, envolvendo a migração de umidade do interior do material para a sua superfície, no processo de secagem (PARK <i>et al.</i> , 2007).	9
Figura 3. Curvas de secagem. A curva <i>a</i> representa a diminuição do teor de umidade ($X = X_{BS}$) do produto em relação à evolução do tempo de secagem t , e é a curva obtida pesando o produto durante a secagem em uma determinada condição. A curva <i>b</i> representa a velocidade de secagem do produto com a variação do conteúdo de umidade (dX/dt) do produto em relação à evolução do tempo t . A curva <i>c</i> representa a variação da temperatura do produto em relação à evolução do tempo t durante a secagem (PARK <i>et al.</i> , 2007).	10
Figura 4. Diagrama esquemático das regiões do leite de jorro e atomização de suspensão no interior do mesmo (FREIRE e SILVEIRA, 2009).	12
Figura 5. Ilustração da homogeneização dos frutos de jambolão (a) para o despulpamento na despulpadeira, na qual obteve a polpa (b) e o resíduo úmido, que então foi processado e utilizado para a secagem (c).	16
Figura 6. Secador de leite de jorro. (1) acionamento do aparelho e controle da temperatura, (2) compressor radial, (3) válvula globo, (4) aquecedor, (5) resfriador, (6) leite de jorro com os termopares [T1 = temperatura do ar de entrada; T2 =	

Temperatura do leito de partículas; T3 = Temperatura do ar de saída] e as tomadas de pressão ligadas ao manômetro de água [P1 e P2], (7) ciclone e (8) coletor de pó.18	
Figura 7. Esquema do equipamento de fotoacústica (GUIMARÃES, 2004).24	24
Figura 8. Reação do radical livre DPPH• com um antioxidante (BORGES, 2011).25	25
Figura 9. Agitador de Peneiras Eletromecânico.26	26
Figura 10. Curvas características da queda de pressão no leito de jorro com o resíduo úmido de jambolão em função da velocidade do ar crescente e decrescente à temperatura do ar de entrada de 60 °C.30	30
Figura 11. Temperatura acima do leito de partículas de resíduo de jambolão (a) e temperatura de entrada do ar de secagem (b) em função do tempo nas diferentes condições de secagem do planejamento experimental.33	33
Figura 12. Temperatura e umidade relativa do ar de saída nas condições superior e inferior de temperatura e velocidade do ar, além do ponto central do planejamento experimental em função do tempo.35	35
Figura 13. Queda de pressão (ΔP) no leito de jorro em função do tempo de secagem do resíduo de jambolão nas condições dos ensaios do planejamento experimental. .36	36
Figura 14. Umidade adimensional em base seca (X/X_o b.s.) do resíduo de jambolão em função do tempo de secagem nas condições superior e inferior de temperatura e velocidade do ar (a) e no ponto central (b) do planejamento experimental.37	37
Figura 15. Taxa de secagem em função do conteúdo de umidade adimensional em base seca do resíduo de jambolão nas condições superior e inferior de temperatura e velocidade do ar e no ponto central do planejamento experimental.38	38
Figura 16. Diagrama de Pareto para umidade adimensional em base úmida ao final da secagem de resíduo de jambolão durante 60 min de processo em leito de jorro.39	39
Figura 17. Diagrama de Pareto para atividade de água após 60 min de secagem para as amostras coletadas no leito.42	42
Figura 18. Diagrama de Pareto para antocianina total mg/100 b.s. após 60 min de secagem para as amostras coletadas no leito e no ciclone.44	44
Figura 19. Sinal fotoacústico de resíduo de jambolão <i>in natura</i> liofilizado (semana 1-a) e seco a 80 °C e com velocidade de ar de 8 m/s. As outras amostras das outras condições testadas estão no anexo B.46	46
Figura 20. Distribuição das áreas dos centros dos 3 picos das gaussianas que correspondem à absorção de 663, 554 e 451 nm.47	47
Figura 21. Fotos das partículas de resíduo de jambolão úmidas (a) e secas (b, c, d).52	52

Figura 22. Diagrama para distribuição granulométrica com porcentagem de massa retida do resíduo úmido (<i>in natura</i>) em função do diâmetro de abertura de cada peneira (mm).	52
Figura 23. Diagrama para distribuição granulométrica com porcentagem de massa retida de amostras coletadas no leito (a) e no ciclone (b) em função do diâmetro de abertura de cada peneira (mm).	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Dimensões do leito de jorro.	18
Tabela 2. Modelo do planejamento experimental fatorial realizado para avaliar a secagem do resíduo de jambolão em leito de jorro com os valores reais e codificados das variáveis.....	19
Tabela 3. Caracterização química dos produtos a partir do fruto de jambolão.....	27
Tabela 4. Umidade inicial (X_0) e final do leito (X_{fL}) e do ciclone (X_{fC}) em base úmida (b.u.) do resíduo de jambolão das condições de secagem nos ensaios do planejamento experimental.....	37
Tabela 5. Estimativa dos efeitos sobre a umidade adimensional em base seca (X/X_0 b.s.) do resíduo de jambolão para o tempo de 60 min de secagem em leito de jorro .	39
Tabela 6. Análise de Variância (ANOVA) para a umidade adimensional em base seca para o processo de secagem de resíduo de jambolão em leito de jorro durante 60 min.	40
Tabela 7. Atividade de água do resíduo de jambolão inicial e seco coletado no leito (L) e no ciclone (C) nas condições de secagem testadas.....	41
Tabela 8. Estimativa dos efeitos sobre a atividade de água após 60 min de secagem para as amostras coletadas no leito e no ciclone	42
Tabela 9. Análise de Variância (ANOVA) para a atividade de água das amostras de resíduo em pó de jambolão coletadas no leito após 60 min de secagem	43
Tabela 10. Antocianinas totais em mg/100g matéria seca do resíduo de jambolão para as amostras <i>in natura</i> e secas por 60 min nas condições de secagem avaliadas.....	43
Tabela 11. Estimativa dos efeitos sobre a quantificação de antocianinas totais (mg/100 matéria seca) após 60 min de secagem do resíduo de jambolão em leito de jorro	44

Tabela 12. Análise de Variância (ANOVA) para antocianinas totais mg/100g b.s. para as amostras de resíduo em pó de jambolão coletadas no leito e no ciclone após 60 min de secagem em leito de jorro.....	45
Tabela 13. Atividade antioxidante (%) dos resíduos de jambolão para amostras <i>in natura</i> e secas durante 60 min nas condições de secagem testadas	49
Tabela 14. Análise de Variância (ANOVA) para atividade antioxidante das amostras de resíduo em pó de jambolão coletadas no leito e no ciclone após 60 s de secagem em leito de jorro.....	49
Tabela 15. Diâmetro médio de Sauter das partículas dos resíduos de jambolão (mm) <i>in natura</i> , coletadas no leito e ciclone ao final da secagem de 60 min em leito de jorro	51
Tabela 16. Massa específica do leito dos resíduos de jambolão <i>in natura</i> , coletadas no leito e ciclone ao final da secagem de 60 s em leito de jorro.....	53
Tabela 17. Umidade relativa do ar ambiente nos dias dos ensaios nas diferentes condições de secagem do planejamento experimental durante os 60 min.	63

RESUMO

MUSSI, Lara Poses, M.Sc. Produção Vegetal. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Fevereiro de 2014. Secagem do resíduo de jambolão em leito de jorro. Orientadora: Prof^a. Dr^a. Nádia Rosa Pereira.

O objetivo principal desta dissertação foi avaliar a secagem do resíduo úmido do jambolão (casca e semente) em secador de leito de jorro. O jambolão, caracterizado por seu pigmento arroxeadado, em razão da presença de antocianinas e de outros compostos, apresenta alta atividade antioxidante. A implantação de métodos de transformação desse fruto se torna interessante para favorecer aproveitamento das suas propriedades funcionais, reduzir perdas, agregar valor, além de estimular a preservação da espécie em questão, *Syzygium cumini* Lamarck. Uma alternativa para conservação de produtos biológicos é a secagem, pela redução da umidade, impedindo o crescimento e desenvolvimento de micro-organismos. No entanto, é importante controlar essa operação para minimizar as alterações das propriedades do fruto no produto final. O secador de leito de jorro tem sido aplicado em secagem de materiais granulares por possibilitar maior capacidade de processamento, menores custos de operação e uma boa mistura da fase sólida pelo alto grau de contato entre fluido-partícula, o que leva à obtenção de um produto final mais homogêneo. Os ensaios de secagem seguiram um planejamento experimental fatorial 2^2 com três repetições no ponto central. As variáveis do processo estudadas durante 60 min de secagem foram a temperatura (60, 70 e 80 °C) e a velocidade do ar (8, 9 e 10 m/s). O resíduo úmido (*in natura*) de jambolão e o produto final seco foram caracterizados quanto ao teor de umidade, à atividade de água, às antocianinas, à atividade antioxidante, à distribuição de tamanho e à massa específica do leito das partículas.

Além de testar metodologia alternativa de detecção de antocianinas usando fotoacústica. A secagem em leito de jorro mostrou ser eficiente na secagem do resíduo de jambolão com redução de 63% (b.u) para 4-9% de umidade dependendo das condições. Além de alcançar atividade de água abaixo de 0,3 e 0,6 para amostras coletadas no leito e ciclone, respectivamente. Durante o início de 10-20 min de secagem o resíduo de jambolão apresentou taxa de secagem constante e depois até o final seguiu com taxa decrescente. A variável temperatura do ar apresentou efeito negativo sobre a umidade, a atividade de água e as antocianinas totais finais do resíduo de jambolão na secagem em leito de jorro. A velocidade do ar, por sua vez, não interferiu nestas características do produto. A operação de secagem com temperatura do ar entre 60 e 80 °C apresentou degradação das antocianinas do resíduo de jambolão, com redução de 60 a 70% da sua concentração inicial. Não foi possível observar mudanças quantitativas significativas nos resultados da fotoacústica, os correlacionando com os efeitos das variáveis da secagem sobre a degradação das antocianinas. Entretanto, pode-se observar uma alteração sistemática no espectro de absorção do produto antes e após a secagem, que pode estar relacionada à formação de outras substâncias. Estes resultados da fotoacústica podem explicar a manutenção da capacidade de sequestro de radical livre em torno de 93% dos resíduos secos de jambolão, evidenciando que as condições de secagem não apresentaram efeito sobre a atividade antioxidante. Nesse contexto, enfatiza-se que o presente trabalho contribuiu para certificar a capacidade antioxidante dos resíduos secos de jambolão. Contudo, ainda é necessário estudar condições de secagem que minimizem as reações de degradação de antocianinas para poder garantir estabilidade e estimular a incorporação do resíduo do jambolão em pó como corante natural em indústrias alimentícias, além de produtos fitoterápicos nas indústrias farmacêuticas.

Palavras-chave: Fluidodinâmica, *Syzygium cumini*, conservação de alimentos, antocianinas, planejamento experimental e atividade antioxidante.

ABSTRACT

MUSSI, Lara Poses, M.Sc. Vegetal Production. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. February, 2014. Spouted bed drying of jambolan residue. Advisor: Nádia Rosa Pereira.

The main objective of this dissertation is to evaluate the drying of wet residue jambolan (skin and seeds) in a spouted bed dryer. Jambolan, characterized by its purple pigment due to the presence of anthocyanins and other compounds, presents high antioxidant activity. The implementation of methods to process this fruit should take advantage of its functional properties, reduce losses, add value and encouraging the preservation of the species, *Syzygium cumini* Lamarck. An alternative for preservation of biological products is drying to prevent development of microorganisms. However, it is important to control this operation to minimize reduction of the properties of the final product. Spouted bed dryers have been applied to dry granular materials because they have high processing capacity, low operating costs and a good mix of solid phase due to the high fluid-particle contact, which allows obtaining a more homogeneous final product. The experiments followed a 22 factorial design during 60 minutes with three repetitions at the central point. The process variables studied were temperature (60, 70 and 80 °C) and air velocity (8, 9 and 10 m/s). The moist jambolan residue (*in natura*) and final dried product were analyzed for moisture content, water activity, anthocyanins content, antioxidant activity, size distribution and specific mass of particle beds. An alternative method to detect

anthocyanins using photoacoustics was also tested. The spouted bed method was effective in drying the jambolan residue, with moisture reduction of 63% (wb) to 4-9% depending on the conditions, in addition to achieving water activity below 0.3 and 0.6 for samples collected in the bed and cyclone, respectively. During the first 10-20 minutes of drying, the jambolan residue presented a constant drying rate, after which the rate gradually decreased. The air temperature variable presented a negative effect on moisture, water activity and final total anthocyanins in the spouted bed dryer. The air speed, in turn, did not influence these characteristics. The drying operation with air temperatures between 60 and 80 °C showed degradation of anthocyanins, a reduction of 60 to 70% of the initial concentration. It was not possible to observe quantitative changes in the photoacoustic results, to enable correlating them with the effects of the drying variables on degradation of anthocyanins. However, there was a systematic change in the absorption spectrum of the product before and after drying, which may be related to the formation of other substances. These photoacoustic results may explain the maintenance of a free radical sequestration of around 93% in the dried jambolan residue, showing that the drying conditions studied had no effect on antioxidant activity. In this context, this study provided evidence of the antioxidant capacity of dried jambolan residue. However, further investigation of drying conditions is still necessary to minimize the degradation reactions of anthocyanins, ensure stability and stimulate incorporation of jambolan residue powder as a natural colorant in food industries and herbal products in the pharmaceutical sector.

Keywords: Fluid dynamics, *Syzygium cumini*, food preservation, anthocyanins, experimental design and antioxidant activity.

1. INTRODUÇÃO

O presente estudo retrata sobre a utilização de métodos tecnológicos para conservação de alimentos funcionais, com a certeza de que a finalidade dos alimentos muito contribui para qualidade de vida, se bem consumidos ou aplicados.

Vale sublinhar que alimentos funcionais são aqueles que, em virtude da presença de um ou mais compostos biologicamente ativos, afetam positivamente uma ou mais funções fisiológicas do organismo, seja melhorando o estado de bem-estar físico e/ou psicológico, seja reduzindo o risco de determinada doença (ROBERFROID, 2002). Produtos nutracêuticos podem ser produzidos a partir desses alimentos, mas são comercializados na forma concentrada, como comprimidos, cápsulas, pós, tinturas, ou como preparações mistas (GURIB-FAKIM, 2006).

Cabe dizer que o consumo de alimentos funcionais vem crescendo no mercado mundialmente pelo aumento do interesse dos consumidores e das indústrias, tanto alimentícia quanto farmacêutica. Visto que os consumidores estão em busca de uma alimentação mais saudável e segura, as indústrias almejam aplicar conhecimentos adquiridos em relação ao alimento e/ou composto funcional e assim agregar valor ao desenvolver um novo produto. Além disso, setores agroindustriais e a comunidade científica estão entusiasmados com o potencial dos alimentos funcionais em promover benefícios à saúde dos cidadãos, à diversificação da dieta alimentar e à viabilização de produtos de alto valor agregado.

É interessante mencionar que a região norte fluminense apresenta diversas espécies de plantas que apresentam propriedades funcionais, cujos estudos e as

avaliações da qualidade para a caracterização da obtenção dos seus extratos vegetais e de seus princípios ativos têm aumentado cada vez mais. Com base nisso, torna-se oportuno realizar estudos dos processos de estabilização dos compostos bioativos no momento da produção, uma vez que cuidados durante o processamento são necessários para manter a propriedade funcional do alimento.

O assunto aqui comentado coloca o jambolão em evidência, o que propicia apontar dados que lhes são referentes. As diferentes partes do jambolão (*Syzygium cumini* Lamarck) são citadas na literatura por possuírem propriedades funcionais, sendo amplamente utilizadas na medicina popular. Estudos demonstram a presença de altos teores de antocianinas com uma potente atividade antioxidante nos frutos de jambolão. O forte potencial corante do mesmo e as características desejáveis de solubilidade e estabilidade poderiam viabilizar a incorporação do resíduo do jambolão em pó como aditivo natural para ser empregado em alimentos e em formulações farmacêuticas (LONGO *et al.*, 2007; FARIA, MARQUES e MERCADANTE, 2011; SARI *et al.*, 2012).

Observa-se que a utilização dos frutos de jambolão na dieta e na fabricação de produtos industrializados ainda é bastante restrita, indicando a necessidade de pesquisas com o intuito de esclarecer os benefícios desses frutos à saúde humana e sobre as diversas formas possíveis de seu beneficiamento e aproveitamento.

Constata-se que o consumo dos frutos *in natura* do jambolão é feito por alguns indivíduos que os coletam nas árvores ou embaixo de suas copas nos períodos de safra sendo o restante desprezado no solo. Grande parte dos frutos é desperdiçada na época da safra, principalmente em virtude da falta de conhecimento sobre sua utilidade e viabilidade tecnológica. Cabe, então, transformar essa incoerência com informações sobre o procedimento correto para o uso do jambolão.

Vale lembrar que altos teores de água promovem o desenvolvimento e a proliferação de micro-organismos, comprometendo a qualidade do produto final. Portanto, a secagem é um método de conservação que consiste em operação unitária com simultânea transferência de calor e de massa dentro de um material úmido e na camada limite do agente de secagem. Assim, a água do material biológico é removida, o que possibilita prolongar a vida de prateleira do produto e facilitar seu transporte, contribuindo para regular oferta e comercialização de alimentos medicinais. A secagem realizada de forma inapropriada pode resultar em perda de componentes voláteis, alterações indesejadas nas características físico-químicas e

ainda reduzir a qualidade e estabilidade de atividades funcionais dos produtos (PARK *et al.*, 2007; FREIRE e SILVEIRA, 2009; OLIVEIRA e BERBERT, 2011).

O secador de leito de jorro tem sido aplicado em secagem de materiais granulares por possibilitar maior capacidade de processamento, menores custos de operação e promover altas taxas de transferência de calor e de massa pelo contato gás-sólido, que por sua vez é alcançado por movimentos cíclicos das partículas. Devido às suas vantagens e à versatilidade, este processo tem recebido muita atenção em pesquisa (FREIRE e FERREIRA, 2009).

Portanto, a presente dissertação visa avaliar o processo de secagem em secador de leito de jorro do resíduo úmido resultante do despulpamento do jambolão, a fim de obter uma condição de secagem que preserve as características químicas e biológicas do fruto *in natura* no material em pó e estabilizá-lo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Característica do jambolão

De acordo com SÁ (2008), o médico indiano Dr. Chowdhury Gullapalli, pesquisador de plantas medicinais brasileiras, afirmou que 80% das plantas utilizadas no sul da Índia para fins terapêuticos existem no Brasil, merecendo destaque a espécie *Syzygium cumini* (L.) Skeels. Esta espécie da família Myrtaceae é nativa da Ásia tropical, particularmente da Índia. A planta foi introduzida em muitos países tropicais da África e da América Latina. No Brasil, a planta é encontrada em diversos estados das regiões Sudeste, Nordeste e Norte. A árvore é de grande porte e muito bem adaptada às condições brasileiras, pois cresce muito bem em diferentes tipos de solo (AGOSTINI-COSTA e SILVA, 2008; VIZZOTTO e FETTER, 2009).

A espécie *Syzygium cumini* (L) Skeels também apresenta as sinônimas *Eugenia jambolana* Lam., *Syzygium jambolanum* DC., *S. caryophyllifolium* DC., *E. cortisona* Lour., *E. frondosa* Wall., *E. caryophyllifolia* Lam., *E. jambolifera* Roxb., *E. moorei* Muell., *E. obtusifolia* Roxb., *E. cumini* Druce., *Jambolifera pedunculata* Gaertn, *E. glomerata* Sieber, *Calyptrantes caryophyllifolia* Willd., *C. jambolana* Willd., *C. cumini* Pers., *Myrtus cumini* L. (JACKSON e HOOKER (1960) citado por ALBERTON *et al.*, 2001). Essa planta é popularmente conhecida em diversos países com denominações variadas, tais como, jambolão, jamelão, jambolana, jambol, cereja, jalão, blackberry, oliva, oliveira, ameixa de java, ameixa roxa, azeitona-do-nordeste, azeitona-roxa, entre outros (SÁ, 2008; BRITO *et al.*, 2007; AYYANAR e SUBASH-BABU, 2012).

Um aspecto relevante merece ser citado, ele se dá nas épocas de safra, que ocorrem de janeiro a maio, as árvores de jambolão ficam carregadas de frutos. Sua coloração, inicialmente branca, torna-se vermelha e posteriormente preta, no estágio maduro, quando despençam e acumulam-se no chão. Nos centros urbanos, existem milhares de espécies espalhadas nas praças, ruas e nessas épocas, em função da quantidade de frutos por árvore, se tornam inconvenientes devido à sujeira produzida. Apesar dessa abundância, esses frutos, cuja semente fica envolvida por uma polpa carnosa e comestível, doce, mas adstringente, não são tradicionalmente consumidos. No Brasil, o fruto é geralmente consumido *in natura*, porém em outros países é processado na forma de compotas, licores, vinhos, vinagre, geleias, tortas, doces, entre outros (VIZZOTTO e FETTER, 2009).

O fruto do jambolão apresenta em torno de 88% de umidade, 0,34% de cinzas, 0,30% de lipídios, 0,67% proteínas, 5,91% de acidez (ácido cítrico), 10,7% de carboidratos totais, 1% de açúcares redutores, 0,28% de fibra alimentar, 9,0 °Brix de sólidos solúveis totais e pH de 3,9. Os principais minerais encontrados nesta fruta são fósforo, potássio e cálcio. A vitamina em maior abundância é a vitamina C (VIZZOTTO e FETTER, 2009; TACO, 2011; AYYANAR e SUBASH-BABU, 2012).

De acordo com SÁ (2008), que avaliou os aspectos químicos e físicos da fração comestível (polpa e casca) e fração de sementes do jambolão, o perfil de macro e microminerais atende, na sua maioria, às necessidades basais. No entanto, ainda há a necessidade de avaliar a biodisponibilidade destes nutrientes. Além disso, o reduzido teor de lipídios encontrado na polpa e na semente pode tornar esse fruto uma opção para dietas de baixo valor calórico.

Sabe-se que as diferentes partes do jambolão são citadas na literatura por possuírem propriedades medicinais. Isso provavelmente decorrente de serem encontradas substâncias químicas denominadas fitoquímicas ou compostos secundários no jambolão. Estes compostos são produzidos naturalmente pelas plantas para se protegerem do ataque de pragas e doenças, além de ajudar a suportar as condições adversas do ambiente (DAMODARAN, PARKIN e FENNEMA, 2010). Muitos destes fitoquímicos, como os flavonoides (antocianinas, a quercetina, a rutina, a mirecetina com seus glicosídeos e os taninos hidrolisáveis) atuam na prevenção de certas doenças. A semente apresenta ácido elágico, um polifenol que também é encontrado em outras pequenas frutas, como o mirtilo, a amora-preta e o morango, que é considerado uma substância comprovadamente eficaz na prevenção

de doenças crônicas não transmissíveis (ANGELO e JORGE, 2007; VIZZOTTO e FETTER, 2009). Este composto apresenta características antioxidantes e anticarcinogênicas. Assim como as outras partes da planta do jambolão, as folhas possuem substâncias com ação antidiabética, exercendo função hipoglicemiante, mimetizando as ações da insulina, regulando os níveis glicêmicos e influenciando no metabolismo e estoque de glicogênio hepático. Estudos mostram que o extrato das sementes de jambolão reduz danos no tecido cerebral de ratos diabéticos, além de apresentar atividade antifúngica e antibacteriana (GROVER, VATS e RATHI, 2000; VIKRANT *et al.*, 2001; AYYANAR e SUBASH-BABU, 2012).

As antocianinas são flavonoides, do grupo de compostos fenólicos, pigmentos naturais dos vegetais com o espectro que varia desde o vermelho, o rosa, o roxo até o azul (TAIZ e ZEIGER, 2006). A estrutura básica das antocianinas é o 2-fenilbenzopirona do sal *flavylium* (Figura 1). As antocianinas ocorrem na forma heteroglicosídica, contendo uma ou mais moléculas de açúcar. Elas diferem, principalmente, no número de grupos hidroxila e/ou nos grupos metoxi presentes e tipos, números e sítios de ligações de açúcares ligados à molécula (DAMODARAN, PARKIN e FENNEMA, 2010).

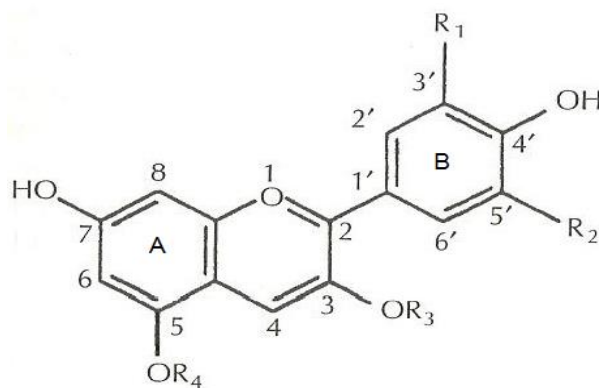


Figura 1. Estrutura básica das antocianinas. Cátion *flavylium* (2-fenilbenzopirona). R_1 e $R_2 = -H$, $-OH$ ou $-OCH_3$, $R_3 = -glicosil$, $R_4 = -H$ ou $-glicosil$ (DAMODARAN, PARKIN e FENNEMA, 2010 adaptado).

Devido às suas cores brilhantes e atraentes, além de não serem tóxicas e serem solúveis em água, essas substâncias têm despertado interesse quanto à sua incorporação em sistemas de alimentos aquosos, possibilitando a utilização como corantes naturais. No entanto, a sua estabilidade vem a ser um problema após extração, processamento e armazenamento dos alimentos (BOBBIO e BOBBIO, 1995).

É acertado afirmar que as antocianinas, por serem compostos fenólicos, possuem atividade antioxidante. Pequenas concentrações destas substâncias podem prevenir significativamente o início ou a propagação da cadeia de reações de oxidação. O jambolão por sua vez apresenta alta atividade antioxidante, não só a fração comestível, mas a semente também vem sendo reportada por apresentar alta capacidade antioxidante e garantir atividades funcionais assim como a casca (VIZZOTTO e FETTER, 2009; AYYANAR e SUBASH-BABU, 2012).

Constata-se que os antioxidantes, quando incorporados na alimentação humana, possuem um papel muito importante na prevenção do desenvolvimento de enfermidades, como arteriosclerose, câncer, envelhecimento precoce e doenças cardiovasculares e degenerativas (ANGELO e JORGE, 2007). Os benefícios para a saúde associados ao consumo de antocianina podem ser: reduzir riscos de doença cardíaca coronariana, proteção contra a obesidade e hipoglicemia, melhoria da memória e proteção do tecido cerebral fetal (BRITO *et al.*, 2007; SARI *et al.*, 2012). Com isso, nos últimos anos, o interesse pela exploração biotecnológica dos pigmentos antociânicos aumentou drasticamente por causa de seus possíveis benefícios para a saúde (LONGO *et al.*, 2007). Portanto, incorporando antocianinas como alimento ou corante alimentar pode ser muito benéfico para a saúde. Dentro deste contexto, o fruto e as suas partes podem vir a ser utilizados na formulação de extratos antioxidantes.

A partir da extração e purificação das antocianinas há varias técnicas para sua identificação e quantificação. A identificação pode ser por espectroscopia ultravioleta e visível, espectrometria de ressonância magnética nuclear e de massas e HPLC. A quantificação pode ser realizada por métodos de colorimetria, espectrofotometria, densitometria e HPLC. No entanto, a espectrofotometria, que mede a absorbância da solução em um dado comprimento de onda, é a mais utilizada. Pelo fato de as antocianinas serem sensíveis ao pH é mais recomendado o uso do método do pH diferencial ao invés do pH único por envolver medidas da absorbância referente ao cátio *flavylium* (forma predominante em pH 1), no qual os pigmentos exibem coloração intensa, e ao carbinol (forma predominante em pH 4,5), que praticamente não apresenta coloração, com menor absorção de energia. A diferença de absorbância entre as soluções com pH 1 e 4,5 possibilita estimar a fração real de antocianina presente (TERCI, 2004; TEIXEIRA, STRINGHETA E OLIVEIRA, 2008).

Cabe dizer que um método prático para detectar compostos que absorvam luz em determinados comprimentos de onda, sem necessidade de preparação da amostra para isolamento de grupos de substâncias, pode ser realizado com a técnica fotoacústica. Esta técnica permite avaliação comparativa entre amostras contendo teores diferentes de determinadas substâncias ou grupos de substâncias. Ela tem sido amplamente utilizada em aplicações na Física, Química, Biologia, Medicina e Engenharia por apresentar algumas vantagens diante da espectroscopia óptica convencional. Assim, a técnica fotoacústica aplica-se ao estudo de materiais opacos, pouco absorvedores, géis, na forma de pó ou amorfos, materiais em que a espectroscopia convencional não é adequada (ROSENCWAIG e GERSHO, 1976; GUIMARÃES, 2004).

Desse modo, evidencia-se que vários estudos têm sido realizados desde a etapa da caracterização físico-química até a avaliação da presença de compostos bioativos e de verificação das atividades biológicas funcionais de cada parte do fruto do jambolão. Esses estudos, de uma maneira geral, visam à inclusão deste fruto na dieta usual, com possibilidade de melhorar a qualidade e eficácia das preparações nos processos de beneficiamento que os contenham e conseqüentemente atingir maior segurança para o consumidor (AGOSTINI-COSTA e SILVA, 2008).

2.2. Secagem

É em razão de tamanha importância que tecnologias de processamento de frutas têm sido desenvolvidas a fim de preservá-las, prolongando o tempo de prateleira, reduzindo o espaço de armazenamento e transporte e, possivelmente, as perdas. Com isso, há possibilidade do aproveitamento dos materiais de qualidade inferior para consumo *in natura*, agregando valores a produtos primários, a fim de promover um melhor aproveitamento da produção (SOUZA *et al.*, 2003; PEREIRA, 2007).

Destaca-se ainda que a secagem é uma das tecnologias utilizadas para esta finalidade, pois remove a água do material biológico, por evaporação, reduzindo o crescimento e desenvolvimento de micro-organismos, minimizando as reações químicas e enzimáticas. O conteúdo de umidade do produto é a quantidade de água removida do material sem alteração da estrutura molecular do sólido e pode ser

expressa em base úmida (X_{bu}), que é referente a razão da massa de água e massa total do produto (água e sólidos) e em base seca (X_{bs}) que é a razão da massa de água e massa seca do produto (PARK *et al.*, 2007). A secagem é realizada, em geral, pelo contato do produto com ar quente apresentando transferência de calor e massa simultaneamente. Isto é, o ar quente transfere calor para o produto em razão da diferença de temperatura entre eles. Ao mesmo tempo, a diferença de pressão parcial de vapor de água, existente entre o ar e a superfície do produto, promove a transferência de água para o ar, como mostra a Figura 2. A redução da umidade é determinada pelas condições de temperatura, umidade, pressão e/ou velocidade do ar, além da composição e da estrutura do produto. (FELLOWS, 2006; PEREIRA, 2007).



Figura 2. Diagrama da transferência simultânea de calor e massa, envolvendo a migração de umidade do interior do material para a sua superfície, no processo de secagem (PARK *et al.*, 2007).

As transferências simultâneas de calor e de massa na secagem são demonstradas pelas curvas de secagem, com a evolução do teor de água do produto (umidade - X), de sua temperatura (T) e da taxa de secagem (dX/dt), ao longo do tempo. A Figura 3 representa estas curvas que são divididas esquematicamente em três períodos:

I. Período de indução (0): é o período até entrar em regime operacional, quando o produto é mais frio do que o ar e a pressão parcial de vapor da água na superfície do produto é precária. Conseqüentemente, a transferência de massa e a velocidade de secagem são pequenas. A temperatura do produto pode se elevar quando o calor estiver em excesso aumentando a pressão e a taxa de secagem, até compensar a transferência de massa. A duração deste período é insignificante em relação ao período total de secagem.

II. Período de velocidade constante de secagem (1): é quando a água, que está em grande quantidade e disponível dentro do produto, evapora-se como água livre (quando ela está simplesmente adsorvida no material). A pressão de vapor de água

na superfície e a temperatura do produto são constantes, logo as transferências de calor e de massa se compensam. O período 1 continua enquanto a migração de água do interior até a superfície do produto é suficiente para acompanhar a perda por evaporação de água na superfície. Em geral, os materiais biológicos, como os alimentos, dificilmente apresentam este período, pois o modo pelo qual a água está relacionada com a estrutura no interior do produto oferece resistência à migração da água, fazendo com que a taxa de evaporação da água na superfície ao ambiente comumente seja superior à taxa de reposição desta umidade.

III. Período de velocidade decrescente de secagem (2): é quando a água começa a ser deficiente na superfície e a troca de calor não é mais compensada, logo a temperatura do produto aumenta. É um período que depende das condições operacionais de secagem e o fator limitante é a migração interna de água. No final, o produto estará em equilíbrio com o ar e a taxa de secagem é nula. Esta é a etapa que mais consome tempo e energia em um processo de secagem por convecção e, por isto, a maioria das pesquisas é direcionada para aperfeiçoar esta fase da secagem.

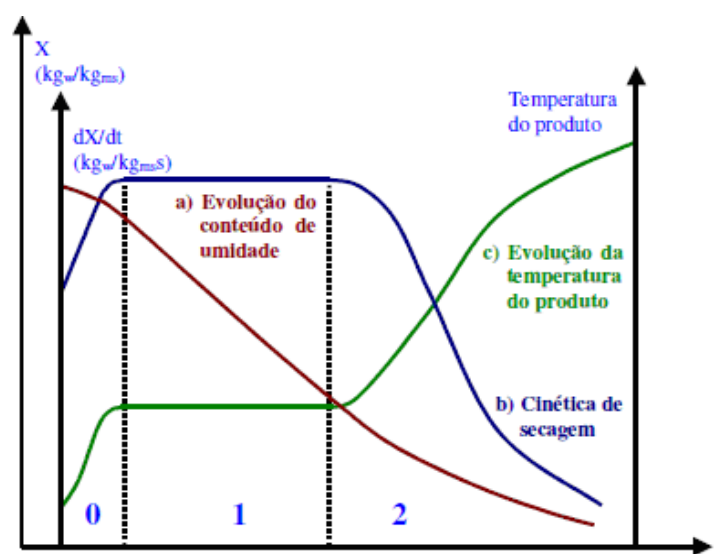


Figura 3. Curvas de secagem. A curva *a* representa a diminuição do teor de umidade ($X = X_{BS}$) do produto em relação à evolução do tempo de secagem t , e é a curva obtida pesando o produto durante a secagem em uma determinada condição. A curva *b* representa a velocidade de secagem do produto com a variação do conteúdo de umidade (dX/dt) do produto em relação à evolução do tempo t . A curva *c* representa a variação da temperatura do produto em relação à evolução do tempo t durante a secagem (PARK *et al.*, 2007).

De acordo com FELLOWS (2006), há vários fatores que controlam a taxa de secagem, que podem ser agrupados entre os relacionados às condições de processamento, à natureza do alimento e ao desenho do secador.

Sabe-se que as características dos produtos alimentícios são diferentes entre si e as condições de secagem são muito diversas, fazendo com que as características dos processos de secagem sejam muito variadas. Contudo, há vários métodos de secagem que podem ser utilizados. Desse modo, escolher um método de secagem deve ser prioritariamente com base nas propriedades físico-químicas das matérias-primas e da sensibilidade térmica, assim como sobre as características desejadas dos produtos secos (MARRETO, FREIRE e FREITAS, 2006). A secagem convectiva com ar quente é o método mais antigo e mais utilizado para produtos alimentícios, sendo que a qualidade do produto final pode ser reduzida quanto às características de cor, aroma, textura, pelo longo tempo de secagem em altas temperaturas (FELLOWS, 2006; PARK *et al.*, 2007). Com isso, avaliar processos de secagem de produtos com propriedades funcionais é uma operação chave para a garantia da qualidade do produto final e da estabilidade da atividade em questão. Visto que as substâncias podem ter sua estabilidade alterada exposta a diversos fatores, termossensíveis ou não.

2.3. Secagem em leito de jorro

Para maior relevância deve-se esclarecer que o leito de jorro é um tipo de secador que foi desenvolvido inicialmente por MATHUR e GISHLER (1955), citados por FREIRE e SILVEIRA (2009). A secagem utilizando esse leito móvel é uma tecnologia emergente e eficiente para secar materiais granulares, caracteristicamente com diâmetro superior a 1 mm, pastas e suspensões, além de possibilitar o recobrimento de partículas. Esta tecnologia tem sido apresentada como uma alternativa à secagem por *spray dryer*, em uma tentativa para obter os produtos em pó com a mesma qualidade, a baixo custo (FREIRE e SILVEIRA, 2009; MEDEIROS, 2001; DOTTO, SOUZA e PINTO, 2011).

A secagem com leito de jorro de diferentes geometrias, geralmente na forma de coluna cilíndrica e base cônica, é caracterizada por promover íntimo contato entre um fluido (em geral ar) e o material a ser seco, por movimento sistemático e cíclico. Esse

processo de secagem é iniciado quando as partículas são carregadas pela corrente de ar na região do jorro, formando uma fonte logo acima da superfície do leito. Pela ação da força inercial, o movimento contínuo e cíclico das partículas é estabelecido dentro da coluna cônica, caracterizando o regime do jorro. A estrutura desse sistema é definida pelo formato das partículas bem como pelo seu tamanho e sua distribuição. Assim como o material inicial antes da secagem, os produtos finais podem ser encontrados em diversas formas, variando desde um pó finamente disperso até grânulos e aglomerados. (OCHOA-MARTINEZ, BRENNAN e NIRANJAN, 1993; LESCANO, 2009; FREIRE e FERREIRA, 2009).

O secador de leito de jorro é dividido por três principais regiões (Figura 4): o jorro, região central, no qual as partículas possuem movimento ascendente concorrente com a entrada de ar e alta porosidade; o ânulo, no qual as partículas apresentam movimento descendente e com percolação contracorrente do ar, apresentando porosidade equivalente à de um leito fixo expandido, e a fonte, que é a região superior ao ânulo, na qual as partículas movimentam-se desaceleradamente do jorro caindo sobre o ânulo (FREIRE e SILVEIRA, 2009).

A velocidade de ar é uma variável fundamental, pois dela depende a condição operacional principal que é a manutenção do jorro, além de transportar calor para as trocas térmicas durante a secagem. O valor ideal para essa variável é aquele próximo à velocidade de jorro mínimo (FREIRE e SILVEIRA, 2009).

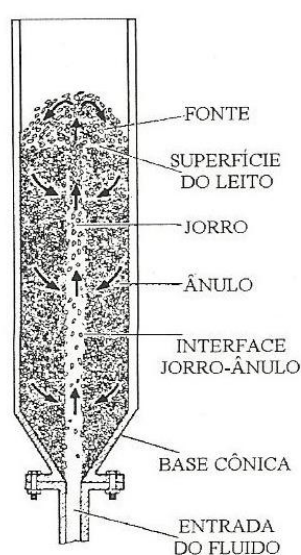


Figura 4. Diagrama esquemático das regiões do leito de jorro e atomização de suspensão no interior do mesmo (FREIRE e SILVEIRA, 2009).

O secador de leito de jorro apresenta vantagens em proporcionar mistura intensa e recirculação das partículas, baixo investimento inicial, baixo custo operacional, além de promover altas taxas de transferência de calor e de massa para o sistema, possibilitando secar materiais termicamente sensíveis. As desvantagens por sua vez na secagem de materiais sólidos se referem às limitações específicas como o fato de não ser recomendado para materiais mecanicamente frágeis ou sensíveis, tais como substâncias contendo células vivas que precisam ser preservadas, devido às altas taxas de atrição a que as partículas são submetidas (FREIRE e SILVEIRA, 2009; DOTTO, SOUZA e PINTO, 2011).

Sabe-se que em relação ao produto final, o desempenho da secagem pelo leito de jorro pode ser comparado à secagem por *spray dryer*, podendo ser aplicado em escala comercial. Porém, de acordo com relatos da literatura, a aplicação comercial de secadores de leito de jorro permanece questionável devido aos problemas operacionais, tais como a aglomeração, que normalmente ocorre com materiais pegajosos, as instabilidades hidrodinâmicas do regime de jorro em função da umidade, temperatura e composição da matéria-prima, o acúmulo de produto na câmara de secagem e o difícil aumento de escala de câmaras maiores do que 1 m de diâmetro (OCHOA-MARTINEZ, BRENNAN e NIRANJAN, 1993; MEDEIROS, 2001; MARRETO, FREIRE e FREITAS, 2006; FREIRE e FERREIRA, 2009).

A aplicação de leitos de jorro para a secagem de materiais farmacêuticos tem sido recentemente objeto de uma extensa pesquisa no Brasil e tem se mostrado uma técnica promissora para tal objetivo (MARRETO, FREIRE e FREITAS, 2006). O leito de jorro tem uma desvantagem em relação à dificuldade em seu aumento de escala. No entanto, pequenas escalas são típicas na área farmacêutica, portanto, esta restrição ao leito de jorro não se aplica para produções farmacêuticas ou alimentícias de pequena escala (FREIRE e FERREIRA, 2009).

BORGES (2011) realizou a secagem em leito de jorro de bagaço de frutas tropicais, incluindo o jambolão, com ênfase na caracterização físico-química e na avaliação de compostos bioativos. No entanto, não avaliou a cinética de secagem e o comportamento fluidodinâmico dos bagaços.

Por isso, este trabalho pretende elucidar o comportamento fluidodinâmico do resíduo de jambolão em leito de jorro e avaliar a cinética de sua secagem. Além disso, espera-se avaliar a interferência da secagem no teor de antocianinas e na atividade antioxidante do resíduo de jambolão.

3. OBJETIVOS

3.1. *Objetivo Geral*

O objetivo do presente trabalho foi analisar o processo de secagem do resíduo do despulpamento do jambolão em secador de leito de jorro e avaliar a estabilidade dos compostos bioativos após o processo, visando à obtenção de um produto final particulado seco com propriedades funcionais similares às do fruto *in natura*.

3.2. *Objetivos Específicos*

- Avaliar a influência da temperatura e da velocidade do ar de secagem sobre as características físico-químicas do particulado seco, tais como: umidade, atividade de água, distribuição do tamanho das partículas, massa específica do leito, antocianinas e atividade antioxidante;
- Testar metodologia alternativa para detecção de antocianinas usando técnica fototérmica.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O procedimento experimental foi desenvolvido de acordo com as seguintes etapas:

- I. Caracterizar a matéria-prima;
- II. Avaliar a fluidodinâmica do leito de jorro com resíduo de jambolão;
- III. Verificar o efeito dos parâmetros de secagem em leito de jorro, temperatura e velocidade do ar na cinética de secagem do resíduo de jambolão (casca e semente);
- IV. Verificar o efeito dos parâmetros de secagem, temperatura e velocidade do ar do resíduo de jambolão (casca e semente) nas características físico-químicas do granulado seco;
- V. Avaliar a metodologia alternativa de detecção de antocianinas por fototérmica.

4.1. Caracterização da matéria-prima

Destaca-se que os frutos de jambolão foram colhidos no estágio de maturação próprio para o consumo, de árvores plantadas na região da cidade de Campos dos Goytacazes, estado do Rio de Janeiro, no período da safra, o qual ocorreu entre dezembro e março de 2012. A colheita foi realizada com auxílio de escada, lona e utensílios que facilitaram a operação para evitar o contato dos frutos com o solo.

Ao final de cada coleta, os frutos de jambolão foram encaminhados para o Laboratório de Tecnologia de Alimentos da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, situada no município de Campos dos Goytacazes – RJ, para

higienização e sanitização (solução de hipoclorito de sódio a 100 ppm) durante 15 min. Alguns frutos foram reservados, a fim de caracterizar a matéria-prima, e separou-se a fração comestível das sementes manualmente. O restante dos frutos foi armazenado, em sacos plásticos, no freezer a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ até o momento do despulpamento. No dia do despulpamento, os frutos foram descongelados e homogeneizados, à temperatura ambiente, para serem despulpados em uma despulpadeira comercial de aço inox (Braesi DES-10) durante 4 min, em bateladas de 4 kg, obtendo assim o resíduo úmido e a polpa (Figura 5). O resíduo foi triturado em um multiprocessador (All in One - Philco) e depois armazenado, em saco plástico resistente, no freezer para, posteriormente, ser caracterizado e utilizado para as secagens. A polpa também foi armazenada, em potes utilizados para sorvetes, para ser caracterizada depois. As quatro frações do fruto jambolão (fração comestível, sementes, resíduo úmido e polpa) foram caracterizadas físico-quimicamente pelas análises de teor de umidade, pelos minerais, pelo pH, pelos sólido solúveis totais (SST- $^{\circ}$ Brix) e pela acidez total. Nos dias dos ensaios de secagem foram realizadas análises complementares para avaliação das partículas úmidas e secas quanto à avaliação das antocianinas totais e da atividade antioxidante, além da distribuição granulométrica e da massa específica do leito.



Figura 5. Ilustração da homogeneização dos frutos de jambolão (a) para o despulpamento na despulpadeira, na qual obteve a polpa (b) e o resíduo úmido, que então foi processado e utilizado para a secagem (c).

4.2. Metodologia Experimental

4.2.1. Processo de secagem em leito de jorro

Cabe aqui dizer que o processo de secagem para obtenção do pó foi realizado no secador de leito de jorro cônico-cilíndrico, instalado no setor de Operações Unitárias do Laboratório de Tecnologia de Alimentos (LTA), conforme mostra o diagrama esquemático na Figura 6.

O ar responsável pelo jorro durante a secagem era alimentado por um compressor radial com aquecimento do ar promovido por um conjunto de resistências elétricas e sistema de controle. A velocidade do ar é controlada por uma válvula globo. A queda de pressão (ΔP) no leito foi medida por um manômetro diferencial de água em U que mostrava os valores da diferença entre P2 e P1. O produto final foi coletado em um ciclone tipo Lapple e também a partir do leito com auxílio de um aspirador de pó.

A massa de material úmido utilizada nas condições do planejamento experimental foi mantida constante e igual a 630 g, baseado nos resultados dos testes preliminares, nos quais ficou definido que essa quantidade de amostra era o suficiente para preencher uma altura de 10 cm dentro do leito, garantindo uma boa dinâmica durante a secagem. Além disso, foram definidos os níveis das variáveis de processo para a realização do estudo da secagem, em relação à temperatura e ao tempo de secagem.

O estudo fluidodinâmico do resíduo de jambolão no leito de jorro foi realizado previamente aos experimentos de secagem para definir a velocidade mínima de fluidização e estabelecer as condições de velocidade de ar de entrada na secagem no leito de jorro. Obtiveram-se curvas da queda de pressão (ΔP) em função da velocidades crescentes e decrescentes de resíduo úmido a 60 °C. A velocidade mínima de fluidização foi determinada pela curva decrescente e por observações visuais das partículas no interior do leito.

Ao começar a secagem, o compressor e os aquecedores foram ligados, sendo regulados na velocidade de ar de entrada de jorro e na temperatura de operação das condições experimentais. Após um período de estabilização da temperatura, em torno de 1 hora, o compressor foi desligado para adicionar o material úmido, com umidade média (todos os experimentos) de 63% (b.u.), e acionou-se o cronômetro.

Durante a secagem, foram coletadas amostras de aproximadamente 7 g, para análise de umidade, com um dispositivo coletor que foi colocado no topo do leito, a cada 10 min até completar 60 min.



Figura 6. Secador de leito de jorro. (1) acionamento do aparelho e controle da temperatura, (2) compressor radial, (3) válvula globo, (4) aquecedor, (5) resfriador, (6) leito de jorro com os termopares [T1 = temperatura do ar de entrada; T2 = Temperatura do leito de partículas; T3 = Temperatura do ar de saída] e as tomadas de pressão ligadas ao manômetro de água [P1 e P2], (7) ciclone e (8) coletor de pó.

As dimensões do leito estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Dimensões do leito de jorro.

Altura da parte cônica	100 mm
Altura da parte cilíndrica	510 mm
Diâmetro da parte cilíndrica	200 mm
Diâmetro da entrada do leito	50,8 mm
Ângulo incluso	60°

4.2.3. Planejamento experimental

O processo de secagem do resíduo de jambolão no leito de jorro foi estudado mediante um planejamento experimental fatorial 2^2 com três repetições no ponto central, totalizando sete experimentos, conforme mostrado na Tabela 2, utilizando a Metodologia de Superfície de Resposta (BARROS NETO, SCARMINIO e BRUNS, 2001). As variáveis independentes do planejamento foram temperatura e velocidade do ar de entrada. As respostas (variáveis dependentes) avaliadas foram: umidade (X/X_0 bs), atividade de água leito (A_w-L) e ciclone (A_w-C), antocianinas ($Ant.T.bs$) e atividade antioxidante (AAOX).

A partir da análise estatística dos resultados obtidos, estimou-se o efeito das condições de processo nas respostas avaliadas. A significância estatística dos efeitos individuais e as interações das variáveis independentes são confirmadas nos diagramas de Pareto, nos quais os efeitos estatisticamente significativos estão à direita da reta vertical indicativa do limite de confiança.

Tabela 2. Modelo do planejamento experimental fatorial realizado para avaliar a secagem do resíduo de jambolão em leito de jorro com os valores reais e codificados das variáveis

Ensaio	Valores codificados		Valores reais	
	Temperatura	Velocidade do ar	Temperatura (°C)	Velocidade do ar (m/s)
1	-1	-1	60	8
2	+1	-1	80	8
3	-1	+1	60	10
4	+1	+1	80	10
5	0	0	70	9
6	0	0	70	9
7	0	0	70	9

Pela análise estatística, foi possível obter modelos estatísticos capazes de prever o comportamento das variáveis dependentes (resposta) em função das variáveis independentes, na faixa adotada para as últimas. Para determinação do modelo estatístico preditivo, foi assumido existir uma função matemática ω para cada resposta Φ (X/X_0 bs, A_w-L , A_w-C , $Ant.T.bs$, AAOX) em função das duas variáveis independentes (temperatura (T) e velocidade do ar (v)) de acordo com a equação 1:

$$\phi = \omega(T, V) = \beta_0 + \beta_1 T + \beta_2 v + \beta_3 T \cdot v \quad (1)$$

Sendo que β corresponde ao coeficiente da equação e subíndices 0, 1, 2 e 3 correspondem ao valor médio da função ω , temperatura, velocidade do ar e interação entre temperatura e velocidade do ar, respectivamente. A equação corresponde ao modelo codificado das variáveis dependentes avaliadas neste estudo.

Para a caracterização química das frações do jambolão (frações comestível, semente, resíduo úmido e polpa), a diferença significativa das respostas dependentes (umidade, atividade de água, teor de sódio e potássio, pH, sólidos solúveis totais, acidez total e atividade antioxidante) foi avaliada por análise da variância (ANOVA, $p \leq 0,05$) e comparação de médias pelo teste de Tukey.

4.2.2. Caracterização físico-química das partículas de resíduo de jambolão

A caracterização do fruto jambolão foi realizada após o despulpamento manual (fração comestível, semente) e o despulpamento em despulpadeira comercial (resíduo úmido, polpa).

Acrescente-se que a caracterização do resíduo úmido inicial de jambolão foi realizada semanalmente, durante a realização dos experimentos de secagem, que foram ao todo 3 semanas. Toda semana, as amostras de resíduo úmido eram separadas e avaliadas quanto à umidade, à atividade de água, às antocianinas, à atividade antioxidante, à densidade bulk e à distribuição granulométrica. As mesmas análises foram realizadas com as partículas secas (pó) do resíduo de jambolão obtidas após a secagem em leito de jorro.

4.2.2.1. Determinação do teor de umidade

A determinação do teor de umidade das amostras foi realizada pelo método da AOAC (1998), que consiste da pesagem de 2 g da amostra (triturada, homogeneizada) em balança analítica (BEL Engineering, Mark M254-AI), e da secagem em estufa à pressão atmosférica a 105 °C por 24 horas, até atingir massa constante.

4.2.2.2. *Determinação do teor de sólidos solúveis totais (SST)*

O teor de sólidos solúveis totais da polpa foi determinado por um refratômetro de bancada (Quimis, Q-109B) (AOAC, 1998).

4.2.2.3. *Determinação da atividade de água*

A determinação da atividade de água foi realizada a 25 °C empregando-se o instrumento Aqualab, modelo CX-2T-Decagon. O princípio do método consiste na medida do ponto de orvalho da amostra acondicionada em uma cápsula plástica dentro de um sistema à temperatura constante.

4.2.2.4. *Determinação da acidez total titulável*

A acidez total foi determinada por titulação com solução de NaOH 0,1 M e fator de correção 0,9475 com o uso do pHmetro, devido à presença de pigmentos, principalmente antocianinas, presentes no jambolão. Estes pigmentos mudam de cor com a alteração do pH. O eletrodo do potenciômetro, já devidamente calibrado, foi introduzido nas suspensões preparadas com alíquotas de 5 g da fração comestível (casca + resíduos da polpa) ou 5 mL da polpa com 30 mL de água deionizada. A solução do álcali foi gotejada nas respectivas suspensões, sob agitação manual constante, até pH 8,3. Este é o ponto de viragem para amostras coloridas ou turvas. Nas duas frações, o teor de acidez foi calculado considerando o volume de álcali que foi gasto na titulação da suspensão e os resultados expressos de acordo com a equação 2 (ADOLFO LUTZ, 2008):

$$Acidez\ Total\ (\% \acute{a}cido\ c\acute{it}rico(v/v)) = \frac{V \cdot f \cdot M \cdot 100}{P}$$

(2)

Sendo que V corresponde ao volume (mL) da solução de hidróxido de sódio gasto na titulação, f o fator de correção da solução de hidróxido de sódio, P à massa da amostra (g ou volume pipetado em mL) e M à concentração da solução de hidróxido de sódio (mol/L).

4.2.2.5. *Determinação do pH*

A determinação do pH da polpa foi realizada nas amostras trituradas e homogeneizadas por leitura direta em pHmetro digital (BEL Engineering, W3B) (AOAC, 1998).

4.2.2.6. *Determinação de minerais*

Os minerais (sódio e potássio) foram quantificados, respectivamente, por emissão de chama com leitura em fotômetro de chama (Analyser, 910M) e em emissão de plasma atômico (ICPE-9000, Shimadzu), conforme método 990.08 da AOAC (1998). As amostras foram digeridas por via úmida em capela de exaustão com aquecimento com ácido nítrico e peróxido de hidrogênio. A solução resultante da digestão foi diluída para 50 mL para realização da leitura dos minerais. Utilizou-se 2 g da fração comestível (casca + polpa aderida), 1 g de semente e de resíduo e 3 g de polpa.

4.2.2.7. *Determinação de antocianinas totais*

A determinação do conteúdo de antocianina foi realizada pelo método de pH diferencial descrito em TEIXEIRA, STRINGHETA E OLIVEIRA (2008).

Merece especial destaque esclarecer que primeiramente, ocorreu a extração dos pigmentos antocianínicos de acordo com SILVA (1996) com modificações no preparo da amostra inicialmente. As amostras de resíduo úmido armazenadas no freezer, congeladas foram liofilizadas, previamente à análise, e as amostras secas foram compostas do material retido no leito de jorro e das coletadas ciclone. A análise foi realizada duas semanas após a secagem. Ambas as amostras (resíduos úmidos liofilizados e secos) foram banhadas com nitrogênio líquido para abaixar a temperatura e processar em um liquidificador (Walita 550 W) com a função pulsar durante três vezes e peneirando para uniformizar as amostras. Pesou-se em torno de 1 g de amostra e adicionou-se 80 mL de solvente extrator (etanol-água (70:30)) e HCl suficiente para ajustar o pH do meio para 2,0. O material então foi deixado em repouso por 24 h sob refrigeração, ao abrigo de luz, para a extração. No dia seguinte, o material foi prensado manualmente em filtro de tecido, com o fim de reter o resíduo. O extrato foi transferido para o balão volumétrico de 100 mL (VE1), tendo seu volume completado com o solvente extrator, formando o Extrato Concentrado. O conteúdo do

balão foi centrifugado (centrífuga excelsa II, mod 206BL, Fanem) a 2000 rpm, por 10 min. O sobrenadante foi filtrado, posteriormente, em papel filtro. Após a filtração, o extrato foi purificado, extraíndo-se (três extrações sucessivas) o conteúdo de clorofila com auxílio de 10 mL de solvente extrator Éter Etílico:Éter de petróleo (1:1).

A absorvância foi determinada em espectrofotômetro UV-Vis (Shimadzu Mini 1240), efetuando-se leituras em comprimento de onda de 535 nm. O conteúdo total de antocianinas foi expresso em mg/100g matéria seca da fração da amostra analisada. Foi utilizado o Coeficiente de Extinção médio ($E1\%1cm$) de diversas antocianinas, adotando-se para o método do pH Diferencial 873 e 775, respectivamente, para os pHs 1,0 e 4,5. A solução pH 1,0 foi preparada a partir da mistura de soluções de KCl (0,2 N) e HCl (0,2N) na proporção 25:67. O tampão pH 4,5 foi preparado a partir de solução de acetato de Sódio (1N), HCl (0,2N) e água na proporção 100:60:90. Alíquotas do extrato concentrado (VALq) foram transferidas quantitativamente para balões volumétricos de 25 mL e 10 mL (VE2), tendo seus volumes completados com as soluções tampões pH 1,0 e pH 4,5, respectivamente. Os valores de absorvância foram contrastados com os valores dos respectivos brancos (soluções tampão pH 1,0 e 4,5). O cálculo do teor de antocianinas totais (Ant.T.) em mg/100g de amostra seca da fração avaliada foi obtido de acordo com a equação 3, adaptando-se o valor de DO para a diferença de leitura entre os dois pHs.

$$AntTmg/100g (amostra.seca) = \frac{((DO_{535nm} \times VE1 \times VE2 \times 1000))}{(VALq \times m \times E1\%1cm)} \times Msol \quad (3)$$

Na equação 3, DO é a densidade óptica do extrato diluído calculado pela diferença entre os pHs 4,5 e 1,0, VE1 é o volume total do extrato concentrado; VE2 é o volume total do extrato diluído; m é a massa de amostra; 1000 é o fator de correção; $E1\%1cm$ é o coeficiente de extinção e Msol é a massa de sólidos.

A quantificação de antocianinas foi realizada por esse método descrito acima e também foi avaliada a presença dessas e de outras substâncias por espectroscopia fotoacústica (Figura 7).

A fotoacústica se baseia na geração de ondas de pressão em um gás em contato com um material que absorve radiação modulada. As oscilações de temperatura na superfície do material são transmitidas à camada de gás adjacente,

que sofre expansões periódicas e atua como um pistão acústico. Em uma célula fechada, tais ondas de pressão são detectadas por um microfone e convertidas, via amplificador síncrono (lock-in), em sinal elétrico.

A radiação utilizada é fornecida por uma lâmpada de xenônio (600 W, Oriel Corporation) que, após passar por um monocromador (Oriel Corporation, mod. 77 250), é modulada mecanicamente (SR540 chopper) em 17 Hz. A frequência utilizada e a espessura da amostra (3 mm) são escolhidas de modo a garantir um espectro resolvido (ROSENCWAIG e GERSHO, 1976). O feixe modulado e monocromático atinge então a célula fotoacústica (MTEC convencional), onde se encontra a amostra (aproximadamente 5 g), gerando assim as ondas acústicas detectadas pelo microfone. O sinal fotoacústico é registrado por um amplificador lock-in (Stanford, mod. SR830) em varreduras de 300 a 750 nm, com passo de 1 nm.

Os espectros fotoacústicos foram obtidos para a amostra *in natura* liofilizada (liofilizador Liotop, modelo L101) e para todas as amostras secas em leite de jorro. As medidas foram feitas em triplicata para cada condição e o espectro considerado foi uma média das repetições. O sinal fotoacústico é proporcional à absorção do material para cada comprimento de onda da radiação incidente, de modo que o espectro pode revelar a presença de diversos centros absorvedores. Neste caso, para a análise dos dados, é realizado um ajuste da curva experimental com base no processo de convolução de curvas gaussianas. A área sob cada gaussiana está relacionada à concentração do centro absorvedor a ela associado.

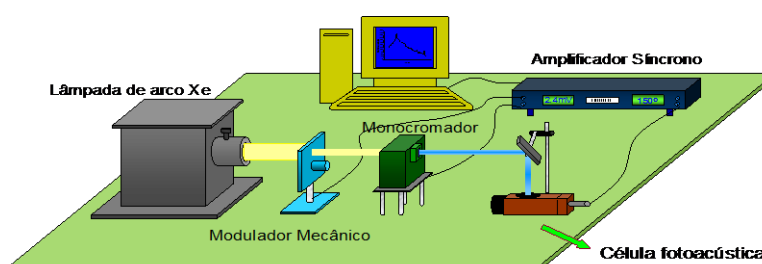


Figura 7. Esquema do equipamento de fotoacústica (GUIMARÃES, 2004).

4.2.2.8. Determinação da atividade antioxidante

A avaliação da atividade antioxidante foi realizada pelo método fotocolorimétrico do radical livre estável DPPH (2,2-difenil-1-picrilidrazila) de acordo com BRAND-

Para as partículas de resíduo úmido de jambolão, devido à sua umidade e coesão, foi adicionado nas peneiras, em torno de 150 g de material durante 30 min de agitação. Com essa quantidade e neste tempo foi possível separar uma grande quantidade de material de casca/polpa residual que estava agregada na semente, conseguindo obter um melhor resultado de sua distribuição. As amostras de resíduo de jambolão em pó coletadas no leito e no ciclone, com massa em torno do rendimento de cada condição de processo de secagem, permaneceram sob agitação de 10 min.



Figura 9. Agitador de Peneiras Eletromecânico.

Todas as amostras foram agitadas com vibração na 8ª posição do equipamento. Com os dados, além de verificar a distribuição granulométrica das partículas foi calculado o diâmetro médio, obtido pela definição Sauter dada pela Equação 5.

$$\bar{D}_{pS} = \frac{1}{\sum (\Delta x / D)} \quad (5)$$

Em que Δx é a fração mássica retida na peneira e D é o diâmetro médio da abertura da peneira superior e inferior (mm).

4.2.2.10. Massa específica do leito

A massa específica do leito de partículas é a razão entre a massa de partículas e o volume que elas ocupam em um recipiente quando são dispostas em queda livre em um recipiente de volume conhecido (LESCANO, 2009). Então, o material com massa conhecida (aproximadamente 50 g para resíduo úmido e 40 g para o seco) foi colocado em uma proveta de 100 mL, sob uma inclinação de 45°, e logo em seguida foi medido o volume ocupado sem nenhuma agitação.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Caracterização do jambolão

O processo de despulpamento em despulpadeira comercial dos jambolões obteve um rendimento de 50% de polpa, 44% de resíduo úmido (casca e semente) e 6% de material perdido. Na Tabela 3 a composição físico-química das frações do jambolão despulpado manualmente, composto da fração comestível (polpa e casca) e da semente, e do resíduo úmido (consistia principalmente de sementes, cascas e resíduos de polpa) e polpa, ambos obtidos do despulpamento mecânico. Os valores apresentados correspondem a uma média da composição das diferentes frações do fruto com o respectivo desvio padrão.

Tabela 3. Caracterização química dos produtos a partir do fruto de jambolão.

Análises\Amostras	Fração comestível	Semente	Resíduo úmido	Polpa
X (g/100g)	85,7 ± 0,3 ^c	54,8 ± 0,4 ^a	62 ± 2 ^b	-
Aw	0,989 ± 0,001 ^a	-	0,987 ± 0,001 ^a	0,998 ± 0,001 ^a
pH	3,68 ± 0,01 ^a	-	4,04 ± 0,08 ^a	3,63 ± 0,01 ^a
Acidez total (%)	11,7 ± 0,1 ^b	-	-	9,3 ± 0,1 ^a
SST (°Brix)	11,1 ± 0,4 ^a	-	-	11,4 ± 0,2 ^a
K (mg/100g)	235 ± 14 ^b	175.4 ± 16 ^a	254 ± 16 ^b	200 ± 1 ^{ab}
AAOX (%)	92 ± 1 ^a	90 ± 4 ^a	93,8 ± 0,4 ^a	94 ± 1 ^a

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na mesma linha não diferem entre si para $p > 0,05$ pelo teste de Tukey.

A fração comestível do jambolão fruto apresenta alto teor de umidade (86%) e as sementes 55%. O resíduo úmido apresentou um valor intermediário, 62%, provavelmente por todas as frações. A atividade de água foi superior a 0,98 para todas as amostras, o que é característico de frutas frescas e as torna susceptíveis à deterioração, ao desenvolvimento de micro-organismos patogênicos. Porém, somente este parâmetro não é determinante para verificar o desenvolvimento desses micro-organismos (FENEMMA, 2011).

O pH de todas as amostras variou de 3,63-4,04 para todas as amostras, assim como encontrado em outros trabalhos na literatura (SÁ, 2008; VIZZOTTO e FETTER, 2009; PEREIRA, 2011), caracterizando o jambolão como um alimento ácido. Esta gama de pH pode favorecer o crescimento das leveduras e, conseqüentemente, a secagem pode ser uma boa alternativa para a estabilização do produto e em alimentos ácidos se torna importante na conservação desses frutos nos processos de aproveitamento e beneficiamento (CHITARRA e CHITARRA, 2005; PEREIRA, 2011).

A acidez total titulável representa o somatório das concentrações dos ácidos presentes na amostra, de acordo com o ácido predominante no alimento que está sendo analisado (ADOLFO LUTZ, 2008), que em questão é o ácido cítrico. A acidez total foi maior para a fração comestível (12%) em relação à polpa (9%), extraída mecanicamente. Isto pode ser atribuído à retenção de cascas e uma polpa com o resíduo durante a extração da polpa, o que poderia reter alguns ácidos no resíduo. Vale ressaltar que a acidez é um importante parâmetro na apreciação do estado de conservação de um produto alimentício, assim como o pH.

O teor de sólidos solúveis totais é indicativo da quantidade de açúcares existentes no fruto e é um importante atributo para determinação do seu sabor. O teor de SST da fração comestível e a polpa foram iguais, em torno de 11%. SÁ (2008) encontrou 13% para a fração comestível e 5,3% para a semente. No entanto, VIZZOTTO e FETTER (2009) encontraram 9% de SST e acidez de 6% para a fração comestível, menores valores encontrados em relação a este trabalho. Essa variação no teor de SST e acidez total pode ser em razão do estágio de maturação, da disponibilidade de nutrientes nos diferentes solos, das variedades das árvores de jambolão de cada região, além da quantidade de chuva durante a safra e os fatores climáticos.

No que diz respeito aos teores de minerais, não foi detectada a presença de Na, seguindo a mesma tendência da literatura que relata baixa concentração deste

mineral em frutas jambolão, 1 mg/100g (TACO, 2011) e 3,2 mg/100g (Sá, 2008), a parte comestível é de 0,6 mg/100g nas sementes (TACO, 2011). A concentração de K variou 175-254 mg/100g, sendo estes valores extremos das sementes e o resíduo *in natura*. Na maioria dos casos, o teor de mineral da polpa é menor do que a da fracção comestível e pode ser explicado pela lixiviação de minerais durante a extração da polpa, a qual apresenta uma perda de massa de fruta de 6%. As concentrações encontradas são menores um pouco com relação às relatadas na literatura para jambolão brasileiro, que são de 394 mg/100g (TACO, 2011) e 1907 mg/100g para fracção comestível e 977 mg/100g para as sementes (SÁ, 2008). As diferenças são consequências das variedades vegetais, do clima e do cultivo, entre outros fatores como foi dito anteriormente.

Todas as fracções apresentaram capacidade de sequestro de radicais livres, no caso o DPPH, superior a 90% para todos os extratos de metanol em 1000 µg/mL, variando de 90% a 94%. De acordo com a literatura, a alta atividade antioxidante de jambolão é referida à presença de antocianinas, flavonoides, carotenoides e outros compostos bioativos, tanto na parte comestível e as sementes (BRITO *et al*, 2007;. VEIGAS *et al.*, 2007; SÁ, 2008; SHARMA, BALOMAJUMBER e ROY, 2008; FARIA, MARQUES, MERCADANTE, 2011; PEREIRA, 2011; SARI *et al.*, 2012).

5.2. Fluidodinâmica do resíduo de jambolão no secador de leito de jorro

A Figura 10 ilustra o comportamento fluidodinâmico do resíduo úmido de jambolão em secador de leito de jorro por meio de curvas da queda de pressão em função da velocidade crescente e decrescente do ar no leito. Durante a realização dos ensaios fluidodinâmicos a 60 °C foi feita observação visual do comportamento das partículas de resíduo de jambolão dentro do leito que possibilitou identificar diferentes regimes.

Em relação ao comportamento visual das partículas, foi observado que, para baixas velocidades do ar, as partículas de resíduo úmido apresentaram uma pequena elevação no leito, mantendo-se um leito fixo, com mínima fluidização na parte inferior aproxima à entrada do fluido quente. As partículas da região anular ficaram empacotadas pela saturação da umidade ambiente, não apresentando fluidização. Com um aumento da velocidade do ar até 10 m/s, verificou-se o deslocamento de sólidos a partir do núcleo central com o desenvolvimento do jorro interno na superfície do leito. Além disso, elutriação de partículas se deu medida que as partículas começaram a secar. Para velocidades de ar elevadas, observou-se jorro vigoroso e mais elutriação das partículas para o ciclone.

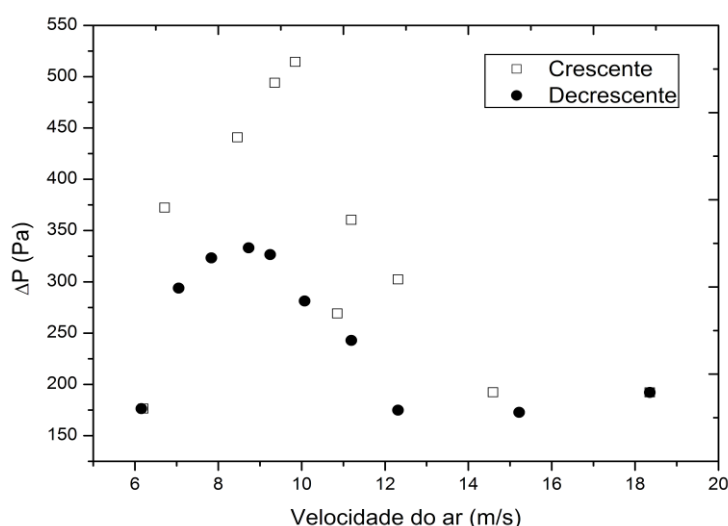


Figura 10. Curvas características da queda de pressão no leito de jorro com o resíduo úmido de jambolão em função da velocidade do ar crescente e decrescente à temperatura do ar de entrada de 60 °C.

A determinação da velocidade mínima de jorro pela curva de fluidização não foi efetiva, porque as partículas começaram a secar durante os testes. No entanto, foi observado que para as velocidades de ar entre 9 e 10 m/s, o resíduo úmido apresentou inicialmente um arranjo denso seguido do desenvolvimento de jorro interno no início do processo de secagem, que se tornou um jorro constante a medida que umidade das partículas foi reduzida. Assim, decidiu-se optar pelas seguintes velocidades de ar na secagem: 8, 9 e 10 m/s. No final do processo de secagem, as partículas apresentavam um movimento muito vigoroso neste intervalo de velocidade do ar, com a formação de bolhas de ar e elevada altura na fonte.

Os regimes fluidodinâmicos observados visualmente com o resíduo úmido de jambolão foram:

I. LFFM - leito fixo com fluidização mínima: o ar passa suavemente entre as partículas no leito, permitindo apenas uma pequena elevação da altura formada pela carga de resíduo úmido de jambolão, sem a formação de bolhas;

II. FP - fluidização pesada: na faixa de velocidade na qual ocorre esse período, a fluidização e formação do jorro ocorrem com bastante dificuldade, conseqüentemente, não se pode garantir a homogeneidade na distribuição do ar entre as partículas, na região anular principalmente. Além disso, percebe-se que algumas partículas úmidas são carregadas para o ciclone;

III. FV - fluidização vigorosa: a fluidização é vigorosa (com formação de bolhas), entretanto sem muito arraste de partículas. A faixa de velocidade em que ocorre esse período proporciona uma boa mistura entre as partículas de resíduo de jambolão e o ar;

IV. FVA - fluidização vigorosa alta: com aumento da velocidade do ar o jorro ficou muito vigoroso com intenso arraste de partículas.

5.3. Cinética de secagem em leito de jorro

Depois de avaliar a fluidodinâmica do resíduo úmido de jambolão, as condições de secagem, a temperatura e a velocidade do ar de entrada foram determinadas e todos os experimentos foram realizados segundo o planejamento experimental mostrado na Tabela 2, na seção material e métodos. O planejamento experimental foi realizado com o objetivo de avaliar a influência das variáveis dependentes do processo (temperatura e velocidade de ar) sobre a evolução do conteúdo de umidade adimensional em base seca (X/X_0 b.s.) ao longo do tempo de secagem.

Além disso, para complementar a discussão, durante o processo de secagem foram medidas as temperaturas do ar de entrada, do leito e de saída do leito; umidade relativa do ar ambiente e de saída do leito e pressão manométrica relacionada à perda de carga no leito de jorro.

A Figura 11a mostra a evolução da temperatura medida acima do leito de partículas em função do tempo de secagem. Essa temperatura está relacionada com a temperatura da amostra presente no leito ao receber o ar de entrada de secagem. Observa-se que a temperatura do resíduo úmido é constante no início do processo e é crescente com o tempo, após 10 a 20 min, dependendo da condição de secagem, chegando próximo à temperatura de processo em 60 min. As amostras secas a 80 °C apresentam uma elevação da temperatura mais rápida em relação às secas a 60 °C, mesmo que no início da secagem ainda haja instabilidade no controle da temperatura de entrada do ar até os 10 min de secagem (Figura 11b).

Os efeitos iniciais estão relacionados ao contato do material com o ar de secagem e à evaporação da umidade de superfície. O ar aquecido fornece calor necessário para evaporar a água superficial do material sólido úmido, que está à temperatura ambiente ao ser alimentado no leito e a temperatura do leito é constante. Esse comportamento indica período de taxa de secagem constante que termina quando o material sólido atinge o teor de umidade crítico, ou seja, quando o movimento do líquido das partículas da interface para a superfície do sólido torna-se insuficiente para substituir o líquido que está sendo evaporado (FOUST *et al.*, 2008).

Na fase inicial da secagem (Figura 11a), a velocidade do ar teve uma menor influência em relação à temperatura na troca de calor entre o ar aquecido e o produto. A alta umidade do resíduo de jambolão e o empacotamento do leito influenciaram o

comportamento fluidodinâmico do leito e a formação do jorro. Após este período há estabilização da fluidodinâmica até o final do processo.

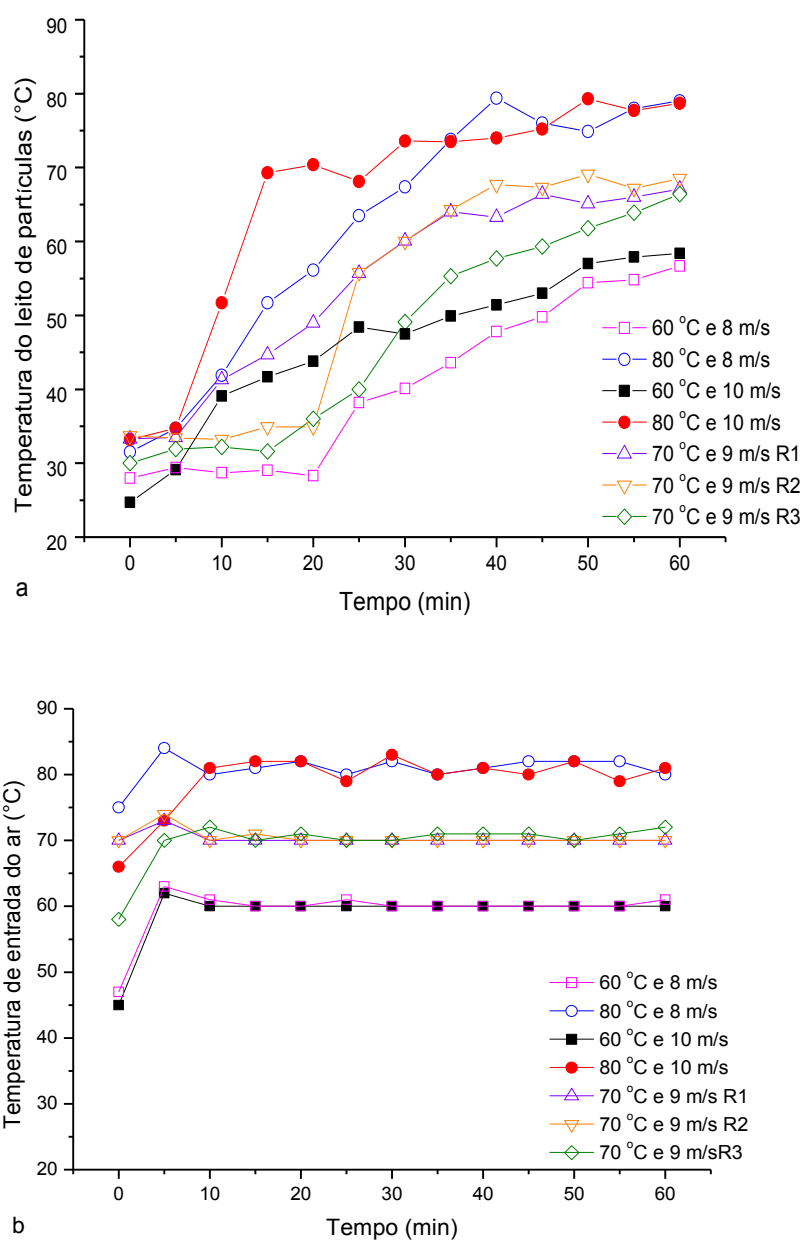


Figura 11. Temperatura acima do leito de partículas de resíduo de jambolão (a) e temperatura de entrada do ar de secagem (b) em função do tempo nas diferentes condições de secagem do planejamento experimental.

Na sequência, o fato da temperatura apresentar curva crescente, tendendo a atingir estabilidade próxima à temperatura do ar, está relacionado à troca de calor entre o ar aquecido e o material e à redução da umidade do material. Nesse período de aumento da temperatura da amostra, a umidade começa a ser escassa na

superfície do sólido, alcançando o teor de umidade crítico em torno de 10 a 20 min, dependendo da condição de secagem. Como consequência, há melhora da condição fluidodinâmica do leito e na secagem do resíduo úmido de jambolão.

As curvas da temperatura e umidade do ar de saída em função do tempo de secagem estão ilustradas na Figura 12. Percebe-se que a curva da temperatura do ar de saída apresenta um período inicial constante, seguido de um período crescente até alcançar valores próximos à temperatura de processo em todas as condições de secagem aos 60 min. Em contrapartida, a curva da umidade do ar de saída é decrescente, mostrando que no início da secagem, o resíduo de jambolão apresentava grande quantidade de água de superfície que, pela sua retirada, provocou a umidificação do ar de secagem na região de saída do leito.

Na Figura 12 é possível identificar que a variável temperatura e velocidade do ar contribuíram para uma rápida diminuição da umidade relativa do ar de saída, com maior influência da temperatura, chegando próximo a 10-15% em 60 min de secagem. Em relação ao ponto central, observa-se uma boa repetição dos processos, sendo os maiores desvios detectados em relação à umidade do ar de saída antes de se completar 25 min de secagem. Esse período, no qual o resíduo de jambolão ainda estava úmido na superfície, foi observado vapor no leito, pela evaporação da água livre presente no material, ao encontrar com o agente de secagem quente. Além disso, neste início as partículas sólidas úmidas promoveram jorro instável pela alta coesão entre elas na região anular durante o processo, inviabilizando o jorro. Este período é característico de taxa constante de secagem presente em material sólido com alta umidade.

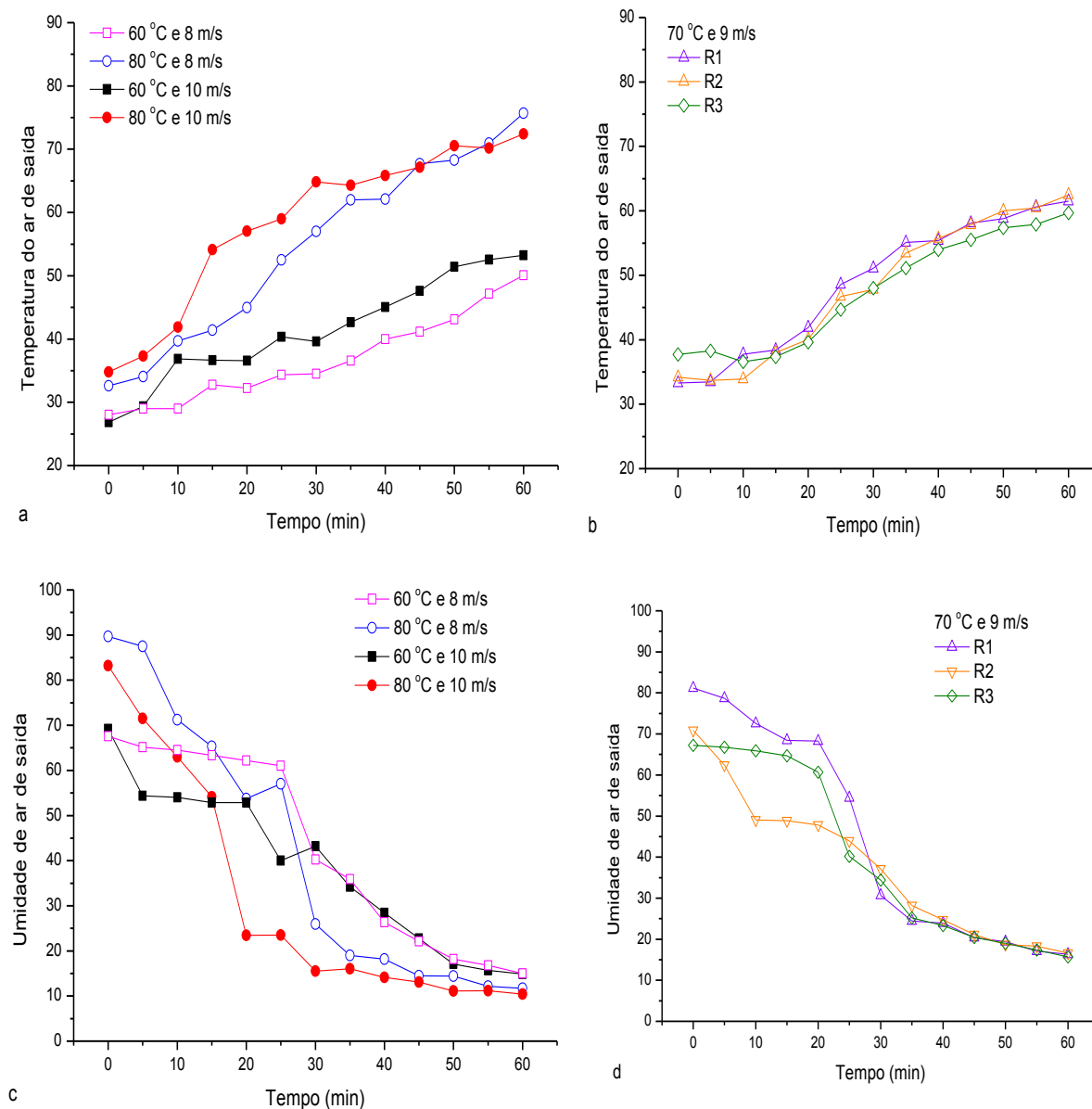


Figura 12. Temperatura e umidade relativa do ar de saída nas condições superior e inferior de temperatura e velocidade do ar, além do ponto central do planejamento experimental em função do tempo.

Observa-se na Figura 13 que no início da secagem a queda de pressão no leito (ΔP) é alta pelo empacotamento das partículas em um arranjo mais denso e com um regime de jorro mínimo. Ao final deste regime, o ar consegue fluidizar o meio particulado, saindo do regime de leito fixo com período de taxa constante. Nas condições a 80 °C após 10 min e nas condições a 60 e 70 °C (PC) após 20 min, as transferências de calor e de massa são diminuídas pelo início da taxa decrescente de secagem e, conseqüentemente, o jorro é estabelecido de forma estável até o final da secagem.

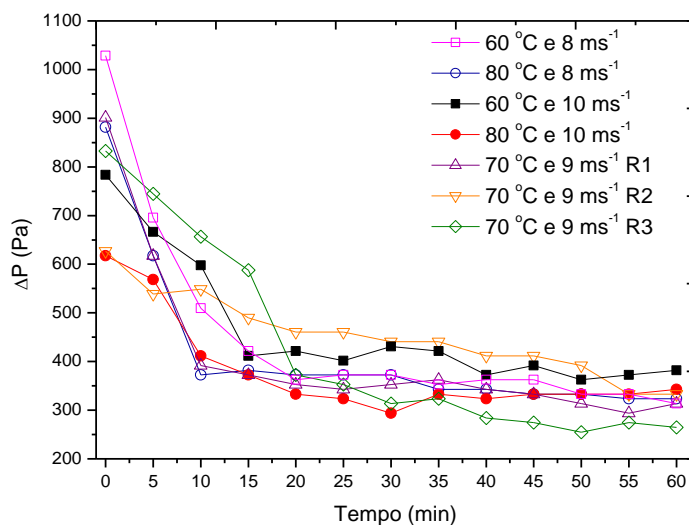


Figura 13. Queda de pressão (ΔP) no leito de jorro em função do tempo de secagem do resíduo de jambolão nas condições dos ensaios do planejamento experimental.

A Figura 14 apresenta a curva de secagem, isto é, a redução da umidade adimensional em base seca (do material do leito) em função do tempo de secagem, para o resíduo úmido de jambolão em todos os ensaios realizados. Em virtude dos valores de umidade em base úmida inicial do resíduo de jambolão variarem, ao observar a Tabela 4, optou-se em utilizar umidade adimensional em base seca. Observa-se na Tabela 1, que as amostras de resíduo de jambolão coletadas no leito apresentaram uma acentuada redução da umidade (b.u) de 60-72% para 4-9%. As amostras coletadas no ciclone apresentaram menor redução na umidade, chegando a 8-15%. Esse pequeno aumento é devido ao arraste de partículas do resíduo de jambolão ainda úmidas no início do processo. BORGES (2011) ao avaliar o pó do bagaço (polpa residual, casca, semente) de jambolão seco em leito de jorro a 70 °C e 1,8 m/s também reduziu a 10% de umidade (b.u.), grau de umidade considerada mínima para desenvolvimento de micro-organismos.

As curvas de secagem do resíduo indicaram a influência relevante da temperatura na redução de umidade do produto em função do tempo de processo (Figura 14). Percebe-se que a velocidade de ar contribui para a aceleração dessas transferências, no entanto não influencia na redução da umidade. As curvas de secagem obtidas para o ponto central do planejamento demonstram boa reprodutibilidade do processo, revelando a confiabilidade dos resultados (Figura 14b).

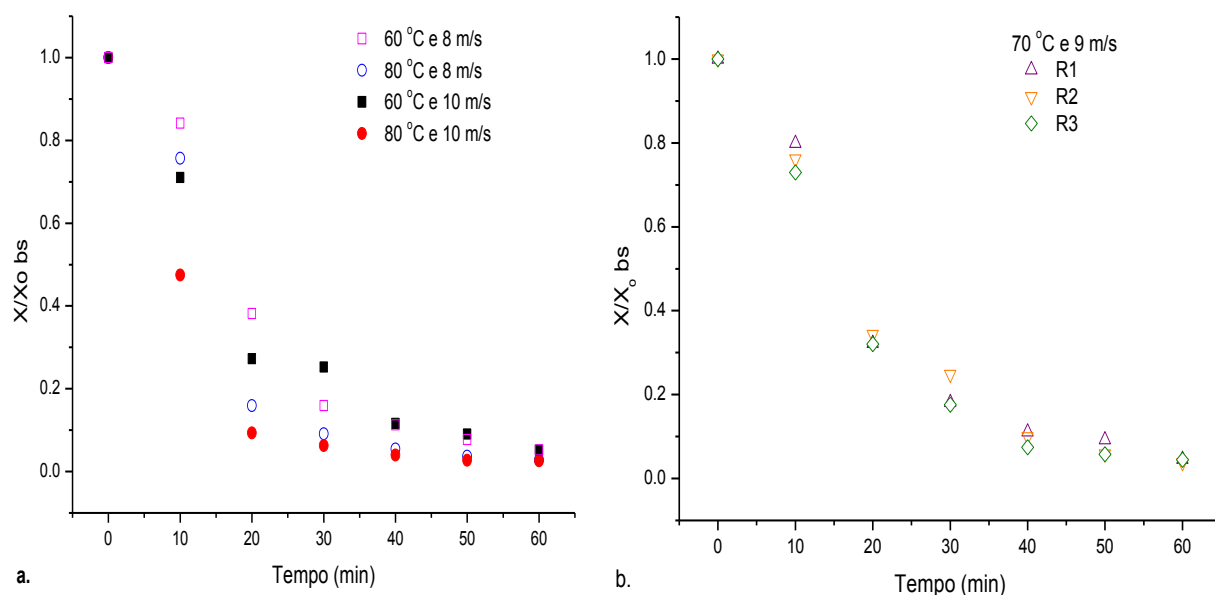


Figura 14. Umidade adimensional em base seca (X/X_o b.s.) do resíduo de jambolão em função do tempo de secagem nas condições superior e inferior de temperatura e velocidade do ar (a) e no ponto central (b) do planejamento experimental.

Tabela 4. Umidade inicial (X_o) e final do leito (X_{fL}) e do ciclone (X_{fc}) em base úmida (b.u.) do resíduo de jambolão das condições de secagem nos ensaios do planejamento experimental

Ensaio	X_o (%)	X_{fL} (%)	X_{fc} (%)
60 °C e 8 m/s	63,3 ± 0,5	8,2 ± 0,1	12,4 ± 0,2
80 °C e 8 m/s	59,3 ± 0,4	3,9 ± 0,1	9,7 ± 0
60 °C e 10 m/s	65,0 ± 1,5	8,7 ± 0,8	12,6 ± 0,1
80 °C e 10 m/s	71,7 ± 6	6,9 ± 2	8 ± 0,1
70 °C e 9 m/s R1	62,7 ± 2	7,2 ± 0,2	15 ± 6
70 °C e 9 m/s R2	63 ± 1	6 ± 0,4	8,5 ± 1,5
70 °C e 9 m/s R3	66,1 ± 0,6	8 ± 0,3	9,2 ± 0,1

Obs.: PC (ponto central) = T 70 v 2,0, sendo T a temperatura (°C) e v a velocidade do ar (m/s).

Como já foi observado pelas análises das temperaturas e pela umidade relativa do processo, o resíduo de jambolão apresenta um período de secagem curto à taxa constante no início do processo, entre 10 e 20 min, seguido por um período predominante à taxa decrescente. Este último comportamento prevaleceu no processo de secagem como era esperado para materiais biológicos (Figura 15).

No início do processo, o resíduo jambolão apresentou uma grande quantidade de água da superfície, principalmente pela presença de resíduo de polpa de fruta. Esta água livre é facilmente evaporada e não enfrenta resistência da estrutura porosa interna do material. Por outro lado, essa resistência interna à transferência de

umidade predomina durante o período de taxa decrescente. Considerando-se que o resíduo é composto principalmente por sementes, esperava-se que a taxa de secagem fosse dependente das condições internas. Este período é mais longo do que a taxa constante um, como a água é química e fisicamente ligada à estrutura vegetal (FOUST, 2008; FREIRE e FERREIRA, 2009).

No período de taxa constante, as partículas de resíduo úmido de jambolão, principalmente a casca e um pouco de polpa residual, apresentaram grande quantidade de água de superfície e esta foi liberada sem haver resistência da estrutura porosa do material, pois era água livre que estava sendo evaporada. No período de taxa decrescente prevalece a resistência interna à migração de água para a superfície do produto, principalmente para as sementes do resíduo de jambolão, ou seja, o controle da taxa de secagem depende das condições internas. É um período mais demorado em relação à taxa constante, pois a água está ligada à estrutura do material e demanda mais tempo para alcançar a umidade de equilíbrio, isto é, a pressão de vapor da água no material é igual à pressão parcial do vapor do ar e a taxa de secagem aproxima-se de zero (FOUST *et al.*, 2008; FREIRE e FERREIRA, 2009).

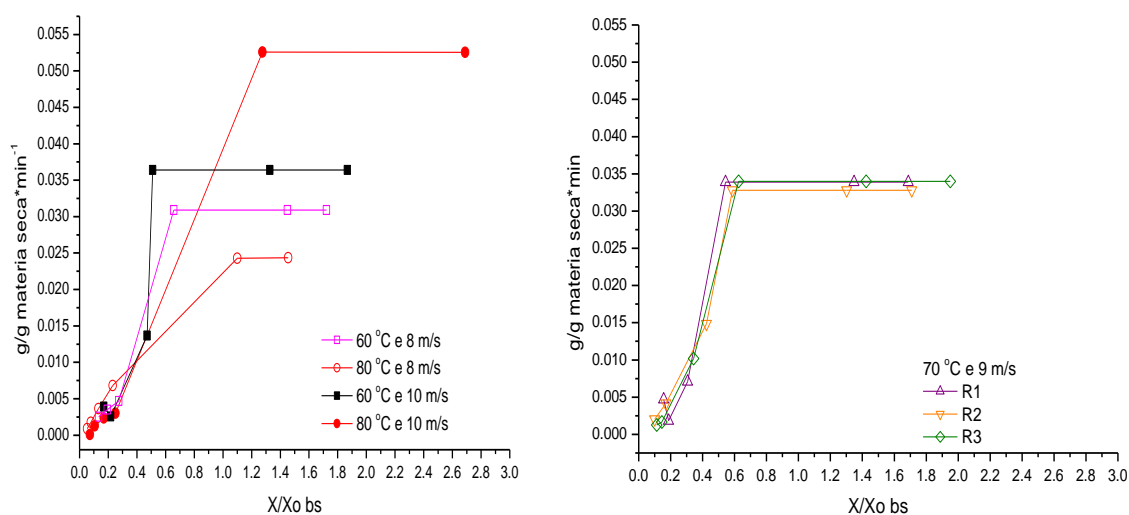


Figura 15. Taxa de secagem em função do conteúdo de umidade adimensional em base seca do resíduo de jambolão nas condições superior e inferior de temperatura e velocidade do ar e no ponto central do planejamento experimental.

Os resultados da análise estatística aplicada aos dados experimentais da umidade adimensional final em base seca estão apresentados na Tabela 5 e ilustrados no diagrama de Pareto na Figura 16. Os efeitos foram todos estimados em

nível de significância de 5%, ou seja, a variável é considerada estatisticamente significativa quando $p \leq 0,05$.

A análise estatística de efeitos e diagrama de Pareto (Tabela 5 e Figura 16) confirma que a variável temperatura apresentou efeito significativo negativo sobre a resposta umidade adimensional em base seca, ou seja, à medida que a temperatura aumenta reduz a umidade, alcançando a umidade de equilíbrio mais rapidamente. Diversos autores também verificaram a influência direta da temperatura no teor residual de umidade (GOUVEIA *et al.*, 2005; SILVA, 2008; MARTINS, 2013) após a secagem de frutas e de seus resíduos em leito de jorro ou leito convectivo fixo.

Tabela 5. Estimativa dos efeitos sobre a umidade adimensional em base seca (X/X_0 b.s.) do resíduo de jambolão para o tempo de 60 min de secagem em leito de jorro

Variável	60 min de secagem		
	Efeito	DP	p
Média	0,0408	0,002	0,002
Temperatura	-0,0247	0,004	0,03
Velocidade do ar	-0,0014	0,004	0,78 (ns)
T x V	-0,0006	0,004	0,90 (ns)

*ns: não significativo

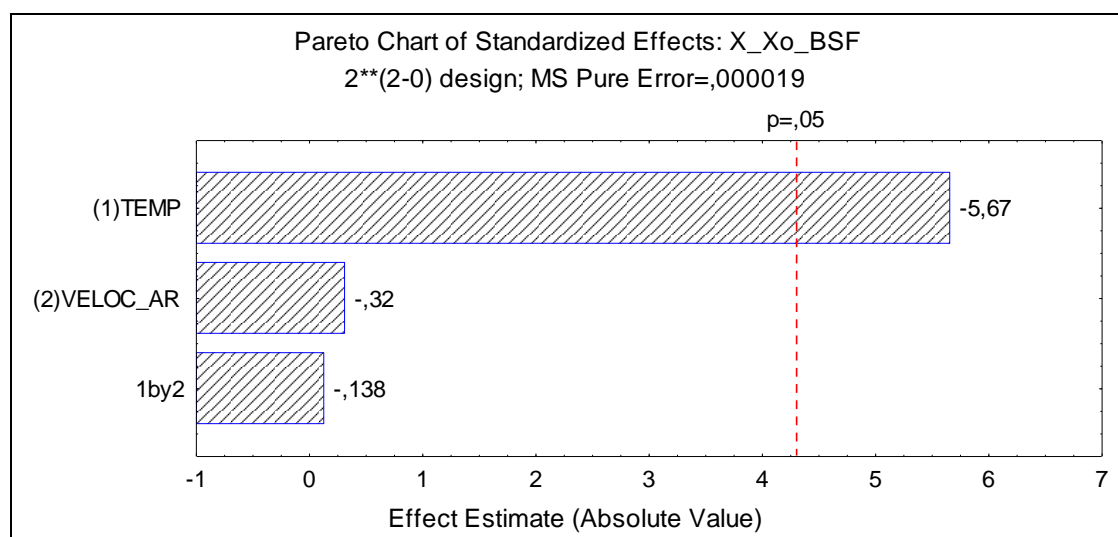


Figura 16. Diagrama de Pareto para umidade adimensional em base úmida ao final da secagem de resíduo de jambolão durante 60 min de processo em leito de jorro.

A velocidade do ar e o efeito de interação da temperatura com a velocidade (T x V) não foram significativos em nível de 5% de significância. Outros autores

identificaram o efeito da velocidade do ar na cinética de secagem em leito fixo de resíduos de frutas (ALMEIDA *et al.*, 2006; DULZZIONI *et al.*, 2013; SILVA, NOGUEIRA e DUZZIONI, 2013). Embora a velocidade do ar tenha contribuído pouco para acelerar a transferência de massa na cinética de secagem do resíduo de jambolão, observou-se que essa variável tem um papel na fluidodinâmica das partículas, como já era esperado.

Para verificação da validação do modelo estatístico preditivo foi realizada a análise de variância (ANOVA). Para isto, foram eliminados os parâmetros não significativos e foi verificada a significância da regressão e da falta de ajuste a 5% de significância, utilizando o teste F para o planejamento estudado (Tabela 6).

Tabela 6. Análise de Variância (ANOVA) para a umidade adimensional em base seca para o processo de secagem de resíduo de jambolão em leito de jorro durante 60 min.

Fonte de variação	60 min de secagem					
	SQ	GL	MQ	F _{calc}	F _{tab}	R ²
Regressão	0,0006101	1	0,0006101	50	6,7	0,91
Resíduo	6,072E-05	5	1,214E-05			
Falta ajuste	2,27E-05	3	7,575E-06	0,4	19	
Erro puro	3,8E-05	2	0,000019			
Total	0,0006708	6	0,0001118			

A equação 10 apresenta a equação empírica para calcular a umidade adimensional em base seca em função da temperatura do ar (níveis codificados). As análises estatísticas (Tabela 6) mostraram que o modelo tem uma significância estatística, isto é, regressão significativa ($F_{calculado} > F_{tabelado}$), falta de ajuste não significativa ($F_{calculado} < F_{tabelado}$). Além disso, o modelo explica 91% da umidade adimensional.

$$X / X_o (b.s.) = 0,04 - 0,01 \cdot T \quad (6)$$

5.4. Caracterização físico-química das partículas de resíduo de jambolão

A caracterização físico-química do resíduo de jambolão foi realizada antes e após a secagem e os resultados estão apresentados na Tabela 7. Para as análises antes das secagens com o resíduo úmido foram avaliadas por semana, ao invés de avaliar por dia de secagem, conforme já explicado no item 4.2.2.

5.4.1. Atividade de água

A atividade de água é um indicador de teor de água livre do alimento, disponível para o crescimento microbiano e para as reações químicas e bioquímicas (BOBBIO e BOBBIO, 1995). Os resultados obtidos após a secagem encontram-se dentro da faixa estabelecida para alimentos secos e estáveis do ponto de vista microbiológico, uma vez que apresentaram A_w inferior a 0,6. Constata-se que as amostras coletadas no ciclone (Tabela 7) secas a 60 °C apresentaram maior atividade de água (0,4-0,6) em relação às amostras coletadas no leito. Isso pode ter ocorrido pelo fato de que algumas partículas foram elutriadas para o ciclone ainda um pouco úmidas no início da secagem. BORGES (2011) também produziu pós de jambolão abaixo dessa faixa estável, em torno de 0,5, a 60 °C e 1,8 m/s. Os valores encontrados neste trabalho, nas amostras coletadas no leito a 70 e 80 °C foram bem menores (abaixo de 0,3) em relação ao trabalho de BORGES (2011).

Tabela 7. Atividade de água do resíduo de jambolão inicial e seco coletado no leito (L) e no ciclone (C) nas condições de secagem testadas

Ensaio	ATIVIDADE DE ÁGUA		
	Amostras		
	<i>In natura (casca+polpa)</i>	Secas L (casca+semente)	Secas C
60 °C e 8 m/s	0,989 ± 0,001	0,26 ± 0,01	0,43 ± 0,02
80 °C e 8 m/s	0,9880 ± 0,0004	0,13 ± 0,07	0,36 ± 0,04
60 °C e 10 m/s	0,987 ± 0,002	0,34 ± 0,02	0,59 ± 0,02
80 °C e 10 m/s	0,9874 ± 0,0004	0,123 ± 0,004	0,362 ± 0,001
70 °C e 9 m/s R1	0,985 ± 0,001	0,30 ± 0,04	0,342 ± 0,008
70 °C e 9 m/s R2	0,9842 ± 0,002	0,37 ± 0,03	0,45 ± 0,02
70 °C e 9 m/s R3	0,987 ± 0,0002	0,37 ± 0,01	0,37 ± 0,01

De acordo com a análise estatística, apresentada na Tabela 8 e na Figura 17, observa-se que apenas a variável temperatura apresentou efeito (negativo) sobre a resposta atividade de água para as amostras coletadas no leito. Então, quanto maior a temperatura menor será a atividade de água para as amostras de pó de resíduo de jambolão coletadas no leito, ou seja, removerá praticamente quase toda a água livre presente na amostra.

Tabela 8. Estimativa dos efeitos sobre a atividade de água após 60 min de secagem para as amostras coletadas no leito e no ciclone

Variável	Leito			Ciclone		
	Efeito	DP	P	Efeito	DP	p
Média	0,2715	0,0145	0,003	0,416	0,02	0,002
Temperatura	-0,1752	0,0383	0,045	-0,1515	0,05	0,105 (ns)
Velocidade do ar	0,0351	0,0383	0,456 (ns)	0,0802	0,05	0,271 (ns)
T x V	-0,0458	0,0383	0,355 (ns)	-0,0825	0,05	0,262 (ns)

*ns: não significativo

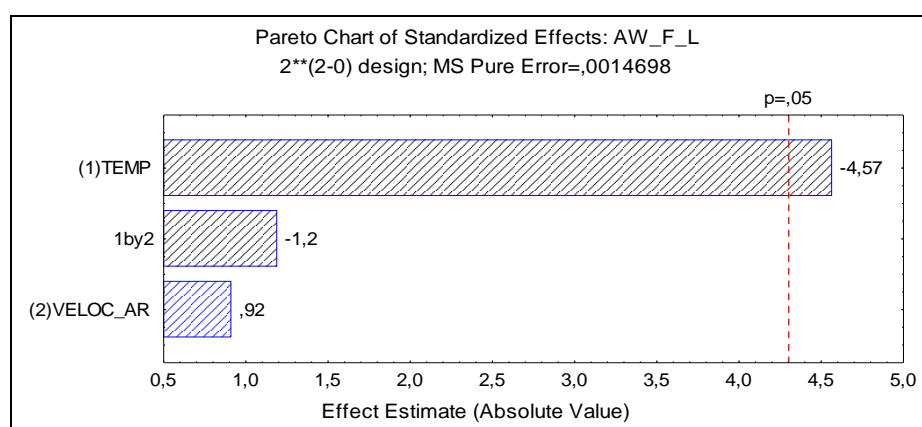


Figura 17. Diagrama de Pareto para atividade de água após 60 min de secagem para as amostras coletadas no leito.

Analisando a Tabela 9, observa-se que o modelo para estimar a atividade de água das amostras coletadas no leito em função da temperatura no tempo de 60 min, apresentou regressão não significativa ($F_{\text{calculado}} < F_{\text{tabelado}}$), falta de ajuste não significativa ($F_{\text{calculado}} < F_{\text{tabelado}}$). Mas, o modelo preditivo não foi considerado significativo, pois o coeficiente de determinação (R^2) da regressão explicou apenas 47% da variação dos experimentos observados.

Tabela 9. Análise de Variância (ANOVA) para a atividade de água das amostras de resíduo em pó de jambolão coletadas no leito após 60 min de secagem

Fonte de variação	60 min de secagem no leito de jorro					
	SQ	GL	MQ	F _{calc}	F _{tab}	R ²
Regressão	0,0307	1	0,0307	4,4	6,61	0,47
Resíduo	0,0349	5	0,007			
Falta ajuste	0,0319	3	0,0106	7,2	19,16	
Erro puro	0,0029	2	0,0015			
Total	0,0656	6	0,0109			

5.4.2. Antocianinas totais

A Tabela 10 apresenta os resultados referentes à concentração de antocianinas totais presentes nos resíduos de jambolão *in natura* e secas após a secagem de 60 min no leito de jorro dos ensaios realizados de acordo com o planejamento experimental.

Tabela 10. Antocianinas totais em mg/100g matéria seca do resíduo de jambolão para as amostras *in natura* e secas por 60 min nas condições de secagem avaliadas

Ensaio	Antocianinas Totais (mg/100g (b.s.))	
	Amostras	
	<i>In natura</i>	Secas 60 min.
60 °C e 8 m/s	61,7 ± 6,2	26,3 ± 1,6
80 °C e 8 m/s	63,7 ± 8,5	19,8 ± 0,9
60 °C e 10 m/s	61,7 ± 6,2	24,9 ± 0,7
80 °C e 10 m/s	63,7 ± 8,5	18,2 ± 0,3
70 °C e 9 m/s R1	64,9 ± 8,6	25 ± 1
70 °C e 9 m/s R2	64,9 ± 8,6	24 ± 1
70 °C e 9 m/s R3	63,7 ± 8,5	24,6 ± 1,4

Os resultados expostos na Tabela 10 revelam a degradação das antocianinas após a secagem em leito de jorro no intervalo das condições experimentais utilizado. Ocorreu uma redução de 63 mg/100g de antocianinas da amostra *in natura* para 18-26 mg/100g das amostras secas. Esta redução corresponde a um decréscimo em torno de 60 a 70% no teor de antocianinas totais.

A análise estatística (Tabela 11) mostrou que a variável temperatura apresentou efeito negativo (em nível de significância de 5%) sobre a estabilidade das antocianinas totais e a velocidade do ar não apresentou efeito significativo para esta

resposta. Ou seja, quanto maior a temperatura da secagem em leito de jorro menor será a concentração de antocianinas totais (maior degradação) no resíduo de jambolão.

Tabela 11. Estimativa dos efeitos sobre a quantificação de antocianinas totais (mg/100 matéria seca) após 60 min de secagem do resíduo de jambolão em leito de jorro

Variável	Ant.T (mg/100g b.s.)		
	Efeito	DP	p
Média	23,28571	0,151186	4,22E-05
Temperatura	-3,3	0,2	0,004
Velocidade do ar	-0,75	0,2	0,064 (ns)
T x V	-0,05	0,2	0,826 (ns)

*ns: não significativo

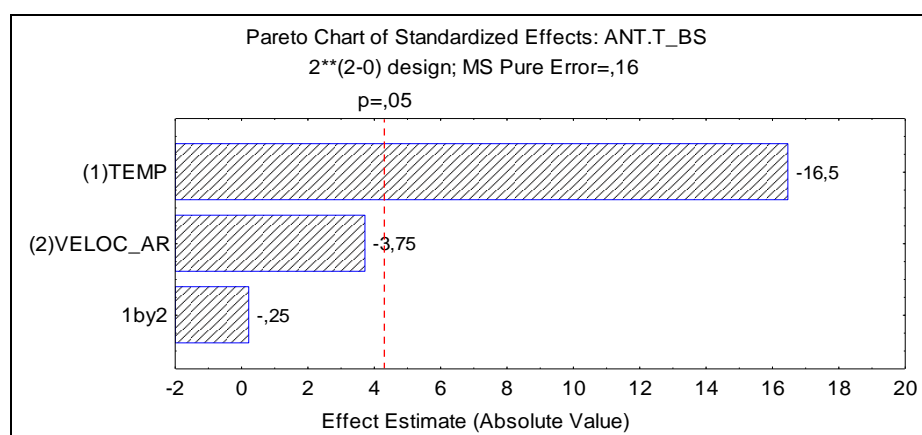


Figura 18. Diagrama de Pareto para antocianina total mg/100 b.s. após 60 min de secagem para as amostras coletadas no leito e no ciclone.

Sabe-se que as antocianinas são pigmentos relativamente instáveis e reativos. São degradadas durante o processamento, devido à sensibilidade a luz, à temperatura, ao pH, ao ácido ascórbico, ao oxigênio e outros fatores (BOBBIO e BOBBIO, 1995; DAMODARAN, PARKIN e FENNEMA, 2010). Por isso é possível relacionar a degradação desses compostos durante a secagem devido às altas temperaturas usadas (60 a 80 °C). A presença de luz e oxigênio, embora não fossem variáveis de processo, também podem ter auxiliado na degradação. O corpo do leito de jorro é confeccionado de acrílico, material transparente, e o escoamento de ar em altas velocidades favorece a oxigenação do leito de partículas.

A taxa de degradação varia entre as antocianinas, em razão da sua diversidade de estrutura. Com relação às estruturas de antocianinas, em geral, o aumento da hidroxilação diminui a estabilidade, enquanto o aumento de metilação a eleva. Alimentos que contêm antocianinas ricas em pelargonidina, cianidina e delphinidina, aglicona têm coloração menos estáveis que dos alimentos com antocianinas ricas em petunidina ou malvidina aglicona (DAMODARAN, PARKIN e FENNEMA, 2010). O jambolão, de acordo com estudos cromatográficos de BRITO *et al.* (2007) e FARIA, MARQUES e MERCADANTE (2011), apresenta quantidades significativas tanto de antocianinas mais estáveis (petunidina, malvidina) quanto as menos estáveis (delphinidina, cianidina) à degradação. Contudo, não foi possível garantir estabilização das antocianinas pelas condições de operação da secagem, mesmo com a menor temperatura do ar de 60 °C. A reação de degradação apresenta hidrólise da ligação 3-glicosídica liberando a aglicona e abertura hidrolítica do anel com formação do derivado de chalcona que se degrada a compostos escuros insolúveis de natureza polifenólica (BOBBIO e BOBBIO, 1995).

Tabela 12. Análise de Variância (ANOVA) para antocianinas totais mg/100g b.s. para as amostras de resíduo em pó de jambolão coletadas no leito e no ciclone após 60 min de secagem em leito de jorro

Fonte de variação	AntT (mg/100g b.s.) após 60 min de secagem					
	SQ	GL	MQ	F _{calc}	F _{tab}	R ²
Regressão	43,56	1	43,56	18,6976	6,61	0,79
Resíduo	11,6486	5	2,3297			
Falta ajuste	11,3286	3	3,7762	23,6012	19,16	
Erro puro	0,32	2	0,16			
Total	55,2086	6	9,2014			

Analisando a ANOVA (Tabela 12), verifica-se que a regressão foi significativa ($F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$) e a falta de ajuste não ($F_{\text{calculado}} < F_{\text{tabelado}}$). Desta forma, pode-se estimar a quantificação de antocianinas totais em função da temperatura pelo modelo codificado proposto na Equação 7 com o coeficiente de determinação (R²) que explica 79 % da variação dos experimentos observados.

$$\text{Ant totalmg/100g} = 23,3 - 3,3 \cdot T \quad (7)$$

Em uma análise exploratória para detecção de antocianinas e outros pigmentos sem necessidade de preparação da amostra, foram obtidos espectros fotoacústicos das amostras *in natura* liofilizadas e secas em leito de jorro de resíduo de jambolão. Os espectros de absorção fotoacústica da amostra *in natura* (Figura 19a) permitem verificar a presença de compostos que apresentam absorção principalmente em torno de três picos, centrados em 474, 548 e 628 nm. Destaca-se o pico em 548 nm, devido principalmente às antocianinas. As principais antocianinas presentes no jambolão, reportadas na literatura, são cianidina, delphinidina, petunidina e malvidina, as quais absorvem principalmente em 535, 546, 543 e 542 nm, respectivamente (BOBBIO e BOBBIO, 2003, BRITO *et al.*, 2007 e FARIA *et al.*, 2011). De um modo geral, as antocianinas apresentam absorção entre os comprimentos de onda 465 e 550 nm e uma banda de absorção menos intensa na região do ultravioleta, entre 270 e 280 nm (BOBBIO e BOBBIO, 2003). Assim, além do pico em 548 nm, estes pigmentos podem contribuir para a absorção centrada em 474 nm. Este pico, por sua vez, pode estar também relacionado à presença de carotenoides, que absorvem entre 380 e 480 nm (BOBBIO e BOBBIO, 2003). O pico em 628 nm não pode ser classificado de forma conclusiva. É possível que a clorofila, presente principalmente na semente do fruto, seja responsável por tal absorção, no entanto, seriam necessárias análises complementares como, por exemplo, medidas de espectroscopia no infravermelho.

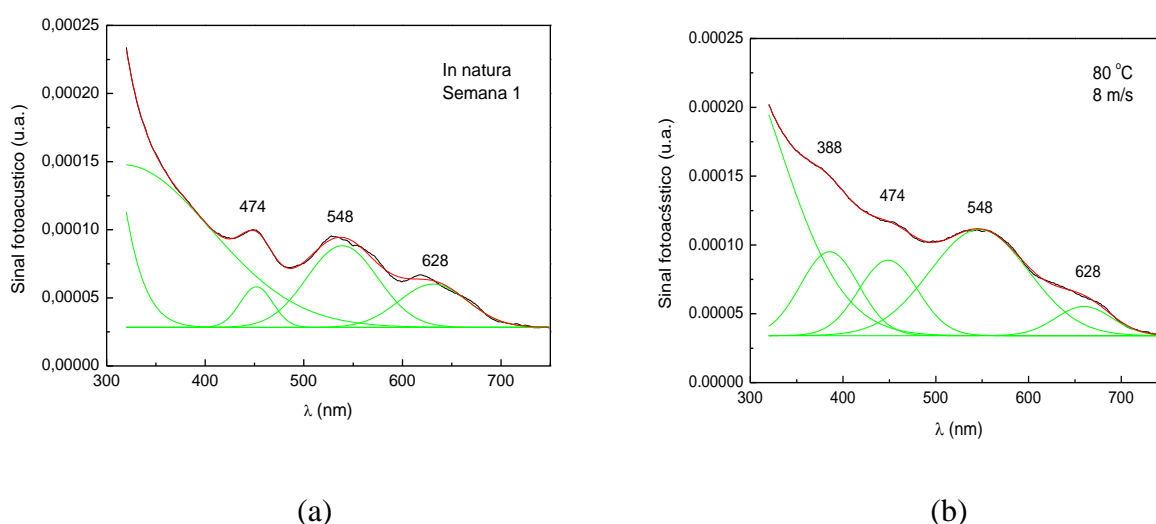


Figura 19. Sinal fotoacústico de resíduo de jambolão *in natura* liofilizado (semana 1-a) e seco a 80 °C e com velocidade de ar de 8 m/s. As outras amostras das outras condições testadas estão no anexo B.

Os espectros das amostras secas, ilustrados pela Figura 19b, apresentam, além dos picos de absorção observados na amostra *in natura*, o surgimento de substâncias que absorvem entre 354 e 420, com centro em torno de 388 nm. Esta foi a principal alteração nos espectros de absorção fotoacústica entre as amostras *in natura* e secas, que apresentaram sistematicamente a presença deste novo pico para todas as condições de secagem. Visualmente, uma alteração marcante é o escurecimento das amostras secas em comparação com a *in natura*. Reporta-se na literatura que pigmentos marrons podem ser resultado da reação de Maillard, em processos de aquecimento, e estes pigmentos são analisados em comprimentos de onda próximos ao intervalo em questão (SANTOS *et al.*, 2007). Porém, assim como no caso da clorofila, não é possível confirmar esta hipótese com base apenas nos espectros fotoacústicos, seriam necessárias análises adicionais.

Ao avaliar os dados da análise de fotoacústica (Figura 20) referentes às áreas dos três picos principais, não foi possível identificar degradação das antocianinas, na qual absorvem a luz com comprimentos de onda de 465 a 550 nm e uma absorbância muito menos intensa na região entre 270 e 280 nm (BOBBIO e BOBBIO, 2003) após as condições de secagem. Uma vez que a análise detecta todos os compostos que absorvem luz dentro do mesmo comprimento de onda das antocianinas, não sendo possível expressar o quanto seria somente de antocianinas totais.

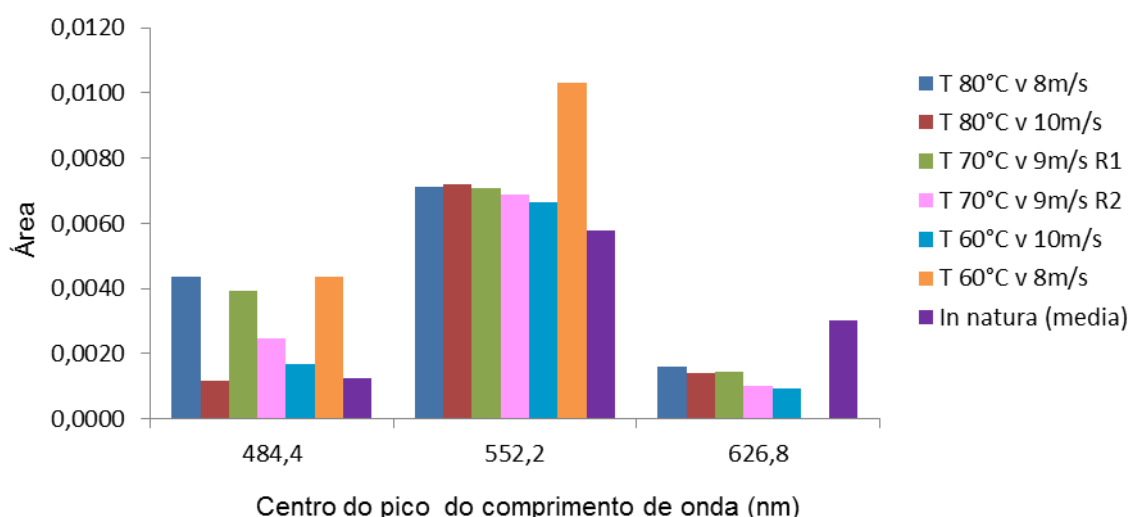


Figura 20. Distribuição das áreas dos centros dos 3 picos das gaussianas que correspondem à absorção de 663, 554 e 451 nm.

É nítido que após a secagem, ao comparar com a amostra *in natura*, ocorreu diminuição na área de comprimento de onda mais longo no pico 1 (663 nm) em todas as condições do planejamento. Essa alteração pode ser proveniente de mudanças na estrutura de antocianinas resultando na perda de coloração (da cor azul para o tom mais avermelhado) (TAIZ e ZEIGER, 2006). Além disso, verifica-se um aumento das áreas das gaussianas principalmente na região do pico 2 (554 nm) e 3 (451 nm). Região que está dentro do espectro de absorção das antocianinas. Esse aumento pode ser explicado em razão da aplicação de calor durante a secagem que favoreceu a ocorrência de reações químicas e não enzimáticas entre as moléculas presentes no resíduo de jambolão, favorecendo mudanças na estrutura das antocianinas e promovendo alterações na estabilidade de sua cor. As reações seriam referentes à oxidação dos compostos fenólicos, à conversão das antocianinas em outras moléculas (o que vem promover a perda de cor), à auto-oxidação de ácido ascórbico com formação da água oxigenada (promove oxidação do núcleo *flavylium*, levando à formação de substâncias incolores). Além disso, pode ter acontecido reação de Maillard com formação de pigmentos escuros que também podem absorver nesse intervalo de comprimento de onda.

Estes resultados, no entanto, além de criarem novas perspectivas de investigação, mostram que a fotoacústica pode ser uma ferramenta útil para o monitoramento de processos. Pois, o espectro de absorção fornece uma visão geral dos compostos que podem estar presentes e a técnica é direta (não requer extração de pigmentos) e não destrutiva.

5.4.3. Atividade antioxidante

A atividade antioxidante (AAOX) dos resíduos secos de jambolão foi superior a 93% para todas as condições estudadas (Tabela 13). Os resultados da manutenção da atividade antioxidante de jambolão resíduo após secagem foram avaliadas por análises estatísticas com 95% de nível de confiança. As variáveis de processo, tanto a temperatura do ar e velocidade, não mostraram efeito sobre a atividade antioxidante do produto.

Estes resultados mostraram que a secagem em leito de jorro pode ser aplicada para reduzir o teor de umidade do resíduo, como foi visto no tópico anterior (5.3), sem afetar a capacidade de sequestro de radicais livres dos compostos bioativos

presentes no fruto. BORGES (2011) ao secar bagaços de jambolão também detectou capacidade antioxidante nos resíduos secos após o processo de secagem.

Tabela 13. Atividade antioxidante (%) dos resíduos de jambolão para amostras *in natura* e secas durante 60 min nas condições de secagem testadas

Ensaio	AAOX	
	Amostras	
	<i>In natura</i>	Secas
60 °C e 8 m/s	93,7 ± 0,4	95,1 ± 0,3
80 °C e 8 m/s	93,1 ± 0,2	93,4 ± 1,2
60 °C e 10 m/s	93,7 ± 0,4	95 ± 0,4
80 °C e 10 m/s	93,1 ± 0,2	93,3 ± 4,4
70 °C e 9 m/s R1	93,5 ± 0,6	95,1 ± 0,4
70 °C e 9 m/s R2	93,5 ± 0,6	95,1 ± 0,2
70 °C e 9 m/s R3	93,1 ± 0,2	96,8 ± 0,1

Tabela 14. Análise de Variância (ANOVA) para atividade antioxidante das amostras de resíduo em pó de jambolão coletadas no leito e no ciclone após 60 s de secagem em leito de jorro

Fonte de variação	AAOX após 60 s de secagem					
	SQ	GL	MQ	F _{calc}	F _{tab}	R ²
Regressão	3	3	1	0,5379	9,28	0,35
Resíduo	5,58	3	1,8594			
Falta ajuste	3,57	1	3,5712	3,5589	18,51	
Erro puro	2,01	2	1,0034			
Total	8,5783	6	1,4297			

Analisando a ANOVA na Tabela 14, observa-se que a atividade antioxidante dos resíduos secos de jambolão, em função da temperatura e da velocidade do ar, para o tempo de 60 min de secagem em leito de jorro regressão não foi significativa, pois o $F_{calculado} < F_{tabelado}$, então o modelo codificado não foi considerado.

O resíduo de jambolão é composto pela polpa residual dos frutos, das sementes e das cascas. Estas partes da fruta são ricas em compostos fenólicos, vitamina C e açúcares. Após a secagem, há uma concentração de substâncias não voláteis, principalmente açúcares, como no caso de produtos de fruta. Portanto, é possível que esses compostos bioativos possam ser preservados por moléculas de açúcares ou de ser convertidos por calor em diferentes substâncias, com ainda maior capacidade antioxidante. Esse fato pode ser confirmado pela análise de fotoacústica, que

identificou a presença de compostos na faixa de 400-580 nm, a qual corresponde à de pigmentos característicos de antocianinas, compostos fenólicos, taninos, proporcionando a capacidade de sequestrar os radicais livres.

De acordo com ALMEIDA (2011), ao avaliar compostos bioativos e a retenção antioxidante de bananas desidratadas osmoticamente em 60 e 180 min, foi verificado que após o processo nos dois tempos as bananas apresentaram uma alta retenção de compostos fenólicos e taninos condensados que proporcionaram atividade antioxidante acima de 97%. As variáveis do processo, da temperatura e da concentração da solução osmótica (sacarose), apresentaram efeitos positivos nesses compostos, sendo a concentração de açúcares na fruta com maior efeito, o que promoveu uma proteção a eles, pela inibição da oxidação e formação de uma barreira protetora que preveniu a lixiviação deles.

Outros investigadores verificaram o aumento na concentração de compostos com capacidade antioxidante (compostos fenólicos e flavonoides) de resíduos de fruta, após secagem, em comparação com o resíduo fresco (DUZZIONI *et al.*, 2013 e SILVA, 2013). Assim como resíduos de outras frutas, o resíduo de jambolão mostra ser um potente antioxidante que pode ser aproveitado para diversos fins, considerando-o como uma fonte de compostos bioativos, evitando o descarte de forma indevida para o meio ambiente.

5.4.4. Distribuição granulométrica e massa específica do leite

Após o processo de secagem em leite de jorro, observa-se que o diâmetro médio de Sauter das partículas de resíduo seco de jambolão coletadas no leite foi reduzido de 0,03 (*in natura*) para 0,01 mm (+,-; 0,0; -,-) e 0,02 mm (+,+ e -, +) (Tabela 15). Isso é explicado pelo fato da intensa mistura e recirculação das partículas durante a operação de secagem, promovendo reduções em seu tamanho, incluído das sementes e do fenômeno de encolhimento do particulado. As amostras coletadas no ciclone tiveram uma granulometria bem mais fina, cuja composição era predominantemente de casca. BORGES (2011) também observou granulometria fina nos pós de jambolão após a secagem em leite de jorro.

Tabela 15. Diâmetro médio de Sauter das partículas dos resíduos de jambolão (mm) in natura, coletadas no leito e ciclone ao final da secagem de 60 min em leito de jorro

<i>In natura</i>	Ensaio	Leito	Ciclone
3.113 ± 0.092	60 °C e 8 m/s	1.20	0.65
	80 °C e 8 m/s	1.27	0.51
	60 °C e 10 m/s	1.63	- *
	80 °C e 10 m/s	1.58	0.75
	70 °C e 9 m/s R1	1.23	0.64
	70 °C e 9 m/s R2	1.17	- *
	70 °C e 9 m/s R3	1.25	0.57

Obs.: * Ensaio ponto central R2 e 60 °C v 8 m/s (-1/-1) de amostras coletadas no ciclone não tiveram amostras suficientes para realizar a análise de distribuição granulométrica.

Para uma melhor visualização do efeito da secagem, a Figura 21 ilustra fotos que mostram a distribuição granulométrica das partículas de resíduo de jambolão úmidas e secas (colhidas no leito e no ciclone). Observa-se que o resíduo úmido apresenta partículas menores, e ainda aderidas a sementes. Após a secagem as partículas de semente que já tinham sido trituradas anteriormente reduziram de tamanho e cascas de sementes se desprenderam delas e obteve-se mais pó, pela polpa residual e casca do fruto.

Diagramas foram traçados para ilustrar a porcentagem de massa retida em função do diâmetro médio de abertura de cada peneira. O diagrama da Figura 22 mostra as barras de distribuição granulométrica para o resíduo úmido de jambolão em cada semana de processo. As partículas de resíduo úmido ficaram um pouco aglomeradas, ficando retidas basicamente nas duas primeiras peneiras (3,33 e 2,37 mm).

Após a secagem em leito de jorro, devido ao intenso contato entre as partículas do resíduo de jambolão, pelas altas taxas de transferências de calor e de massa que o secador proporcionou, ocorreu redução do diâmetro delas, como já foi identificado na Tabela 15. Há uma diferença aceitável entre esses resultados com outros trabalhos na literatura (GODOI, 2009; DACANAL, 2009), uma vez que o resíduo de jambolão úmido é um material biológico composto de diferentes materiais (cascas, sementes).

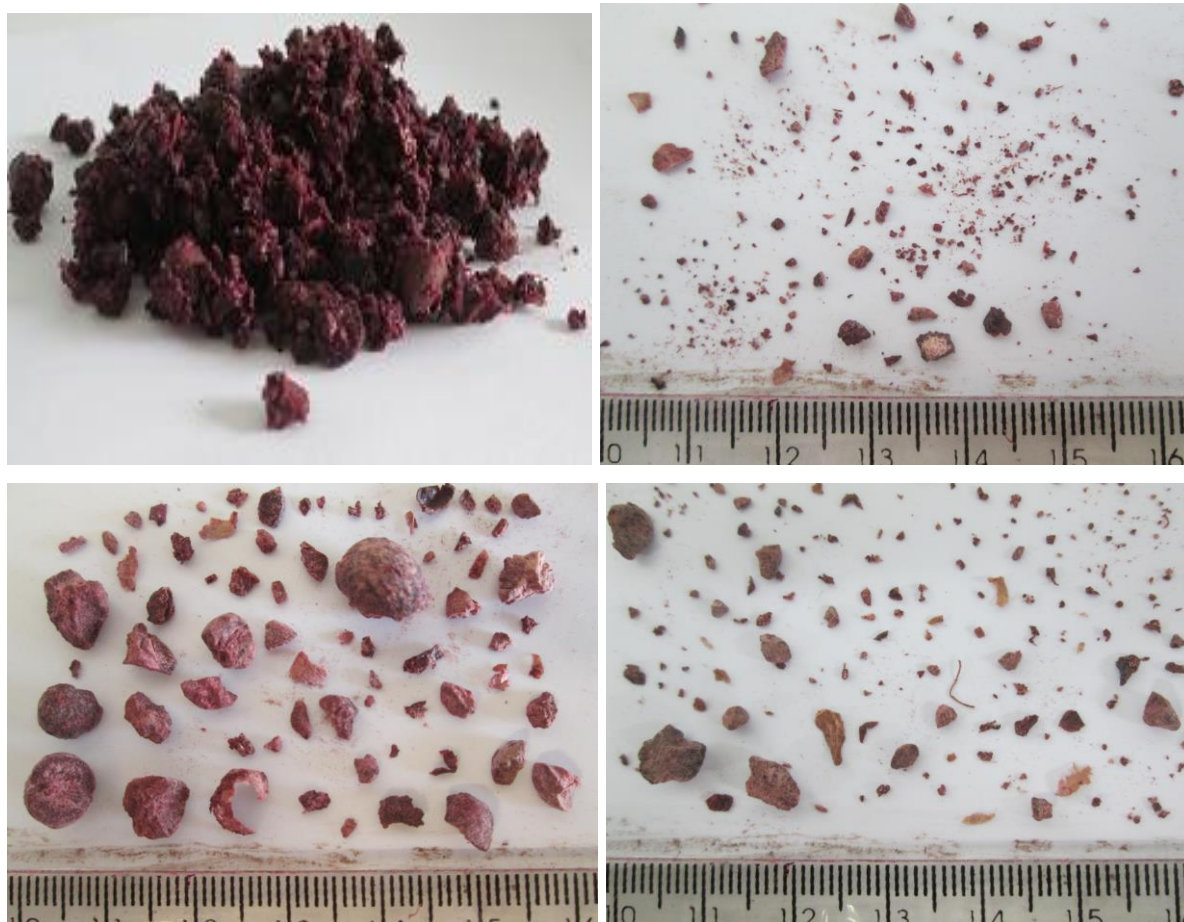


Figura 21. Fotos das partículas de resíduo de jambolão úmidas (a) e secas (b, c, d).

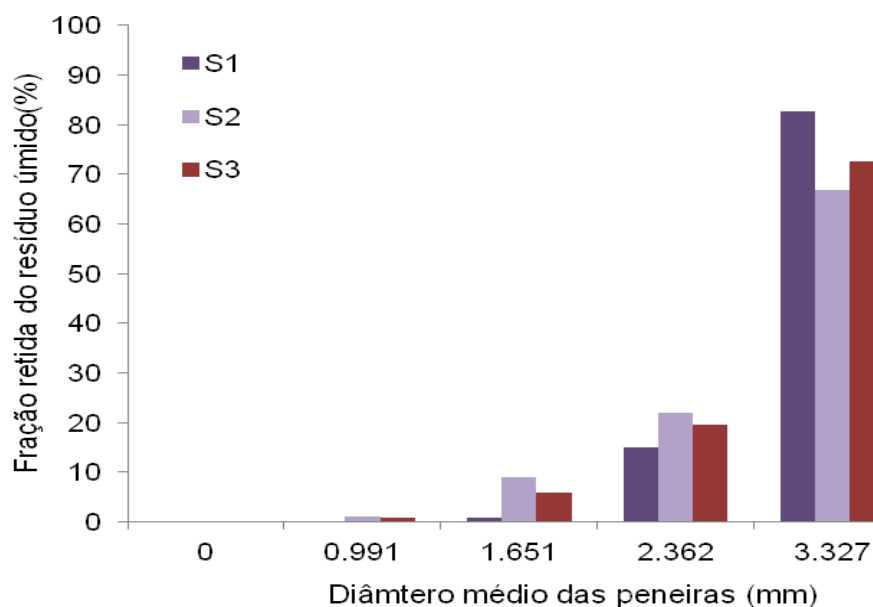


Figura 22. Diagrama para distribuição granulométrica com porcentagem de massa retida do resíduo úmido (*in natura*) em função do diâmetro de abertura de cada peneira (mm).

Assim, a distribuição granulométrica das amostras do leito (Figura 23a), dentro de todos os tamanhos das peneiras, apresenta uma ampla distribuição com maior retenção de massa nas peneiras 3,33 mm, as quais correspondem a partículas de semente, e na peneira do fundo (0), as quais correspondem aos pós do resíduo das cascas/polpa residual. Nos outros tamanhos de peneiras ficaram retidas as partículas intermediárias de sementes trituradas, cascas das sementes e as cascas do jambolão. Amostras coletadas no ciclone (Figura 23b) apresentaram distribuição granulométrica bem menor, distribuídas basicamente na peneira do fundo e na peneira de abertura de 0,991 mm, com partículas em pó, que foram elutriadas em razão das altas velocidades do ar no leito.

As medidas de densidade foram importantes para certificar que com a secagem ocorreu redução de massa (umidade) das partículas de resíduo de jambolão, por isso ocorreu uma redução na massa específica do leito (Tabela 16). Essas reduções da densidade e da distribuição granulométrica facilitaram a fluidodinâmica do material no secador de leito de jorro.

Tabela 16. Massa específica do leito dos resíduos de jambolão *in natura*, coletadas no leito e ciclone ao final da secagem de 60 s em leito de jorro

Amostras/Ensaio	Massa específica do leito (g/ml)
<i>In natura</i>	0,53 ± 0,02
60 °C e 8 m/s	0,49 ± 0,01
80 °C e 8 m/s	0,450 ± 0,002
60 °C e 10 m/s	0,469 ± 0,003
80 °C e 10 m/s	0,435 ± 0,002
70 °C e 9 m/s R1	0,48 ± 0,01
70 °C e 9 m/s R2	0,485 ± 0,004
70 °C e 9 m/s R3	0,465 ± 0,001

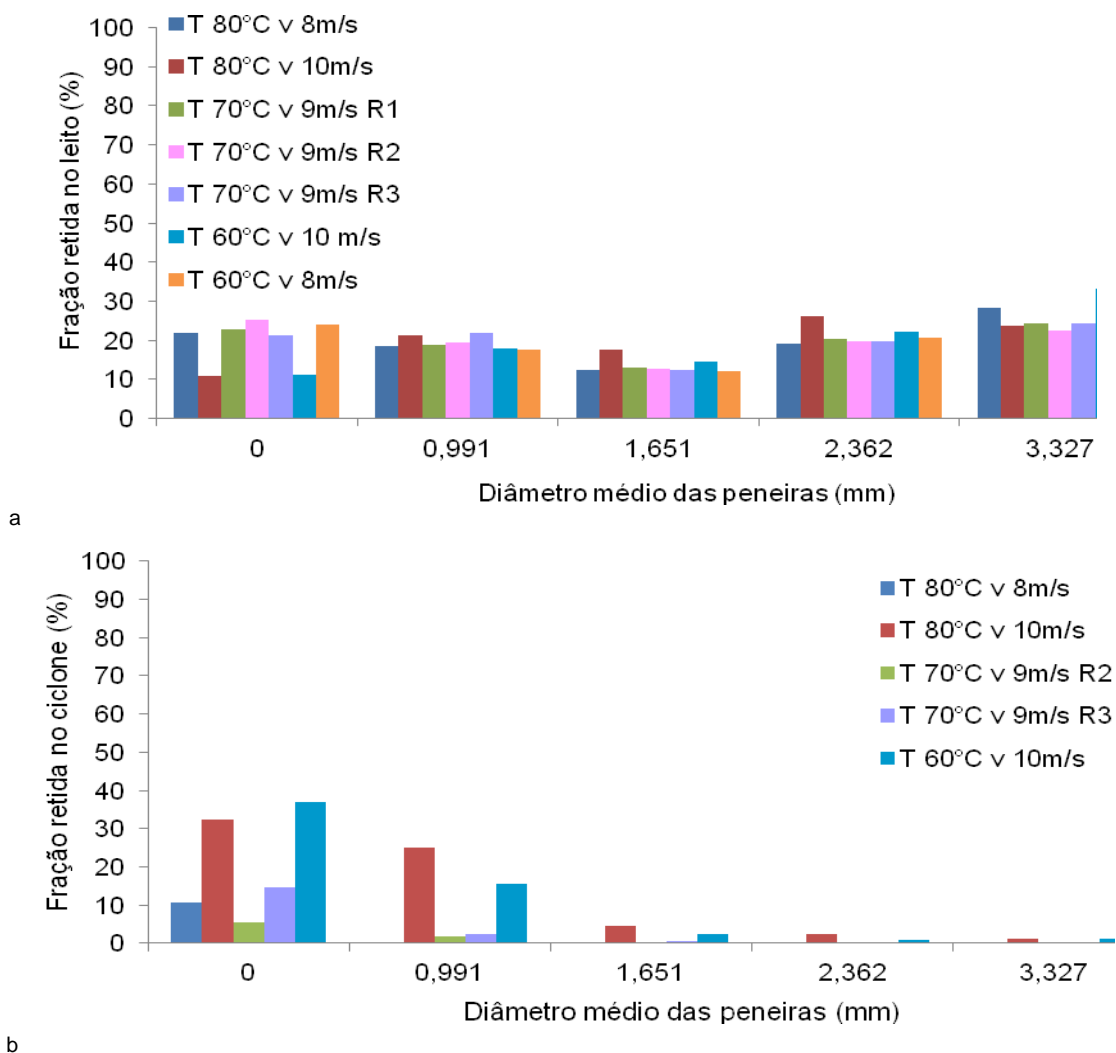


Figura 23. Diagrama para distribuição granulométrica com porcentagem de massa retida de amostras coletadas no leito (a) e no ciclone (b) em função do diâmetro de abertura de cada peneira (mm).

6. CONCLUSÕES

Vale ressaltar aqui que o secador de leito de jorro mostrou ser eficiente na secagem do resíduo de jambolão com redução de 63% para 4-9% de umidade dependendo das condições. Além de alcançar atividade de água abaixo de 0,3 e 0,6 para amostras coletadas no leito e ciclone, respectivamente.

O resíduo de jambolão durante o início de 10-20 min de secagem apresentou taxa de secagem constante seguindo até o final com taxa decrescente.

A temperatura do ar apresentou efeito negativo sobre a umidade, a atividade de água e as antocianinas totais na secagem do resíduo de jambolão em leito de jorro. A velocidade do ar, por sua vez, não interferiu nestas características do produto.

A secagem realizada nessas condições do planejamento experimental com temperatura do ar entre 60 e 80 °C apresentou degradação das antocianinas do resíduo de jambolão, com redução de 60 a 70% da sua concentração inicial. Contudo, o resíduo seco manteve a capacidade antioxidante em torno de 93% independente das condições de secagem empregadas.

A espectroscopia fotoacústica se mostrou sensível à presença de antocianinas, carotenoides e clorofila, as quais podem estar associadas à manutenção da atividade antioxidante. Embora não tenha sido possível relacionar a degradação das antocianinas pela análise exploratória de fotoacústica, os espectros mostraram diferenças sistemáticas entre a absorção das amostras antes e após a secagem, indicando a formação de pigmentos escuros. Estes resultados apontam a espectroscopia fotocústica como uma ferramenta adicional para monitoramento de

processo com a vantagem de ser não destrutiva e de não necessitar de preparação da amostra.

Com isso, o presente trabalho contribuiu para certificar a capacidade antioxidante dos resíduos secos de jambolão. Contudo, ainda é necessário estudar condições durante a secagem que minimizem as reações de degradação de antocianinas para poder garantir estabilidade e estimular a incorporação do resíduo do jambolão em pó como corante natural em indústrias alimentícias, além de produtos fitoterápicos nas indústrias farmacêuticas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGOSTINI-COSTA, T.S. e SILVA, D.B. (2008). Jambolão: a cor da saúde. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2008_1/Jambolao/index.htm>. Acessado em: 28 de novembro de 2011.
- ALBERTON, J.R.; RIBEIRO, A.; SACRAMENTO, L.V.S.; FRANCO, S.L. e LIMA, M.A.P. (2001). Caracterização farmacognóstica do jambolão (*Syzygium cumini* (L.) Skeels). *Revista Brasileira de Farmacologia*, v. 11, p. 37-50.
- ALI, S.S.; KASOJU, N.; LUTHRA, A.; SINGH, A.; SHARANABASAVA, H.; SAHU, A. e BORA, U. (2008). Indian medicinal herbs as sources of antioxidants. *Food Research International*, v. 41, p. 1–15.
- ALMEIDA, C.A.; GOUVEIA, J.P.G.; ALMEIDA, F.A.; SILVA, L.F.H. (2006). Avaliação da cinética de secagem em frutos de acerola. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v. 6, n.1.
- ALMEIDA, J.A.R. (2011). Desidratação osmótica de banana (*Musa spp.*): cinética de desidratação e avaliação de compostos bioativos. Dissertação de mestrado. UENF, Campos dos Goytacazes, RJ.
- ANGELO, P. M.; JORGE, N. (2007). Compostos fenólicos em alimentos – Uma breve revisão. *Rev. Inst. Adolfo Lutz*, v. 66, p.1-9.
- AOAC (1998), Official Methods of Analysis, Association of Official Analytical Chemists, Washington.

- AYYANAR, M. e SUBASH-BABU, P. (2012). *Syzygium cumini* (L.) Skeels: A review of its phytochemical constituents and traditional uses. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, p. 240-246.
- BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. (2001). *Como Fazer Experimentos: Pesquisa e Desenvolvimento na Ciência e na Indústria*. (Coleção Livros Textos). 1ª ed. Campinas: EDUNICAMP.
- BOBBIO, P.A. e BOBBIO, F.O. (1995). *Química do processamento de alimentos*. 2ª ed. Varela. São Paulo, 151p.
- BOBBIO, F.O.; BOBBIO, P.A. (2003). *Introdução à química de alimentos*. 3ª ed. São Paulo: Varela, 238p.
- BORGES, K.C. (2011). *Estudo das características físico-químicas e funcionalidade de bagaços de frutas tropicais desidratados em leite de jorro*. UFRN, Natal, RN.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28(1), 25–30. doi:10.1016/S0023-6438(95)80008-5.
- BRITO, E.S.; ARAÚJO, M.C.P.; ALVES, R.E.; CARKEET, C.; CLEVIDENCE, B.A. e NOVOTNY, J.A. (2007). Anthocyanins Present in Selected Tropical Fruits: Acerola, Jambolão, Jussara, and Guajiru. *J. Agric. Food Chem.*, v. 55, p. 9389–9394.
- CHITARRA, M.I.F e CHITARRA, A.B. (2005). *Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio*. 2ª Ed. Lavras, UFLA.
- DACANAL, G.C. (2009). *Aglomerção de polpa de acerola e proteína isolada de soja em pó em leite fluidizado cônico e pulsado*. Tese de doutorado. FEA/UNICAMP. Campinas, SP.
- DAMODARAN, S.; PARKIN, K.L. e FENNEMA, O.R. (2010). *Química de alimentos de Fennema*. 4ª ed. Porto Alegre, RS, Artmed, 900p.
- DOTTO, G.L.; SOUZA, V.C. e PINTO, L.A.A. (2011). Drying of chitosan in a spouted bed: The influences of temperature and equipment geometry in powder quality. *LWT - Food Science and Technology*, v. 44, p. 1786-1792.
- DUZZIONI, A.G.; LENTON, V.M.; SILVA, D.I.S.B e BARROZO, M.A.S. (2013). Effect of drying kinetics on main bioactive compounds and antioxidant activity of acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) residue. *International Journal of Food Science e Technology*, v. 48, p. 1041-1047.
- FARIA, A.F.; MARQUES, M.C.; MERCADANTE, A.Z. (2011). Identification of bioactive compounds from jambolão (*Syzygium cumini*) and antioxidant capacity evaluation in different pH conditions. *Food Chemistry*, v. 126, p. 1571–1578.

- FELLOWS, P.J. (2006). *Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática*. 2a ed. Porto Alegre, RS, Artmed, 203p.
- FREIRE, J.T. e FERREIRA, M.C. (2009). Aplicações em sistemas particulados. Universidade Federal de São Carlos. Departamento de engenharia química. São Carlos, SP.
- FREIRE, J.T. e SILVEIRA, A.M. (2009). Fenômenos de transporte em sistemas particulados: fundamentos e aplicações. Universidade Federal de São Carlos. Departamento de engenharia química. São Carlos, SP.
- FOUST, A.S.; WENZEL, I.A.; CLUMP, C.W. Princípios de operações unitárias, 2ªed. Rio de Janeiro:ltc, 670p.
- GROVER, J.K.; VATS, V. e RATHI, S.S. (2000). Anti-hyperglycemic effect of *Eugenia jambolana* and *Tinospora cordifolia* in experimental diabetes and their effects on key metabolic enzymes involved in carbohydrate metabolism. *Journal of Ethnopharmacology*, v. 73, p. 461–470.
- GOUVEIA, J.P.G.; ALMEIDA, F.A.C.; FARIAS, E.S.; SILVA, M.M.; CHAVES, M.C.V. e REIS, L.S. (2005). Determinação das curvas de secagem em frutos de cajá. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grande, especial, n.1, p. 65-68.
- GUIMARÃES, A.O. (2004). *Estudos Espectroscópicos e Caracterização Térmica de Materiais por Técnicas Fototérmicas*. Dissertação de metrado. IFGW – GFRM, Campinas, SP.
- GURIB-FAKIM, A. (2006). Medicinal plants: traditions of yesterday and drugs of tomorrow. *Molecular Aspects of Medicine*, v. 27, p. 1-93.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. (2008). Métodos físico-químicos para análise de alimentos. São Paulo: *Instituto Adolfo Lutz*. 1020p.
- JACKSON, B.D. e HOOKER, J.D. (1960). *Index kewensis: an enumeration of the genera and species of flowering plants*. Oxford: Claredon Press. 2V.
- KOLEVA, I.I.; BEEK, T.A.V.; LINSSEN, J.P.H.; GROOT, A. E EVSTATIEVA, L.N. (2002). Screening of Plant Extracts for Antioxidant Activity: a Comparative Study on Three Testing Methods. *Phytochem. Anal*, v. 13, p. 8–17.
- LESCANO, C.A.A. (2009). *Análise da secagem de resíduo de leite de soja “okara” em secadores de leite de jorro e de cilindro rotativo assistido a microondas*. Tese de doutorado. Faculdade de Engenharia Química/UNICAMP, Campinas, SP.
- LONGO, L.; SCARDINO, A.; VASAPOLLO, G.; BLANDO, F. (2007). Anthocyanins from *Eugenia myrtifolia* Sims. cultures. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. V. 8. p. 329-332.

- LUZIA, D.M.M. e JORGE, N. (2009). Composição centesimal, potencial antioxidante e perfil dos ácidos graxos de sementes de jabolão (*Syzygium cumini* L.) *Revista Ciência Agronômica*, Fortaleza, v. 40, n. 2, p. 219-223.
- MARRETO, R.N.; FREIRE, J.T. e FREITAS, L.A.P. (2006). Drying of Pharmaceuticals: The Applicability of Spouted Beds. *Drying Technology*, v. 24, p. 327–338.
- MARTINS, J.N. (2013). *Obtenção d extrato seco de cumaru pelo processo de secagem em leito de jorro*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, Campina Grande, Paraíba.
- MATHUR, K.B. e GISHLER, P.E. (1955). A technique of contacting gases with coarse solids particles. *A. I. Ch. E. J.*, v1, p. 157-171.
- MEDEIROS, M.F.D. (2001). *Influência da composição química dos materiais no desempenho do processo de secagem de polpas de frutas em leito de jorro*. Tese de doutorado. Faculdade de Engenharia Química/UNICAMP, Campinas, SP.
- OLIVEIRA, M.T.R.O. e BERBERT, P.A. (2011). Efeito da temperatura do ar de secagem sobre o teor e a composição química do óleo essencial de *Pectis brevipedunculata*. *Quim. Nova*, v. 34, p. 1200-1204.
- OCHOA-MARTINEZ, L.A.; BRENNAN, J.G. e NIRANJAN, K. (1993). Spouted bed dryer for liquid foods. *Food Control*, v. 4, p. 41-45.
- PARK, K.J.; ANTONIO, G.C.; OLIVEIRA, R.A.; PARK, K.J.B. (2007). *Conceitos de processo e equipamentos de secagem*. CTEA. UNICAMP, Campinas, SP. 121p.
- PEREIRA, N.R. (2007). *Estudo da aplicação de microondas na secagem de bananas tratadas osmoticamente*. Tese de doutorado. FEA/UNICAMP, Campinas, SP.
- PEREIRA, R.J. (2011). *Composição centesimal, aspectos fitoquímicos, atividades antioxidante, hipoglicemiante e anti-hiperlipidêmica de frutos do gênero Syzygium*. Tese de doutorado. UFLA, Lavras, MG.
- ROBERFROID, M.B. (2002). Functional food concept and its application to prebiotics. *Dig. Liver Dis.*, Rome, v. 34, suppl.2, p. S105-S110.
- ROESLER, R.; MALTA, L.G.; CARRASCO, L.C.; HOLANDA, R.B.; SOUZA, C.A.S.; PASTORE, G.M. (2007). Atividade Antioxidante de frutas do cerrado. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, v.27, n.1, p.53-60.
- ROSENCWAIG, A. e GERSHO, A. (1976). Theory of the photoacoustic effect with solids. *Journal of Applied Physics*, v. 47, p. 64-69.
- SANTOS, M. H. DOS; BATISTA, B. L.; DUARTE, S. M. S.; ABREU, C. M. P.; GOUVÊA, C. M. C. P. (2007). Influência do processamento e da torrefação sobre a atividade antioxidante do café (*Coffe arabica*). *Quimica Nova*, v. 30, p. 604-610.

- SARI, P.; WIJAVA C.H.; SAJUTHI, D. e SUPRATMAN, U. (2012) Colour properties, stability, and free radical scavenging activity of jambolan (*Syzygium cumini*) fruit anthocyanins in a beverage model system: Natural and copigmented anthocyanins. *Food Chemistry*, v. 132, p.1908–1914.
- SÁ, A.P.C.S. (2008). *Potencial antioxidante e aspectos químicos e físicos das frações comestíveis (polpa e cascas) e sementes de Jambolão (Syzygium cumini, L. Skeels)*. Dissertação de mestrado. UFRRJ, Rio de Janeiro, RJ.
- SHARMA, B.; BALOMAJUMDER, C. e ROY, P. (2008). Hypoglycemic and hypolipidemic effects of flavonoid rich extract from *Eugenia jambolana* seeds on streptozotocin induced diabetic rats. *Food and Chemical Toxicology*, Andover, v. 46, p. 2376-2383.
- SILVA, A.S. (2008). Avaliação da secagem do bagaço de cajá usando planejamento fatorial composto central. Dissertação de mestrado. UFRN. Natal/RN.
- SILVA, D.I.S. da; NOGUEIRA, G.D.R. e DUZZIONI, A.G. (2013). Changes of antioxidant constituents in pineapple (*Ananas comosus*) residue during drying process. *Industrial Crops and Products*, v. 50, p.557-562.
- SILVA, S.R. (1996). *Extração e estabilidade de pigmentos antociânicos de frutos de Maria-Pretnha (Solanum americanum. Mili.)*. Tese de Mestrado. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. 76 p.
- SOUZA, P.H.M.; MAIA, G.A.; SOUZA FILHO, M.S.M.; FIGUEIREDO, R.W; NASSU, R.T.; SOUZA NETO, M.A. (2003). Influência da concentração e da proporção fruto:xarope na desidratação osmótica de bananas processadas. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 23 , p. 126 – 130, Campinas.
- TACO. (2011). *Tabela de composição de alimentos*. NEPA - Núcleo de estudos e pesquisas em alimentos/ UNICAMP. 4ª ed. Revisada e ampliada. Ed. Fodepal, Campinas.
- TAIZ, L e ZEIGER, E. (2006). *FISIOLOGIA VEGETAL*. 3ªEd. Porto Alegre, RS: Artmed. 764p.
- TAIT, A., GANZERLI, S., DI BELLA, M. (1996) Synthesis and free radical scavenging activity of 4-(2H-1,2,4-Benzothiadiazine-1,1-dioxide-3-yl)-2,6-bis(1,1-methylethyl) phenols. *Tetrahedron*. 52:1287-12596.
- TEIXEIRA, L.N.; STRINGHETA, P.C. E OLIVEIRA, F.A. (2008). Comparação de métodos para quantificação de antocianinas. *Revista Ceres*, 55(4), p. 297-304,
- TERCI, D.B.L. (2004) Aplicações analíticas e didáticas de antocianinas extraídas de frutas. Tese de doutorado. IQ/UNICAMP, Campinas, SP.
- VIKRANT, V.; GROVER, J.K.; TANDON, N.; RATHI, S.S. e GUPTA N. (2001). Treatment with extracts of *Momordica charantia* and *Eugenia jambolana* prevents hyperglycemia

and hyperinsulinemia in fructose fed rats. *Journal of Ethnopharmacology*, v.76, p. 139–143.

VIZZOTO, M.; FETTER, M.R. (2009). Jambolão: o poderoso antioxidante. Embrapa. Disponível em: <www.cpact.embrapa.br/imprensa/artigos/2009/jambolao_Marcia.pdf> Acessado em: 05 de julho de 2012.

ANEXO A

Tabela 17. Umidade relativa do ar ambiente nos dias dos ensaios nas diferentes condições de secagem do planeamento experimental durante os 60 min.

Tempo (min)	Umidade relativa de ar ambiente						
	80 °C 8 m/s	80 °C 10 m/s	R1- 70 °C 9 m/s	R2- 70 °C 9 m/s	R3- 70 °C 9 m/s	60 °C 10 m/s	60 °C 8 m/s
0	64,5	67,5	61,6	62,3	55,6	47,5	45,6
5	63	67,3	63,8	63	57	46	46,2
10	62,5	67,2	61,8	63,5	56,8	48	46
15	62,7	67,3	61,8	65	57,5	45,8	46
20	61,9	67,2	61,8	62,6	57,7	46,3	45,9
25	61,7	67,5	61,6	62,8	58,3	46,9	45,8
30	61,2	67,7	61,1	64,4	58,6	47,1	45,4
35	61,4	67,5	58,6	63,5	58,7	47,1	45,8
40	60,5	68,2	59,4	63,7	59	47,8	45,2
45	61,8	68	58,7	63,3	59,2	47,2	45
50	61,7	68,5	58,4	62,8	59,1	47	45,3
55	61,6	68,9	57,3	63	60,1	46,5	45,5
60	62,3	69	57	63,9	59,6	46,8	45,2

ANEXO B

