

USO DE SECADOR ROTO-AERADO COM PRÉ-TRATAMENTO NA DESIDRATAÇÃO DE RESÍDUOS DE ACEROLA

P. B. SILVA¹, C. Z. MARTINS¹, I. A. RESENDE¹, C. R. DUARTE¹, M. A. S. BARROZO¹

¹ Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia
E-mail para contato: pribernardess@yahoo.com.br; masbarrozo@ufu.br

RESUMO – O reaproveitamento dos resíduos agroindustriais é fundamental para evitar o desperdício, e com isso reduzir o impacto ambiental, social e econômico. Para estas finalidades uma das alternativas é a secagem e dentre os possíveis secadores, o secador roto-aerado, desenvolvido na FEQ/UFU, proporciona um melhor contato fluído-partícula do que o secador rotatório convencional, devido a uma nova forma de disposição do ar de secagem, aumentando os coeficientes de transferência de calor e massa e, como consequência, reduzindo o consumo energético. Neste trabalho, foi realizada a pré-desidratação das sementes de acerola com etanol, posteriormente foi avaliado seu efeito na eficácia do processo, bem como sobre o teor de compostos bioativos. Os resultados mostraram que o pré-tratamento com etanol proporcionou um aumento na taxa de secagem, sendo possível reduzir a umidade em até 48,3% em menos de 4 min de residência dentro do secador. O teor de ácido cítrico foi menor nas sementes submetidas à secagem, principalmente as que haviam sido imersas em etanol. No entanto, o teor de fenólicos aumentou nas sementes pulverizadas com etanol. Já os flavonoides não sofreram muitas alterações com o pré-tratamento.

1. INTRODUÇÃO

A Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO) estima que o Brasil jogue no lixo, anualmente, 26,3 milhões de toneladas de comida, enquanto uma grande parcela de pessoas, composta de 15 milhões de brasileiros, não tem o que comer (ESTEACHE, 2008). Parte desses resíduos é gerada durante as etapas do processamento para produção da polpa de fruta, no qual são recolhidos os materiais não aproveitados nesta atividade, tais como as frutas refugadas, cascas e centros das frutas, as sementes, os caroços e o bagaço (EMBRAPA, 2003).

Visando à redução do impacto ambiental, social e econômico causado pelo desperdício, inúmeros estudos utilizando resíduos industriais do processamento de alimentos têm sido realizados para o desenvolvimento de tecnologias que agreguem valor aos subprodutos obtidos (ABUD e NARAIN, 2009). Uma alternativa é a transformação destes resíduos em pós-alimentícios ou farinhas, que além de possuírem diversos componentes, tais como: fibra, vitaminas, minerais, substâncias fenólicas e flavonoides, apresentam efeitos benéficos à saúde e podem ser utilizados como ingredientes na produção de diferentes produtos como bebidas, sobremesas, derivados do leite, biscoitos, massas e pães (CAVALCANTI *et al.*, 2010).

Entre as etapas para o aproveitamento dos resíduos da indústria de alimentos, destaca-se a desidratação. A redução da quantidade de água em produtos alimentícios facilita o transporte e a estocagem, dificulta o ataque de microrganismos e pode ser realizada por meio de equipamentos como secadores rotatórios, pois estes possuem uma grande capacidade de processamento.

Secadores rotatórios tem larga utilização industrial devido a sua grande versatilidade para operar com diversos materiais. Possui vasta aplicação no âmbito do beneficiamento de sementes, produção de alimentos e fertilizantes. (NONHEBEL e MOSS 1971; MOYERS e BALDWIN, 1999). Sua versão convencional consiste de um casco de formato cilíndrico inclinado em relação a horizontal, capaz de girar sobre o seu próprio eixo, sendo equipado internamente com suspensores. O processo de secagem com utilização deste equipamento é caracterizado pelo alto consumo de energia, necessária para aquecer o ar de secagem.

Visando aumentar a eficiência energética e também o contato entre o material particulado e o fluido de secagem, algumas modificações têm sido realizadas no secador rotatório convencional. A nova versão desenvolvida na Faculdade de Engenharia Química da UFU, denominada secador roto-aerado, foi inicialmente avaliada por Lisboa et al. (2007) e depois por Arruda (2008). Neste novo equipamento os suspensores foram substituídos por um tubo central equipado com mini-tubos. Os quais são acoplados ao tubo no interior do cilindro giratório, e são responsáveis por transportar o gás quente e colocá-lo em contato direto com as partículas dentro do leito para secagem, promovendo a fluidização destas.

Com o estudo de Arruda et al (2009) constatou-se que o secador roto-aerado apresentou maior eficiência quando comparado com o equipamento tradicional contracorrente, usando suspensores. Outro estudo realizado por Silvério et al. (2012) comparou o desempenho do secador roto-aerado em relação ao convencional com fluxo contrarrente. Os resultados obtidos mostraram que a taxa de secagem foi até 18 vezes no novo equipamento, comparado ao convencional nas mesmas condições operacionais. Todos estes trabalhos prévios foram realizados tendo fertilizantes como material a ser secado. Como o Brasil é um dos maiores produtores de acerola. Fruta esta que além da vitamina C, contém outras vitaminas e sais minerais de grande importância para o organismo humano: tiamina, riboflavina, niacina, ácido pantotênico, cálcio, fósforo, ferro e sódio (EMBRAPA, 2003). Levando também em consideração que o álcool etílico é um composto orgânico bem aceito pela indústria alimentícia, sendo considerado pela U.S. Food and Drug Administration (2010) como uma substância segura. Considerando ainda os bons resultados relatados nos trabalhos de Santos e Silva (1997), que mostraram que a presença de etanol na atmosfera de secagem promoveu uma evaporação de água mais intensa em comparação ao processo convencional. Sabendo também que os estudos de Braga *et al.* (2010) concluíram que a pulverização de etanol sobre a superfície da fruta é mais eficaz que a atomização do composto na atmosfera. O presente trabalho teve como objetivo estudar a pré-desidratação de sementes de acerola em secador roto-aerado com imersão e pulverização de etanol e seus efeitos sobre o teor de compostos bioativos. A secagem destas sementes em secador roto-aerado foram efetuadas em três condições de temperatura e velocidade do ar. Estas foram obtidas a partir de um planejamento composto central previamente realizado.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Material

Os testes de secagem foram realizados utilizando resíduos do processamento de acerola, especificamente as sementes de acerola as quais foram fornecidas pela Fruteza LTDA, localizada no município de Dracena, SP. As sementes foram armazenadas em embalagens de 1kg e congeladas a aproximadamente -18°C . As amostras foram retiradas do freezer 12h antes da realização da secagem e colocadas na geladeira para descongelar.

2.2 Métodos

Unidade experimental: O secador rotatório, como mostrado na Figura 1, é constituído por um soprador de 7,5 cv acoplado a um duto com comprimento de 2 m e 0,2 m de diâmetro. Entre esse duto e o secador existe um sistema de aquecimento com resistências elétricas, controladas por um variador de voltagem. A alimentação de sólidos é feita através de uma correia transportadora montada abaixo de um reservatório, onde o material particulado úmido fica armazenado. A correia é acionada por um motor de 0,5 cv acoplado a um moto-redutor e a velocidade é controlada por um inversor de frequência. Além do controle de velocidade, a distância entre o bocal do silo e a correia também pode ser regulada, fornecendo mais uma opção para a regulação da vazão de sólidos. O secador rotatório tem 1,5 m de comprimento e 0,3 m de diâmetro (relação $L/D=5$) e a estrutura permite variações de inclinação e rotação do tambor (por meio de inversor de frequência).

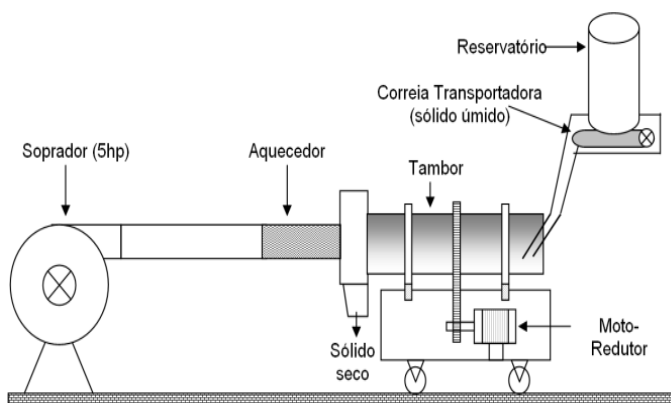


Figura 1 – Aparato experimental disponível para os experimentos de secagem.

Fonte: Adaptado de Silvério (2012)

Procedimento experimental: A pré-desidratação com etanol teve seus efeitos avaliados por meio de experimentos em diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem. Estas condições foram determinadas previamente de acordo com os resultados de um planejamento composto central e para isso consideram-se as condições de maior redução de água (P3), a de menor (P1) e o ponto central (P2). Estas condições estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Condições experimentais.

Condição Experimental	T (°C)	v(m/s)
P1	80	1,50
P2	115	2,25
P3	150	3,00

As desidratações foram realizadas de duas formas, são elas:

- As sementes de acerola foram imergidas em etanol 93,2°GL, na proporção de 1kg de sementes para 4L de etanol. Esta metodologia foi adaptada de Fernandes et al. (2008). Após cinco minutos, as sementes e foram separadas e colocadas sobre papel toalha para retirar o excesso de álcool;
- Etanol 93,2°GL foi pulverizado sobre as sementes, na proporção de 2L para 3kg de sementes, sendo as mesmas deixadas em repouso por 1,5h até o momento da secagem.

A secagem foi realizada em secador roto-aerado com inclinação de 3° e rotação de 2,7rpm, alimentação média de sólidos de 45g/min. Os experimentos foram realizados em uma faixa muito estreita de umidade relativa do ar.

Com a unidade experimental montada e os equipamentos de medição calibrados o sistema foi ajustado às condições operacionais. Após o sistema entrar em estado estacionário foram medidas as temperaturas de bulbo úmido, bulbo seco e do sólido. Foram retiradas amostras de sólidos na entrada e saída para avaliar o teor de umidade e para análise dos compostos bioativos.

Análises dos compostos bioativos:

- Umidade: avaliou-se o teor de umidade do produto através do método de estufa a $105^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ por 24 horas;
- Teor de Acidez Titulável Total (ATT) : foi realizado de acordo com os métodos da Association of Official Analytical Chemists (1995). Os resultados foram expressos em mg de ácido cítrico/100 g amostra em base seca;
- Determinação de compostos fenólicos: foi determinado pelo método de Folin–Ciocalteu, usando ácido gálico como padrão. O reagente de Folin Ciocalteu é uma solução de íons complexos poliméricos formados a partir de heteropoliácidos fosfomolibdicos e fosfotungsticos. Esse reagente oxida os fenolatos, reduzindo os ácidos a um complexo azul Mo-W. A leitura da absorbância foi realizada a 622 nm. A curva analítica foi construída utilizando o ácido gálico como padrão. Os resultados estão expressos em mg de ácido gálico por 100 g de amostra em base seca;

- Determinação do teor de flavonoides totais: a extração dos flavonoides foi efetuada com metanol de acordo com Yu e Dahegren (2000). O conteúdo de flavonoides totais foi determinado pelo método colorimétrico, segundo Zhishen et al. (1999), com leitura de absorbância a 450 nm. Este método utiliza o AlCl_3 como agente de deslocamento para diminuir a interferência de outros compostos na leitura da absorbância da solução. A rutina foi utilizada como padrão para a obtenção da curva de calibração. Os resultados foram expressos em mg equivalente de rutina/100 g de amostra em base seca.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 2 apresenta os resultados da redução de umidade (%) para as três condições experimentais expostas na metodologia. Observa-se que para as três condições a remoção de água foi maior quando as sementes haviam sido imersas em etanol. Os resultados indicam também que a pulverização de etanol sobre o resíduo de acerola é viável apenas em secagens realizadas a baixas temperaturas e velocidades do ar, como na condição P1, isto é, 80°C e 1,5m/s. Nas condições P2 e P3, nas quais as temperaturas do ar de secagem eram 115°C e 150°C, respectivamente, a pulverização de etanol não se mostrou eficiente. Vale ainda ressaltar que foi possível remover até 48,3% de água do material e que o tempo de residência médio da semente dentro do secador não ultrapassou 4 min.

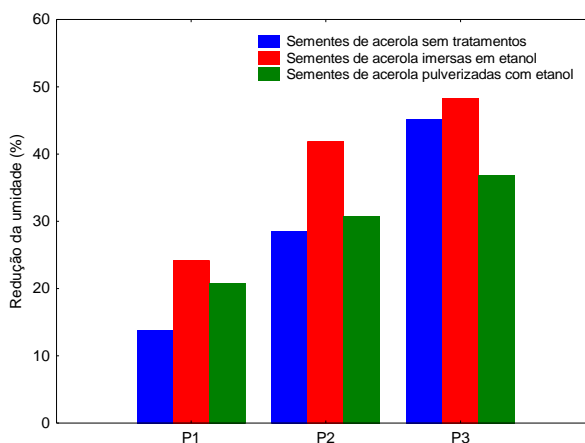


Figura 2 – Redução da umidade das sementes após a secagem em secador roto-aerado.

A Figura 3 mostra as concentrações de ácido cítrico em 100g de resíduo seco nas três condições experimentais realizadas. Observa-se que dentre as condições estudadas as sementes que não receberam tratamentos apresentaram maiores teores de ácido cítrico. Em contrapartida, as sementes de acerola imersas em etanol tiveram uma redução acentuada do teor de acidez. Isso ocorre devido à diferença de concentração da solução e da amostra, que implica na transferência de massa. Dessa forma, a pulverização seria uma forma de amenizar a diluição dos bioativos. Verifica-se ainda que a acidez foi menor nos resíduos após a secagem quando comparados às sementes in natura. Isto ocorre devido à baixa estabilidade do ácido cítrico durante tratamentos térmicos, o qual é sensível a operações com temperaturas elevadas (PODSEDEK, 2007).

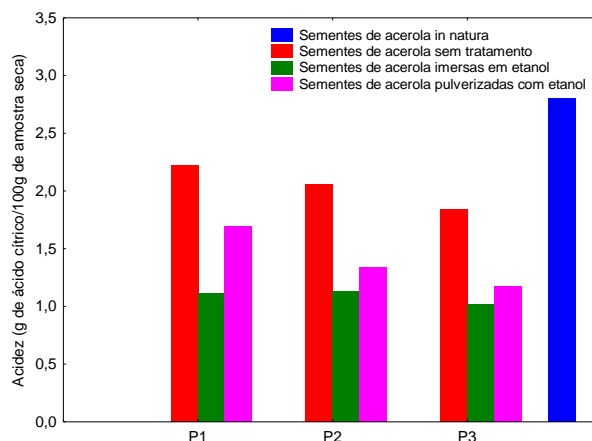


Figura 3 – Concentração de ácido cítrico nas sementes antes e após a secagem em secador roto-aerado.

Os teores de compostos fenólicos, Figura 4 (a), mostraram-se maiores nas condições em que as sementes haviam sido tratadas com etanol pulverizado. Acredita-se que isso ocorreu devido à maior extração dos compostos fenólicos da estrutura da semente quando as mesmas foram postas em contato com o etanol. Isto porque, como relatado no trabalho de Spagolla *et al.* (2009), as soluções etanoicas são muito eficientes na extração de fenólicos. A Figura 4 (b), em que são apresentados os resultados para os teores de flavonoides, sugere que estes bioativos sejam mais sensíveis ao efeito da temperatura que ao pré-tratamento a que as sementes foram submetidas. Apenas na condição P3, cuja temperatura é de 150°C, verificou-se um aumento dos flavonoides nas sementes sem tratamento em relação às tratadas com etanol. Observa-se ainda que os resíduos apresentaram valores superiores aos in natura. Chang (2006) atribuiu este fato à liberação de compostos fenólicos da matriz durante o processamento do material.

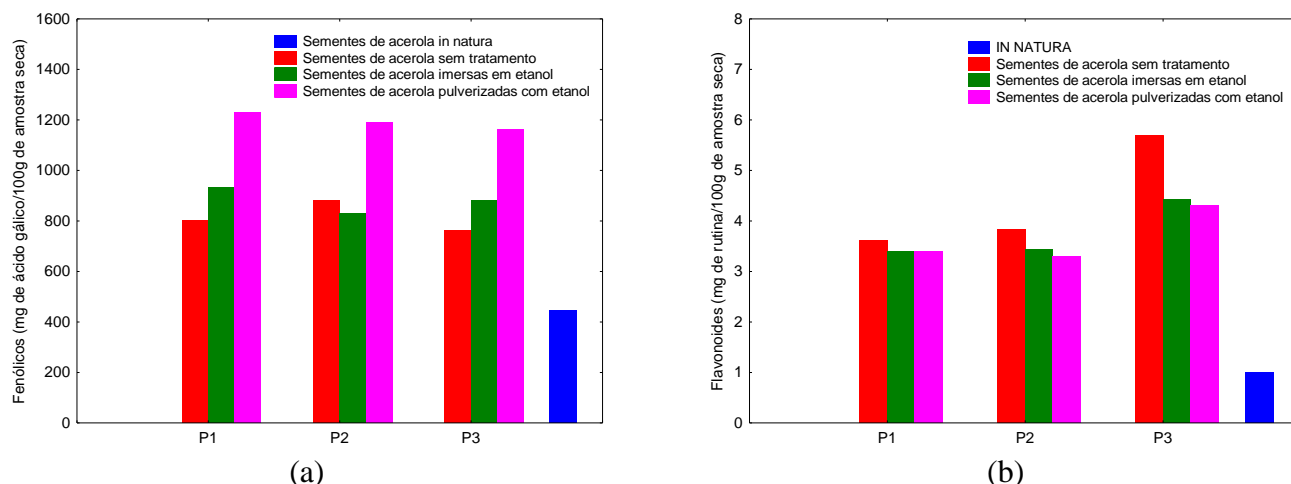


Figura 4 – Concentração de fenólicos (a) e flavonoides (b) nas sementes antes e após a secagem em secador roto-aerado.

4. CONCLUSÃO

Os resultados mostraram o efeito benéfico do etanol como pré-tratamento das sementes de acerola antes da secagem em secador roto-aerado. Esse tratamento favoreceu a remoção de água e a extração dos compostos fenólicos, contudo, o teor de ácido cítrico sofreu redução. Observaram também que o secador roto-aerado é uma boa alternativa para a secagem de sementes de acerola, considerando que houve a remoção de até 48,3% de água em um tempo médio de residência inferior a 4min.

5. REFERÊNCIAS

- ABUD, A. K. S.; NARAIN, N. Incorporação da farinha de resíduo do processamento de polpa de fruta em biscoitos: uma alternativa de combate ao desperdício. *Braz. J. Food Technol.*, v. 12, n. 4, p. 257-265, 2009.
- AOAC. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, MD, 1995. NONHEBEL, M. A. G. & MOSS, A. A. H. *Drying of Solids in the Chemical Industry*. Butterworths, Londres, Inglaterra, p. 301, 1971
- ARRUDA, E. B. Comparação do desempenho do secador roto-fluidizado com o secador rotativo convencional: secagem de fertilizantes, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia – MG, Brasil, Tese de Doutorado, 2008.
- ARRUDA, E. B.; FAÇANHA, J. M. F.; PIRES, L. N.; ASSIS, A. J.; BARROZO, M. A. S. Conventional and modified rotary dryer: Comparison of performance in fertilizer drying, *Chem. Eng. and Process*, vol 48, p 1414-1418, 2009.
- BRAGA, A. M. P.; SILVA, M. A.; PEDROSO, M. P.; AUGUSTO, F.; BARATA, L.E.S. Volatile composition changes of pineapple during drying in modified and controlled atmosphere. *International Journal of Food Engineering*, 2010.
- CAVALCANTI, M. A.; SELVAM, M. M.; VIEIRA, R. R. M.; COLOMBO, C. R.; QUEIROZ, V. T. M. Pesquisa e desenvolvimento de produtos usando resíduos de frutas regionais: inovação e integração no mercado competitivo. XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2010.
- CHANG, C. H., Lin, H. Y., CHANG, C. Y., LIU, Y. C. Comparisons on the Antioxidant Properties of Fresh, Freeze-Dried and Hot- Air- Dried Tomatoes. *Journal of Food Engineering*, 77,p. 478-485, 2006.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA E AGROPECUÁRIA. Iniciando um pequeno grande negócio agroindustrial: polpa e suco de frutas. Embrapa Agroindústria de Alimentos, Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas - Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2003.
- FDA. Listing of food additive status, Part I, October 2010. <http://www.fda.gov/Food/FoodIngredientsPackaging/FoodAdditives/FoodAdditiveListings/ucm091048.htm> (accessed November 22, 2010).

- FERNANDES, F. A. N.; GALLÃO, M. I.; RODRIGUES, S. Effect of osmotic dehydration and ultrasound pre-treatment on cell structure: melon dehydration. LWT, v. 41, p. 604-610, 2008.
- LISBOA, M. H.; VITORINO, D. S.; DELAIBA, W. B.; FINZER, J. R. D. ; BARROZO, M. A. S. A study of particle motion in rotary dryer, Braz J. Chem. Eng., v. 24, p. 365-374, 2007.
- MOYERS, C. G. and BALDWIN, G. W., Psychrometry, Evaporative Cooling and Solids Drying. In: PERRY, R. H.; GREEN, D. W.. Perry's Chemical Engineers' Handbook, Nova York, Estados Unidos, Ed. Mac Graw-Hill, 7 th edition, Cd-ROM, p. 12-1: 12-90, 1999.
- PODSEDEK, A. Natural Antioxidants and Antioxidant Capacity of Brassica Vegetables: A review. LWT: Journal of Food Composition and Analysis, 40, p.1-11, 2007.
- SANTOS, P.H.S.; SILVA, M.A. Preliminary study of ascorbic acid retention during drying of pineapple in ethanolic atmosphere. 16th International Drying Symposium (IDS 2008), 2008.
- SILVÉRIO, B. C. Estudos Fluidodinâmicos e de Secagem de Fertilizantes em Diferentes Tipos de Secadores Roto-aerados, Tese de Doutorado, UFU, Uberlândia/MG, 2012.
- SPAGOLLA, L. C.; SANTOS, M. M.; PASSOS, L. M. L; AGUIAR, C. L., Extração alcóolica de fenólicos e flavonoides totais de mirtilo "Rabbiteye" (*Vaccinium ashei*) e sua atividade antioxidante. Revista de Ciências Farmacêuticas Básica e Aplicada, 30(2), p.187-191, 2009.
- YU, D.; DAHEGREN, R.A. Evaluation of Methods for Measuring Polyphenol in Coniter Foliage. J. Chem. Ecology, 26, p.2119-2140, 2000.
- ZHISHEN, J.; MENGCHENG, T.; JIANMING, W.The Determination of Flavonoid Contents in Mulberry and their Scavenging Effects on Superoxide Radicals. Food Chem., v.64, p.555-559, 1999.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao CNPQ e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio Financeiro para a realização da pesquisa e ainda a FAPEMIG pelos recursos concedidos no Projeto de Participação Coletiva em Eventos Técnicos-Científicos (PCE-00082-14).