

AVALIAÇÃO DE UM SECADOR SOLAR SOB CONVECÇÃO FORÇADA PARA A SECAGEM DO PEDÚNCULO DE CAJU

Antônio Vitor Machado

Eng. de Alimentos D. Sc. Professor Adjunto da - UATA /CCTA – Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. CEP – 58840-000. Pombal – PB. E-mail: machadoav@ccta.ufcg.edu.br

Edson Leandro de Oliveira

Eng. Químico D. Sc. Professor Associado do - CT /DEQ – Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN. CEP – 59072-970. Natal – RN. E-mail: edson@eq.ufrn.br

Everaldo Silvino dos Santos

Eng. Químico D. Sc. Professor Adjunto do - CT /DEQ – Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN. CEP – 59072-970. Natal – RN. E-mail: everaldo@eq.ufrn.br

Jackson Araújo de Oliveira

Eng. Químico D. Sc. Professor Adjunto do - CT /DEQ – Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN. CEP – 59072-970. Natal – RN. E-mail: everaldo@eq.ufrn.br

Laerte Moura de Freitas

Eng. Químico Discente - CT /DEQ – Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN. CEP – 59072-970. Natal – RN. E-mail: laerte_moura@yahoo.com.br

RESUMO: Os altos índices de poluição alcançados pelo uso de energia fosseis é bastante preocupante na atualidade, com isso a busca pela utilização de fontes de energia limpa e renovável é de grande interesse no presente. O pedúnculo de caju apresenta-se com um enorme potencial para obtenção de produtos desidratados frente ao seu alto índice de desperdício da atualidade, cerca de 94% de toda sua produção. A secagem solar do pedúnculo de caju em secadores de radiação indireta com fluxo de ar forçado mostra-se como uma alternativa viável para atender aos pequenos, médios e grandes produtores, que com a utilização desta tecnologia poderão agregar valor aos seus produtos e minimizar suas perdas pós-colheita. A secagem solar de fatias do pedúnculo de caju em secadores de radiação indireta com fluxo de ar forçado demonstrou obter produtos de ótima qualidade. A velocidade do ar de secagem e a espessura das fatias de caju são parâmetros importantes para redução no tempo de secagem. Para uma velocidade de 6 m/s, espessura da fatia de caju de 1 cm o tempo de secagem foi de 10 horas e com espessura de 2 cm o tempo de secagem foi 16 horas.

Palavras-chaves: Secagem solar, pedúnculo de caju, radiação indireta.

EVALUATION OF SOLAR DRYNG UNDER FORCED CONVECTION DRYING CASHEW PULP

ABSTRACT: Actually, pollution produced by non-renewable energy sources is leading for the search of new alternatives. Cashew pulp can be used to obtain dehydrated products minimizing the waste that account for up to 94%. Solar drying of cashew pulp using solar dryer with indirect radiation and forced air flux has been used as a feasible alternative in small farmers once producers can minimize loss as well as add-value for theirs products using this technology. Drying solar of cashew pulp showed good results in which a high quality product was obtained with good taste. The air velocity drying solar of cashew pulp and the thickness of the slices of cashew pulp are important parameters for reduced drying time. To a speed of 6 m/s, cashew slice thickness 1 cm was the drying time of 10 hours and with a thickness of 2 cm drying time was 16 hours.

Key-words: solar drying, cashew pulp, indirect radiation

INTRODUÇÃO

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de frutas, com uma produção que superou os 44 milhões de toneladas no ano de 2007 (FAO, 2008). O Brasil possui uma terra privilegiada no que diz respeito à produção de frutas, devido a sua grande área territorial e reúne condições climáticas favoráveis para a fruticultura. A fruticultura é, hoje, um dos segmentos de maior importância da agricultura nacional respondendo por mais de 35% da produção agrícola nacional.

A região Nordeste vem se destacando na produção de frutas como o melão, uva, abacaxi, banana, manga e caju, pois as condições climatológicas são muito mais favoráveis do que nas regiões sul e sudeste do Brasil (TODAFRUTA, 2010). A cajucultura é uma atividade de destaque socioeconômico para o Nordeste, principalmente para os Estados do Ceará, Rio Grande do Norte e Piauí, onde se encontram os maiores plantios do país.

O Cajueiro (*Anacardium occidentale* L), pertencente à família das *Anacardiaceae*, ocupa lugar de destaque entre as plantas frutíferas tropicais. O caju é um fruto bastante procurado por sua polpa saborosa que apresenta um alto teor de vitamina C com teor médio de 164,2 mg/100g de vitamina C, este conteúdo é 4 ou 5 vezes maior que o teor de vitamina C apresentado pela laranja que contém em média 32,8 mg/100g, além de ser uma excelente fonte de sais minerais (SOUZA, et al.; 2005). O pedúnculo do caju é extremamente perecível e também pode ser considerado como um dos frutos mais baratos entre todos os outros cultivados no Brasil (SOUZA, 2007).

No mercado nacional, o caju (pedúnculo e castanha) tem sido pouco explorado, em razão da facilidade com que o mercado externo absorve quase toda a produção dos dois principais produtos obtidos da castanha, que são a amêndoa e o líquido da casca de castanha (LCC), enquanto o pedúnculo de caju pode gerar uma série de outros produtos como o pedúnculo desidratado, a farinha de caju, o suco, doces, passas, entre outros (UFLA, 2007).

Uma grande dificuldade enfrentada pelos fruticultores é a conservação dos frutos maduros, pois grande parte da colheita é desperdiçada, o pedúnculo de caju apresenta elevados índices de desperdício cerca de 94% de toda sua produção, esta realidade é inaceitável pois este apresenta elevado potencial de industrialização, é uma matéria-prima rica em carboidratos, fibras, vitaminas e sais minerais (EMEP, 2008). O pedúnculo de caju apresenta-se com um enorme potencial para obtenção de produtos desidratados frente ao seu alto índice de desperdício e de sua excelente qualidade nutricional (ARAGÃO, et al.; 2007).

A desidratação de frutas é um mercado promissor e com grande potencial de crescimento e muito pouco explorado empresarialmente no Brasil (SOUZA, et al., 2007). A secagem utilizando a energia solar apresenta-se como alternativa de grande interesse pelas suas qualidades e características de ser limpa, gratuita e de grande

potencial, largamente disponível em todo o Brasil e principalmente no Nordeste (FERREIRA, et al., 2008).

A secagem do pedúnculo de caju em secadores solar de radiação indireta, com fluxo de ar forçado, é uma alternativa viável na produção de caju desidratado para atender a demanda do mercado consumidor, minimizando as perdas do fruto “*in-natura*” no campo, conseqüentemente aumentando o valor agregado de seus produtos e melhorando a renda dos produtores (MACHADO, 2008).

A conservação de frutas através da desidratação ou secagem é um dos processos comerciais mais usados na conservação de produtos agropecuários, sem que eles percam suas propriedades biológicas e nutritivas. A redução do teor de umidade do produto, e conseqüentemente, de sua atividade de água, tem por objetivo evitar o desenvolvimento de microrganismos e de reações químicas indesejáveis que podem deteriorar o produto tornando-o impróprio para o consumo (MADAMBA, 2007).

Entre as principais vantagens oferecidas pela secagem de frutas está a concentração dos nutrientes e o maior tempo de vida de prateleira. Além disso, o sabor permanece quase inalterado por longo tempo, uma vez que é minimizada a proliferação de microrganismos devido a redução da atividade de água do produto. A secagem é atualmente empregada não apenas com o objetivo de conservação dos alimentos, mas também para elaboração de produtos diferenciados, como por exemplo, as massas, biscoitos, iogurtes, sorvetes entre outros (FIOREZE, 2004).

Entre os diferentes sistemas de secagem, podem ser citados os secadores mecânicos e o secador solar. Nos secadores mecânicos a energia usada, para o aquecimento do gás de secagem, são oriundas da queima de lenha; da queima de combustíveis fósseis ou ainda pelo uso de eletricidade. Já no secador solar, o gás de secagem é aquecido pela energia do sol e ainda hoje esta energia é a mais utilizada na secagem, principalmente quando se trata de grãos e sementes. A secagem solar tradicional é aquela realizada com o produto exposto a céu aberto sob condições ambientais normais (PARK, 2007).

Com o desenvolvimento tecnológico, o aproveitamento da energia solar, utilizando equipamentos que possam transformar energia solar em calor, é extremamente importante no momento atual frente à escassez e o alto custo das fontes de energias fósseis e de grande poder poluidor (SOUZA et al., 2007). O Brasil dispõe de um grande potencial para uso da energia solar em quase todo o território nacional, principalmente na região Nordeste, onde se tem sol por quase todo ano. Essa energia constitui uma opção vantajosa na viabilidade de projetos que poderiam promover o desenvolvimento dessa região em vários setores como na secagem de frutos, no aquecimento de água para uso industrial e doméstico, e também na conversão de energia solar em elétrica para local onde a rede elétrica de energia tem difícil alcance. Os sistemas de secagem solar utilizados na secagem de

frutas apresentam aspectos importantes como, o baixo custo de operação e de manutenção dos equipamentos (SINÍCIO, 2006).

Os objetivos deste trabalho temos o estudo da secagem do pedúnculo do caju em um secador solar de radiação indireta sob convecção forçada (dimensionado e montado no Laboratório de Energia Alternativa e Fenômenos de Transporte (LEAFT) do departamento de Engenharia Química da Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN), tendo como propósito principal desta pesquisa o aproveitamento do excedente de matéria- prima regional e o conhecimento adequado para a aplicabilidade dos sistemas de secagem como rota de conservação dos alimentos. Buscou-se também, o aproveitamento de fontes de energia renováveis como a solar, que atende satisfatoriamente ao processo de secagem de produtos agroindustriais.

MATERIAL E MÉTODOS

Neste trabalho foram utilizados pseudofrutos do cajueiro previamente selecionados de acordo com o grau de maturação, coloração da casca e ausência de danos físicos, após a lavagem e sanitização foram retiradas as castanhas, cortados em fatias de 1 e 2 cm de espessura, a determinação do teor de umidade foi realizado pelo método da estufa a 70°C até peso constante.

O equipamento utilizado para secagem das fatias foi um secador solar de radiação indireta desenvolvido no departamento de Engenharia Química da Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN. O secador de radiação indireta é constituído de um coletor solar e um soprador acoplado ao coletor para forçar o ar, uma câmara de secagem com bandejas e um exaustor eólico.

A secagem é processada pesando-se a massa do material em intervalos regulares de tempo (a bandeja é retirada, pesada e rapidamente recolocada no secador), este procedimento foi repetido até atingir peso constante. As velocidade do ar de secagem foi de 3 e 6 m s⁻¹ e as espessuras das fatias de 1 e 2 cm.

O coeficiente de difusão efetiva foi determinado utilizando-se a solução analítica da equação da segunda lei de Fick para placa plana, assumindo que a umidade migra

somente por difusão, que o encolhimento é desprezível conforme equação abaixo (CRANK, 1975).

$$RU = \frac{U(t) - U_e}{U_o - U_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{1}{(2i+1)^2} \exp \left[- \frac{(2i+1)^2 \pi^2 \cdot Def \cdot t}{4L^2} \right]$$

Onde:

RU é a razão de umidade (adm).

U(t) é a variação da umidade (%b.s.) com o tempo.

U_e é a umidade de equilíbrio (%b.s.).

U_o é a umidade inicial (%b.s.).

Def é o coeficiente de difusividade efetiva (m² s⁻¹).

L é a espessura da fatia (m).

As propriedades sensoriais foram avaliadas por provador treinado analisando os atributos de sabor, aroma, textura e aparência do produto seco.

As **FIGURAS 1 e 2** mostram o secador solar de radiação indireta sob convecção forçada utilizado neste experimento.

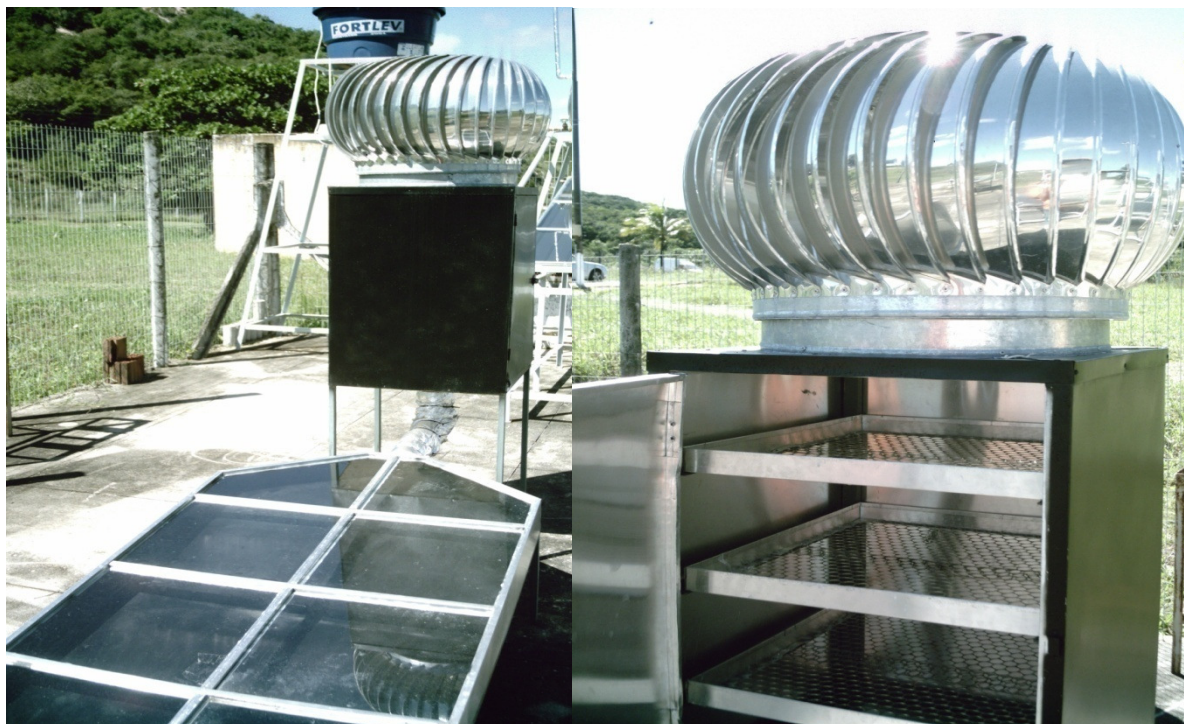


FIGURA 1 - Secador solar de radiação indireta sob convecção forçada partes do equipamento (coletor solar e câmara de secagem).

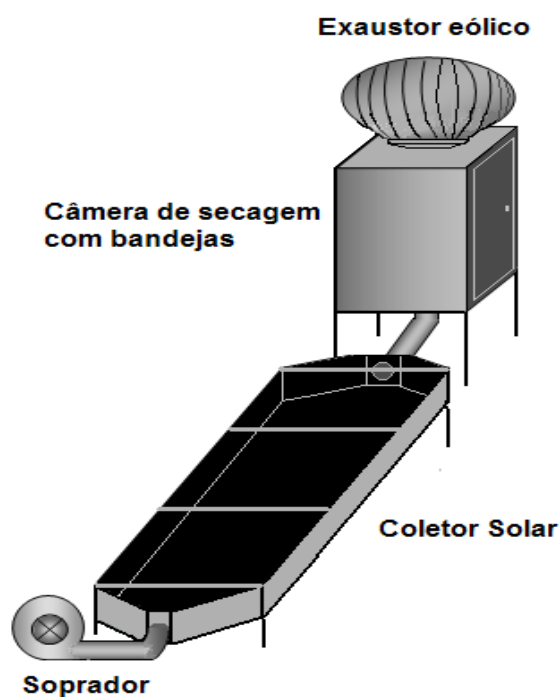


FIGURA 2 – Configuração do secador solar de radiação indireta sob convecção forçada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao término da secagem, as fatias de caju obtidas apresentaram-se com ótimas características sensoriais, sabor e aroma agradável, com aspecto visual de cor amarela clara, sem vestígios de obscurecimento e mantendo as características avermelhadas da casca. As fatias de caju secas apresentaram textura crocante não apresentando consistência elástica.

O comportamento cinético durante a secagem do pedúnculo de caju está representado na **FIGURA 2**. As curvas de secagem mostram que a cinética define o processo característico da secagem do pedúnculo de caju. Apresentando, no início do processo, um maior período de aquecimento quando a espessura da fatia é de 2 cm e a velocidade é 3 m/s. Em seguida, pode-se verificar um período de velocidade constante com um decréscimo acentuado da umidade, moderando-se em seguida e se estabilizando ao final da secagem até o equilíbrio. Mediante a comparação das curvas de secagem obtidas podemos observar que o tempo de secagem diminui

significativamente com aumento da velocidade do ar e com redução da espessura das fatias de caju. Mostrando-se que a velocidade do ar e a espessura das fatias são fatores limitantes no tempo final de secagem do pedúnculo de caju.

Observando a **Tabela 1**, nota-se que a espessura das fatias e a velocidade do ar de secagem são fatores limitantes no tempo final de secagem do pedúnculo de caju, observa-se que os coeficientes de difusividade efetiva (Def) para secagem solar do pedúnculo de caju variaram entre $7,96 \times 10^{-8}$ e $3,40 \times 10^{-8}$. Tais resultados se mostraram próximos aos relatados por (OLIVEIRA, et al.; 2005.) em estudo sobre a cinética de secagem do caju em secador elétrico convectivo.

Mediante comparação das curvas de secagem obtidas verifica-se, que a taxa de secagem aumenta com a diminuição da espessura das fatias de caju, conforme os coeficientes de difusão efetiva determinados experimentalmente neste trabalho.

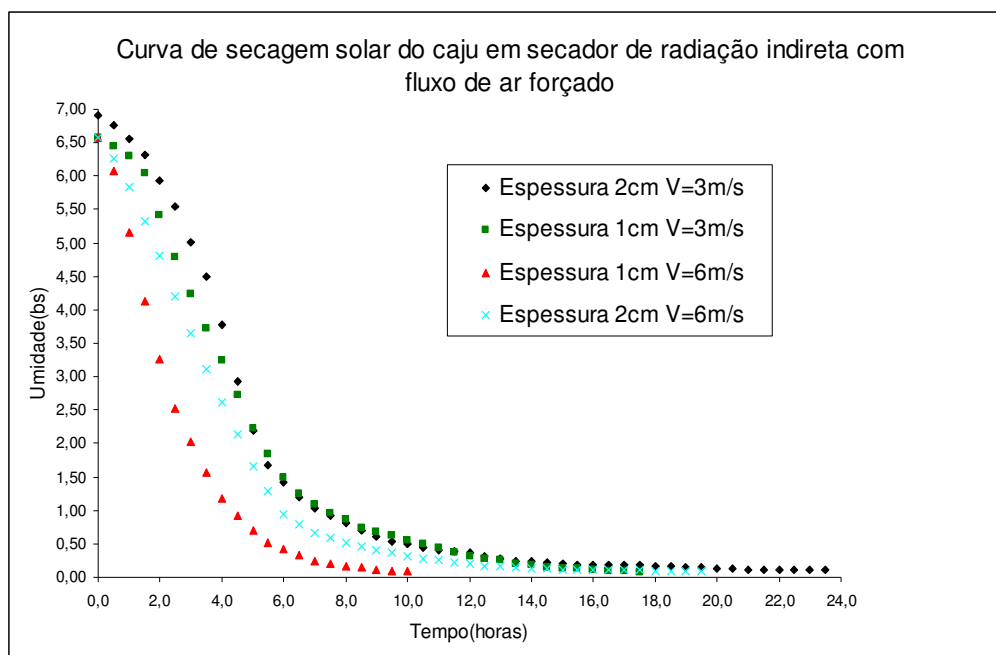


FIGURA 2 Curva de secagem solar do caju em secador de radiação indireta sob convecção forçada.

TABELA 1. Valores médios do tempo final de secagem solar de fatias de caju.

V.(m/s)	E.(cm)	Tempo de secagem (horas)	Def. (m ² /s)
3	1	19,0	5,51E-08
3	2	22,5	3,40E-08
6	1	10,0	7,96E-08
6	2	16,0	3,76E-08

CONCLUSÕES

A secagem solar de fatias de caju demonstrou obter produtos de boa qualidade. A velocidade do ar de secagem e a espessura das fatias de caju são parâmetros importantes para redução do tempo de secagem. Para uma velocidade de 6 m/s, espessura da fatia de caju de 1 cm o tempo final de secagem foi de 10 horas e com espessura de 2 cm o tempo final de secagem foi 16 horas.

A velocidade do ar de secagem e a espessura das fatias de caju são fatores limitantes no tempo final de secagem do pedúnculo de caju.

A secagem solar do pedúnculo de caju em secadores de radiação indireta com ar forçado apresenta-se como uma ótima alternativa para redução do tempo final de secagem do pedúnculo de caju, demonstrando assim ser um método eficiente de conservação do pedúnculo de caju tendo como principal consequência a redução de suas perdas, a agregação de valor ao produto desidratado e o aumentando a renda familiar dos produtores do Nordeste.

REFERÊNCIAS

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemistry.** 12 ed. Washington: AOAC, 1992, 1015p.

FERREIRA, D. F. **Programa Sisvar.exe:** sistema de análise de variância. Versão 3.04. Lavras: UFLA, 2000.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas, métodos químicos e físicos para análise de alimentos.** 3. ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, v. 4, p.533, 2004.

Aragão, R.F.; Asina, O.L.S.; Guedes, A.M. *Estudo experimental da secagem de fatias de caju.* In: Alimentos Ciencia e Ingeniería, v.16(3), p. 302-307, (2007).

CRANCK, J. **The mathematics of diffusion.** Pergamon, 2 ed. Oxford: University Press Oxford, p.414, 1975.

Emepa. Caju < <http://www.emepa.org.br/sigatoka.php> > Data de Edição: 25/06/07. Acesso em 14 de outubro de (2008).

FAO, Food And Agriculture Organization Of the United Nations. Summary of Food and Agriculture Statistics. Disponível em <http://www.fao.org> , acessado em setembro de 2008.

FERREIRA, A. G.; et al. *Technical feasibility assesment of a solar chimney for food drying.* Solar Energy. Vol. 82 p.44-52 (2008).

FIOREZE, R. **Princípios de secagem de produtos biológicos,** João Pessoa. Editora Universitária - UFPB, p.229, 2004.

MACHADO, A.V.; OLIVEIRA, E.L.; SANTOS, E.S.; OLIVEIRA, J.A. *Influência da espessura com o tempo de secagem em sistemas solar de radiação direta e indireta.* **Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos (CBCTA),** Belo Horizonte – MG, v.3, p. 44-51, 2008.

MACHADO, A.V.; ARAÚJO, F. M. M. C. **Avaliação bioquímica do pedúnculo de caju (*anacardium occidentale*, L.)** Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos (CBCTA), Belo Horizonte – MG, v.3, p. 88-92, 2008.

MADAMBA, P.S.; DRISCOLL, R.H.; BUCKLE, K.A. **The thin-layer drying characteristics of garlic slices.** Journal of Food Engineering v.29, p.75-97, 2007.

Oliveira, F.M.N.; Silva, A.S.; Alemida, F.A.C. *Influência do branqueamento no processo da cinética de secagem do caju.* In: I Simpósio Brasileiro de Pós-Colheita de Frutos

Artigo Científico

Tropicais (SBPCFT), v.4, p. 23-29 João Pessoa-PB, (2005).

PARK, K. J.; COLATO, A.; OLIVEIRA, R. A. **Conceitos de processos e equipamentos de secagem.** Campinas, v. 1, 2007.

SINÍCIO, R. **Simulação de secagem de milho em camadas espessas a baixas temperaturas.** Dissertação (Mestrado em engenharia agrícola) – Universidade Federal de Viçosa - UFV, Viçosa – MG, p.74, 2006.

Souza, M. C. M.; Rodrigues, T. H. S.; Rocha, M. V. P.; Gonçalves, L. R. B. *Cinética de secagem do caju.* In: I Simpósio Brasileiro de Pós-Colheita de Frutos Tropicais (SBPCFT), v.4, p. 52-57 João Pessoa-PB, (2005).

Souza, I. G. M. *Obtenção de tomates secos utilizando um sistema de secagem solar construído com materiais alternativos.* 8º Congresso Iberoamericano de Engenharia Mecânica; v.6, p. 135-139, Cusco, (2007).

TODAFRUTA (2010). Disponível em: <<http://www.todafruta.com.br>> Acesso em 16 mar. 2009.

Universidade Federal de Lavras – UFLA (Núcleo de Estudo).http://www.todafruta.com.br/todafruta/mostra_conteudo.asp?conteudo=1380 Acesso em 27/10/08. Data Edição: 21/01/2007.

Recebido em 16/10/2010

Aceito em 20/03/2011