

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA ESPESSURA NO TEMPO DE SECAGEM DO PEDÚNCULO DE CAJU EM SECADORES SOLAR DE RADIAÇÃO DIRETA E INDIRETA

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: jackson@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: O Cajueiro (*Anacardium occidentale* L), pertencente a família das *Anacardiaceae*, ocupa lugar de destaque entre as plantas frutíferas tropicais. O caju é um fruto bastante procurado por sua polpa saborosa, apresenta um alto teor de vitamina C e também em sais minerais. Os altos índices de poluição alcançados pelo uso de energia fósseis é bastante preocupante na atualidade, com isso a busca pela utilização de fontes de energia limpa e renovável é de grande interesse no presente. A secagem solar do pedúnculo de caju em secadores de radiação direta e indireta poderá mostrar-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 as perdas pós-colheita. O caju apresenta-se com um enorme potencial para obtenção de produtos desidratados frente ao seu alto índice de desperdício cerca de 94% de toda sua produção anual. Os resultados experimentais mostraram que o tempo de secagem solar do pedúnculo de caju em secadores de radiação direta e indireta diminui com a espessura da fatia, também, verifica-se que o secador de radiação indireta é mais eficiente com relação ao secador de radiação direta.

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

ESTUDY OF THE INFLUENCE THE THICKNESS IN THE SETTING TIME THE OF THE DRYNG CASHEW PULP UNDER SOLAR DRYNG DIRECT AND INDIRECT RADIATION

ABSTRACT: The Cajueiro (*Anacardium occidentale* L), pertaining the family of the *Anacardiaceae*, occupies place of prominence between the tropical fruitful plants. The cashew is a fruit sufficiently looked by its flavorful pulp, presents one high vitamin text C and also in you leave minerals. The high indices of pollution reached by the energy use fossils are sufficiently preoccupying in the present. Actually, the development of new technologies that can use renewable energy sources is quite important. Solar drying of cashew pulp using solar drying with both direct as well as indirect radiation 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. Cashew can be used to obtain dehydrated products minimizing the waste that account for up to 94%. Results showed that lower drying time was obtained using a lower cashew pulp layer. It has been also observed that indirect radiation has been more efficient than direct one in drying the cashew pulp.

Key-words: solar drying, cashew pulp, direct and indirect radiation.

Revista Verde (Mossoró – RN – Brasil) v.7, n.1, p. 256 - 263 janeiro/março de 2012

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 (ALMEIDA, 2006).

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, 2011). 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 *Anacardiaceae*, e destaca-se entre as plantas frutíferas tropicais. Em face da crescente comercialização do fruto conhecido por castanha de caju e do pseudofruto, que é o pedúnculo hipertrofiado e carnoso o hipocarpio, geralmente chamado apenas caju, cuja casca é muito frágil, o que dificulta o seu transporte das áreas de produção aos mercados de consumo ou à indústria. Além de frágil, este produto é altamente perecível, apresentando mecanismos aceleradores de degradação microbiológica contribuindo, assim, para a rejeição ou perda de centenas de milhares de toneladas do produto (Machado, 2011). A grande quantidade desperdiçada, cerca de 94%, apresenta elevado potencial, pois é matéria-prima rica em carboidratos, fibras, vitaminas e sais minerais (Aragão, et al.; 2007). Deve-se ressaltar, ainda, que o Brasil é o único país no contexto mundial que possui o hábito de consumo do pedúnculo nas suas diferentes formas, *in natura* e como fruto de mesa tornando-se um negócio promissor para o mercado (Machado, 2011). 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 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).

Na conservação de alimentos, a desidratação ou secagem é apontada como um dos procedimentos importante na redução da atividade de água (Aw)

favorecendo o transporte e a manipulação do produto, além de prolongar a vida de prateleira (AKAPINAR, 2006). A desidratação de frutas possui um mercado promissor e com grande potencial de crescimento e muito pouco explorado empresarialmente na atualidade 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).

O desenvolvimento de tecnologia para o aproveitamento da energia solar utilizando equipamentos que possam transformar energia solar em calor é extremamente importante no momento atual, frente à escassez das fontes de energias fósseis normalmente utilizadas e de seu grande poder poluidor (Sreekumar, et al.; 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 (UFLA, 2011). 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).

A secagem do pedúnculo de caju em secadores solar de radiação direta e indireta 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, 2011).

Os objetivos deste trabalho temos o estudo da secagem do pedúnculo do caju em dois secadores solar um de radiação direta e um de radiação indireta (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, a redução das perdas pós-colheita do pedúnculo de caju 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.

Os equipamentos utilizados nos experimentos de secagem foram dois secadores solar, um secador solar de radiação direta (SRD) e um secador solar de radiação indireta (SRI), desenvolvidos no PPGEQ da Universidade Federal do Rio Grande do Norte-UFRN. O secador de radiação direta é constituído de uma caixa retangular de metal, com abertura a jusante e a montante protegida por uma tela, para passagem do ar natural, dotado de uma bandeja, com a parte de baixo em tela de malha fina, e todo o conjunto em aço inox. O secador de radiação

indireta é constituído de um coletor solar, uma câmara de secagem com bandejas e um exaustor eólico. O ar aquecido do coletor flui de baixo para cima passando no material a ser seco. 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).

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.

A umidade foi determinada conforme método da Association of Official Analytical Chemistry, 1990.

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) e (SOKHANSANJ, 2006).

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

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 ($m^2 s^{-1}$).

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 (OLIVEIRA, 2008).

Análise estatística

O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado, onde os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas através do teste de Tuckey conforme (Ferreira, 2002)

As **FIGURAS 1 e 2** mostram os secadores solar de radiação indireta e direta utilizados neste experimento.



FIGURA 1 - Secador solar de radiação indireta (SRI).



FIGURA 2 – Configuração do secador solar de radiação direta (SRD).

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.

Resultados semelhantes foram encontrados por (ARAGÃO, et al., 2007.) em estudo realizado sobre secagem de caju em secador elétrico convectivo.

O comportamento cinético durante a secagem do pedúnculo de caju está representado na **FIGURA 3**. 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. 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 alcançar o equilíbrio. Mediante a comparação das curvas de secagem obtidas podemos observar que o tempo de secagem diminui significativamente com a redução da espessura das fatias de caju. Mostrando-se que a espessura das fatias é um fator limitante no tempo final de secagem do pedúnculo de caju.

Observando a **Tabela 1**, nota-se que a espessura das fatias do pedúnculo de caju é um fator limitante no tempo final de secagem. Observa-se que os coeficientes de difusividade efetiva para secagem solar do caju, variaram entre $2,92 \times 10^{-8}$ e $4,06 \times 10^{-8}$. Tais resultados se mostraram próximos aos relatados por (OLIVEIRA, et al.; 2005.) em estudo sobre a cinética de secagem do caju em secador 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.

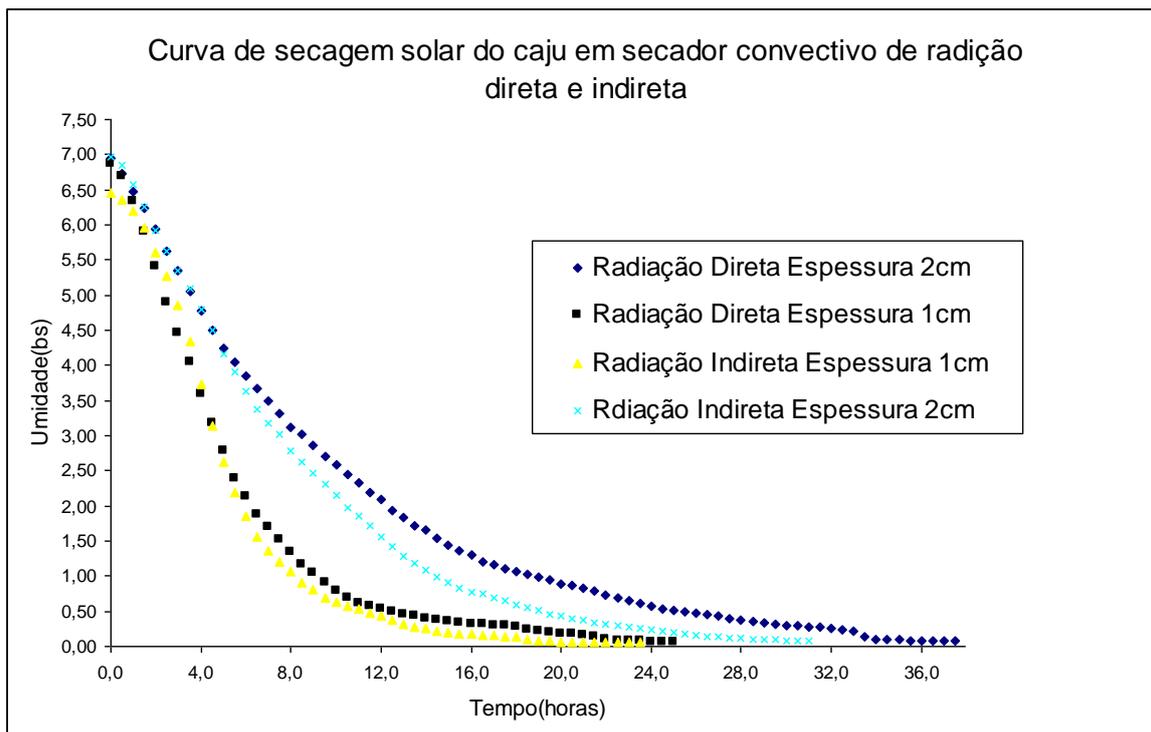


FIGURA 3 - Curva de secagem solar do caju em secadores de radiação direta e indireta.

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

Secador	E.(cm)	Tempo de secagem (horas)	Def. (m ² /s)
SRI	1	20,0	4,06E-08
SRI	2	27,0	3,43E-08
SRD	1	24,0	3,94E-08
SRD	2	35,0	2,92E-08

CONCLUSÕES

A secagem solar de fatias de caju demonstrou obter produtos com excelente qualidade. A espessura das fatias de caju é um parâmetro importante para a redução do

tempo de secagem do pedúnculo de caju em secadores solar de radiação direta e indireta.

O secador solar de radiação indireta mostrou-se mais eficiente que o de radiação direta, favorecendo a secagem, ou seja, reduzindo o tempo final de secagem. O tempo de

secagem para mesma massa de caju, no secador de radiação indireta, foi 20 horas para a espessura 1 cm e de 27 horas para espessura de 2 cm. O tempo de secagem, para mesma massa de caju, no secador de radiação direta, foi de 24 horas para espessura de 1 cm e 35 horas para espessura de 2 cm.

De acordo com os resultados apresentados a secagem solar do pedúnculo de caju em secadores de radiação direta e indireta 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 consequência a redução de suas perdas pós-colheita além de agregar valor ao produto desidratado aumentando a renda familiar dos produtores do Nordeste com a utilização desta tecnologia.

REFERÊNCIAS

- AKPINAR, E.K.; BICER, Y.; YILDIZ, C. **Thin-layer drying of red pepper**. Journal of Food Engineering 59, p. 99-104, 2006.
- ALMEIDA, C. A.; GOUVEIA, J. P. G.; ALMEIDA, F. A.; SILVA, L. F. H. **Avaliação da cinética de secagem em frutos de acerola**. Revista de Biologia e Ciências da Terra, v. 6, n.1, 2006.
- 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, 2008.
- Aragão, R.F.; Asina, O.L.S.; Guedes, A.M. **Estudo experimental da secagem de fatias de caju**. In: Alimentos Ciencia e Ingenieria, 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 2010.
- FERREIRA, A. G.; et al. **Technical feasibility assesment of a solar chimney for food drying**. Solar Energy. Vol. 82 p.44-52 (2008).
- FIGUEIREDO, 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.; OLIVEIRA, E. L.; SANTOS, E. S.; OLIVEIRA, J. A.; FREITAS, L. M. **Avaliação de um secador solar sob convecção forçada para a secagem do pedúnculo de caju**. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentavel, Mossoró – RN, v.6, n° 1, p. 01-07, (2011).
- MACHADO, A.V.; OLIVEIRA, E.L.; SANTOS, E.S.; OLIVEIRA, J.A. **Estudo cinético da secagem do pedúnculo de caju e um secador convencional**. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, Mossoró – RN, v.6, p. 44-51, (2011).
- 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 Tropicais (SBPCFT), v.4, p. 23-29 João Pessoa-PB, (2005). Aceito em 29/03/2012

OLIVEIRA, M. A. **Avaliação da influencia de adjuvantes de secagem sobre as propriedades de suco de caju atomizado**. (Dissertação de Mestrado), Universidade Federal de Fortaleza - UFC, p. 96, 2008.

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.

SOKHANSANJ, S.; JAYAS, D.S. **Drying of foodstuffs**. In: Mujumdar, A.S. Handbook of industrial drying. 2.ed. New York: Marcel Dekker, v.1, p.589-626, 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).

SREEKUMAR, A.; et al; Performance of indirect solar cabinet dryer. **Energy conversion** and management. India, v.77, 2008.

TODAFRUTA (2010). Disponível em: <<http://www.todafruta.com.br>> Acesso em 16 mar. 2011.

Universidade Federal de Lavras – UFLA (Núcleo de Estudo).http://www.todafruta.com.br/todafruta/mostra_conteudo.asp?conteudo=1380 Acesso em 27/10/11. Data Edição: 21/01/2007.

Recebido em 10/01/2012

Revista Verde (Mossoró – RN – Brasil) v.7, n.1, p. 256 - 263 janeiro/março de 2012