

## Aspecto econômico de um processo de secagem de amêndoas de castanha do Brasil (*Bertholletia excelsa*) assistida a microondas

F. A. Silva<sup>1</sup> e A. Marsaioli Jr.<sup>2</sup>

Laboratório de Microondas Aplicadas/DEA/FEA/UNICAMP  
13083-970 Campinas, SP

(Recebido: 22 de agosto de 2003)

**Resumo:** *O principal problema que ocorre no processamento da castanha do Brasil (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl.) é durante a secagem da amêndoa, pois esta etapa não oferece garantias de qualidade quando as condições de armazenamento e transporte dos produtos não forem adequadas. O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho de um sistema piloto de secagem assistido a microondas, combinado com aplicação de ar quente, na secagem de amêndoas de castanha do Brasil, buscando reduzir o tempo de secagem para obter um maior rendimento industrial, quando comparado com os processos convencionais. Esta pesquisa também apresenta a elaboração de um estudo econômico preliminar visando à estimativa do custo final de produção industrial da nova alternativa de secagem aqui proposta com aplicação de microondas.*

**Palavras-chave:** *Castanha do Brasil, secagem, microondas*

**Abstract:** *The main problem of processing Brazil-nuts (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl.) concerns to drying the kernels, because the drying stage does not guarantee a suitable quality control when the conditions of storing and transporting the products are not adequate. The objective of this work was to evaluate the performance of a pilot drying system assisted by microwaves combined with the application of hot air, in the drying of Brazil nuts, towards reducing the drying time and increasing the industrial yield and quality of kernels when compared to conventional processes. It was also aimed at elaborating a preliminary economic study in order to estimate the final cost of obtaining the dried kernels by an alternative way of drying proposed herewith by means of the application of microwaves.*

**Key words:** *Brazil nuts, drying, microwaves*

---

<sup>1</sup>[flavioas@fea.unicamp.br](mailto:flavioas@fea.unicamp.br)

<sup>2</sup>[tonymars@fea.unicamp.br](mailto:tonymars@fea.unicamp.br)

## 1 Introdução

A castanha do Brasil (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl.) faz parte das riquezas da floresta Amazônica e representa um importante componente na pauta de exportação da região, sendo uma das mais importantes árvores conhecidas da Amazônia. Sua exploração tem um papel fundamental na organização sócio-econômica de grandes áreas extrativistas dessa floresta. Constitui-se em alimento bastante apreciado não só pelo seu sabor, como também pelas suas qualidades nutritivas (SILVA, 2002). Diversos estudos mostram que a castanha do Brasil apresenta de 60 a 70% de lipídios e de 15 a 20% de proteína de boa qualidade biológica, além de vitaminas e minerais (CARDARELLI & OLIVEIRA, 2000). A amêndoa da castanha contém boa qualidade de óleo de alto valor alimentar, apresentando 13,8% de ácido palmítico, 8,7% de ácido esteárico, 31,4% de ácido oléico e 45,2% de ácido linoléico (TATEO, 1971). De acordo com GUTIERREZ *et al.* (1997), o óleo da castanha também apresenta uma pequena quantidade dos ácidos mirístico e palmitoléico. Quanto aos minerais, pode ser citada a presença de Ba, Br, Ca, Co, Cs, Mg, Ni, Rb, Sr e Se, sendo este último elemento o de maior destaque entre os outros. Em relação ao teor vitamínico, destacam-se as vitaminas do grupo B, principalmente B1 e B3, pró-vitamina A e vitamina E (ROGEZ, 1995).

Devido ao fato de a população nacional desconhecer o potencial nutricional e industrial da castanha, e, também, em função do elevado valor comercial das amêndoas, mais da metade da produção de castanha brasileira destina-se, essencialmente, ao consumo no mercado internacional, onde há boa aceitação pelo conhecimento que a população possui de seu valor nutritivo e de sua utilidade (GLÓRIA & REGITANO-D'ARCE, 2000).

Microonda ou energia de microondas é uma modalidade de radiação eletromagnética como luz ultravioleta, raios-X, ondas de televisão, rádio AM e FM e infravermelho (CUNHA *et al.*, 1996). As microondas são geradas pelo "magnetron", um tubo oscilador alimentado por um circuito eletrônico capaz de converter energia elétrica de frequência industrial (60 Hz) em energia eletromagnética de microondas (por exemplo, 2450 MHz). O campo eletromagnético se propaga na forma de onda eletromagnética (o meio de transporte da energia) no interior de um guia de onda metálico (linha de transmissão), até ser injetada no aplicador (uma cavidade com paredes metálicas onde está o produto a aquecer). A penetração e o aquecimento de alimentos em um campo de microondas são praticamente instantâneos, em contraste com métodos convencionais de aquecimento, onde o transporte de calor da superfície para o centro se dá de 10 a 20 vezes mais lentamente.

A energia eletromagnética das microondas é uma fonte ímpar de energia porque gera calor no interior dos materiais processados. Essa propriedade resulta em tempos de processamento mais curtos, maior rendimento do produto final e, usualmente, em uma qualidade superior à encontrada mediante técnicas convencionais de processamento (DECAREAU & PETERSON, 1986).

A principal meta, atualmente, das pesquisas sobre as propriedades elétricas dos alimentos, vem sendo determinar mecanismos de interação entre os alimentos e a

energia eletromagnética nas frequências de microondas, com vistas a facilitar o desenvolvimento de processos e produtos alimentícios. Essas propriedades determinam a quantidade de energia acoplada por um produto alimentício, sua distribuição dentro do produto e, conseqüentemente, o tempo e a frequência das microondas necessárias para o aquecimento dos alimentos em processos de transferência de energia por condução e radiação (MUDGETT, 1996).

## 2 Materiais e métodos

A matéria-prima utilizada foi a amêndoa da castanha do Brasil (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl.), com intervalo de umidade entre 10 e 6% (b.u), procedente do Estado do Pará, fornecida pela Exportadora MUTRAN Ltda., que está sediada em Belém-PA. A fim de se evitar a perda de umidade da amêndoa durante o transporte, esta foi embalada em sacos plásticos laminados com capacidade para 20 kg, os quais foram selados em máquina com aplicação de vácuo e nitrogênio para substituir o ar. Com o fim desse processo, as amêndoas foram despachadas via aérea, chegando num prazo máximo de 24 h. Após a chegada desse material, as amostras foram submetidas aos processos de secagem, sendo um com aplicação de energia de microondas e o outro por processo convencional. A amêndoa foi seca até atingir a umidade em torno de 3%, valor este fixado com base na baixa atividade de água ( $a_w \leq 0.6$ ).

Figura 1. - Adaptação de forno de microondas doméstico: (1) válvula; (2) ventilador nº 1; (3) manômetro: A - entrada, B - saída; (4) controlador da temperatura; (5) aquecedor elétrico; (6) indicador de temperatura - 2 canais; (7) registrador de temperatura - 2 canais; (8) conector rápido; (9) difusor de ar; (10) cavidade de microondas; (11) cestos de produto; (12) janela de exaustão; (13) ar de resfriamento do gerador de microondas; (14) ventilador nº2; (15) entrada de ar; (16) saída de ar.

Com o objetivo de economizar matéria-prima e tempo, e também de obter maiores informações dos parâmetros iniciais para o processo de secagem por microondas, foi feita uma adaptação em um forno doméstico Brastemp, "Double Emission System", cavidade com volume de 38 litros, modelo BMV38-A, frequência de 2450 MHz, com 900W de potência nominal máxima e ajuste de tempo, para uma

operação que permitisse controlar as condições do ar interior e remover a umidade gerada pela secagem. A adaptação do forno está esquematizada na Figura 1. Para a realização da secagem convencional foi feita outra adaptação em forno doméstico do tipo elétrico (Layr modelo *Ônyx Economic 1.75*), do qual foi eliminada toda a parte elétrica, aproveitando-se somente sua caixa metálica e acessórios internos. O mesmo sistema de provisão de ar quente, utilizado no forno de microondas, foi acoplado a este forno para fornecer o ar quente, em fluxo paralelo ao produto. Este equipamento, dotado de duas bandejas de 35 cm × 40 cm cada uma, foi utilizado para a secagem das amêndoas por ar quente com o objetivo de serem confirmados os parâmetros do processo convencional.

Após analisar os resultados dos ensaios de secagem da amêndoa no forno de microondas doméstico adaptado, realizou-se, então, o teste de secagem em escala piloto, usando-se um aplicador de microondas tipo túnel, de regime operacional intermitente ou contínuo, adaptado a um sistema de circulação de ar quente, marca COBER, modelo LDM (Figura 2), operando na frequência de 2450 MHz.

Figura 2 - Forno a Microondas Intermitente/Contínuo COBER mod. LDM - (1) Cavidade com porta de acesso; (2) Entrada de ar quente; (3) Controle de vazão de ar; (4) Controle de potência de microondas; (5) Controle de temperatura do ar quente; (6) Controle de velocidade da esteira (tempo de residência); (7) Monitor infravermelho de temperatura; (8) Controlador PID; (9) Célula de fluxo laminar; (10) Manômetro de coluna "U"; (11) Sistema gerador de microondas Alter mod. SM745; (12) Ajuste de potência de microondas, 0-100% de 1,9 kW; (13) Toco quádruplo; (14) Sistema medidor de microondas.

Esse equipamento compõe-se de uma cavidade paralelepípedica, com porta de acesso (1), de operação intermitente ou contínua, com ar quente adaptado em fluxo ou contrafluxo com o produto (2), equipado com recursos para controlar com precisão as vazões de ar (3), a potência das microondas (4), a temperatura e umidade do ar quente (5), e o tempo de residência do produto sob processo (6). A temperatura do produto poderá também ser controlada através da monitoração por

infravermelho e envio através de um medidor RAYTEK, modelo PM 30 *plus* (7) de um sinal proporcional a um controlador PID (8) que exerce a função de limitador da potência de microondas para a temperatura do produto não ultrapassar um valor pré-estabelecido (“set-point”).

O ajuste da temperatura do ar é feito através de um painel de controle do aquecedor que comanda três bancos de resistências mediante um sistema termostatizado automático com bulbo sensor aplicado a um dos bancos. O controle da vazão de ar é feito através de uma válvula borboleta, sendo medida por uma célula de fluxo laminar (MERIAN Mod. 50MC2-2) (9) interligada por mangueiras flexíveis a um manômetro de coluna “U” de vidro (10) para funcionamento com água. O conteúdo de umidade do ar ambiente pôde ser monitorado por meio das medidas das temperaturas seca e úmida.

As microondas de frequência 2450 MHz são produzidas pelo gerador (Alter mod. SM745) (11) dotado de ajuste de potência infinitamente variável (12) entre 0 e 100 % de 1,9 kW.

O sistema de ajuste das microondas [(13) + (14)] permite, antes de cada ciclo experimental, a sintonia de casamento de impedâncias do sistema provedor de microondas (11) em relação ao aplicador (1), objetivando otimizar a eficiência de transmissão de microondas para valores acima de 90 % (ou seja, radiação refletida máxima de 10 %). A potência transmitida de microondas foi fixada para cada ciclo em função da massa das amêndoas com o intuito de se ajustar um valor a ser testado de densidade de potência (W/kg) aplicada ao material [definida como potência transmitida (W) dividida pela massa de material (kg)], de modo que a temperatura do material permanecesse dentro do valor do “set-point” (8).

O método utilizado para a determinação de umidade nas amostras de amêndoa foi o método oficial 925.40 (AOAC, 1997) - Umidades em Nozes e Produtos de Nozes.

### 3 Resultados

As Tabelas 1 e 2 apresentam os resultados obtidos nos ensaios de secagem dos processos utilizados. No processo de secagem a ar quente convencional, a massa inicial da amêndoa foi fixada em 1,2 kg durante todos os ciclos de secagem realizados. Na secagem por microondas e ar quente a massa inicial da amêndoa foi fixada em 1,7 kg durante os ensaios, mantendo-se neste caso constantes a vazão e velocidade do ar em 2,3 m<sup>3</sup>/min e 0,8 m/s, respectivamente. Os valores de temperaturas do produto expressos nas Tabelas 1 e 2 referem-se ao intervalo de operação em cada ciclo. As densidades de potência (DP, em W/g) na Tabela 2 foram calculadas dividindo-se a potência aplicada em cada ciclo de secagem pela média da massa de amostra durante o ciclo. Observe-se que os valores de  $U_i$  e  $U_f$  são referentes às umidades iniciais e finais das amostras, em base úmida, sendo os valores iniciais dos dois processos diferentes, próximos de 6,5 e 10 %, respectivamente, por se tratar de matérias primas recebidas em épocas diferentes. Os processos de secagem foram conduzidos de modo aos valores de  $U_f$  se aproximarem de 3,0 %, em ambos os processos.

Ensaio	$T_{ar}$ ( $^{\circ}C$ )	$v_{ar}$ (m/s)	t (min)	T prod. ( $^{\circ}C$ )	$U_i$ (%)	$U_f$ (%)
EC1	$55 \pm 0,5$	1,5	960	52 – 55	6,58	3,01
EC2	$55 \pm 0,5$	2,5	840	52 – 55	6,50	3,03
EC3	$65 \pm 0,5$	1,5	600	62 – 65	6,58	2,99
EC4	$65 \pm 0,5$	2,5	600	62 – 65	6,50	2,98
EC5	$60 \pm 0,5$	2,0	720	57 – 60	6,60	3,01
EC6	$60 \pm 0,5$	2,0	720	57 – 60	6,58	3,00
EC7	$60 \pm 0,5$	2,0	720	57 – 60	6,56	2,98

Tabela 1 - Resultados dos ensaios de secagem a ar quente convencional de amêndoas de castanha do Brasil (*Bertholletia excelsa*).

Ensaio	Potência (W)	DP (W/g)	$T_{ar}$ ( $^{\circ}C$ )	T (min)	T prod. ( $^{\circ}C$ )	$U_i$ (%)	$U_f$ (%)
EM1	44	0,0268	$50 \pm 0,5$	720	56 – 76	9,90	3,01
EM2	104	0,0634	$50 \pm 0,5$	480	58 – 83	9,95	3,04
EM3	44	0,0268	$60 \pm 0,5$	540	57 – 80	9,86	3,01
EM4	104	0,0634	$60 \pm 0,5$	420	63 – 87	9,98	3,03
EM5	70	0,0427	$55 \pm 0,5$	540	58 – 84	9,80	3,00
EM6	70	0,0427	$55 \pm 0,5$	540	57 – 87	9,83	2,99
EM7	70	0,0427	$55 \pm 0,5$	540	58 – 87	9,90	3,04

Tabela 2 - Resultados dos ensaios de secagem por microondas e ar quente de amêndoas de castanha do Brasil (*Bertholletia excelsa*).

Com os resultados obtidos em bancada, no forno de microondas doméstico adaptado, onde preliminarmente a melhor condição apresentada foi a do teste EM4, em que se utilizou uma potência de 104 W e temperatura do ar igual a  $60^{\circ}C$ , para uma quantidade de massa de 1700 g, num tempo de 420 minutos e 0,0634 W/g de densidade de potência, foram então iniciados os ensaios no sistema piloto.

Os resultados dos ensaios estão descritos na Tabela 3:

Ensaio	Potência (W)	$T_{ar}$ ( $^{\circ}C$ )	t (min)	T prod. ( $^{\circ}C$ )	$U_i$ (%)	$U_f$ (%)
EP1	100	$60 \pm 0,5$	210	57 – 74	6,2	3,07
EP2	100	$50 \pm 0,5$	180	72 – 86	6,1	2,81
EP3	100	$50 \pm 0,5$	180	70 – 87	6,1	2,96

Tabela 3 - Resultados apresentados nos ensaios realizados no secador piloto.

A partir disso, notou-se que o equipamento testado apresentou condições favoráveis para realização da secagem da amêndoa de castanha do Brasil, pois como pôde se notar, os tempos de secagem obtidos foram muito curtos quando comparados com os processos de secagem convencional (Tabela 2).

A Figura 3 mostra o termo adimensional de umidade em função do tempo para as diversas combinações de temperatura do ar de secagem e potência para a amêndoa seca no forno aplicador de microondas tipo túnel (piloto).

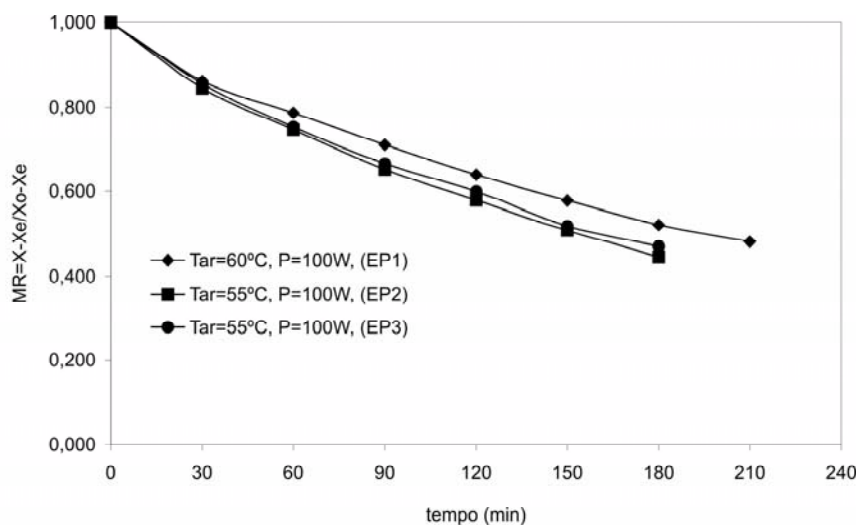


Figura 3 - Curva de secagem do processo de secagem realizada no sistema piloto.

A justificativa para a compra de um sistema processador a microondas para alcançar uma economia significativa de energia está baseada no fato de que muitos processos de aquecimentos convencionais são tão ineficientes que uma parte ou todo o equipamento poderia ser substituído por uma unidade a microondas mais eficiente, cujos custos de capital podem ser repostos após um número de anos através de economia no uso da energia (METAXAS & MEREDITH, 1988; CUNHA *et al.*, 2003).

Para o caso específico da amêndoa de castanha do Brasil foi considerada uma linha de produção de 480 kg/h de amêndoa a 3% (b.u) final, partindo de uma matéria-prima com 10% (b.u.) de umidade inicial. Com base nesses dados, pode-se estimar o custo devido ao processamento por microondas da seguinte forma:

$P_{ta}$  = Potência teórica para aquecer o produto a 80 °C

$$P_{ta} = M \times C_p \times \Delta T \quad (1)$$

onde  $M$  em kg/s;  $C_p$  em kJ/kg°C;  $\Delta T$  em °C.

Assim:

$$P_{ta} = (480/3600) \times 1,9 \times 5,5 = 13,93 \text{ kW}$$

$P_{te}$  = Potência teórica para evaporar a umidade do produto

$$P_{te} = M \times (m_1 - m_2/100 - m_1) \times L_h \quad (2)$$

onde  $m_1$  e  $m_2$  são as umidades inicial e final do produto em base úmida;  $L_h$  é o calor latente de evaporação de água a 80 °C.

Assim,

$$P_{ta} = (480/3600) \times (10 - 3/100 - 10) \times 2309 = 23,95 \text{ kW}$$

A potência teórica total necessária será igual à soma das anteriores, ou seja

$$P_t = P_{ta} + P_{te} = 13,93 + 23,95 \approx 37,88 \text{ kW} \quad (3)$$

Considerando a eficiência de acoplamento de 80% chega-se ao valor da potência do gerador de

$$P_g = P_t/\eta_a = 37,88/0,8 \approx 47,34 \text{ kW} \quad (4)$$

Adota-se o valor mais próximo disponível comercialmente, que é a unidade de 50 kW =  $P_g$ .

Cabe aqui esclarecer que o sistema industrial de microondas sugerido para adoção neste caso é o de frequência de 915 MHz, mais econômico do que o de 2450 MHz. Também é recomendado o uso de um aplicador de microondas do tipo rotativo, em virtude da sua eficiência maior quando comparado ao do tipo túnel (MARSAIOLI, 1991; CUNHA *et al.*, 2003). Justifica-se aqui neste trabalho o teste feito com o equipamento piloto do tipo túnel, em 2450 MHz e não com o tipo rotativo contínuo, na frequência de 2450 MHz, também disponível em nosso laboratório, porque as dimensões das passagens internas do material, dentro deste último, são pequenas comparativamente ao tamanho das amêndoas, o que impossibilitou o teste. Isto não deverá acontecer na operação de uma unidade rotativa de 915 MHz, na qual as dimensões lineares das passagens internas são aproximadamente 2,5 vezes maiores do que na unidade de 2450 MHz.

Portanto, assumindo-se o valor instalado da unidade geradora de microondas de 915 MHz como de US\$ 1650/kW, o seu custo fica

$$C_{mo} = \text{US\$ } 1650/\text{kW} \times 50 \text{ kW} = \text{US\$ } 82500 \quad (5)$$

Um aplicador rotativo industrial de microondas de corpo cilíndrico, para operar em 915 MHz, com capacidade produtiva de 480 kg/h, custaria estimativamente US\$ 85000 o que soma um investimento total para o sistema a microondas de valor US\$ 167500.

O custo de operação desta unidade é calculado com base no rendimento de transmissão da potência desde a rede elétrica até a saída do gerador ( $\eta_g$ ) de aproximadamente 55%, isto é,

$$P_r = P_g/\eta_g = 47,34/0,55 = 86,1 \text{ kW} \quad (6)$$

Ao preço do kW de  $g_o = \text{US\$ } 0,10$  o custo total da energia drenada da rede ficaria

$$C_{er} = g_o \times P_r \times 1 \text{ hora} = 0,10 \times 86,1 \times 1 = \text{US\$ } 8,61/h \quad (7)$$



Como em uma hora se produz 480kg de amêndoa, tem-se

$$g_{mo1} = C_{er}/480 = 0,018 \text{ US\$/kg} \quad (8)$$

Vale destacar que a este custo deverá ser acrescido aquele correspondente à depreciação dos equipamentos, à qual será atribuída uma taxa de 12% ao ano (5000h trabalhadas), isto é,

$$g_{mo2} = (0,12 \times 167500) / (5000 \times 480) = 0,008 \text{ US\$/kg} \quad (9)$$

Portanto o custo total da nova alternativa de secagem ficaria, então, em

$$g_{mot} = g_{mo1} + g_{mo2} = 0,018 + 0,008 = 0,023 \text{ US\$/kg de produto} \quad (10)$$

Por outro lado, pode-se estimar o valor do investimento relativo ao equipamento de secagem convencional da amêndoa de castanha do Brasil tendo em conta que, para se fazer esta estimativa, foi realizado um ensaio adicional de secagem convencional, utilizando as mesmas condições do ponto central do planejamento da secagem convencional, partindo agora de uma amêndoa com 10% (b.u.) inicial até a condição final de 3% (b.u.).

Nota-se que para esta estimativa foi considerada a mesma produção de 480 kg/h de amêndoa a 3% (b.u.) final, observando uma carga máxima de 7,5 kg de produto por m<sup>2</sup> de bandeja e considerando como válido o tempo de residência conseguido neste ensaio adicional que foi de 21 horas, notando-se então, que o material que entrará no processo estará com 10% (b.u.) inicial, tem-se

$$480 \text{ kg/h} \times 21 \text{ h} = 10472 \text{ kg retidos (aprox.)} \quad (11)$$

$$10472 \text{ kg} / 7,5 \text{ kg/m}^2 \approx 1396,27 \text{ m}^2 \quad (12)$$

Subdividindo esta metragem entre três unidades dotadas de carrinhos, teríamos uma área por unidade de aproximadamente  $465 \text{ m}^2 \approx 5000 \text{ pés}^2$ .

Fazendo uso da Figura 16-29, p.713, (PETERS & TIMMERHAUS, 1991) que fornece o custo instalado de secadores, obtém-se o valor estimado da época (Jan. 1990) de US\$ 47.000,00 [tipo atmosférico, de aço carbono], ou seja, investimento total nos 3 secadores = US\$ 141.000,00.

Atualizando o valor pelo índice M & S (Chemical Engineering 2001, v. 108, n. 12, p.134), obtém-se

$$141.000 \times 1092/904 = \text{US\$ } 170.323,00 \quad (13)$$

A depreciação dos equipamentos pode ser calculada da mesma forma vista pela equação (9), isto é:

$$g_{co1} = (0,12 \times 170.323) / 5000 \times 480 = 0,009 \text{ US\$/kg} \quad (14)$$

Pode-se estimar, ainda, o custo da eletricidade consumida pelos ventiladores e mecanização dos carrinhos (BARTHOLOMAI, 1987).

$$g_{co2} = (206,4kW \times 1h \times US\$ 0,10/kWh) / 480kg = US\$ 0,043/kg \quad (15)$$

Portanto, o custo total da secagem convencional seria

$$g_{cot} = g_{co1} + g_{co2} = 0,009 + 0,043 = 0,052 US\$/kg \text{ de produto} \quad (16)$$

Vale observar que no processo convencional não foi computado o custo da energia do combustível, em virtude de estar sendo aproveitada industrialmente a casca da castanha do Brasil para esta finalidade. Entretanto, a alternativa de secagem por microondas, apesar de seu custo estimado de metade do custo do processo convencional, poderia também recorrer à co-geração energética, através do aproveitamento da mesma casca para a produção de eletricidade para o processo.

## 4 Conclusão

Os resultados obtidos indicam que a energia de microondas pode trazer importantes vantagens se usada em substituição às tecnologias de aquecimento aplicadas aos secadores convencionais de bandeja, utilizadas para a secagem de amêndoas de castanha do Brasil. A energia de microondas acelera o procedimento de secagem, reduzindo substancialmente o tempo de secagem e provendo um melhor controle dos parâmetros do processo, tal como a uniformidade das amêndoas.

Para uma linha de processamento de escala industrial, o estudo econômico preliminar elaborado, que visava estimar o custo final de produção industrial da nova alternativa de secagem com aplicação de microondas comparativamente ao processo de secagem convencional da amêndoa da castanha do Brasil, permitiu concluir que o novo processo pode ser mais barato do que o meio de secagem convencional, a um valor aproximadamente igual à metade do custo original.

Portanto, justifica-se o prosseguimento deste trabalho para o futuro, no sentido de buscar uma otimização desse processo, assim como uma análise econômica mais precisa. Antes que uma decisão final sobre novos investimentos possa ser tomada, uma melhor avaliação é requerida, com base nas técnicas do fluxo de caixa descontado (FCD), do valor presente do projeto (VPP) e da taxa interna de retorno (TIR).

## Agradecimentos

Os autores agradecem à FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO - FAPESP (Processo N. 00/02610-0) pela Bolsa de Mestrado associada a este trabalho.

## Referências

- AOAC - Nuts and Nut Products. *In: Official Methods of Analysis of Association of Official Analytical Chemists*. 16 ed. Gaithersburg: AOAC, 1997, 2 v., cap. 40, p. 40.
- BARTHOLOMAI, A. *Food Factories - Processes, Equipament, Costs*. Alemanha: Weinheim, 1987.
- CARDARELLI, H. R.; OLIVEIRA, A. J. Conservação do leite de castanha-do-Pará. *Cie. agric.*, Dez 2000, v. 57, n. 4, p. 617.
- CUNHA, M. L; CANTO, M. W.; MARSAIOLI, Jr., A. *secagem de café cereja descascado por ar quente e microondas*. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, Brasil, v. 23, n. 3, set-dez 2003.
- DECAREAU, R. V.; PETERSON, R. A. *Microwave processing and engineering*. Chichester: Ellis Horwood, 1986.
- GLÓRIA, M. M.; REGITANO-D'ARCE, M. A. B. Concentrado e isolado protéico de torta de castanha do pará: obtenção e caracterização química e funcional. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, Brasil, v. 20, n. 2, p. 240, Ago 2000.
- GUTIERREZ, E. M. R.; REGITANO D'ARCE, M. A. B.; RAUEN-MIGUEL, A. M. Estabilidade oxidativa de óleo bruto de castanha do Pará, *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, Brasil, v. 17, n. 1, p. 22, 1997.
- MARSAIOLI Jr., A. *Desenvolvimento de um protótipo de secador cilíndrico - rotativo a microondas e a ar quente para a secagem contínua de produtos sólidos granulados*. Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia de Alimentos da FEA/UNICAMP, Campinas, 1991.
- METAXAS, A. C.; MEREDITH, R. J. *Industrial Microwave Heating*. 2. ed. London: Peter Peregrinus, 1988.
- MUDGETT, R. E. *Electrical properties of foods*. *In: RAO, M. A. (Ed.) Engineering properties of food*, 2. ed., p. 389, New York, 1996.
- PETERS, M. S.; TIMMERHAUS, K.D. *Plant design and economics for chemical engineers*, 4. ed. p. 713. New York, 1991.
- ROGEZ, H. Primeiro Seminário do Projeto "Estudo pluridisciplinar sobre a valorização de frutas Amazônicas e de seus derivados", *VII Castanha do Pará*, Belém, Brasil, janeiro, 1995.
- SILVA, F. A. *Apliação de microondas no processo de beneficiamento de castanha do Brasil (Bertholletia excelsa)*. Tese de Mestrado. Departamento de Engenharia de Alimentos da FEA/UNICAMP, Campinas, 2002.
- TATEO, F. *La composizione acidica della matera guesta estratte dai semi di Bertholletia excelsa*, *Industrie Alimentari*, Pinerolo, v. 10, n. 2, p. 68, 1971.