

SECAGEM DE CAFÉ CEREJA DESCASCADO POR AR QUENTE E MICROONDAS¹

M.L. CUNHA², M.W. CANTO², A. MARSAIOLI, Jr^{2,*}

RESUMO

Este trabalho objetivou estudar a viabilidade de produzir café cereja descascado seco pela aplicação de microondas para assistir a secagem convencional a ar quente, a fim de reduzir o tempo de processo, com o aumento do rendimento industrial e da qualidade do produto perante os métodos tradicionais de secagem. Dois ciclos de secagem foram testados: a) processo em secador rotativo convencional a ar quente, com umidade do produto reduzida de 45-50 a 11-13% b.u.; b) processo subdividido em uma primeira etapa de pré-secagem convencional a ar quente de 45-50 a 30% b.u., seguida de etapa de secagem final por ar quente e microondas, com redução de 30 a 11-13% b.u. de umidade do produto. O tempo global do primeiro para o segundo ciclo de secagem foi reduzido de 15 a 37,5 para pouco mais de 10 horas, respectivamente. A qualidade sensorial do produto foi avaliada pela "prova da xícara", complementada por análises de microscopia eletrônica de varredura (MEV), com resultados satisfatórios. Um estudo preliminar dos aspectos econômicos envolvidos na ampliação de escala para uma linha industrial de processamento de café com a inclusão de um sistema a microondas foi também delineado.

Palavras-chave: microondas; secagem; café cereja descascado.

SUMMARY

DRYING PULPED COFFEE CHERRY BEANS BY MEANS OF HOT AIR AND MICROWAVES. This research concerns a process development study focussing the application of microwaves to pulped coffee cherries production, in order to reduce the drying time and increase the industrial yield and product quality when compared to conventional drying processes. Two drying cycles were tested: a) a hot air drying process using a conventional batch rotary dryer from 45-50 to 11-13% w.b. product moisture; b) a two stage process, whereby the product was pre dried with hot air from 45-50 to 30% w.b., followed by a final microwave and hot air drying stage, to reduce product moisture from 30 to 11-13% w.b. The overall drying time was reduced from 15 to 37.5 hours to about 10 hours, respectively. The sensory quality of the product was evaluated by the "cup test", complemented by electronic microscope scanning analyses (EMS) and showed satisfactory results. A preliminary study of the economic aspects involved in up-grading an industrial scale coffee processing line with a microwave system was also outlined.

Keywords: microwave; drying; pulped coffee cherry beans.

1 – INTRODUÇÃO

Entre as diversas alternativas hoje praticadas para o preparo de café em nosso País, um novo método está se disseminando, principalmente entre os pequenos produtores: – o da tecnologia do café cereja descascado, visando proporcionar "um sistema de preparo de café de qualidade" [2]. Em contraste com os bem conhecidos processos do café "natural" e "lavado", descritos por SIVETZ & DESROSIER [10], esta técnica está baseada no despolpamento mecânico da fruta madura com o intuito de remover a maior parte da polpa mole envoltória, mantendo, porém, intocada a camada exposta de mucilagem que recobre o grão durante a secagem mecânica por ar quente. Em virtude da necessidade de ulterior preservação, seja do fruto integral "café natural" ou do café cereja descascado, os grãos devem ser secos para dentro do intervalo de 11 a 13% b.u. (base úmida). A vantagem de secar os grãos de café descascados ao invés do "café natural" reside em uma redução de 25% na umidade a ser removida. A despeito desta e das demais vantagens proclamadas em favor da tecnologia do café cereja descascado propostas por BRANDO [2], persistem ainda algumas dificuldades tecnológicas. Entre es-

tas prevalece a necessidade de manter o produto abaixo de um nível limite de temperatura, requerendo assim que, a temperatura do ar de secagem seja controlada em um máximo de 40°C, de modo a preservar a qualidade final da bebida do café. Como uma conseqüência, o material pode ser danificado pelo longo período necessário de secagem, que pode se estender por 16 até 45 horas, dependendo do produto e das condições operacionais.

A operação de um protótipo de secador, disponível no Laboratório de Microondas Aplicadas (LMA), do DEA/FEA-UNICAMP [5], adequado para a simulação de condições industriais, se enquadrava aos requisitos de secagem dos grãos de café cereja descascado [6]; trata-se de um modelo modificado de secador rotativo contínuo a microondas, cuja descrição completa é encontrada em CONFORTI, KERCHBUSCH, MARSAIOLI [4]. O trabalho aqui apresentado versa sobre um projeto de desenvolvimento de processo conduzido no LMA, que objetiva introduzir a energia de microondas na secagem convencional do café cereja descascado.

2 – MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas três espécies de grãos maduros de café arábica brasileiro: *C. arabica*, var. mundo novo; *C. arabica*, var. catuaí amarelo e *C. arabica*, var. catuaí vermelho. A matéria-prima era procedente de Luminárias, região Sudoeste do Estado de Minas Gerais, a 400km de Campinas. O café colhido não permaneceu mais do

¹ Recebido para publicação em 26/12/2001. Aceito para publicação em 12/05/2003 (000789).

² Depto. de Engenharia de Alimentos (DEA)/FEA/UNICAMP, C.P. 6121, Campinas, SP, CEP 13083-970. E-mail: tonymars@fea.unicamp.br

* A quem a correspondência deve ser enviada.

que 20 horas sem processamento devido à elevada perecibilidade dos grãos. Foram determinados os teores de umidade das amostras de matéria-prima e do produto coletado a intervalos regulares de tempo durante a operação de secagem. Para estas determinações foi utilizada uma balança infravermelho OHAUS modelo MB200, com os resultados sendo corrigidos com o auxílio de uma curva de calibração; esta foi previamente levantada através da plotagem de alguns dados selecionados *versus* os valores correspondentes obtidos de determinações padronizadas em estufa convencional a 105°C.

O equipamento de preparo dos grãos consistia de uma planta piloto convencional, adequada para a obtenção dos grãos de café cereja descascado, que incluía: a) um limpador-lavador-separador de café modelo LSC-2P; b) um descascador de café modelo DC-1, com separador de grãos verdes; c) um secador a ar quente convencional, rotativo, de ciclo intermitente, aquecido eletricamente, modelo SRE-002; d) um descascador, para a remoção do pergaminho do grão seco de café. Todo o maquinário, que compunha a planta piloto convencional, foi fabricado pela empresa Pinhalense S/A – Máquinas Agrícolas [2]. O protótipo de secador rotativo contínuo a ar quente assistido a microondas (*Figura 1*) foi desenvolvido no Laboratório de Microondas Aplicadas (LMA) [8].

Os grãos de café cereja descascados, obtidos após o processamento da matéria-prima madura na planta piloto convencional, foram submetidos a dois processos de secagem distintos: a) o produto foi seco no secador a ar quente convencional, rotativo, de ciclo intermitente, de uma umidade inicial U_0 variando entre 45 e 50% b.u. até a umidade final desejada, U_p , no intervalo de 11 a 13% b.u.; b) o secador convencional reduzia a umidade de U_0 até um nível intermediário U_i de 30% b.u., seguida por uma secagem complementar em processo contínuo combinado de ar quente e microondas até atingir a umidade final desejada U_f , cumprida no protótipo da *Figura 1*, a frequência de microondas de 2,45GHz.

As amostras secas obtidas com os dois diferentes processos de secagem foram utilizadas no preparo de bebidas de café. A classificação sensorial usada foi a “prova da xícara”, realizada por provador credenciado da Bolsa de Cereais de S.Paulo (BCSP), baseada em uma escala, da melhor para a pior bebida, em: Estritamente Mole, Mole, Apenas Mole, Dura, Riada, Rio e Rio Zona. As características organolépticas referentes a esta classificação foram propostas por Garruti & Conagin (1961, citado por CHAGAS [3]), e são apresentadas na *Tabela 1*.

Os grãos secos foram observados com microscopia eletrônica de varredura (MEV) (JEOL JSM T-300 Scanning Microscope, com voltagem aceleradora de 15kV e ampliações ajustadas entre 35 e 7500 vezes) com o intuito de constatar a presença de modificações estruturais nas regiões externas e internas. Para serem submetidos a esta análise, os grãos foram processados, conforme a metodologia proposta por KARNOVSKY [7], modificada por YOUNG & SCHADEL [11].

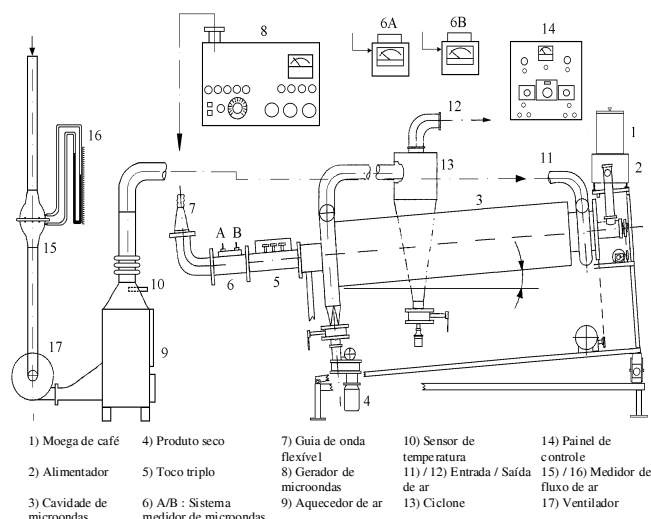


FIGURA 1. O sistema de forno rotativo contínuo a ar quente assistido a microondas.

TABELA 1. Proposta de classificação e características de resultados de degustação[3]

Classificação da bebida	Características organolépticas
Estritamente Mole	Bebida de sabor suavíssimo e adocicado
Mole	Bebida de sabor suave acentuado e adocicado
Apenas Mole	Bebida de sabor suave, porém com leve adstringência
Dura	Bebida com sabor adstringente e gosto áspero
Riada	Bebida com leve sabor de iodofórmio ou ácido fênico
Rio	Bebida com sabor forte e desagradável, lembrando iodofórmio ou ácido fênico
Rio Zona	Bebida de sabor e odor intoleráveis ao paladar e ao olfato

3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

A *Tabela 2* apresenta os resultados de diferentes condições de operação utilizadas na secagem dos grãos e seus efeitos sobre a bebida. As amostras dos Ensaios {1} a {3} foram obtidas pela secagem convencional (SC). Estes experimentos confirmam a necessidade de uma condição de baixa temperatura de secagem para a obtenção de um café de maior conceito, embora isto possa exigir um tempo de processamento excessivamente longo. As amostras dos Ensaios {4} a {10} foram secas pela secagem convencional mais secagem final por microondas (SC+MO). A pré-secagem convencional geralmente durava 9 horas, com a temperatura máxima dos grãos de café não excedendo $T_p = 40^\circ\text{C}$. Na etapa final com microondas, muito embora a temperatura do produto tivesse excedido aquela alcançada pelos grãos durante a pré-secagem convencional, a diminuição do tempo de exposição impediu danos à qualidade do produto. O tempo total de secagem pela opção SC+MO foi reduzido em até quatro vezes. A densidade de potência de microondas foi

obtida, em cada teste, pela razão da potência absorvida medida (Watts) pela vazão mássica do produto alimentado (que variou entre 2,52 e 4,27kg/h).

A Figura 2 apresenta a curva de secagem dos Ensaios {3} e {4}.

Conforme os dados da Tabela 2, as análises sensoriais das amostras dos Ensaios {1}, {2}, {3}, {6}, {7}, {8} e {9} tiveram bons conceitos ($\geq 2,5$) e foram escolhidas para serem submetidas a análise de MEV. Três amostras foram analisadas de cada ensaio. A integridade da membrana citoplasmática (MC) foi o parâmetro observado e definido pela porcentagem de células que mantinham a membrana citoplasmática intacta. Esse valor foi calculado em três diferentes regiões da secção transversal do grão de café: uma central e duas outras em extremidades opostas (superfícies convexa e côncava), usando micrografias ampliadas 500x. Os resultados encontram-se resumidos na Tabela 3.

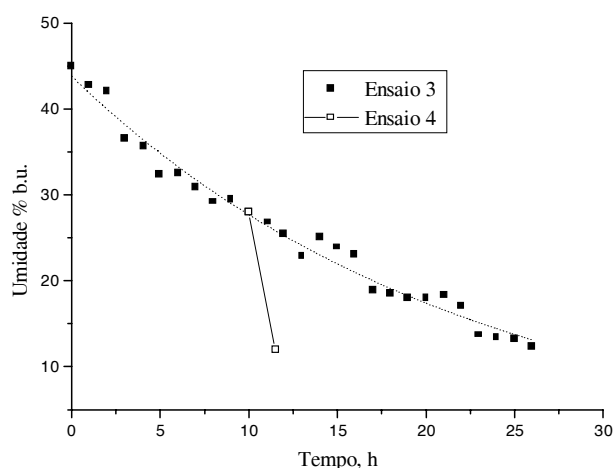


FIGURA 2. Curva de secagem do café cereja descascado (Ensaios {3} e {4})

TABELA 2. Ensaios de secagem e efeitos sobre a bebida

Ensaio & Processo	Densidade de Potência (Wh/kg)	Temperatura (°C)		Tempo de Secagem (h)	Umidade do produto (% b.u.)			Análise Sensorial ^a / Conceito*
		T _{ar}	T _p		U _o	U _i	U _f	
{1} SC		33±0,5	32,0±0,5	37,5	48,5	15,2	A.mole ⁷ /4,0	
{2} SC		59±0,5	57,0±0,5	15	50,0	10,0	Mole/4,0	
{3} SC		43±0,5	40,0±0,5	26	44,9	12,3	A.mole ⁷ /2,5	
{4}SC+MO	222	40±0,5*	48,5±0,5	1,5**	28,0	12,0	A.mole ⁷ /2,0	
{5}SC+MO	259	40±0,5*	48,5±0,5	1,5**	28,0	10,5	Rio/1,0	
{6}SC+MO	197	40±0,5*	47,5±0,5	1,25**	30,7	15,8	A.mole ⁷ /3,0	
{7}SC+MO	328	40±0,5*	52,5±0,5	1,25**	30,7	9,6	A.mole ⁷ /3,0	
{8}SC+MO	193	40±0,5*	51,0±0,5	1**	33,4	17,0	A.mole ⁷ /3,5	
{9}SC+MO	267	40±0,5*	50,0±0,5	1**	33,4	14,0	A.mole ⁷ /3,5	
{10}SC+MO	234	50±0,5*	67,0±0,5	0,8**	32,8	12,0	Dura/2,5	

*Temperatura do ar na pré-secagem convencional; **Tempo de tratamento por microondas

^aAnálise Sensorial: "Prova da xícara" da BCSP + A.mole = Apenas mole Escala de conceitos: 1-Pior; 2-Regular; 3-Boa; 4-Muito boa; 5-Melhor

Muito embora os resultados da Tabela 3 estejam refletindo uma tendência de destruição maior da membrana citoplasmática em proporção com a intensidade térmica crescente dos tratamentos, estes efeitos não pare-

cem ter afetado os conceitos obtidos pelas análises sensoriais das bebidas. A evidência maior deste fato fica exemplificada nos casos extremos dos Ensaios {2} e {7}: no primeiro, a temperatura do ar da secagem convencional foi máxima e a destruição da MC chegou a 16% na superfície convexa do grão de café; no segundo, a densidade de potência elevada de microondas (328 Wh/kg) foi causadora dos maiores estragos da MC nas três regiões da seção transversal do grão de café. Para ambos os ensaios os conceitos foram bons ($\geq 2,5$), significando que as alterações morfológicas provavelmente não interferiram na qualidade sensorial das amostras.

TABELA 3. Modificações estruturais do grão de café

Ensaio	Integridade da Membrana Citoplasmática (%)		
	Superfície Convexa	Superfície Central	Superfície
{1}	100	100	100
{2}	84	88	100
{3}	100	100	100
{6}	100	100	100
{7}	49	38	96
{8}	93	100	55
{9}	50	50	31

3.1 - Avaliação econômica

A tecnologia do café cereja descascado, descrita por BRANDO [2], poderia ser complementada e aperfeiçoada através da adaptação e instalação de aplicadores de microondas no final do estágio de secagem convencional dos processos de escala industrial, com ampliação de capacidade das linhas. Esta é a base do conceito discutido por METAXAS & MEREDITH [9], pelo qual um secador a ar quente convencional, já operando em sua capacidade nominal, não pode dar conta de uma ampliação da produção. Se, contudo, a tarefa da secagem convencional a ar quente for reduzida pela descarga prematura dos grãos de café a uma umidade intermediária (30% b.u.), os restantes 18% de umidade seriam evaporados pelo equipamento de microondas em combinação com ar quente, até a retirada final do produto seco (12% b.u.). Os lucros marginais advindos do acréscimo da produção deverão compensar os custos do capital investido na instalação do sistema de microondas, mais os custos operacionais e os eventuais juros sobre o capital emprestado. O procedimento a ser seguido é similar ao desenvolvido por CUNHA [6], baseado no desempenho de um secador industrial de ciclo intermitente (tipo Guardiola, tal como descrito por SIVETZ & DESROSIER [10]), cujos dados de desempenho operacional encontram-se resumidos na Tabela 4. Considerando o funcionamento deste secador atuando na pré-secagem do café cereja descascado sua capacidade equivalente de produto pré-seco (30% b.u.) é de 316,2kg/h. Alimentando o secador a microondas com o produto pré-seco a esta mesma taxa (Tabela 5), a capacidade final de obtenção do produto seco (12% b.u.) será ampliada para 251,5kg/h, ou seja, com um acréscimo de produção de 183,9kg/h.

TABELA 4. Desempenho de um secador industrial tipo guardiola de ciclo intermitente

Condições Operacionais	Como Secador Convencional				Como Pré-Secador			
	Entrada (kg)	Saída (kg)	Tempo (h)	Produto seco Médio(kg/h)	Entrada (kg)	Saída (kg)	Tempo (h)	Produto Pré-seco Médio(kg/h)
Cereja Descascado 52% b.u.	4150	—	—	—	4150	—	—	—
Produto Pré-Seco 30% b.u.	—	—	—	—	—	2846	9	316,2
Produto Seco 12% b.u.	—	2264	33,5	67,6	—	—	—	—
Água Evaporada	—	1886	33,5	56,3	—	1304	9	144,9

TABELA 5. Produção prevista de um secador industrial rotativo a microondas – contínuo

Condições Operacionais	Entrada (kg/h)	Saída (kg/h)	Tempo (h)	Produto seco Médio (kg/h)	Acréscimo de Produto Seco (kg/h)
Cereja Descascado Pré-Seco - 30% b.u.	316,2	—	—	—	—
Produto Seco - 12% b.u.	—	251,5	1,5	183,9	167,7
Água Evaporada	—	64,7	1,5	43,1	—

TABELA 6. Avaliação econômica para determinar o nº de anos necessários para recuperar o investimento no secador de café cereja descascado a microondas (50 kW)/base: 250 kg/h a 12% b.u.

Custo Operacional	Potência Elétrica Extraída da Rede Industrial (kW)	$[251,5 \text{ kg/h} \times 0,153 \text{ Wh/kg}] + [0,9 \times 0,55] \equiv 77,7 \text{ kW}$
	Mais Potência Adicional de Motores Elétricos (kW)	$[77,7 + 2,7] = 80,4 \text{ kW}$
	Custo Anual da Energia Elétrica (3000 horas/ano) - (US\$)	$80,4 \times 0,10 \times 3.000 \equiv \text{US\$}24.120,00/\text{ano}$
Custos de Capital	Menos Economia de Óleo Combustível do Sistema Convencional (Base 9 kg/h) - (US\$)	$\text{US\$}24.120,00 - 9 \times \text{US\$}0,40 \times 3.000 \equiv \text{US\$}13.320,00$
	Potência Instalada de Microondas (kW)	$[251,5 \text{ kg/h} \times 0,153 \text{ kWh/kg}] + [0,9] = 42,8 \equiv 50 \text{ kW}$
	Custo do Gerador de Microondas (US\$) - [Instalado]	$50 \text{ kW} \times (\text{US\$}1.650/\text{kW}) = \text{US\$}82.500,00$
	Custo do Aplicador de Microondas (US\$) - [Instalado]	$\text{US\$}85.000,00$
	Total dos Investimentos (US\$)	$\text{US\$}82.500,00 + \text{US\$}85.000,00 = \text{US\$}167.500,00$
Custos Financeiros	Juros sobre o Capital Emprestado (US\$/ano)	$12\% \text{ a.a.} \times \text{US\$}167.500 = \text{US\$}20.100,00$
	Margem Líquida Anual Devida ao Acréscimo de Produção	$[183,9 \text{ kg/h}] + [60 \text{ kg/saco}] \times \text{US\$}100,42/\text{saco} \times 0,12 = \text{US\$}110.803,43$
	Equacionamento Margem versus Custos (onde y é o N° de Anos)	$167.500,00 + 20.100 * y + 13.320 * y = 110.803,43 * y$
	N° de Anos para Recuperação do Capital	$y \equiv 2,2 \text{ anos}$

As condições operacionais do Ensaio {4} podem ser consideradas como típicas e seus dados serão utilizados para o cálculo da potência teórica requerida para secar os últimos 18% de umidade, conforme o procedimento dado em [6]: a densidade de potência teórica, referida à vazão mássica de produto seco (2,2kg/h), converte-se no valor de 153Wh/kg. Assumindo uma eficiência de acoplamento eletromagnético das microondas de 90% e uma eficiência de conversão da rede elétrica para microondas de 55%, tomando o custo da eletricidade industrial como US\$0,10/kWh, o custo energético total anual

do sistema de microondas poderá ser estimado. Outros valores adotados para fins de estimativa econômica foram o preço médio da saca de café (US\$100,42, média do ano 2000, [1]), a taxa anual de juros (12% a.a.) e a margem líquida anual sobre as receitas (12%). Com base em tais valores foi construída a Tabela 6, onde são apresentados os cálculos resumidos dos custos e acréscimos de receitas envolvidos e dos investimentos necessários, bem como o resultado do equacionamento de margem versus custos para fins de determinação do número de anos necessários para a recuperação do capital investido.

4 - CONCLUSÕES

- Os resultados obtidos indicam que a energia de microondas pode trazer importantes vantagens se usada em conjunto com as tecnologias de aquecimento aplicadas aos secadores convencionais de café em grão. A energia de microondas acelera os processos de secagem convencionais a ar quente, também atuando como um complemento para o aquecimento convencional, reduzindo substancialmente o tempo de secagem e provendo um melhor controle dos parâmetros do processo, tais como a uniformidade e a estrutura dos grãos, levando a uma qualidade melhorada.
- Para uma linha de processamento de escala industrial, a avaliação econômica da operação da secagem a ar quente assistida a microondas mostrou um período de pagamento do investimento estimado em apenas 2,2 anos.

5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIC – Associação Brasileira da Indústria do Café. **Jornal do Café**, X (113), p. 16 (2000).
- BRANDO, C.H.J. Introdução do Café Cereja Descascado nas Regiões Cafeeiras do Brasil. PINHALENSE S/A – Máquinas Agrícolas, Rua Honório Soares, 80, CEP 13990-000, E.S. do Pinhal – SP, 1993.
- CHAGAS, S.J.R. **Caracterização química e qualitativa de cafés de alguns municípios de três regiões produtoras de Minas Gerais**. Lavras, 1994. 83p. Tese (Mestre em Ciência de Alimentos) – Escola Superior de Agricultura de Lavras – (ESAL).
- CONFORTI, E.; KIECKBUSCH, T.G. & MARSAIOLI Jr., A. A prototype of a combined hot air and microwave rotary cylindrical oven for continuous drying of granular products. **Engineering and Food, Preservation Processes and Related Techniques**. Edited by Spiess & Schubert. Elsevier Sci. Publ., London & New York, v. 2, p. 679-685, 1990.
- CONFORTI, E.; KIECKBUSCH, T.G. & MARSAIOLI Jr., A. Secador rotativo de operação contínua para secagem de alimentos granulados empregando microondas e ar quente em fluxo ou contra fluxo. INPI/P. I. n° 8703812, 1987.
- CUNHA, M. L. Estudo da Secagem do Café Cereja Descascado pelo Processo a Ar Quente Assistido a Microondas. 1996. Dissertação de Mestrado, DEA/FEA – UNICAMP.
- KARNOVSKY, M. J. A formaldehyde glutaraldehyde fixative of high osmolarity for use in electron microscopy. **Journal of Cell Biology**, v. 27, p. 137A – 1238A, 1965.

- [8] MARSAIOLI Jr., A. Desenvolvimento da Tecnologia de Aplicação de Microondas em Secador Cilindrico – Rotativo Combinado com Ar Quente para Produtos Granulados. 1991. Tese de Doutorado, DEA/FEA – UNICAMP.
- [9] METAXAS, A.C. & MEREDITH, R.J. **Industrial Microwave Heating**. 2nd. ed., Peter Peregrinus, London, 1988.
- [10] SIVETZ, M. & DESROSIER, N. W. **Coffee Technology**. The AVI Publishing Co., Westport, Connecticut, 1979.
- [11] YOUNG, C. T. & SCHADEL, W. E. A method for light and scanning electron microscopy of drought induced damage of resting peanut seed tissue. **Food Microstructure** n. 8, p. 253-256, 1989.

6 – AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às seguintes pessoas e instituições que de alguma forma contribuíram para a consecução deste trabalho:

- ARUANDA AGROPECUÁRIA, pelo fornecimento da maioria da matéria-prima.
- FAPESP, pelo financiamento da infra-estrutura do Laboratório de Microondas Aplicadas.
- FAZENDA MONTE D’ESTE, pelo fornecimento de parte da matéria-prima.
- FINEP, por financiar dois projetos de aplicações de microondas ao processamento de alimentos.
- FUNDAÇÃO ANDRÉ TOSELLO, pela administração dos projetos FINEP livre de taxas.