



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS

Estudo da Aplicação de Energia de Microondas na Secagem da Noz

Macadâmia (*Macadamia integrifolia* Maiden & Betche)

Flávio Alves da Silva

(Mestre em Engenharia de Alimentos)

***Orientador:* Prof. Dr. Antônio Marsaioli Jr.**

Tese de doutorado apresentada à Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas para obtenção do título de Doutor em Engenharia de Alimentos

CAMPINAS-SP
2005

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA F.E.A. – UNICAMP

Si38e Silva, Flávio Alves
Estudo da aplicação de energia de microondas na secagem da
noz macadâmia (*Madamia integrifolia* Maiden & Betche) /
Flávio Alves Silva. – Campinas, SP: [s.n.], 2005.

Orientador: Antonio Marsaioli Junior
Tese (doutorado) – Universidade Estadual de
Campinas.Faculdade de Engenharia de Alimentos.

1. Secagem. 2. Microondas. 3. Noz macadâmia. 4.
Estabilidade oxidativa. 5. Análise sensorial. I. Marsaioli Junior,
Antonio. II. Universidade Estadual de Campinas.Faculdade de
Engenharia de Alimentos. III. Título.

(ckn/fea)

Titulo em ingles: Study of the application of energy of microwaves in the drying of the nuts
macadamia (*Macadamia integrifolia* Maiden & Betche)

Palavras-chave em inglês (Keywords): Drying, Microwaves, Macadamia nuts, Oxidative
stability, Sensory analysis

Titulação: Doutor em Engenharia de Alimentos

Banca examinadora: Antonio Marsaioli Junior

Carlos Roberto Rocha

Florência Cecília Menegalli

Lireny Aparecida Guaraldo Gonçalves

Maria Aparecida Azevedo Pereira da Silva

Mieko Kimura

**Estudo da Aplicação de Energia de Microondas na Secagem da Noz
Macadâmia (*Macadamia integrifolia* Maiden & Betche)**

Por

Flávio Alves da Silva
(Mestre em Engenharia de Alimentos)

Tese aprovada em _____ de _____ de 2005

Banca Examinadora

Professor Dr. Antonio Marsaioli Junior (Orientador)
Departamento de Engenharia de Alimentos/FEA/UNICAMP

Dr. Carlos Roberto Rocha

Professora Dra. Florência Cecília Menegalli
Departamento de Engenharia de Alimentos/FEA/UNICAMP

Professora Dra. Lireny Aparecida Guaraldo Gonçalves
Departamento de Tecnologia de Alimentos/FEA/UNICAMP

Professora Dra. Maria Aparecida Azevedo Pereira da Silva
Departamento de Planejamento Alimentar e Nutrição/FEA/UNICAMP

Professora Dra. Mieko Kimura
Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos/IBILCE/UNESP

Dedico este trabalho ao meu querido filho Murilo, a minha amada esposa Patricia, aos meus pais Joaquim e Celina e aos meus irmãos Hermes, Hernandes, Frank e Fernando, enfim, a todos da minha enorme família.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Antônio Marsaiolli Jr. pela amizade, orientação e grande dedicação na realização deste trabalho.

À Patrícia por todo amor, confiança e acima de tudo pelo incentivo, você é e sempre será o grande amor da minha vida. Te amo muito.

Ao meu filho Murilo “o meu maior projeto”, você é a minha fonte de energia para sempre seguir lutando por tudo que sonho.

Aos meus pais, Joaquim e Celina e a todos os irmãos, vocês foram fundamentais para que eu pudesse chegar até aqui. OBRIGADO!!!

Ao Luiz e Roberta pelo suporte familiar dado a mim em Campinas, a vocês só tenho que agradecer por toda ajuda e acima de tudo pela amizade.

A todos os amigos de Goiânia: Zilene, Geci, Rose, Bruno, Marina, Jordanny, Josias, Gute, Itamar, Renier, Eliana, Eb, João Marcos, Maysa, Cristiane e Alan.

A Queen Nut Macadâmia pela doação das nozes utilizadas no desenvolvimento desta pesquisa, em especial ao Sr. Pedro Luis Blasi de Toledo Piza.

Aos membros da banca pela grandiosa colaboração, apresentando valiosas sugestões para a realização deste trabalho.

A todos dos Laboratórios que utilizei: Laboratório de Óleos e Gorduras, Laboratório de Análise Sensorial, Laboratório de Frutas e Laboratório de Engenharia de Processos.

Aos colegas do Laboratório de Microondas Aplicadas: Michele, Nádia, Priscila e em especial ao Guilherme pelo apoio na análise sensorial.

À Faculdade de Engenharia de Alimentos/UNICAMP pela oportunidade e a CAPES pelo suporte financeiro.

ÍNDICE

ÍNDICE.....	ix
ÍNDICE DE TABELAS.....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvii
LISTA DE SÍMBOLOS.....	xix
RESUMO.....	xxi
ABSTRACT.....	xxiii
1.0 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	01
2.0 OBJETIVOS.....	05
2.1 Objetivo geral.....	05
2.2 Objetivos específicos.....	05
3.0 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	07
3.1 Macadâmia.....	07
3.1.1 Generalidades.....	07
3.1.2 Produção e colheita.....	10
3.1.3 Secagem da noz macadâmia.....	12
3.1.4 Composição química.....	14
3.1.5 Fluxograma do processo de beneficiamento da noz macadâmia no Brasil.....	17
3.1.5.1 Descrição do fluxograma.....	18
3.2 O aquecimento por microondas.....	21
3.2.1 Propriedades dielétricas dos materiais.....	22

3.2.2 Mecanismos de aquecimento por microondas.....	25
3.2.3 Principais aplicações do processamento por microondas.....	27
3.3 Processo de secagem.....	29
3.3.1 Cinética de secagem.....	31
3.4 Atividade de água.....	34
3.5 Textura.....	37
3.6 Análise sensorial.....	37
3.6.1 Análise descritiva quantitativa (ADQ).....	38
3.6.2. Métodos discriminativos.....	40
3.6.3. Métodos afetivos.....	41
3.7 Estabilidade de óleos e gorduras.....	41
3.7.1 Análises de estabilidade oxidativa de óleos e gorduras.....	43
4.0 MATERIAIS E MÉTODOS.....	47
4.1 Matéria-prima.....	47
4.2 Equipamentos.....	47
4.3 Métodos.....	51
4.3.1 Procedimento experimental.....	51
4.3.1.1 Estocagem.....	52
4.3.2 Determinação de umidade.....	53
4.3.3 Índice de peróxido.....	54
4.3.4 Estabilidade oxidativa (período de indução).....	54
4.3.5 Ácidos graxos livres (% AGL).....	54
4.3.6 Composição em ácidos graxos.....	54
4.3.7 Determinação de Tocoferol / Tocotrienol.....	55
4.3.8 Determinação do perfil de textura.....	55
4.3.9 Determinação da atividade de água.....	56
4.3.10 Análise sensorial.....	56
4.3.10.1 Análise descritiva quantitativa.....	56
4.3.10.1.1 Pré-seleção de provadores.....	57
4.3.10.1.2 Desenvolvimento da terminologia descritiva.....	58

4.3.10.1.3	Treinamento e seleção dos provadores.....	59
4.3.10.1.4	Avaliação das amostras.....	60
4.3.10.1.5	Análise estatística dos resultados.....	61
4.3.10.2	Aceitação sensorial.....	62
4.3.10.3	Estabilidade sensorial do produto durante o armazenamento.....	64
4.3.11	Estudo da cinética de secagem.....	65
4.3.11.1	Modelagem matemática da cinética de secagem.....	65
4.3.11.2	Ajuste dos modelos matemáticos.....	66
4.3.12	Planejamento Experimental.....	67
5.0	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	69
5.1	Estudo da cinética de secagem da noz macadâmia.....	69
5.2	Estabilidade oxidativa das amêndoas de noz macadâmia secas com aplicação de energia de microondas e ar quente.....	75
5.2.1	Ácidos graxos livres (em ácido oléico) em função do tempo de armazenamentodas amêndoas de noz macadâmia.....	75
5.2.2	Índice de peróxido em função do tempo de armazenamento das amêndoas de noz macadâmia.....	77
5.2.3	Período de indução em função do tempo de armazenamento das amêndoas de noz macadâmia.....	79
5.2.4	Composição em ácidos graxos em função do tempo de armazenamento das amêndoas de noz macadâmia.....	81
5.2.5	Teor de tocoferóis/tocotrienóis em função do tempo de armazenamento das amêndoas de noz macadâmia.....	82
5.3	Atividade de água em função do tempo de armazenamento das amêndoas de noz macadâmia secas com aplicação de energia de microondas e ar quente.....	83
5.4	Textura em função do tempo de armazenamento das amêndoas de noz macadâmia secas com aplicação de energia de microondas e ar quente.....	85
5.5	Análise do planejamento experimental feito durante a secagem da noz macadâmia com aplicação de energia de microondas e ar quente.....	89
5.6	Impacto da secagem com microondas sobre o perfil sensorial e a aceitação de	

noz macadâmia (<i>Macadamia integrifolia</i> Maiden & Betche).....	93
5.6.1 Análise descritiva quantitativa (ADQ) no tempo inicial de armazenamento.....	93
5.6.1.1 Pré-seleção de provadores.....	93
5.6.1.2 Terminologia descritiva das amostras.....	93
5.6.1.3 Seleção dos provadores.....	97
5.6.1.4 Perfil sensorial.....	101
5.6.2 Perfil sensorial das amostras ao fim do período de armazenamento.....	108
5.6.3 Aceitação sensorial.....	119
5.6.4 Estabilidade sensorial do produto durante armazenamento.....	126
6.0 CONCLUSÕES.....	129
7.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	131
APÊNDICE I – Dados econômicos preliminares relativos ao processo de secagem da noz macadâmia com aplicação de energia de microondas e ar quente para a hipótese de uma escala de produção de 4000 kg/dia (166,7 kg/h).....	143
APÊNDICE II – Dados experimentais da cinética de secagem da noz macadâmia.....	146
ANEXO I – Potência disponível de microondas em forno doméstico.....	150

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Composição das amêndoas, cascas e da noz em casca de macadâmia (<i>Macadamia integrifolia</i>).....	15
Tabela 2 – Conversão do teor de umidade da noz macadâmia.....	16
Tabela 3 – Níveis do planejamento experimental do processo de secagem com microondas.....	67
Tabela 4 – Planejamento experimental do processo de secagem com microondas.....	68
Tabela 5 – Resultados dos ensaios realizados no forno de microondas adaptado.....	69
Tabela 6 – Valores da difusividade efetiva, coeficiente de correlação (R^2) e desvio relativo médio (P) para o modelo difusional.....	74
Tabela 7 – % Ácidos graxos livres presentes na fração lipídica de amêndoas de noz macadâmia (<i>M. integrifolia</i>) secas com aplicação de energia de microondas e ar quente.....	75
Tabela 8 – Índice de peróxido presentes na fração lipídica de amêndoas de noz macadâmia (<i>M. integrifolia</i>) secas com aplicação de energia de microondas e ar quente.....	77
Tabela 9 – Período de indução determinado na fração lipídica de amêndoas de noz macadâmia (<i>M. integrifolia</i>) secas com aplicação de energia de microondas e ar quente.....	79
Tabela 10 – Composição em ácidos graxos das frações lipídicas de amêndoas de noz macadâmia (<i>M. integrifolia</i>) secas com aplicação de energia de microondas e ar quente.....	81
Tabela 11 – Teor de tocoferóis/tocotrienóis nas frações lipídicas de amêndoas de noz macadâmia (<i>M. integrifolia</i>) secas com aplicação de energia de microondas e ar quente.....	83
Tabela 12 – Atividade de água de amêndoas de noz macadâmia (<i>M. integrifolia</i>) secas com aplicação de energia de microondas e ar quente.....	84
Tabela 13 – Dureza de amêndoas de noz macadâmia (<i>M. integrifolia</i>) secas com aplicação de energia de microondas e ar quente.....	85
Tabela 14 – Energia gasta nos testes de textura para amêndoas de noz macadâmia (<i>M.</i>	

<i>integrifolia</i>) secas com aplicação de energia de microondas e ar quente.....	86
Tabela 15 – Planejamento fatorial 2 ² com triplicata no ponto central para a amêndoa seca convencionalmente.....	90
Tabela 16 – Análises dos efeitos sobre as variáveis dependentes para as amêndoas de noz macadâmia secas com aplicação de energia de microondas e ar quente.....	91
Tabela 17 – Termos descritivos levantados pelo Método de Rede com número de menções N).....	94
Tabela 18 – Valores de p amostra e p repetição (entre parênteses) / etapa de pré-seleção.....	98
Tabela 19(a) – Médias atribuídas pelos provadores e pela equipe para etapa de pré-seleção.....	99
Tabela 19(b) – Médias atribuídas pelos provadores e pela equipe para etapa de pré-seleção.....	100
Tabela 20 – Resultados de F e p para as fontes de variação obtidos da Análise de Variância.....	101
Tabela 21 – Médias dos atributos e resultados do teste de Tukey.....	103
Tabela 22 – Valores de p amostra e p repetição (entre parênteses) / etapa de pré-seleção.....	109
Tabela 23(a) – Médias atribuídas pelos provadores e pela equipe para etapa de pré-seleção.....	110
Tabela 23(b) – Médias atribuídas pelos provadores e pela equipe para etapa de pré-seleção.....	111
Tabela 24 – Resultados de F e p para as fontes de variação obtidos da Análise de Variância.....	112
Tabela 25 – Médias dos atributos e resultados do teste de Tukey.....	113
Tabela 26 – Médias de aceitação das amostras junto aos consumidores em todo o período de armazenamento (n = 30 consumidores).....	120
Tabela 27 – Análise estatística da aceitação das amostras entre os tempos de armazenamento (p ≤ 0,05).....	125
Tabela 28 – ANOVA e teste de Dunnet para Teste de Diferença do Controle.....	131
Tabela A1 – Dados experimentais da cinética de secagem da noz macadâmia (ensaio	

MW1).....	146
Tabela A2 – Dados experimentais da cinética de secagem da noz macadâmia (ensaio	
MW2).....	146
Tabela A3 – Dados experimentais da cinética de secagem da noz macadâmia (ensaio	
MW3)	147
Tabela A4 – Dados experimentais da cinética de secagem da noz macadâmia (ensaio	
MW4)	147
Tabela A5 – Dados experimentais da cinética de secagem da noz macadâmia (ensaio	
MW5)	148
Tabela A6 – Dados experimentais da cinética de secagem da noz macadâmia (ensaio	
MW6)	148
Tabela A7 – Dados experimentais da cinética de secagem da noz macadâmia (ensaio	
MW7)	149
Tabela A8 – Potência calculada disponível no forno de microondas doméstico.....	151

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Elementos do fruto da noz macadâmia.....	09
Figura 2 – Silos secadores de noz macadâmia.....	13
Figura 3 – Descrição esquemática do aparelho rancimat.....	45
Figura 4 – Quebrador de noz macadâmia.....	49
Figura 5 – Adaptação de forno de microondas doméstico.....	50
Figura 6 – Forno de microondas doméstico adaptado.....	51
Figura 7 – Amêndoa de noz macadâmia embalada a vácuo.....	53
Figura 8 – Modelo da ficha de aplicação do teste de diferença do controle para seleção da equipe sensorial.....	57
Figura 9 – Modelo de ficha do teste de aceitação.....	63
Figura 10 – Ajustes das curvas de secagem da noz macadâmia seca com aplicação de energia de microondas e ar quente pelo modelo difusional ‘ Fick ‘ para os ensaios MW1 e MW3.....	71
Figura 11 – Ajustes das curvas de secagem da noz macadâmia seca com aplicação de energia de microondas e ar quente pelo modelo difusional ‘ Fick ‘ para os ensaios MW2 e MW4.....	71
Figura 12 – Ajustes das curvas de secagem da noz macadâmia seca com aplicação de energia de microondas e ar quente pelo modelo difusional ‘ Fick ‘ para os ensaios MW5, MW6 e MW7.....	72
Figura 13 – Taxa de secagem em função da umidade em base seca para a noz macadâmia seca com aplicação de energia de microondas e ar quente.....	73
Figura 14 – Perfil dos valores do % AGL durante o armazenamento de amêndoas de noz macadâmia secas com aplicação de energia de microondas e ar quente.....	76
Figura 15 – Perfil dos índices de peróxidos durante o armazenamento de amêndoas de noz macadâmia secas com aplicação de energia de microondas e ar quente.....	78
Figura 16 – Perfil dos valores de estabilidade oxidativa (período de indução) durante o armazenamento de amêndoas de noz macadâmia secas com aplicação de energia de microondas e ar quente.....	80
Figura 17 – Perfil dos valores de atividade de água (Aw) durante o armazenamento	

de amêndoas de noz macadâmia secas com aplicação de energia de microondas e ar quente.....	84
Figura 18 – Curvas dos testes de textura de amêndoas de noz macadâmia secas com aplicação de energia de microondas e ar quente (Ensaio MW1, MW2, MW3 e MW4)..	87
Figura 19 – Curvas dos testes de textura de amêndoas de noz macadâmia secas com aplicação de energia de microondas e ar quente (Ensaio MW5, MW6, MW7 e CVL)....	88
Figura 20 – Ficha utilizada na avaliação das amostras.....	97
Figura 21 – Médias obtidas por cada provador para cada amostra para o atributo sabor de ranço.....	102
Figura 22 – Gráfico aranha das médias dos atributos por amostra.....	104
Figura 23 – Gráfico da Análise Multivariada de Componentes Principais (ACP) para o perfil sensorial gerado no início do armazenamento (CPs com valores acumulados).....	106
Figura 24 – Médias obtidas por cada provador para cada amostra (6 meses) para o atributo aroma ranço.....	112
Figura 25 – Gráfico Aranha das médias dos atributos por amostra (6 meses).....	114
Figura 26 – Gráfico da Análise Multivariada de Componentes Principais (ACP) para o perfil sensorial gerado no final do tempo de armazenamento.(CPs com valores acumulados).....	118
Figura 27 – Histogramas da distribuição das notas por atributo (tempo inicial).....	121
Figura 28 – Intenção de compra (tempo inicial).....	121
Figura 29 – Histogramas da distribuição das notas por atributo (90 dias).....	122
Figura 30 – Intenção de compra (90 dias).....	122
Figura 31 – Histogramas da distribuição das notas por atributo (180 dias).....	123
Figura 32 – Intenção de compra (180 dias).....	123

LISTA DE SÍMBOLOS

AGL	ácidos graxos livres (%)
A_w	atividade se água
b.s.	conteúdo de umidade em base seca
b.u.	conteúdo de umidade em base úmida
C_p	calor específico
D_{ef}	difusividade efetiva
dX/dT	taxa de secagem
E	valor eficaz do vetor intensidade de campo elétrico
f	freqüência
IP	índice de peróxido
K	constante de secagem
N	número de pontos experimentais.
P_v	potência por unidade de volume
P	desvio relativo médio (%)
PI	período de indução (h)
R	raio
T	temperatura
T_{ajuste}	temperatura de ajustada no controlador (forno de microondas adaptado)
T_{ar}	temperatura do ar de entrada (forno de microondas adaptado)
$T_{produto}$	temperatura de saída do produto (forno de microondas adaptado)
V_p	valores preditos pelo modelo
V_0	valores observados experimentalmente

X	umidade
X_e	umidade de equilíbrio
X_0	umidade inicial
X_t	umidade no tempo t
$\text{tang } \alpha$	tangente de perdas
λ	comprimento de onda
ϵ_0	permissividade dielétrica do vácuo
ϵ'	permissividade dielétrica
ϵ''	fator de perda dielétrica
θ	tempo
ρ	densidade

RESUMO

A noz macadâmnia (*Macadamia integrifolia* Maiden & Betche) produz uma amêndoa de alto valor comercial que se destaca pelo seu fino sabor e pela qualidade de seu óleo. A secagem da noz macadâmnia é uma das fases mais críticas do beneficiamento, pois não fornece garantia quando não realizada no momento certo e da maneira correta, pois pode ocorrer deterioração da noz e conseqüentemente da amêndoa. O objetivo principal deste projeto foi o de desenvolver um processo de secagem assistido a microondas combinado com aplicação de ar quente, para a secagem da noz macadâmnia, buscando reduzir o tempo global da secagem, com a obtenção de um produto similar ou superior, quando comparado com os processos convencionais. Outros objetivos englobaram o estudo e modelagem das cinéticas das secagens envolvidas, a avaliação comparativa sensorial, química e instrumental das amostras obtidas pelo novo processo em relação às amêndoas secas pelo processo convencional. Os ensaios de secagem foram realizados em um forno de microondas doméstico adaptado. Com os resultados obtidos, pôde-se verificar que o novo método de secagem utilizando microondas, mostrou-se bastante eficiente no que diz respeito à preservação da qualidade natural das nozes de macadâmnia em comparação ao processo de secagem convencional, além do que, os tempos de secagem obtidos em todos os ensaios foram menores que o tempo requerido na secagem convencional. Assim, pôde-se confirmar que é tecnicamente possível a secagem da noz macadâmnia com aplicação de energia de microondas e ar quente.

ABSTRACT

The macadamia tree (*Macadamia integrifolia* Maiden & Betche) produces a nut of high commercial value, distinguishable from other nuts by the delicate taste and outstanding quality of its oil. The most critical stage of macadamia nut processing is the drying of the kernels, as a minimum quality standard can only be achieved under specific controlled conditions. Otherwise there is deterioration of the nut and devaluation of kernel quality. This work aimed at verifying the feasibility of producing dried macadamia nuts by applying microwaves to assist the hot air drying process, thus reducing the drying time and increasing the industrial yield and quality of the kernels as compared to those from conventional processes. Other specific objectives of this study were to analyse and model the drying kinetics of macadamia nut processing using microwaves and to evaluate the samples obtained by the new process comparatively to those dried by the conventional process as regards to sensory, chemical and instrumental analyses. The drying tests were accomplished in an adapted domestic microwave oven. Based on the results achieved it could be concluded that the novel process using microwaves may be technically feasible, showing to be very efficient as regards to preserving the natural quality of the macadamia nuts as compared to the conventional drying process, besides the fact that the drying times were also much shorter. Thus, it could be proved that is technically possible to dry macadamia nuts by applying microwave and hot air.

1.0 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

A noqueira macadame (*Macadamia integrifolia* Maiden & Betche) é uma árvore da família *Proteaceae*, originária das florestas tropicais da Austrália, cuja noz é considerada a mais saborosa entre as nozes comercializadas no mundo. A árvore produz nozes comestíveis utilizadas para o consumo *in natura*, fabricação de cosméticos e em confeitaria. A noz macadâmia é uma fonte riquíssima de gordura, de qualidade comparável à do óleo de oliva. Por isso tornou-se lucrativa para quem a cultiva.

A macadâmia foi descoberta e botanicamente catalogada na Austrália entre 1840 e 1860. Na época os fazendeiros da região ignoraram seu grande potencial econômico, fato para o qual despertaram somente cem anos depois, em 1950. Já no Havaí, a noz foi introduzida em 1881 e em poucos anos surgiram os primeiros pomares da noqueira. Investimentos em tecnologia e comercialização colocaram a região como a maior produtora mundial de noz macadâmia por quase um século.

A noz macadâmia foi introduzida no Brasil em 1932 pelo Sr. João Ernesto Dierberger, produtor rural em São Paulo. O marco inicial da experimentação só ocorreu em 1955 com a importação oficial das sementes da espécie *M. integrifolia* do Havaí, realizada pelo Instituto Agrônomo de Campinas, visando adaptar a planta às condições do Estado, desenvolvendo e testando variedades, no sentido de viabilizar a exploração da cultura. Atualmente o país possui cerca de 1,5 milhão de árvores plantadas em 6 mil hectares, com produção estimada de 3.000 toneladas de noz em casca, volume adequado para a idade dos pomares brasileiros. A maior parte da área em cultivo, foi plantada a partir da década de 80 nos Estados de São Paulo, Bahia, Espírito Santo, Rio de Janeiro e Minas Gerais.

Além do Brasil, outros países como Costa Rica, Guatemala, África do Sul, Quênia e Tanzânia também possuem grande número de pomares jovens que produzirão macadâmia

em escala crescente nos próximos anos. Este fato permite prever um incremento na competição pelos mercados de consumo, onde preço e qualidade são fatores primordiais para disputá-los (TOLEDO PIZA, 2000).

Dentro deste conceito de qualidade, a macadâmia deve ser cuidadosamente beneficiada após a colheita, cujo processo é composto resumidamente pelas operações de recebimento, descarpelamento, seleção, higienização, secagem, quebra da noz, separação amêndoa-casca, classificação, embalagem e transporte/venda (exportação/importação). De todas as operações citadas, a secagem é considerada uma das principais, pois a condução inadequada desta fase poderá acarretar graves danos ao produto final “amêndoa”.

O processo de secagem convencional empregado atualmente para a noz macadâmia possui, como inconveniente, um ciclo de secagem total demasiadamente longo, estendendo-se por um período superior a um mês. A primeira etapa deste ciclo começa quando a noz em casca, recém-colhida e descarpelada, com umidade entre 20 e 30% (b.s.), é submetida, ainda no campo, à secagem por convecção natural de ar à sombra, com a utilização de caixas, bandejas ou silos aerados, em operação que dura de 3 a 4 semanas, até que a umidade seja reduzida a 10 % (b.s.). O material assim pré seco é enviado para uma nova etapa de secagem, por convecção forçada de ar quente, sob condições de temperatura controlada entre 40 °C, no início da secagem, e 60°C, ao término da mesma, realizada em secador tipo silo, até a umidade final de 3,5 % (b.s.), gastando em torno de 6 dias. Tudo isto significa a ocupação de espaços enormes, com manipulação excessiva do material em processo, dificultando sobremaneira as etapas de controle do processo, traduzindo-se isto tudo em riscos maiores de contaminação e de prejuízo para a qualidade final da amêndoa, sem dizer dos consideráveis custos envolvidos.

Diante destas dificuldades, inerentes à atual tecnologia de secagem prevalecente no processamento convencional da noz macadâmia, e considerando que essa cultura encontra-se em pleno desenvolvimento, com grande potencial para o nosso país, surge a oportunidade de se propor um estudo de secagem desta noz que contemple a aplicação da energia de microondas, mediante a qual possam ser obtidos tempos de processamentos mais rápidos e com menor custo e, conseqüentemente, um produto de alta qualidade e competitivo no mercado interno e externo.

2.0 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Desenvolver um processo de secagem assistido a microondas combinado com aplicação de ar quente, para a secagem da noz macadâmia, buscando reduzir o tempo global da secagem, com a obtenção de um produto similar ou superior, quando comparado com os processos convencionais.

2.2 Objetivos específicos

- a) Estudar e modelar as cinéticas de secagem dos processos de secagem da noz integral de macadâmia.

- b) Avaliar comparativamente a qualidade da amêndoa seca da noz macadâmia, obtida pelo novo processo que utiliza microondas, em relação à amêndoa seca convencionalmente, durante um período de seis meses, através de análises sensoriais (ADQ, aceitação sensorial e teste de diferença do controle) e determinações instrumentais e químicas de atividade de água, textura, índice de estabilidade oxidativa, composição em ácidos graxos, acidez, índice de peróxido e tocoferóis/tocotrienóis.

3.0 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Macadâmia

3.1.1 Generalidades

A macadâmia pertence à classe *Angiospermae*, subclasse *Dicotyledoneae*, ordem *roteales*, família *Proteaceae*, com três espécies significativas, duas comestíveis, *Macadamia Integrifolia* e *Macadamia tetraphyla*, e uma não comestível, devido ao sabor amargo, *Macadamia Irrifolia* (DIERBERGER & NETO, 1985), sendo a *M integrifolia* plantada em grande escala devido ao elevado conteúdo de óleo e melhor sabor após a torração (MASON & MC CONACHIE, 1994).

A macadâmia é nativa da costa oeste da Austrália, onde a *M integrifolia* predomina no território de Queensland e a *M tetraphyla* no território de New South Wales. Foi descoberta em 1843 por Ludwing Leichardt, e em 1857, Walter Hill, diretor do Jardim Botânico de Brisbane, e Ferdinand von Mueller, botânico do governo de Victoria, coletaram espécies que foram nomeadas pelo Dr. John Macadam, secretário do Instituto Filosófico de Victoria, de macadâmia (CAVALETTO, 1983).

No Havaí, a macadâmia foi introduzida em 1881 por W. H. Purvis, e em 1892 E. W. Jordan e R. A. Jordan começaram a produção comercial. Com o advento da Segunda Guerra Mundial, em 1945, a macadâmia foi levada para a Califórnia, Estados Unidos. No Brasil as primeiras árvores de macadâmia foram plantadas na fazenda Citra, em Limeira, em 1932 (DIERBERGER & NETO, 1985), tornando-se o Instituto Agrônomo de Campinas responsável pelo grande acervo de geoplasma da noz macadâmia plantada na região do estado de São Paulo.

A *Macadamia integrifolia* também é conhecida como macadamia nut, smooth-shell-macadamia-nut, Queensland nut, bush nut, met cak e bauple nut (DIERBERGER & NETO,1985). As árvores são grandes podendo alcançar até 18 m de altura e 15 m de copa. As folhas, quando adultas, apresentam 30 cm de comprimento e 8 cm de largura, podendo ser encontradas em verticilos de três ou quatro. As flores são brancas a creme e estão em número de 100 a 300 por rácimo. A colheita ocorre de março a junho no Brasil e na Austrália, de julho a novembro no Havaí e de novembro a março na Califórnia. A *Macadamia tetraphylla* também pode ser encontrada com o nome de macadamia nut, rough-shell-macadamia, rough-shell-Queensland-nut, Australian-nut e bush-nut (DIERBERGER & NETO, 1985). As árvores são grandes podendo alcançar uma altura de 15 metros, com copa bem ampla. As folhas maduras têm as margens dentadas, os rácimos apresentam flores rosa-claro em número de 100 a 300. A colheita ocorre de março a junho na Austrália, de maio a setembro no Havaí, de setembro a janeiro na Califórnia, e de fevereiro a junho no Brasil.

A *Macadamia ternifolia* é conhecida como Gympie nut, small-fruit-of-Queensland-nut ou maroochy-chic-nut. As árvores são pequenas, raramente ultrapassam 4,5 m, e apresentam tendência a formarem múltiplos troncos. As folhas são pequenas e encontradas em verticilos de três, as flores são rosadas e raramente excedem a 100 em rácimos pequenos, e os frutos são menores e amargos. A colheita ocorre em abril na Austrália e novembro na Califórnia.

O fruto da macadâmia é um folículo quase esférico de 2,5 a 5 cm de diâmetro, com ápice duro e curto, o pericarpo é carnoso e extremamente verde. Dentro do pericarpo há só uma noz, raramente são encontradas duas, a noz é esférica e lisa na *M integrifolia*, e ligeiramente elipsoidal e rugosa na *M tetraphylla*.

TOLEDO PIZA (1991) descreve que o fruto da macadâmia possui uma capa externa de consistência carnosa e de cor verde, cujo nome técnico é pericarpo, usualmente chamado de carpelo. Envolvida pelo carpelo encontra-se a noz em casca, cuja casca ou concha apresenta uma coloração marrom brilhante e, no interior da noz, está a amêndoa de cor creme (Figura 1).

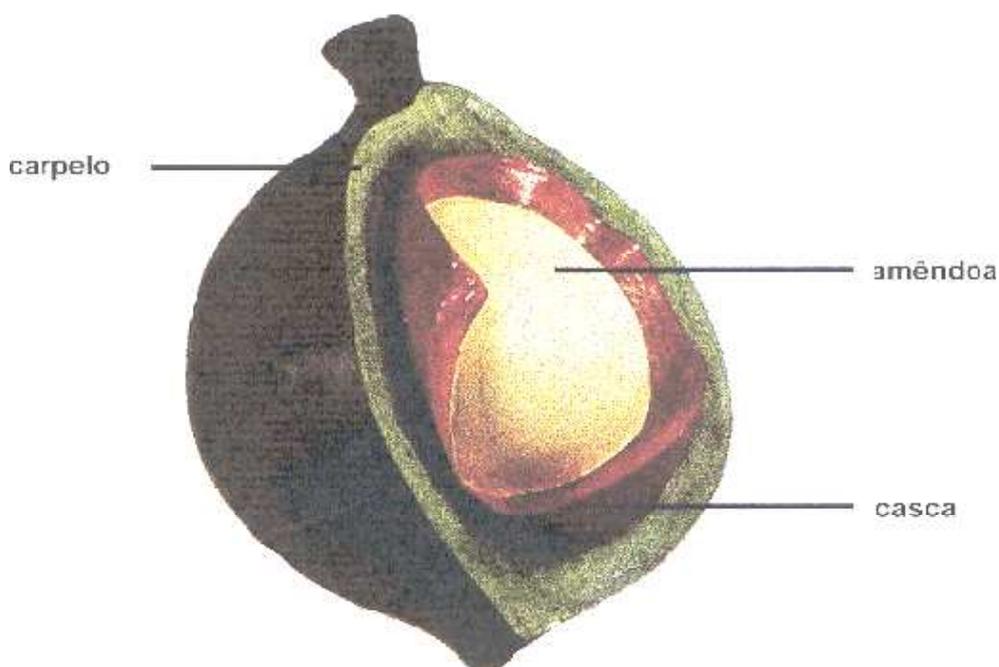


Figura 1 – Elementos do fruto da noz macadâmia

A amêndoa é rica em óleos mono insaturados, que são disputados pela indústria de cosméticos na composição de hidratantes e por laboratórios farmacêuticos como redutor dos níveis de colesterol. O óleo pode ser ainda utilizado para cozinhar ou para temperar saladas. A macadâmia tem sido muito consumida como aperitivo quando salgada e torrada, acreditando-se que mais da metade da produção mundial acabe torrada, para servir de acompanhamento a bebidas em reuniões sociais, sendo também excelente para bolos, biscoitos, confeitos de chocolate e doces, (TOLEDO PIZA, 2000).

A macadâmia começa a produzir após o terceiro/quinto ano e atinge a maturidade, em geral, após o décimo ano e continua a produzir por muitos anos, com produção média anual de 45 a 50 kg de nozes sem pericarpo por árvore. A demora em atingir a maturidade fez com que a macadâmia demorasse a fazer sucesso no Brasil. A partir dos anos 80, contudo, conquistou definitivamente o paladar brasileiro. A árvore possui folhas onduladas de coloração verde escura. As flores aparecem em ráculos e possuem, em geral, coloração branca. A fragrância das flores lembra o aroma de mel (APROMESP, 2004). É uma planta que requer solos argilosos férteis com boa drenagem e fácil penetração do sistema radicular, com pH entre 4,5 e 8,0. Desenvolve-se bem a temperaturas entre 10 e 30 °C, podendo tolerar temperaturas acima de 43 °C e abaixo de 2 °C por pouco tempo e requer umidade entre 40 % a 89 %, ou mínimo de 250 mm de chuva bem distribuída (JAYMES, 1969; DUKE, 1989).

3.1.2 Produção e colheita

Os pomares brasileiros são jovens, ainda em início de produção. Na safra de 2004, estima-se que foram colhidas em torno de 3.000 toneladas de noz em casca, dando ao Brasil o sétimo lugar no “ranking” de produção de macadâmia. A produção de nozes em casca (sem o carpelo) pode atingir valores superiores a 20 kg por árvore em pomares bem conduzidos. A produtividade pode variar de 1.000 a 7.000 kg de nozes em casca por hectare, dependendo da tecnologia empregada.

Os maiores exportadores mundiais de macadâmia são Austrália, África do Sul, Costa Rica, Guatemala e Brasil, segundo o United States Department of Agriculture (USDA, 1999). De acordo com a Associação dos Produtores de Macadâmia do Estado de São Paulo (APROMESP), a macadâmia vem sendo cultivada em vários estados do Brasil,

destacando-se os estados de São Paulo, Espírito Santo, Bahia, Minas Gerais e Rio de Janeiro. Outros estados como o Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Goiás, Paraná e Santa Catarina possuem uma pequena área cultivada.

A colheita é feita, tradicionalmente, com a coleta manual das nozes que caem naturalmente no solo, necessitando estar debaixo das árvores limpo e livre de ervas e folhas secas para facilitar a coleta. A colheita deve ocorrer com bastante frequência, principalmente durante épocas chuvosas ou muito úmida, para evitar o amolecimento ou apodrecimento da noz, ou mesmo ser atacada por roedores.

A colheita mecânica é feita com uso de equipamentos que combinam aspiração e coletores de nozes caídas no solo (CAVALETTO, 1983). São utilizadas também redes dispostas debaixo das árvores para reter as nozes caídas. As nozes que caem no solo, geralmente estão envoltas em fibras, casca verde ou pericarpo. A umidade no pericarpo é relativamente alta, requerendo o descasque em 24 horas após a colheita a fim de diminuir o aquecimento proveniente da respiração dos tecidos, e evitar a contaminação por microorganismos e insetos, e possível rachadura da casca (MASON & MC CONACHIE, 1994).

As empresas beneficiadoras compram a produção para retirar as amêndoas das nozes, pois a casca é muito dura para a noz poder ser vendida *in natura* no mercado. Considerando a sua forma de utilização e o seu alto preço no mercado internacional, as amêndoas de macadâmia sofrem uma rigorosa seleção nas indústrias processadoras, sendo o preço pago em função da qualidade do produto. Conforme normas estabelecidas por empresas da Austrália e adotadas por algumas empresas brasileiras, são considerados parâmetros de qualidade: o teor de óleo, rendimento de amêndoa, maturidade, presença de fungos, decomposição, descoloração e ranço. O teor de óleo e rendimento da amêndoa varia

de acordo com o cultivar, clima, altitude, manejo e sistema de plantio, entre outros (BITTENBENDER & MCGREGOR, 1991).

A macadâmia comercializada a varejo é torrada em óleo ou a seco em fornos com ou sem adição de sal. São embaladas em vários materiais incluindo sachês laminados, potes de vidro, latas e vários filmes plásticos. Quando destinadas à exportação ou mercado atacado são embaladas crú à vácuo ou em fluxo de nitrogênio para reduzir a concentração de oxigênio e prevenir a rancificação oxidativa, em embalagens de 10 e 25 kg. O mercado externo ainda é o grande consumidor da macadâmia, sendo que mais de 90 % das amêndoas produzidas no Brasil são destinadas para a exportação.

3.1.3 Secagem da noz macadâmia

MAZON (2000) relata que a secagem é um dos mais importantes passos no processamento da macadâmia. Quando se realiza a primeira coleta das nozes durante o período da colheita, a umidade das nozes pode ser maior que 30 % b.s., então deve se reduzir rapidamente o nível de umidade para prevenir uma rancidez hidrolítica bem como o desenvolvimento de mofo. O produtor deve colher rapidamente as nozes e iniciar o processo de redução de umidade imediatamente com ar ambiente até atingir 10% b.s. de umidade. Isto irá proporcionar uma maior estabilidade ao produto, após o que ele poderá enviá-lo rapidamente para o processador que, por sua vez, reduzirá a umidade da noz em casca a 3,5 % (1,5 % na amêndoa). As amêndoas com teor de umidade de 1,5 % b.s. e embaladas em sacos laminados com aplicação de vácuo e nitrogênio, podem ser armazenadas em condições ambientes por até 1 ano sem apresentar perdas significativas de qualidade.

A secagem da noz macadâmia recém colhida pode durar até 3 semanas, dependendo da umidade inicial, condições de secagem e umidade relativa do ar. A secagem da noz em casca pelo aumento da temperatura pode causar, em nozes com alta umidade, a formação de coloração castanha na parte central da semente devido ao acúmulo de açúcares redutores nesta região (MASON & MC CONACHIE, 1994 PALIPANE & DRISCOLL, 1994).

TOLEDO PIZA (2000) relata que no Brasil e em outros países, a secagem da noz macadâmia é feita em silos secadores (Figura 2), com sistema automático de controle de temperatura, e dura até 6 dias, ocorrendo da seguinte forma: nos primeiros dois dias se utiliza temperatura igual a 40 °C, nos dois dias subsequentes aumenta-se a temperatura para 50 °C e, nos dois últimos dias, a temperatura é elevada a 60 °C, ou seja, até que a umidade da amêndoa esteja em torno de 1,5 % b.s.. Este mesmo autor diz ainda que, quando a noz macadâmia chega à indústria processadora, a sua umidade está em torno de 8-12 % (b.s.).



Figura 2 – Silos secadores de noz macadâmia

LEE (1998) citou que o principal objetivo da secagem e armazenamento da macadâmia na fazenda é garantir condições que irão eliminar ou reduzir substancialmente o impacto de fatores que causam deterioração na qualidade da amêndoa. O autor recomenda que, quando a secagem é praticada na fazenda, o produto deve ser enviado ao processador com teor de umidade de 10 % (b.s.) ou menos e, em locais onde as condições e equipamentos para esta prática não estão disponíveis, o produtor deve enviar imediatamente as nozes ao processador.

3.1.4 Composição química

Como todas as nozes, a amêndoa contém alta quantidade de óleo. MASON & WILLS (1983) relataram que a quantidade de óleo da *Macadamia integrifolia* varia entre 66,3 e 81,2 %, a umidade entre 1 e 1,5 % (b.s.), dependendo da variedade, da natureza, das práticas de cultivo, etc.

Estudos clínicos demonstram evidências de redução de incidência de doenças coronárias em dietas com nozes. As nozes apresentam quantidade relativamente alta de ácidos graxos monoinsaturados que têm sido reportados como responsáveis pela diminuição da concentração do LDL-colesterol (GLADE, 2000; KAIJSER ET *alii*, 2000). Os ácidos graxos normalmente relatados em nozes macadâmia são: mirístico (0,6 - 1,8 %), palmítico (7 - 24 %), palmitoléico (15 - 30 %), esteárico (2 - 5 %), oléico (40 - 65 %), linoléico (1,4 - 4,5 %) e araquídico (1,2 - 4,5 %) (CAVALETTO, 1983; DIERBERGER & NETTO, 1985; DUKE, 1989; MASON & McCONACHIE, 1994; KAIJSER *et alii*, 2000).

PALIPANE *et. alii* (1992) determinaram a composição das amêndoas das cascas e das nozes em casca de macadâmia, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 – Composição das amêndoas, cascas e da noz em casca de macadâmia (*Macadamia integrifolia*)

(g/100g)	Amêndoa	Casca	Noz em casca*
Umidade	1,9	7,0	4,9
Proteínas	7,6	1,7	4,2
Óleo	74,0	0,3	31,3
Carboidratos	13,4	13,5	13,4
Cinzas	1,2	0,3	0,7
Fibras	1,8	77,2	45,5

Fonte: PALIPANE *et. alii* (1992)

*Calculado com os dados da composição da amêndoa e da casca assumindo-se a relação amêndoa-casca como sendo de 42:58.

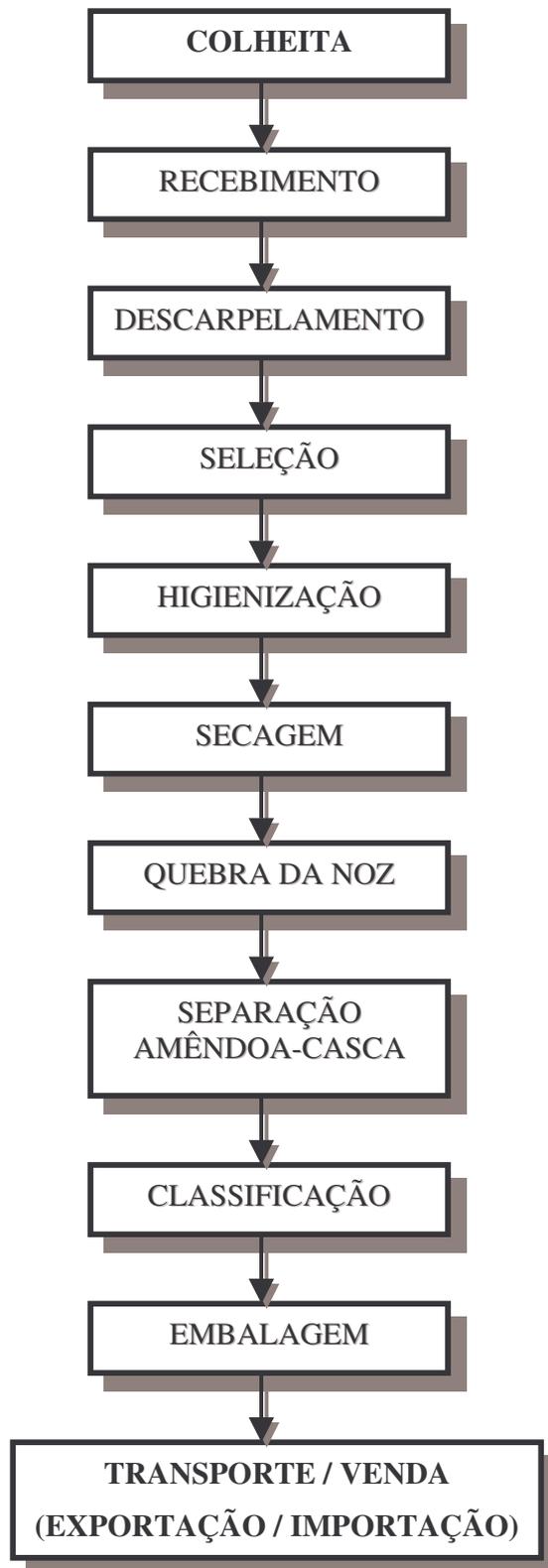
Segundo SILVA (2003) a amêndoa de noz macadâmia apresenta em sua composição mineral, níveis semelhantes aos de outras nozes para os minerais zinco, ferro e magnésio e para elementos de manganês, fósforo e potássio apresenta cerca de 40 a 50% a mais do valor médio destas nozes. Assim sendo, a macadâmia pode ser considerada uma boa fonte de fósforo e potássio.

TOLEDO PIZA (2000), utilizou o trabalho escrito por TSANG & FURUTANI (1989), para construir uma Tabela (Tabela 2) onde se pode determinar a umidade da noz macadâmia, em função da umidade contida na sua amêndoa. Esta Tabela é utilizada atualmente pelos processadores de noz macadâmia, pois a determinação da umidade da noz macadâmia é bastante complexa, e esta facilita o trabalho dos mesmos.

Tabela 2 – Conversão do teor de umidade da noz macadâmia

UMIDADE % (b.s.)							
Amêndoa	Noz	Amêndoa	Noz	Amêndoa	Noz	Amêndoa	Noz
1,5	3,75	4,7	12,15	7,9	15,97	11,1	18,47
1,6	4,23	4,8	12,31	8,0	16,06	11,2	18,54
1,7	4,67	4,9	12,46	8,1	16,15	11,3	18,60
1,8	5,09	5,0	12,61	8,2	16,24	11,4	18,67
1,9	5,49	5,1	12,75	8,3	16,33	11,5	18,73
2,0	5,87	5,2	12,89	8,4	16,42	11,6	18,79
2,1	6,23	5,3	13,03	8,5	16,51	11,7	18,86
2,2	6,57	5,4	13,17	8,6	16,59	11,8	18,92
2,3	6,90	5,5	13,31	8,7	16,68	11,9	18,98
2,4	7,21	5,6	13,44	8,8	16,76	12,0	19,04
2,5	7,51	5,7	13,57	8,9	16,85	12,1	19,10
2,6	7,80	5,8	13,70	9,0	16,93	12,2	19,16
2,7	8,08	5,9	13,82	9,1	17,01	12,3	19,22
2,8	8,34	6,0	13,95	9,2	17,09	12,4	19,28
2,9	8,60	6,1	14,07	9,3	17,17	12,5	19,34
3,0	8,85	6,2	14,19	9,4	17,25	12,6	19,40
3,1	9,09	6,3	14,31	9,5	17,33	12,7	19,46
3,2	9,32	6,4	14,42	9,6	17,40	12,8	19,52
3,3	9,55	6,5	14,54	9,7	17,48	12,9	19,58
3,4	9,77	6,6	14,65	9,8	17,55	13,0	19,63
3,5	9,98	6,7	14,76	9,9	17,63	13,1	19,69
3,6	10,19	6,8	14,87	10,0	17,70	13,2	19,74
3,7	10,39	6,9	14,97	10,1	17,78	13,3	19,80
3,8	10,59	7,0	15,08	10,2	17,85	13,4	19,85
3,9	10,78	7,1	15,18	10,3	17,92	13,5	19,91
4,0	10,97	7,2	15,29	10,4	17,99	13,6	19,96
4,1	11,15	7,3	15,39	10,5	18,06	13,7	20,02
4,2	11,32	7,4	15,49	10,6	18,13	13,8	20,07
4,3	11,50	7,5	15,59	10,7	18,20	13,9	20,12
4,4	11,67	7,6	15,68	10,8	18,27	14,0	20,18
4,5	11,83	7,7	15,78	10,9	18,34	14,1	20,23
4,6	11,99	7,8	15,88	11,0	18,40	14,2	20,28

3.1.5 Fluxograma do processo de beneficiamento da noz macadâmia no Brasil



3.1.5.1 Descrição do fluxograma

Colheita: A colheita da noz macadâmia é realizada manualmente, catando-se as nozes que caem naturalmente no solo. Antes da colheita, é realizada uma limpeza debaixo das árvores para facilitar a mesma. A colheita deve ocorrer com bastante frequência durante todo o período de queda do fruto, isto para evitar amolecimento ou apodrecimento da noz, ou mesmo ataque de roedores.

Recebimento: Depois da colheita das nozes, estas são enviadas imediatamente para galpões, onde são armazenadas até a realização da etapa posterior.

Descarpelamento: Após a colheita e o recebimento das nozes e, através de um sistema de atrito contra borrachas macias, é realizada a etapa de descasque do pericarpo (carpelo), ou seja, o descarpelamento. Esta etapa obrigatoriamente tem que ser realizada até 24 horas após a colheita, a fim de diminuir o aquecimento proveniente da respiração dos tecidos do carpelo, e evitar a contaminação por microorganismos e insetos, e possível rachadura do carpelo. Para evitar estes problemas, o volume de nozes colhidas no dia tem de ser compatível com a capacidade do sistema de descarpelamento.

Seleção: Com o fim do descarpelamento é realizada uma seleção das nozes descarpeladas. Nesta etapa é retirada as nozes com defeitos ou nozes provenientes de outras safras que por ventura restaram após uma limpeza inadequada debaixo das árvores.

Higienização: Nesta etapa é realizada uma última limpeza das nozes, através do uso de ar e outros e, ao término desta, as nozes são pesadas e enviadas para a usina de beneficiamento para realização da secagem e das outras etapas finais.

Secagem: A primeira etapa deste ciclo começa quando a noz em casca, recém-colhida e descarpelada, com umidade entre 20 e 30 % (b.s.), é submetida, ainda no campo, à secagem por convecção natural de ar à sombra, com a utilização de caixas, bandejas ou silos aerados, em operação que dura de 3 a 4 semanas, até que a umidade seja reduzida a 10 % (b.s.). O material assim pré-seco é enviado para uma indústria processadora e nesta é realizada a nova e última etapa de secagem, por convecção forçada de ar quente, sob condições de temperatura controlada, ocorrendo da seguinte forma: nos primeiros dois dias é utilizada uma temperatura igual a 40 °C, mais dois dias a 50 °C e, nos dois últimos dias, a temperatura é elevada a 60 °C, ou seja, até que a umidade final da noz esteja em torno de 3,5 % (b.s.) conseqüentemente umidade da amêndoa em torno de 1,5 %, gastando-se em torno de 6 dias. A secagem da noz macadâmia em casca é realizada em silos com temperaturas controladas eletronicamente, mantendo-se assim as qualidades originais das amêndoas. O calor necessário para realização da secagem é obtido através da queima da própria casca da noz macadâmia gerando grande economia de energia elétrica e conseqüente preservação do meio ambiente.

Quebra da noz: Com o término das etapas de secagem, é realizada a quebra da noz. Nesta etapa, as nozes são levadas através de esteiras até o equipamento que realiza a quebra. O equipamento utilizado possui uma cadeia de quebradores, ajustados para realizar a quebra das nozes com diferentes tamanhos, favorecendo assim a quebra de todas as nozes e conseqüentemente o processo.

Separação amêndoa-casca: Depois de quebrada, as nozes são carregadas através de esteiras perfuradas, onde se realiza manualmente a separação amêndoa-casca. A utilização

de esteiras perfuradas com diversos diâmetros ajuda o processo de separação e, conseqüentemente, a classificação da amêndoa.

Classificação: A classificação das amêndoas é feita sobre esteiras perfuradas através de uma seleção eletrônica combinada com uma seleção manual, cujo procedimento aumenta a eficácia do processo. Nesta etapa, também são utilizados detectores de metais e inspeção visual, eliminando os riscos de contaminações físicas no produto final. As amêndoas de noz macadâmia possuem a seguinte classificação: estilo 1 (95% inteiras e 5% metades / >17,5mm); estilo 2 (50% inteiras e 50% metades / >14mm e <17,5mm); estilo 3 (35% inteiras e 65% metades / >12mm e <14mm); estilo 4 (20% inteiras e 80% metades / >10mm e <12mm); estilo 5 (metades e pedaços / >6mm e <12mm); estilo 6 (pedaços / >4mm e <6mm) e “meal” (farinha / <4mm).

Embalagem: Ao término das etapas anteriores de processamento da noz macadâmia, as amêndoas são pesadas e embaladas. A embalagem das amêndoas ocorre da seguinte forma: primeiro colocam-se sacos plásticos laminados dentro de caixas de papelão com capacidade para 11,5 kg e depositam-se as amêndoas. Em seguida é realizada a selagem do saco em uma máquina seladora que faz durante o processo de selagem a aplicação de vácuo e nitrogênio para substituir o ar. Após o processo de selagem, o fechamento das caixas é realizado com fita adesiva hermética.

Transporte / Venda (Exportação / Importação): Terminado o processamento da noz macadâmia e de acordo com o destino da sua comercialização (exportação ou mercado interno), esta irá ter um determinado tipo de transporte. No caso de exportação, estas são colocadas em containeres e transportadas até o porto mais próximo, onde são embarcadas

em navios, seguindo até o seu destino final, sendo que, para o mercado interno, o transporte é feito através de caminhões ou outros meios.

3.2 O aquecimento por microondas

Microonda ou energia de microondas é uma modalidade de radiação eletromagnética como a luz, radiação ultravioleta, raios-X, ondas de televisão, rádio AM e FM e radiação infravermelho (CUNHA, 1996). Cabe destacar que para os processos de aquecimento as frequências utilizadas são de 915 MHz e de 2.450 MHz (comprimentos de onda de 32,8 cm e 12,5 cm respectivamente, em espaço livre). Estas frequências têm sido utilizadas para aplicações industriais, científicas e medicinais – ISM – (Industrial, Scientific and Medical). A maioria dos fornos de microondas domésticos opera a 2.450 MHz (MARSAIOLI, 1991).

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 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 os métodos convencionais de aquecimento, onde o transporte de calor da superfície para o centro se dá 10 a 20 vezes mais lentamente.

A energia de microondas é uma fonte ímpar de energia porque produz calor dentro dos materiais processados. Esta propriedade resulta em tempos de processamento mais curtos, maior rendimento do produto final e usualmente em uma qualidade superior no

produto comparado ao obtido com técnicas convencionais de processamento (DECAREAU & PETERSON, 1986).

A principal meta, atualmente, nas pesquisas sobre as propriedades elétricas dos alimentos, vem sendo determinar mecanismos de interação entre alimentos e energia eletromagnética nas frequências de microondas, para 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).

3.2.1 Propriedades dielétricas dos materiais

O aquecimento de alimentos por microondas, nas frequências geralmente empregadas no processamento industrial dos alimentos, 915 e 2450 MHz, resulta do acoplamento de energia de um campo eletromagnético em uma cavidade de microondas. Essas interações levam à geração de calor instantânea dentro do produto devido ao “atrito molecular”, primariamente por causa da ruptura de pontes de hidrogênio fracas associadas com a rotação dos dipolos de moléculas de água livre e com a migração eletroforética de sais livres em um campo elétrico de polaridade rapidamente variável. Esses efeitos estão predominantemente relacionados com os constituintes iônicos aquosos dos alimentos e seus constituintes sólidos associados e de sua dissipação dentro do produto. Isto resulta em elevação de temperatura instantânea dentro do produto, em contraste com os processos de aquecimento convencionais que transferem energia da superfície, com constantes térmicas de tempo longas e lenta penetração de calor (BUFFLER, 1992).

Os alimentos, podem ser visualizados como dielétricos de capacitores não ideais no sentido que possuem a habilidade de armazenar e dissipar a energia elétrica de um campo eletromagnético. Esta dissipação ocorre através de um conjunto de propriedades dielétricas expressas em notação complexa com uma componente real, constante dielétrica, e uma componente imaginária, perda dielétrica. Os alimentos não interagem com o componente magnético do campo devido sua baixa permeabilidade magnética e, além disso, são considerados isolantes pobres, porque dissipam quantias consideráveis de energia elétrica, acopladas através de mecanismo de relaxação e condução relacionados primariamente à água livre e ao teor salino, como calor gerado internamente (VON HIPPEL, 1966 citado por JONES, 1986).

Segundo MUDGETT (1996), materiais biológicos agem como maus isoladores, isto é, capacitores não ideais, em termos de sua habilidade para armazenar e dissipar energia elétrica de uma aplicação de campo eletromagnético para transferência por irradiação.

Um material dielétrico pode ser definido, como aquele que interage com um campo elétrico porque contém portadores de cargas que podem ser deslocados, uma vez que, como todos os materiais, consistem de um núcleo atômico positivo envolto por uma nuvem eletrônica negativa. A interação de um campo elétrico com um dielétrico tem sua origem devido às partículas carregadas com as cargas do campo aplicado. Assim, quando um campo elétrico externo é aplicado, os elétrons são levemente deslocados com respeito ao núcleo e então momentos dipolos são induzidos, causando o que é conhecido como polarização eletrônica dos materiais (VON HIPPEL, 1995).

SENISE (1985) relata que as radiofrequências e microondas são empregadas para o aquecimento de materiais dielétricos, ou seja, materiais que, além de maus condutores de eletricidade são, via de regra, também maus condutores térmicos.

Desde que a energia eletromagnética penetre no material dielétrico, ocorre a transformação em calor por um conjunto de mecanismos em escala molecular e atômica, entre os quais se sobressaem a condução iônica e a rotação dipolar. A esta última, sobretudo, associa-se a imagem de “histerese dielétrica”, tema que identifica o aquecimento de materiais dielétricos sob a ação de radiofrequências e microondas.

Os parâmetros que caracterizam os materiais dielétricos são:

- *permissividade (ou constante dielétrica) ϵ'* : que mede a capacidade de um material de armazenar energia elétrica, por unidade de volume;
- *fator (ou constante de perdas) ϵ''* : que é um parâmetro adimensional dado pelas propriedades elétricas do material. Seu valor indica a capacidade de dissipar energia elétrica na forma de calor;
- *tangente de perdas*: que é o quociente dos dois, ou seja, $\tan \delta = \epsilon'' / \epsilon'$. Seu valor indica a capacidade de ser penetrado por um campo elétrico e de dissipar essa energia na forma de calor.

A grande maioria das aplicações de radiofrequência e microondas na indústria relaciona-se com a água. A água, no estado líquido, está incluída entre os dielétricos com valores mais elevados de ϵ' e $\tan \delta$, o que permite dizer que materiais com água são “fáceis de esquentar” por microondas ou radiofrequência. As propriedades dielétricas dos materiais variam com a temperatura, sendo muito importantes nas aplicações de rádio-frequência e microondas no processo de aquecimento dielétrico.

Essas propriedades elétricas básicas determinam a extensão da reflexão e transmissão de energia nas superfícies do produto e absorção de energia dentro do produto. As propriedades dielétricas básicas dos alimentos serão consideradas primariamente em termos dos fenômenos de relaxação e condução, como função da frequência, temperatura, composição química e estrutura física (VON HIPPEL, 1995).

3.2.2 Mecanismos de aquecimento por microondas

As características de aquecimento dos alimentos por microondas estão relacionadas não somente com as suas propriedades dielétricas, como também às propriedades de transmissão peculiares aos processos de aquecimento dielétrico e às propriedades térmicas e de transporte que afetam as transferências de calor e massa em ambos os processos de aquecimento, convencional e dielétrico. O aquecimento de alimentos por microondas resulta do acoplamento de energia elétrica de um campo eletromagnético em uma cavidade de microondas e de sua dissipação dentro do produto. Isto resulta em elevação de temperatura instantânea dentro do produto, em contraste com os processos de aquecimento convencionais que transferem energia da superfície, com constantes de tempo térmicas longas e lenta penetração de calor. A absorção volumétrica de potência (P_V) e a elevação de temperatura no aquecimento por microondas são geralmente descritas pelas equações (GOLDBLITH, 1967):

$$P_V = 2 \pi f \epsilon_0 E^2 \epsilon'' = 55,6325 \times 10^{-12} \times f \times E^2 \times \epsilon'' \quad \text{Eq. (1)}$$

$$dT/d\theta = P_V / \rho c_p \quad \text{Eq. (2)}$$

onde,

P_V - potência por unidade de volume (W/m^3)

f - frequência (Hz)

ϵ_0 - permissividade dielétrica do vácuo (ou ar) = $8,84 \times 10^{-12}$ (F/m)

ϵ'' - fator de perda dielétrica relativa

E - valor eficaz do vetor intensidade de campo elétrico (V/m)

ρ - densidade (kg/m^3)

c_p - calor específico (J/kg.K)

T - temperatura (K)

θ - tempo (s)

Enquanto essas equações descrevem com precisão os efeitos do aquecimento volumétrico, estas são difíceis de aplicar na análise dos processos dos alimentos por microondas por diversas razões:

- Primeiro, a absorção de potência e intensidade de campo dentro dos produtos alimentares variam com a profundidade a partir da superfície sob condições que estão continuamente variando com a temperatura durante o curso da irradiação. Em concordância com isto, o fator de perda dielétrica ϵ'' varia não somente de uma região do produto para outra, mas também dentro de um particular segmento do produto conforme a temperatura aumenta pelo aquecimento mediante as microondas.
- Segundo, o gradiente de voltagem dentro do produto não pode ser determinado “a priori” e também varia como uma função da profundidade a partir da superfície.
- Finalmente, o calor gerado dentro do produto pelo acoplamento da energia elétrica do campo está sujeito aos mecanismos convencionais de transferência de calor por condução interna, convecção superficial e evaporação de umidade, mediadas pelas

propriedades térmicas e de transporte do produto. Essas propriedades físicas dependem da temperatura, embora em menor grau do que as propriedades elétricas do produto, e assim variam com o tempo durante o período de aquecimento. Desta forma, o uso prático das equações recém propostas fica limitado aos procedimentos de calibração na medição da potência dos fornos de microondas. Por exemplo, a Equação 2 é usada para determinar os níveis de potência de microondas pela medida da elevação de temperatura em cargas d'água padronizadas como meio de calibrar o equipamento de processo por microondas. Se os gradientes de voltagem de pico ou médio ou as intensidades do campo na cavidade (por exemplo no espaço vazio) forem conhecidos, a Equação (1) pode também ser usada para determinar a perda dielétrica média do produto como uma função do tempo durante a irradiação.

3.2.3 Principais aplicações do processamento por microondas

As aplicações tecnicamente possíveis de microondas em eletrotermia industrial são numerosas, sendo que suas principais aplicações são (SENISE, 1985):

- *Na indústria de alimentos:* secagem de massas alimentícias, desidratação a vácuo, branqueamento, esterilização, pasteurização, cozimento, descongelamento de carnes.
- *Na indústria do papel e gráfica:* secagem de tintas e revestimentos, secagem de cola.
- *Na indústria química:* selagem de plásticos, secagem de produtos em pó, expansão de espumas, reações químicas incentivadas, eliminação de resíduos tóxicos.

TSANG & FURUTANI (1989), realizaram estudo de secagem de noz macadamia mediante aplicação de energia de microondas, tendo chegado à conclusão de que a energia de microondas não deveria ser usada para secagem de noz macadamia devido ao fato de não terem conseguido obter produtos de boa qualidade, já que as amêndoas obtidas

apresentavam em seu centro sinais de torração (manhas de cor marrom). Nota-se também, que estes autores não usaram durante os seus ensaios de secagem, nenhum sistema para controlar a potência aplicada e isto, acarretou ao produto uma temperatura de saída bastante elevada (93 °C). Até o presente momento, este foi o único trabalho encontrado na literatura referente ao estudo de secagem de noz macadamia pelo uso de energia de microondas.

A energia de microondas vem sendo testada em estudos de torração e secagem, onde os resultados obtidos foram bastante satisfatórios. FADINI (1998) relata que é possível a torração de cacau por microondas, em menor tempo levando à obtenção de produtos com características sensoriais semelhantes às do produto torrado de forma convencional. BERTELI & MARSAIOLI, 2004 relataram que o tempo de secagem de macarrão curto seco mediante a combinação de ar quente e microondas foi treze (13) vezes menor quando comparado com o processo convencional de secagem. Foi também testado recentemente por SILVA & MARSAIOLI, 2002 o uso de energia de microondas combinada com ar quente na secagem de amêndoas de castanha do Brasil, onde os tempos de secagens obtidos foram bem menores, em relação ao tempo gasto na secagem convencional, tendo-se conseguido manter a preservação do produto final por até seis meses. Já SOUSA *et alii*, 2001 estudaram o uso de microondas na secagem de bananas da variedade *nanicão* e concluíram que os níveis de aceitação sensorial das amostras processadas por microondas foram bem superiores aos das amostras comerciais (nacionais e importadas) bem como à das amostras processadas por processo convencional de secagem. Já MARSAIOLI *et alii*, 2003, concluíram que o uso de microondas e ar quente na secagem de café cereja descascado promoveu uma redução substancial no tempo de secagem e um melhor controle dos parâmetros do processo, tais como a uniformidade e a estrutura dos grãos, levando a uma qualidade superior.

3.3 Processo de Secagem

A secagem é a operação unitária, na qual ocorre eliminação de água por evaporação ou sublimação, presente em um material, mediante a aplicação de calor com condições controladas e, é provavelmente o mais antigo método de conservação de alimentos EARLE (1992). De maneira geral, o processo de secagem é uma operação em que o calor é fornecido a um dado material que contém água, a fim de se vaporizar certa quantidade de água contida neste material, resultando em um produto com reduzida umidade. Trata-se de um processo com transporte simultâneo de calor e massa, acompanhado de mudança de fase (BARBANTI *et alii*, 1994).

KEYY (1972) define a secagem como sendo a remoção de uma substância volátil (comumente, mas não exclusivamente, água) de um material sólido, isto é, a operação na qual a atividade de água de um alimento é diminuída pela remoção da água, a partir de sua vaporização. A água presente no sólido é chamada de umidade. Portanto, a secagem de nosso interesse é caracterizada pela evaporação da água do material biológico.

A secagem é uma das operações mais complexas e menos entendida, devido à dificuldade e deficiência da descrição matemática dos fenômenos envolvidos de transferência simultânea de calor, massa e quantidade de movimento no sólido. Assim a secagem é um conjunto de ciência, tecnologia e arte, ou seja, um *know-how* baseado em extensiva observação experimental e experiência operacional (MENON e MUJUMDAR, 1987).

Existem diferentes processos de secagem, que diferenciam pela forma de aportar calor (condução, convecção e radiação) e pelos dispositivos utilizados (placas, cilindros, leite fluidizado, etc.). A escolha de um deles deve considerar a natureza do produto, seu estado e a qualidade do produto final. Segundo VEGA-MERCADO *et alii* (2001), a

secagem de alimentos não é limitada à seleção do secador. Os conceitos físico-químicos associados com secagem de alimentos necessitam ser entendidos com uma avaliação apropriada do fenômeno de secagem nos produtos alimentícios. Atividade de água, temperatura de transição vítrea, mecanismos e teorias de desidratação, e mudanças químicas e físicas devem ser reconhecidos como elementos chave para qualquer operação de secagem de alimentos.

Durante a secagem, para que haja a evaporação de água da superfície do material, deve haver o seu transporte do interior do sólido até a superfície. Os mecanismos mais importantes encontrados neste processo são (PARK, 2001):

- ✓ A difusão líquida que ocorre devido à existência do gradiente de concentração;
- ✓ Difusão de vapor devido ao gradiente de pressão de vapor, causado pelo gradiente de temperatura;
- ✓ Escoamento de líquido e de vapor em virtude da diferença de pressão externa, concentração, alta temperatura e capilaridade;
- ✓ Conteúdo inicial de umidade do material;
- ✓ Conteúdo final de umidade que o material pode atingir, ou seja, a sua umidade de equilíbrio;
- ✓ De que forma a água se relaciona à estrutura do sólido;
- ✓ Como o transporte de água é feito do interior até a superfície do sólido.

Para se estudar a secagem de materiais biológicos é recomendável o levantamento experimental da curva de secagem, pois os dados experimentais são insubstituíveis.

3.3.1 Cinética de secagem

Dentre os processos industriais que dependem da difusão interna, encontra-se o processo de secagem. Muitos trabalhos foram publicados na literatura com o intuito de se determinar às difusividades do(s) soluto(s) e/ou da água durante o processo, e as soluções para a Segunda Lei de Fick têm sido freqüentemente utilizadas para se determinar tais parâmetros (AGUERRE *et alii*, 1985).

A secagem de gêneros alimentícios sólidos é um caso complexo de transferências acopladas de calor e massa através dos tecidos. Existem diversas teorias de secagem que tentam explicar os mecanismos de migração de umidade no interior de sólidos, durante o período da taxa decrescente, como também a utilização de um grande número de modelos matemáticos para estimar as transferências simultâneas de calor e massa envolvidas (PINTO & TOBINAGA, 1996).

O cálculo da cinética de secagem está relacionado à predição do tempo de secagem, que representa um dado fundamental para o dimensionamento e a otimização de uma planta industrial envolvendo este processo. As taxas de secagem devem ser relacionadas para um determinado produto e para uma determinada operação (processo e equipamento), podendo ser estabelecidas mediante estudos de transferência de calor e massa, além dos possíveis mecanismos de migração interna de umidade. Sendo assim, podemos avaliar, projetar e/ou otimizar o processo de secagem (PARK & BROD, 1998).

Nos períodos de taxa constante e decrescente os métodos de cálculo da taxa de secagem diferem. No primeiro período as transferências de calor e massa são analisadas na superfície do material em contato com o ar de secagem, enquanto que no segundo período as análises são baseadas nas transferências internas que governam a secagem (PARK, 2001).

Existem várias teorias para explicar o comportamento da secagem no período de taxa decrescente. A teoria difusional e a teoria capilar são básicas e fundamentam as outras teorias.

CRANK (1975) obteve diversas soluções analíticas da equação de difusão para diferentes condições iniciais e de contorno, considerando a difusividade constante ou variando com a umidade. Estas soluções se aplicam a sólidos com formas geométricas simples e regulares, como esféricas, cilíndricas e placas planas infinitas ou paralelepípedo.

A teoria difusional utiliza a 2ª Lei de Fick para descrever o comportamento da secagem no período de taxa decrescente, sendo a equação para transferência (CRANK, 1975):

$$\frac{dX}{dT} = -\nabla \cdot (D \nabla X) \quad \text{Eq. (3)}$$

Em sistemas de coordenadas esféricas, a Equação (3) de difusão pode ser descrita como a Equação (4).

$$\frac{\partial X}{\partial t} = \frac{1}{r^2} \left\{ \frac{\partial}{\partial r} \left(D_{ef} r^2 \frac{\partial X}{\partial r} \right) + \frac{1}{\sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(D_{ef} \sin \theta \frac{\partial X}{\partial \theta} \right) + \frac{D_{ef}}{\sin^2 \theta} \frac{\partial^2 X}{\partial \phi^2} \right\} \quad \text{Eq. (4)}$$

Para a forma geométrica de uma esfera, onde a transferência interna de umidade durante a secagem é predominantemente unidirecional, a Equação (4) torna-se:

$$\frac{\partial X}{\partial t} = \frac{1}{r^2} \left\{ \frac{\partial}{\partial r} \left(D_{ef} r^2 \frac{\partial X}{\partial r} \right) \right\} \quad \text{Eq. (5)}$$

Quando a difusividade efetiva (D_{ef}) for considerada constante a umidade inicial X_0 é distribuída uniformemente no interior do produto e, desprezando as resistências externas à transferência de massa, a umidade na superfície da amostra permanece constante durante o processo, e seu valor corresponde ao termo umidade de equilíbrio X_e do produto e,

desprezando o encolhimento do produto durante a secagem e impondo a seguinte condição inicial e as seguintes condições de contorno:

$$\text{C.I.} \quad X = X_0 \quad 0 \leq r \leq R_{esf} \quad t = 0 \quad \text{Eq. (6)}$$

$$\text{C.C.1} \quad X = X_e \quad r = R_{esf} \quad t > 0 \quad \text{Eq. (7)}$$

$$\text{C.C.2} \quad \frac{\partial X}{\partial r} = 0 \quad r = 0 \quad t > 0 \quad \text{Eq. (8)}$$

A média espacial da solução da Equação (5), com as condições dadas pelas Equações (6, 7 e 8), é dada por CRANK (1975), como:

$$\frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e} = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp \left[- \frac{n^2 D_{ef} \pi^2}{R^2} t \right] \quad \text{Eq. (9)}$$

Onde:

$$X_t = \frac{3}{R_{esf}^3} \int_0^{R_{esf}} X r^2 dr \quad \text{Eq. (10)}$$

Uma importante correlação na secagem dos alimentos é a lei exponencial, esta lei estabelece que a taxa de secagem é proporcional ao teor de água livre do gênero alimentício na forma:

$$\frac{d X_t}{dt} = -K(X_t - X_e) \quad \text{Eq. (11)}$$

onde o fator de proporcionalidade K é denominado de constante de secagem.

Esta equação é a expressão da lei de resfriamento de Newton, se for levado em conta que toda a resistência ao transporte de umidade concentra-se na camada limite, desconsiderando os efeitos no interior do material; é por isto chamada de modelo semi-empírico. A equação é normalmente utilizada na forma integrada como:

$$\frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e} = \exp(-K t) \quad \text{Eq. (12)}$$

De uma maneira geral, os alimentos sofrem encolhimento durante a secagem, sendo esta perda de volume causada pela remoção de água. Os alimentos que apresentam altos teores de umidade inicial sofrem apreciável variação de volume durante a secagem.

Assim, as análises feitas com a utilização da lei de Fick enfocam principalmente o estudo dos efeitos globais do fenômeno, conseqüentemente, não apresentando condições para uma descrição dos possíveis mecanismos internos de migração de umidade ou outros fenômenos físicos em particular, sendo que o coeficiente global denominado difusividade efetiva, engloba os possíveis efeitos internos.

3.4. Atividade de água

A água é o constituinte presente em maior quantidade em alimentos. Sua influência na palatibilidade, digestibilidade, estrutura e manuseio do material é considerável. Praticamente todos os processos deteriorativos que ocorrem nos alimentos são influenciados pela sua concentração e mobilidade (WOLF *et alii*, 1985).

O controle do conteúdo de umidade no processamento de alimentos é um método antigo de preservação de alimentos, cujo princípio consiste na remoção de água ou na interação desta com outros compostos, diminuindo sua disponibilidade para o crescimento de microrganismos e para a deterioração química (LABUZA, 1980).

Em relação à distribuição de água no alimento, esta pode ser encontrada livre ou fracamente ligada ao substrato e entre si, funcionando como solvente, permitindo o crescimento de microrganismos e reações químicas e podendo ser eliminada com relativa facilidade. Por outro lado, a água combinada é fortemente ligada ao substrato, mais difícil de ser eliminada e não é utilizada como solvente, não permitindo o desenvolvimento microbiano (BOBBIO & BOBBIO, 1992).

Em muitos casos a atividade de água A_w tem sido utilizada como parâmetro preferencial por representar melhor a água disponível ou o estado da água disponível, que melhor se correlaciona com o efeito da conservação dos alimentos. No entanto outros fatores como concentração de oxigênio, pH, mobilidade da água e o tipo de soluto presente podem, em alguns casos, exercer forte influência sobre a velocidade de degradação (TEIXEIRA NETO, 1997).

Para obtenção do valor de A_w nos alimentos, a temperatura deve ser especificada, pois os valores de A_w são dependentes da temperatura. Dependendo do produto, uma alteração de 10 °C, na temperatura de estocagem, pode causar mudança de A_w de 0,03 a 0,2, podendo influir na estabilidade do produto (VAN DEN BERG & LENIGER, 1978).

A intensidade e a taxa de deterioração dos alimentos podem ser relacionadas pela atividade de água (A_w) (WOLF *et alii*, 1985), que é expressa como a relação entre a pressão de vapor da água no alimento (p_f) e a pressão de vapor da água pura (p_o) na mesma temperatura:

$$a_w = \frac{p_f}{p_o} \quad \text{Eq. (13)}$$

O valor máximo da A_w é 1, para água pura. Nos alimentos ricos em água ($A_w > 0,90$) pode-se formar soluções diluídas com componentes do alimento em que os microrganismos podem crescer bem. Nessa diluição, as reações químicas e enzimáticas podem ter sua velocidade diminuída pela baixa concentração dos reagentes. Quando a atividade de água baixar para 0,40-0,80 haverá possibilidade de ocorrerem reações químicas e enzimáticas rápidas pelo aumento da concentração dos reagentes, enquanto que, para A_w próxima de 0,60, teremos pequeno ou nenhum crescimento microbiano. Em regiões de A_w inferiores a 0,3, a água não seria utilizada por microrganismos e para dissolver componentes do alimento, o que leva as reações a terem velocidade tendendo a zero, com exceção da oxidação dos lipídeos, que é consideravelmente mais rápida (BOBBIO & BOBBIO, 1992).

A deterioração dos alimentos pelo crescimento bacteriano cessa em uma A_w abaixo de 0,9. Para as leveduras a A_w limitante está abaixo de 0,85, enquanto para os bolores está abaixo de 0,7 (BOBBIO & BOBBIO, 1992).

O efeito da variação da A_w no alimento não está relacionado apenas com o crescimento microbiano ou com a deterioração química, mas também com a deterioração de sua consistência, o que pode tornar os alimentos impróprios para o consumo ou diminuir sua aceitabilidade. Além disso, o aumento da A_w acima de limites críticos pode ter como consequência um rápido crescimento de microrganismos que, por sua vez, obriga o uso de conservantes químicos para evitar a deterioração do material (BOBBIO & BOBBIO, 1992).

Os vários processos de desidratação têm como objetivo comum a redução da atividade de água para níveis inferiores a 0,60, uma vez que nestes níveis de A_w a maioria das reações de deterioração dos alimentos é desacelerada, com exceção da reação de oxidação dos lípidios (TEIXEIRA NETO, 2001).

3.5 Textura

Nos alimentos em geral, a textura é um dos fatores mais importantes entre aqueles que afetam a preferência e a aceitação por parte dos consumidores. Para cada alimento existe uma série de fatores básicos de qualidade e uma série de características de textura que são apreciados pela maior parte dos consumidores (RODRIGUES, 1999).

Cientificamente, a textura é um conceito puramente sensorial, cuja percepção pode se distinguir entre características: mecânicas, geométricas, de composição química, acústicas, visuais e térmicas (FISZMAN, 1998). Assim, a textura é, na realidade, um conjunto de propriedades. No entanto, pode-se afirmar que o estímulo na percepção da textura é principalmente mecânico e, conseqüentemente, quase todos os métodos instrumentais de avaliação de textura são ensaios mecânicos.

Os ensaios mecânicos medem as relações entre pressão e deformação dos materiais e são eles os melhor avaliados por ensaios instrumentais, determinando parâmetros como dureza e coesividade, por exemplo. Os texturômetros universais permitem a obtenção de dados de resistência à compressão, ao cisalhamento, extrusão, corte, entre outros, com rapidez e precisão, registrando a resposta do material durante o processo de medição, através de curvas de onde se podem extrair uma série de dados (RODRIGUES, 1999).

3.6 Análise sensorial

A análise sensorial tem sido definida como um método científico usado para incitar, medir, analisar e interpretar respostas aos produtos através dos sentidos da visão, tato, paladar e olfato. O seu campo cresceu rapidamente na segunda metade do século 20, junto à expansão dos alimentos processados e do consumo de produtos industrializados. Compreende uma série de técnicas com o intuito de avaliar as respostas humanas acerca

dos alimentos e minimizar a influência em potencial da identidade de marcas e outras informações que influenciam a percepção do consumidor. É uma ciência quantitativa pela qual dados numéricos são coletados para estabelecer relações específicas entre as características dos produtos e a percepção humana, (LAWLESS & HEYMANN, 1999).

A avaliação sensorial dos alimentos pode ser realizada por métodos descritivos, discriminativos e por métodos afetivos. Os métodos descritivos geram o perfil sensorial do produto em questão quantificando a intensidade das características sensoriais do mesmo. Os métodos discriminativos determinam se há diferenças sensoriais entre amostras que possuem formulações diferentes, foram processadas em diferentes lotes, foram armazenadas em condições distintas, entre outras finalidades, podendo determinar o grau da referida diferença. Os métodos afetivos avaliam a preferência e/ou aceitação de um produto pelo mercado consumidor. O objetivo principal dos métodos afetivos é conhecer a opinião de um grupo de consumidores em relação a um ou mais produtos que disputam um mesmo segmento de mercado. A avaliação da opinião do consumidor pode ser feita quanto ao produto de forma global ou sobre certas características do produto como cor, textura, brilho, sabor, e outros atributos (STONE & SIDEL, 1993).

3.6.1 Análise descritiva quantitativa (ADQ)

O método ADQ é um método descritivo que avalia a intensidade dos atributos sensoriais presentes no produto, através de uma escala que, via de regra, é não estruturada de 9 cm ancorada em seus extremos com palavras que indicam intensidade. A ADQ foi desenvolvida por STONE *et. alii* (1974) da Tragon Corporation, USA, e através desse método é possível descrever e quantificar os atributos associados ao produto (conforme aparência, aroma, sabor e textura).

A ADQ é desenvolvida com base nas seguintes etapas:

- a) *Pré Seleção dos Provadores*
- b) *Desenvolvimento da Terminologia Descritiva*
- c) *Treinamento e Seleção dos Provadores*
- c) *Testes Sensoriais Finais*
- d) *Análise Estatística dos Resultados*

A equipe de provadores na ADQ geralmente é composta por 8 a 12 indivíduos de acordo com as exigências e as possibilidades, previamente selecionados por testes que avaliam a sua percepção sensorial. A ADQ é o instrumento da análise sensorial, logo, quanto melhor a seleção e o treinamento, maior será a precisão e exatidão dos resultados obtidos.

Após a pré-seleção dos provadores, os mesmos, em consenso, determinam qual serão os atributos avaliados. Pelo desenvolvimento da terminologia descritiva, inicialmente, os provadores avaliam sensorialmente o produto e verbalizam as sensações percebidas, discutindo-as em grupo com a ajuda do líder da equipe, utilizando para isto método tradicional ou método de rede. É um processo interativo que leva em média seis horas distribuídas em várias sessões de encontro da equipe sensorial.

O treinamento é realizado com os próprios produtos a serem avaliados e com materiais de referência, podendo-se utilizar sistemas-modelo através de, por exemplo, adição de aromatizantes para intensificação e melhor memorização por parte dos provadores. Após o treinamento usualmente se procede uma nova seleção dos provadores, com o objetivo de selecionar os que conseguem realmente discriminar as amostras, apresentam boa reprodutibilidade e produzem resultados consensuais com os demais membros da equipe sensorial. Após o treinamento e a seleção final dos provadores, os

testes sensoriais podem ser conduzidos em condições que garantam a individualidade dos provadores, bem como os demais requisitos necessários à avaliação sensorial, minimizando influências de ordem psicológica.

A análise dos resultados se procede de forma a traçar o perfil sensorial do produto, bem como avaliar através de análise de variância e teste de média, consenso entre os provadores, semelhança de critérios, bem como diferenças entre as amostras. A análise gráfica é uma alternativa para avaliação global dos resultados, através de análise multivariada dos componentes principais (ACP), mostrando as relações existentes entre as amostras, evidenciando os atributos que mais caracterizam as mesmas.

3.6.2. Métodos discriminativos

Métodos discriminativos ou de diferença são usados para detectar diferenças sensoriais que possam advir de alterações químicas ou físicas das amostras que sofreram diferentes tratamentos. Assim, diferenças nas propriedades sensoriais dos alimentos podem originar-se de variações em características genéticas, práticas agropecuárias, tratamento pré ou pós morte em animais, formulações, processamento, material de embalagem, condições de estocagem. Deste modo, tratamento térmico mais ou menos intenso pode, por exemplo, introduzir variações na textura do alimento, ou ainda, mudanças nas condições de armazenamento e nos materiais de embalagem podem aumentar ou diminuir a velocidade do processo de oxidação do produto, aumentando ou diminuindo o tempo que o mesmo levará para apresentar um sabor ou odor “oxidado”. Desta forma, testes de diferença são úteis em controle de qualidade, pesquisa e desenvolvimento de produtos.

Os testes de diferença podem ser simples, onde o provador deve responder apenas se há diferença ou não entre as amostras, ou direcionais, onde o provador é solicitado a

identificar a amostra que apresenta maior intensidade de uma determinada característica sensorial pré-definida. Os testes mais populares são: triangular, duo-trio, pareado, ordenação e comparação múltipla ou teste de diferença do controle.

3.6.3. Métodos afetivos

Os métodos afetivos podem classificar-se em testes de preferência e por testes de aceitação do produto pelo consumidor. Testes de preferência são testes de escolha forçada onde o provador é “obrigado” a escolher um produto dentre dois ou mais que lhes são apresentados, porém não indicando o grau de aceitação dos produtos avaliados. Os testes mais utilizados são: comparação pareada, ordenação e preferência múltipla variada (MEILGAARD & CIVILLE, 1987). Por sua vez, testes de aceitação avaliam o quanto um grupo de consumidores gosta ou desgosta de um produto ou mais produtos e, embora não detectem a intenção de compra diretamente, são muito úteis como testes de pesquisa de mercado. Esses sim predizem a aceitação do produto junto ao mercado consumidor. Nestes testes, o número de provadores pode variar entre 25 e 50, se o objetivo da pesquisa for comparar a aceitação de várias amostras entre si e não realizar influências quanto ao desempenho do produto junto ao mercado consumidor. Um número menor que 25 pode não apresentar diferença significativa entre as amostras analisadas e um número superior a 50 pode aumentar substancialmente a probabilidade de encontrar diferenças significativas entre elas (STONE & SIDEL, 1993).

3.7 Estabilidade de óleos e gorduras

Existe na atualidade uma intensa procura, tanto dos consumidores como dos processadores e formuladores de alimentos, por óleos e gorduras de alta estabilidade, que permitam prolongar a vida de prateleira dos seus produtos (DOBARGANES & PEREZ,

1991). Mesmo não existindo uma definição científica exata para óleos de alta estabilidade, normalmente estes tipos de óleos são quase sempre relacionados com óleos líquidos parcialmente hidrogenados, os quais são altamente resistentes ao desenvolvimento de sabores estranhos e possuem vida útil prolongada MORETTO & FETT, (1998).

Inúmeros fatores determinam a estabilidade de óleos e gorduras, destacando a composição química e as condições do processo. Quando se fala de estabilidade de óleos e gorduras, está se tentando determinar o comportamento futuro do produto, com respeito às suas características de qualidade. Este comportamento depende, além da história do material, da composição deste, pois a presença de compostos antioxidantes ou pró-oxidantes, o conteúdo de ácidos graxos insaturados, etc., determinam a estabilidade oxidativa (BARRERA-ARELLANO, 1998).

As características de óleos e gorduras ou materiais que as contêm, sempre estão relacionados com o fenômeno da rancidez que é, sem dúvida, o fator de deterioração mais importante neste tipo de produto. Rancidez é definida como "alteração de óleos e gorduras organolepticamente detectável" e que entre outras consequências ocasiona deterioração de sabor e odor, deprecia o produto e reduz seu valor nutricional.

Existem 2 tipos de rancidez, a hidrolítica e a oxidativa. A primeira refere-se à reação de hidrólise com a produção de ácidos graxos livres. Esta reação pode ser catalizada por lipases presentes em sementes oleaginosas e alimentos, ou produzidos por microorganismos. Também pode ocorrer de forma não enzimática, como nos processos de fritura, no qual a hidrólise se dá a altas temperaturas produzindo ácidos graxos livres. A rancidez oxidativa, também chamada de autooxidação, é do ponto de vista da qualidade a mais importante em óleos e gorduras. A autooxidação é um processo natural, onde ocorre uma reação do oxigênio atmosférico com as duplas ligações dos ácidos graxos insaturados,

produzindo peróxidos e hidroperóxidos (produtos primários) os quais, por uma série de reações paralelas, produzem os compostos voláteis, como aldeídos, cetonas (produtos secundários), que são característicos de produtos rancificados. A autooxidação de ácidos graxos ocorre via radical livre, que consiste basicamente em três fases: iniciação, propagação e terminação (BARRERA-ARELLANO, 1993).

Segundo BARRERA-ARELLANO, (1998) e PEREZ-CAMINO et *alii*, (1987), para assegurar uma alta estabilidade de oxidação dos óleos há necessidade de diminuir a incidência de todos os fatores que a favorecem, tais como:

- Reduzir ao máximo a incidência de temperatura e luz, que são os responsáveis pelo desencadeamento do processo de formação de radicais livres;
- Evitar a presença de metais ou traços de metais;
- Bloquear a formação de radicais livres por meio de antioxidantes, os quais, em pequenas quantidades, atuam interferindo nos processos de oxidação das gorduras.

A reação de autooxidação é impossível de evitar, porém é possível retardá-la.

3.7.1 Análises de estabilidade oxidativa de óleos e gorduras

Historicamente, o Método do Oxigênio Ativo (AOM, método AOCS Cd 12-57), conhecido também como Swift Test, foi o teste mais utilizado para a obtenção de dados sobre a estabilidade oxidativa de óleos. Foi declarado obsoleto em 11/1993 e retirado do manual da AOCS em 1996. Existem outros métodos para avaliação da estabilidade, entre eles o Schaal Oven Test onde 100g de amostra são mantidos a 65°C em uma estufa e examinados periodicamente pela determinação do índice de peróxido. O equipamento Rancimat foi lançado a alguns anos pela Brinkman Instruments e, mais recentemente foi

lançado pela Omnion Instruments o Oil Stability Instrument (OSI). Ambos instrumentos são baseados no método conductimétrico desenvolvido por Hadom e Zurcher (1974) para análise de óleos e gorduras. Este método é também conhecido como Teste de Swift modificado e hoje é um método oficial AOCS Cd 12b-92 revisado em 1993 (ANON, 1995).

O método OSI (Oil Stability Index) é definido como o período de tempo decorrido antes da aceleração rápida da oxidação, referido comumente como período de indução (PI). Seu princípio é baseado em uma corrente de ar purificado passando através da amostra de óleo ou gordura colocada em um tubo de reação dentro de um bloco termostatizado. O sistema de distribuição não aquece o ar antes de ser borbulhado através da amostra, a alimentação de ar seco pode ser regulada para mudar o fluxo e, após a passagem pela amostra, o ar é diretamente bombeado em um recipiente com água destilada. Este ar efluente contém ácidos orgânicos voláteis formados durante a oxidação do óleo que aumentam a condutividade elétrica da água. A condutividade da água é monitorada por um eletrodo e as *medições* são feitas e armazenadas continuamente por um "*software*" de coleta de dados.

O aparelho Rancimat e o OSI são versões automáticas do teste AOM, que determina a estabilidade oxidativa em óleos. No Rancimat a determinação baseia-se no fato de que se formam ácidos voláteis nos óleos oxidados no curso da reação. Induz-se a oxidação de uma amostra de óleo, que é mantida sob temperatura constante, através da passagem nesta de um fluxo de ar constante. Os produtos voláteis gerados são recolhidos em água destilada que sofre aumento de condutividade elétrica, a qual é detectada por eletrodos de platina, gerando um gráfico onde se visualiza o período de indução. A Figura 3 descreve melhor o equipamento.

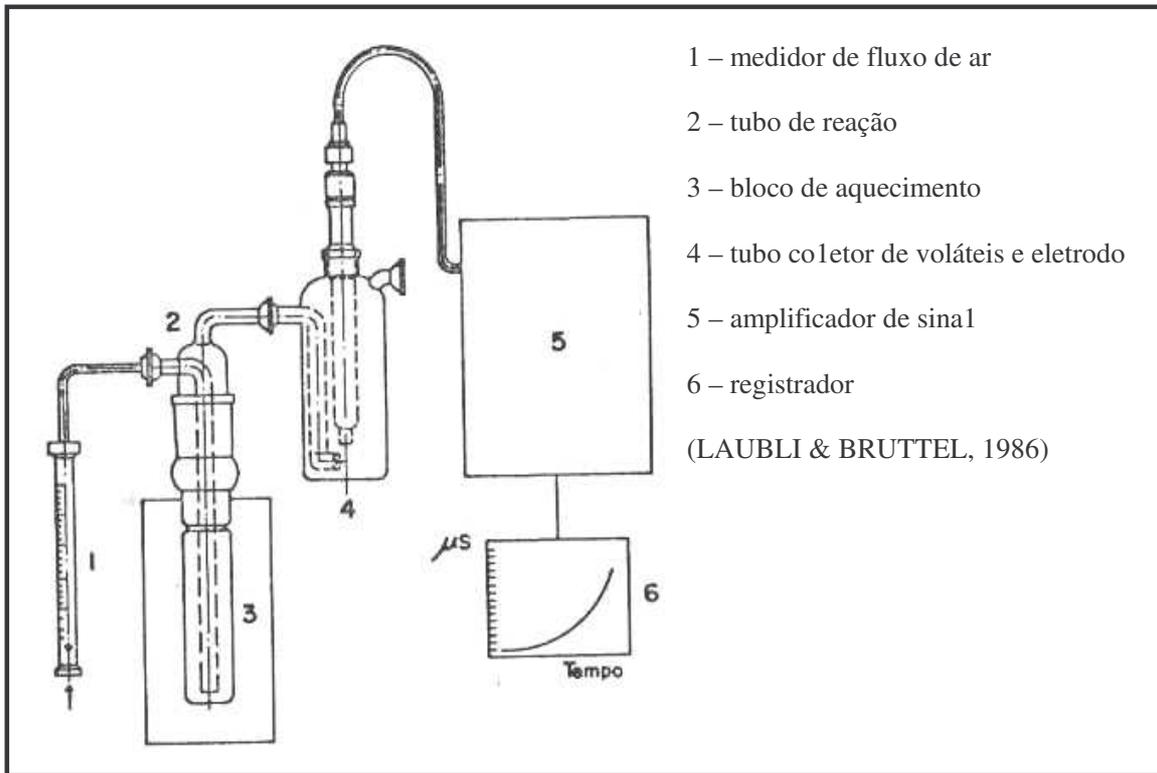


Figura 3 – Descrição esquemática do aparelho Rancimat

4.0 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Matéria-prima

A matéria prima utilizada foi a noz macadâmia (*Macadamia integrifolia* Maiden & Betche), descarpelada, com um intervalo de umidade em torno de 10 % (b.s.), que foi fornecida pela Queen Nut Macadâmia, sediada em Dois Córregos-SP. Para comparar a qualidade das amêndoas obtidas pelo processo assistido a energia de microondas combinado a aplicação de ar quente com as obtidas pelo processo convencional, amêndoas secas convencionalmente com umidade em torno de 1,5 % (b.s.) provenientes do mesmo lote foram fornecidas pela mesma empresa. A fim de se evitar a perda de umidade da amêndoa e da noz de macadâmia durante o transporte, estas foram embaladas em sacos plásticos laminados com atmosfera modificada de nitrogênio. Após a selagem, as embalagens foram transportadas por via terrestre, chegando ao LMA/DEA/FEA/UNICAMP num prazo máximo de 24 horas.

4.2 Equipamentos

- a) *Aqualab, modelo 3TE Decagon (USA)* - Este foi utilizado na verificação da atividade de água da amêndoa da noz macadâmia antes, após a secagem e durante o armazenamento.
- b) *Prensa hidráulica manual (Charlott Pressas Hidráulicas LTDA)* – Este equipamento, com 60 toneladas de força, foi utilizado na prensagem da amêndoa de noz macadâmia para obtenção do óleo a ser analisado durante o armazenamento.
- c) *Aparelho Rancimat 617 Metrohm, Herisau* – Este instrumento foi utilizado para determinar a estabilidade oxidativa na fração lipídica da amêndoa de noz macadâmia durante o armazenamento.

- d) *Texturômetro TAXT2 (Texture Technologies Corp.) com corpo de prova tipo agulha (Needle Probe – PART No. P/2N – Batch No. 2491)* – Este equipamento foi utilizado na determinação da textura da amêndoa de noz macadâmia seca, durante o período de armazenamento.
- e) *Termômetro infravermelho RAYTEK, modelo PM30 plus, acoplado a um módulo controlador PID* – Este foi utilizado para monitorar e controlar a temperatura do produto durante o processo de secagem com aplicação de microondas.
- f) *Estufa a vácuo (FANEM Mod. 099EV)* – Esta foi utilizada na determinação, pelo método oficial da AOAC, do teor de umidade presente nas amêndoas das nozes de macadâmia.
- g) *Estufa para Esterilização e Secagem (NOVA TÉCNICA Mod. NT513)* – Esta foi utilizada na determinação do teor de umidade presente nas cascas das nozes de macadâmia (aproximadamente 20 g de casca moída a 113°C / 4 horas).
- h) *Analizador de Umidade CEM, Mod. SMART 5* – Este foi utilizado alternativamente e calibrado pelo método descrito em 4.3.2.
- i) *Quebrador de noz macadâmia* – Este equipamento foi construído para funcionar de forma manual, mas visando um melhor aproveitamento do mesmo, foi adaptado um sistema de acionamento mecânico. Para tanto, foi acoplado ao mesmo, um motor e um sistema que permitia o controle da velocidade de rotação do mesmo, permitindo uma perfeita quebra da noz. A Figura 4 abaixo ilustra melhor a transformação.



Figura 4 – Quebrador de noz macadâmia: (1) alimentação; (2) motor; (3) controle de rotação

- j) *Forno de microondas adaptado* – Com o objetivo de obter uma economia de matéria-prima e tempo e também maiores informações dos parâmetros iniciais para o processo, foi utilizado nos processos de secagem um forno doméstico adaptado Brastemp, “Double Emission System”, cavidade com volume de 38 litros, modelo BMV38-A, com 900W de potência nominal máxima e ajuste de tempo, para uma operação que permitisse o controle das condições do ar de remoção da umidade gerada pela secagem. Para isso, foram removidos da porta do forno os vidros interno e externo de proteção de uma tela metálica que retém as microondas dentro da cavidade de aplicação, não permitindo seu escape. Desta forma foi possível permitir a admissão do ar dentro da cavidade do forno através do ajuste de uma peça metálica (difusor) desenhada e construída de modo a encaixar-se na porta do

mesmo. Esta peça foi interligada externamente a um sistema gerador de ar quente, composto por um ventilador centrífugo, uma válvula de esfera para controle do fluxo de ar, cuja medida é feita através de uma célula de fluxo laminar e de um manômetro “U” calibrado; ainda como parte do sistema, um aquecedor por resistência elétrica foi colocado após a seção de medição do fluxo de ar, controlada por dispositivo automático, com sensor do tipo terminal PT-100, além do que a temperatura do ar quente podia ser monitorada por termômetro digital com termopares e registrador, ambos de 2 canais. Durante todo o trajeto do ar após a sua passagem no aquecedor até a entrada no forno, o sistema foi revestido por manta de lã de vidro, para o isolamento térmico. Neste forno também foi adaptado um sistema de controle de temperatura do produto em função da potência aplicada, através de um sensor de temperatura infra-vermelho marca *RAYTEK* e de um controlador marca *NOVUS*. A adaptação do forno está mostrada nas Figura 5 e 6.

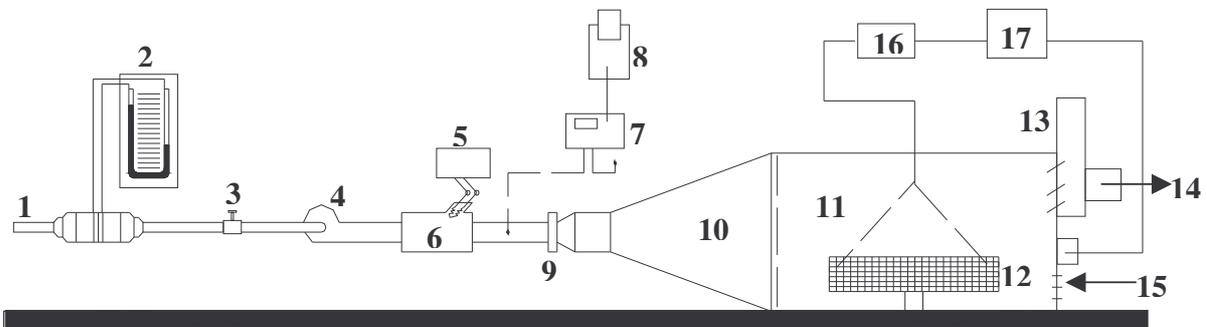


Figura 5 – Adaptação de forno de microondas doméstico: (1) entrada de ar; (2) manômetro; (3) válvula; (4) ventilador; (5) controlador de temperatura; (6) aquecedor elétrico; (7) indicador de temperatura; (8) registrador de temperatura; (9) conector rápido; (10) difusor de ar; (11) cavidade de microondas; (12) cesto de produto; (13) janela de exaustão; (14) saída de ar; (15) ar de resfriamento do gerador de microondas; (16) sensoriamento infravermelho; (17) temperatura de ajuste do controlador para chavear o sistema liga/desliga do magnetron



Figura 6 – Forno de microondas doméstico Adaptado

4.3 Métodos

4.3.1 Procedimento experimental

Após o recebimento da noz macadâmia, foram realizados os ensaios de secagem com aplicação de energia de microondas e ar quente, seguindo a metodologia do planejamento experimental. Os ensaios foram realizados no forno de microondas adaptado e para cada ensaio, foram utilizados aproximadamente 900 gramas da noz, cuja quantidade cobria toda a área do cesto, que era de: 807 cm^2 .

Após a realização dos setes ensaios iniciais, foram realizadas mais 10 repetições para cada ensaio, ou seja, fez-se então um total de 11 corridas para cada condição estabelecida no planejamento experimental. No total foram feitas 78 corridas. A realização

destas repetições teve como objetivo principal a obtenção de matéria-prima (amêndoa) para realização de todas as análises propostas, principalmente a sensorial, que necessita de uma maior quantidade de amêndoa. Em cada corrida realizada era obtido em torno de 250 gramas de amêndoa, ou seja, para cada condição de secagem, teve-se um total aproximado de 2,75 kg de amêndoa. Nota-se então, que o rendimento em amêndoas da noz macadâmia utilizada, foi em torno de 30 %.

Para medidas das temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido do ar de entrada durante os ensaios, fez-se uso de um termômetro comum. Com estas medidas, pôde-se conhecer a umidade relativa do ar de entrada no forno de microondas adaptado.

4.3.1.1 Estocagem

Após a secagem, as amêndoas obtidas foram embaladas a vácuo (Figura 6) em sacos transparentes [composto de NYLON/polietileno de baixa densidade (PEBD)] e armazenadas durante seis meses em prateleiras localizadas dentro da LMA/DEA/FEA/UNICAMP em condições ambientes (temperatura em torno de $25 \pm 3^{\circ}\text{C}$). As amêndoas recebidas de noz macadâmia seca convencionalmente, foram embaladas e armazenadas da mesma forma. As amêndoas secas mediante aplicação de energia de microondas e ar quente foram codificadas como: MW1, MW2, MW3, MW4, MW5, MW6 e MW7, já a amostra seca convencionalmente como: CVL. Durante o armazenamento foram feitas avaliações periódicas da qualidade das amêndoas, por análises do nível de peróxido, acidez, estabilidade oxidativa, composição em ácidos graxos, textura, atividade de água e análise sensorial [Análise Descritiva Quantitativa (ADQ), Teste de Aceitação e Teste de Diferença do Controle], através do emprego do instrumental e metodologias

previstas. As mesmas análises foram efetivadas com as amêndoas secas pelo processo convencional, para fins comparativos.



Figura 7 – Amêndoa de noz macadâmia embalada a vácuo

4.3.2 Determinação de umidade

O método utilizado na determinação de umidade das amostras de amêndoa de noz macadâmia foi o de nº 92540 – Umidades em Nozes e Produtos de Nozes (AOAC, 1997). Pesou-se 2g da amostra, colocando-a dentro de uma estufa a vácuo durante 5h, a uma temperatura de 95-100°C, sob uma pressão ≤ 100 mmHg (13,3 kPa), até peso constante. Este método também serviu para calibrar o equipamento descrito no item 4.2.h.

4.3.3 Índice de peróxido

Foi utilizado o método Cd 8b-90 (AOCS, 2002), com duas repetições para cada amostra (5g de óleo). O óleo extraído para análise durante o armazenamento da amêndoa foi obtido através de extração mecânica, a frio, utilizando o equipamento descrito no item 4.2.b. A avaliação ocorreu durante todo armazenamento da amêndoa.

4.3.4 Estabilidade oxidativa (período de indução)

A estabilidade oxidativa dos óleos obtidos das amostras da amêndoa de noz macadâmia seca foi determinada pelo método AOCS Cd 12b-92 (2002), utilizando o equipamento descrito no item 4.2.c. Foram feitas 2 repetições com 5g de óleo cada, utilizando temperatura de 120°C e fluxo de ar de 10 L/h.

4.3.5 Ácidos graxos livres (% AGL)

O percentual de ácidos graxos livres (%AGL), foi determinado no óleo obtido a cada tempo de armazenamento pelo método da AOCS Ca 5a-40. Foram realizadas 2 repetições com 5g de óleo cada.

4.3.6 Composição em ácidos graxos

Foi determinada através da metodologia da AOCS Ce 1f-96 (2002). O método utilizado no preparo dos ésteres metílicos foi o da AOCS Ce 2-66 (2002). Os ésteres metílicos dos ácidos graxos das amostras foram submetidos à análise por cromatografia em fase gasosa utilizando um cromatógrafo a gás, marca CGC AGILENT 6850 SERIES GC SYSTEM, com coluna capilar de sílica fundida (DB-23 Agilent, 50% cyanopropyl – methylpolysiloxane, 60 m de comprimento, 0,25 mm de diâmetro interno, 0,25 µm de espessura do filme). As condições de operação do cromatógrafo foram: Temperatura do

detector: 280°C; Temperatura do injetor: 250°C; Temperatura Forno: 110°C / 5 minutos, 110 – 215°C (5°C/min), 215°C – 24 minutos; Gás de arraste – Hélio; Volume injetado: 1,0 µL. A composição em ácidos graxos foi realizada no óleo extraído das amostras no início e no final do armazenamento da amêndoa da noz macadâmia seca por microondas, comparando-a com a composição da amostra seca convencionalmente

4.3.7 Determinação de tocoferol / tocotrienol

Foi utilizado o método oficial da AOCS Ce8 – 89(2002). Fez-se uso da cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE), as condições de operação foram: Cromatógrafo Líquido de Perkin Elmer 250; Detector de Fluorescência Shimadzu; Excitação-290 nm; Emissão-330 nm; Coluna – Merck 250 x 4 mm Li Chrosorb Si 60 (5 µm); Fase Móvel – Hexano / Isopropanol (98/2) – fluxo: 1,0 mL/min. O teor de tocoferol/tocotrienol foi determinado nas amostras de óleo extraído das amêndoas no início e no final do armazenamento da amêndoa da noz macadâmia seca por microondas, comparando-se com o teor da amostra seca convencionalmente

4.3.8 Determinação do perfil de textura

A análise da textura foi realizada através do teste de punção (“puncture test”) em texturômetro (item 4.2.d.) com corpo de prova tipo agulha (*Needle Probe – PART No. P/2N – Batch No. 2491*). Neste teste mede-se a resistência que a amêndoa oferece ao ser penetrada pelo corpo de prova a uma velocidade constante de 2 mm/seg e por uma distância de 8 mm). A penetração do corpo de prova na amêndoa causa sua fratura e/ou deformação, gerando um gráfico de força x tempo. A dureza das amêndoas foi identificada como a força máxima registrada e a área sob a curva como a energia gasta no processo. Os testes foram realizados nas amêndoas inteiras em 5 repetições para cada tratamento e tempo de

armazenamento, sendo que as amêndoas utilizadas foram separadas ao acaso e testadas sempre na mesma orientação.

4.3.9 Determinação da atividade de água

As determinações experimentais da atividade de água das amostras foram realizadas por medida direta pelo instrumento descrito no item 4.2.a. Inicialmente o equipamento foi calibrado com soluções de sais saturados, e em seguida as amostras foram preparadas e colocadas em porta-amostra de plástico inserido diretamente no aparelho; após o equilíbrio foram realizadas três leituras da atividade de água e da temperatura exata das amostras. Todas as determinações foram realizadas em triplicata.

O método utilizado fundamenta-se na determinação do ponto de orvalho da camada de ar úmido em equilíbrio com a amostra, estando o ponto de orvalho relacionado com a pressão de vapor, e por consequência com a atividade de água (NOREÑA *et al.*, 1996).

4.3.10 Análise sensorial

4.3.10.1 Análise descritiva quantitativa

Os perfís sensoriais das sete amostras que sofreram secagem por microondas e ar quente, bem como da amêndoa seca convencionalmente, foram gerados após a finalização do processamento das amêndoas, denominado tempo inicial, através de Análise Descritiva Quantitativa (ADQ) (STONE e SIDEL, 1993). Após seis meses de armazenamento das amostras nas condições detalhadas anteriormente, um novo perfil sensorial das mesmas foi desenvolvido. As informações geradas nesta etapa da pesquisa permitiram conhecer: i) o impacto de cada tratamento de secagem por microondas e ar quente sobre o perfil sensorial da amêndoa de noz macadâmia e, ii) a estabilidade do perfil sensorial de cada tratamento ao armazenamento do produto por 6 meses.

4.3.10.1.1 Pré-seleção de provadores

Os provadores que compuseram a equipe descritiva foram recrutadas, no tempo inicial de armazenamento, entre alunos da FEA/UNICAMP com base em disponibilidade de tempo, interesse em participar dos testes sensoriais, ser consumidor potencial do produto e possuir poder discriminativo para distinguir diferenças sensoriais entre as amostras.

<u>AVALIAÇÃO SENSORIAL DE NOZ MACADÂMIA</u>	
Nome: _____	Data: _____
Você está recebendo uma amostra padrão (P) e duas amostras codificadas de NOZ MACADÂMIA. Por favor prove a amostra padrão e em seguida, prove cada uma das amostras codificadas da esquerda para direita e avalie, na escala abaixo, o quanto cada amostra codificada difere, em termos globais , da amostra padrão.	
0 = nenhuma diferença 1 2 = pouca diferença 3 4 = moderadamente diferente 5 6 = muito diferente 7 8 = extremamente diferente	
Amostra _____ _____	Grau de diferença _____ _____
Comentários: _____	

Figura 8 – Modelo da ficha de aplicação do teste de diferença do controle para seleção da equipe sensorial.

Para se avaliar o poder discriminativo de cada voluntário, foi utilizado teste de diferença do controle. Utilizou-se como amostra controle ou padrão amêndoa de noz macadâmia recém processada, seca convencionalmente. Utilizou-se ainda amostra de amêndoa de noz macadâmia “velha” ou rançosa. Foram efetuadas três repetições para cada provador. A cada repetição foram apresentadas ao provador uma amostra padrão especificada com a letra P e duas amostras codificadas com números de três dígitos. O indivíduo foi solicitado a avaliar cada amostra codificada, comparando-a com a padrão, e

indicar o grau de diferença entre a amostra codificada e o padrão usando uma escala estruturada de 9 pontos, conforme a ficha empregada que pode ser observada na Figura 8.

Os resultados foram avaliados através da análise de variância (ANOVA) (O'MAHONY,1986) individual de cada provador com as seguintes fontes de variação: amostra e repetição. Foram aceitos provadores que apresentaram poder discriminativo associado a um $pF_{amostra} \leq 0,30$.

4.3.10.1.2 Desenvolvimento da terminologia descritiva

O desenvolvimento da terminologia descritiva foi realizado no tempo inicial de armazenamento, através da avaliação sensorial do produto e verbalização das percepções sensoriais de aparência, aroma, sabor e textura utilizando-se o método de Rede-Kelly Grid Repertory Method - (MOSKOWITZ, 1983). Desta forma, as amostras foram apresentadas aos provadores, aos pares e os indivíduos foram solicitados a descreverem as similaridades e diferenças entre cada par de amostras com relação aos atributos aparência, aroma, sabor e textura. Foram utilizadas para esta avaliação as 8 amostras em estudo e amostras adicionais de amêndoas secas e armazenadas em diferentes condições e períodos de tempo

Após a avaliação de todas as amostras, os provadores discutiram os termos levantados a fim de se eliminar redundâncias, sinônimos ou termos pouco citados, sendo selecionados de forma consensual os termos que melhor descreveram as similaridades e diferenças entre as amostras. A lista de termos desenvolvidos serviu de base para a definição da ficha de avaliação das amostras. Esta ficha foi elaborada associando-se a cada descritor uma escala não estruturada de 9 cm ancorada nos extremos em termos de intensidade como fraco/forte, nenhum/forte, etc. Os provadores, também de forma consensual, elaboraram uma lista de definições de cada termo descritivo desenvolvido.

Durante esta fase do projeto, a equipe também sugeriu para cada descritor, materiais de referência que auxiliaram na percepção das características sensoriais do produto avaliado. Finalmente, para cada descritor gerado, referências de intensidade foram também desenvolvidas para ancorar os extremos das escalas de intensidade visando treinamento mais adequado bem como menor variabilidade dos provadores no uso das escalas.

4.3.10.1.3 Treinamento e seleção dos provadores

O treinamento e seleção dos provadores que compuseram a equipe descritiva foi realizado no tempo inicial e no tempo final de armazenamento. Para tal foram apresentados aos provadores, variações do próprio produto (amêndoa da noz macadâmia), os materiais de referência gerados pela equipe sensorial, suas definições e a ficha descritiva gerada pela equipe. Duas vezes por semana, durante 4 semanas os provadores se reuniram por cerca de 45 minutos e foram solicitados a: i) lerem e testarem as referências; ii) avaliarem pelo menos três amostras diferentes de amêndoas macadâmia utilizando a ficha descritiva e, iii) discutirem seus resultados individuais com a equipe. Pelo treinamento os provadores foram estimulados a desenvolver sua memória sensorial para a realização dos testes posteriores e a expressarem suas percepções sensoriais em faixas similares das escalas de intensidade.

A seleção da equipe que levantou o perfil sensorial das amostras foi feita após um período de treinamento considerado adequado. O teste de seleção consistiu em solicitar que cada provador avaliasse, através da ficha descritiva, três diferentes amostras de amêndoa de noz macadâmia em três repetições. Foram utilizadas para tal, a amostra controle (seca convencionalmente) e 2 amostras secas com microondas e ar quente, MW1 e MW2. Análises de variância individuais para cada atributo foram geradas para cada provador, tendo como fontes de variação amostra e repetição. Esta análise permitiu verificar se os

providores foram capazes de discriminar as amostras apresentando boa repetibilidade e produzindo resultados consensuais com os demais membros da equipe sensorial. Assim, provedores que apresentaram $pF_{\text{amostra}} \leq 0,50$ (discutido nos resultados) e $pF_{\text{repetição}} \geq 0,05$, bem como valores médios consensuais com os demais indivíduos em 80% dos atributos, foram selecionados para compor a equipe sensorial descritiva.

Após esta etapa, a equipe selecionada realizou os testes sensoriais finais para o desenvolvimento do perfil sensorial do produto.

4.3.10.1.4 Avaliação das amostras

A equipe sensorial selecionada e treinada realizou os testes sensoriais das oito amostras de amêndoa de noz macadâmia elaboradas no início do estudo (7 seca por microondas/ar quente e 1 seca convencionalmente, conforme descrito no item 4.3.1 deste trabalho) usando cabines individuais de degustação do Laboratório de Análise Sensorial do DEPAN/FEA/UNICAMP. Cada provedor avaliou as amostras em três repetições, utilizando delineamento de blocos incompletos balanceados para controlar o efeito de contraste entre as amostras (O'MAHONY,1986). Deste modo, 8 amostras foram testadas em 3 repetições durante 8 sessões, por cada provedor, sendo que apenas 3 amostras eram entregues, de forma monádica, ao provedor em cada sessão e cada par de amostras era testado apenas 2 vezes durante a realização da análise. Durante as sessões de avaliação, os provedores tiveram à sua disposição, um copo com água e biscoito de água e sal para enxágüe bucal e a tabela com as definições dos termos descritivos presentes na Ficha de Avaliação Descritiva. As amostras foram servidas em copos plásticos codificados com algarismos de três dígitos. As intensidades dos atributos sensoriais das amostras foram

avaliadas em escala não estruturadas de 9 cm, com termos de intensidade ancorados em seus extremos.

4.3.10.1.5 Análise estatística dos resultados

Os dados obtidos foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA), tendo como fontes de variação: amostra, provador e interação da amostra/provador. Para cada descritor, testes de comparação de médias Tukey (O'MAHONY,1986) entre as amostras, ao nível de 5% de significância foram também realizados. Para tal foi utilizado o software SAS (SAS, 1993). Para a análise dos resultados foi levado em conta que diferença significativa entre os provadores ($p_{F_{\text{provador}}} \leq 0,05$) pode indicar que, apesar do treinamento, os provadores usaram diferentes porções da escala para expressar a sensação provocada por uma mesma amostra. Embora indesejável, esta ocorrência não é incomum em testes sensoriais e não impede comparações das amostras entre si. Interação amostra *versus* provador significativa ($p \leq 0,05$) pode indicar problema grave no treinamento e seleção dos provadores, ou seja, pode haver pelo menos um provador avaliando as amostras de forma não consensual com a equipe. Neste caso os dados individuais de cada provador foram avaliados comparativamente com a equipe para se verificar o nível de gravidade do problema. No caso de falta de consenso não ter sido grave, o F_{amostra} para o atributo em questão foi calculado tendo-se a $SQM_{\text{interações}}$ (somatória dos quadrados médios) em seu denominador ($F_{\text{amostra}} = SQM_{\text{amostra}} / SQM_{\text{interação amostra x provador}}$), conforme recomendado por NOBLE *et alii.* (1987). Os resultados da ADQ foram também representados graficamente através de gráfico aranha e por análise multivariada de Análise de Componentes Principais (ACP), para melhor visualização dos mesmos.

4.3.10.2 Aceitação sensorial

Os testes de aceitação com as 7 amostras geradas pelos diferentes ensaios com aplicação de energia de microondas e ar quente, bem como com a amostra seca convencionalmente, foram realizados no tempo inicial, após 90 e 180 dias de armazenamento, em cabines individuais de degustação com luz branca no Laboratório de Análise Sensorial do DEPAN/FEA/UNICAMP. As amostras foram entregues aos provadores (aproximadamente 10g, equivalente a 4 amêndoas) em pratos plásticos, codificados com número de três dígitos, acompanhados de um copo de água para ser utilizado pelo provador para enxágue bucal entre uma avaliação e outra. Para os testes de aceitação, foram inicialmente recrutados cerca de 50 indivíduos entre alunos e funcionários da UNICAMP. Os indivíduos preencheram uma ficha contendo uma explicação sobre os objetivos do teste e a metodologia a ser empregada na análise sensorial, informando o nome, idade, ocupação e o quanto gostavam ou desgostavam de noz macadâmia. Indivíduos que demonstraram gostar do produto em grau moderado ou maior e que assinaram o termo de consentimento esclarecido, foram selecionados para participar do teste. Após a definição da equipe de consumidores, foi realizado o teste de aceitação onde todos os oito tratamentos foram avaliados por todos os consumidores selecionados. Assim, 30 provadores avaliaram as oito amostras em duas sessões de análises, sendo que na primeira sessão, as amostras testadas foram a amostra padrão (amostra submetida a secagem convencional - CVL) e as amostras MW1, MW2 e MW3. Na segunda sessão as amostras em teste foram a MW4, MW5, MW6 e MW7. As amostras foram apresentadas de forma monádica e para a avaliação os consumidores utilizaram ficha visualizada na Figura 9, avaliando a aceitação quanto à aparência, crocância e modo geral e atitude de compra.

AVALIAÇÃO SENSORIAL DE NOZ MACADÂMIA

Nome: _____ Idade: _____ Data: ____/____/____ Amostra _____

1. Você está recebendo uma amostra codificada de **NOZ MACADÂMIA**. Avalie a **APARÊNCIA** da mesma.
Na escala, indique o quanto você gostou ou desgostou da **APARÊNCIA** da amostra.

- gostei e extremamente
- gostei muito
- gostei moderadamente
- gostei ligeiramente
- nem gostei/nem desgostei
- desgostei ligeiramente
- desgostei moderadamente
- desgostei muito
- desgostei e extremamente

2. Comente o que você mais gostou e menos gostou na **APARÊNCIA** da amostra.

+ Gostou: _____

- Gostou: _____

3. Agora, por favor, **PROVE** a **NOZ MACADÂMIA** e indique, na escala abaixo, o quanto você gostou ou desgostou **DE UM MODO GERAL** da mesma:

- gostei e extremamente
- gostei muito
- gostei moderadamente
- gostei ligeiramente
- nem gostei/nem desgostei
- desgostei ligeiramente
- desgostei moderadamente
- desgostei muito
- desgostei e extremamente

4. Comente o que você mais gostou e menos gostou **DE UM MODO GERAL** da amostra.

+ Gostou: _____

- Gostou: _____

5. Agora, por favor, **PROVE** novamente a **NOZ MACADÂMIA** e indique, na escala abaixo, o quanto você gostou ou desgostou **DA CROCÂNCIA** da mesma:

- gostei e extremamente
- gostei muito
- gostei moderadamente
- gostei ligeiramente
- nem gostei/nem desgostei
- desgostei ligeiramente
- desgostei moderadamente
- desgostei muito
- desgostei e extremamente

6. Comente o que você mais gostou e menos gostou **DA CROCÂNCIA** da amostra.

+ Gostou: _____

- Gostou: _____

7. Com base na sua opinião sobre esta amostra, indique, na escala abaixo, sua atitude se você encontrasse esta amostra à venda. **Se eu encontrasse esta NOZ MACADÂMIA à venda eu:**

- certamente compraria
- possivelmente compraria
- talvez comprasse/talvez não comprasse
- possivelmente não compraria
- certamente não compraria

Figura 9 – Modelo de ficha do teste de aceitação

Os dados do teste de aceitação foram submetidos à análise de variância (ANOVA) com fontes de variação (provador, amostra), teste de média Tukey e os resultados expressos em histograma de barras (consumidores x categorias de escala hedônica). Para a escala de intenção de compra a análise foi realizada somente de forma gráfica.

4.3.10.3 Estabilidade sensorial do produto durante o armazenamento

A estabilidade sensorial de cada um dos 7 ensaios (amostras secas por microondas e ar quente), durante o armazenamento, foi avaliada através do teste de diferença do controle. A amostra controle/padrão foi aquela seca convencionalmente (CVL) e submetida às mesmas condições de estocagem das 7 amostras secas com aplicação de microondas e ar quente.

Assim a cada 30 dias as amostras secas dos 7 ensaios realizados por microondas e ar quente foram avaliados comparativamente à amostra padrão, utilizando-se a ficha apresentada na Figura 8. Participaram de todas as análises 20 indivíduos dentre alunos e funcionários da FEA/UNICAMP previamente selecionados com base no poder discriminativo conforme anteriormente especificado. A cada sessão foi apresentada ao provador uma amostra padrão especificada com a letra P e quatro a cinco amostras codificadas com números de três dígitos. O indivíduo foi solicitado a avaliar cada amostra codificada, comparando-a com a padrão, e indicar o grau da diferença entre a amostra codificada e a padrão usando uma escala estruturada de 9 pontos segundo o modelo de ficha citado. Os provadores compararam as 7 amostras submetidas à secagem por microondas e ar quente com a amostra padrão (CVL) em 2 sessões, sendo que na primeira sessão as amostras em comparação com o padrão eram MW1, MW2 e MW3 e na segunda, eram as amostras MW4, MW5, MW6 e MW7.

Os dados obtidos por este teste foram submetidos à análise de variância (ANOVA), para avaliar a existência de diferença significativa, ($p \leq 0.05$), entre pelo menos uma das amostras e a amostra padrão, e o teste de médias de Dunnet ($p \leq 0.05$) (O'MAHONY,1986), para avaliar qual das amostras diferia do padrão e o grau desta diferença.

4.3.11 Estudo da cinética de secagem

A cinética de secagem foi estudada mediante plotagens do termo adimensional de umidade em base seca em função do tempo de processo e da taxa de secagem em função do teor de umidade em base seca.

4.3.11.1 Modelagem matemática da cinética de secagem

A teoria da migração de água por difusão, baseada na segunda lei de Fick, foi considerada no estudo da cinética de secagem. Considerando que a noz macadâmia é representada por uma esfera, pode se fazer uso da Equação 9 proposta por Crank (1975), a fim de se realizar a modelagem da cinética de secagem. O termo X_t (% b.s.) da referida equação é a média da umidade do produto no tempo t (min); X_e (% b.s.) é a umidade de equilíbrio do produto, calculado como 1,8 % (b.s.), de acordo com XAVIER *et alii* (1996); X_0 (% b.s.) é a umidade inicial do produto; D_{ef} (m²/min) é a difusividade efetiva e R (m) é o raio da esfera.

A difusividade efetiva foi calculada usando a seguinte equação:

$$k = \frac{D_{ef} \pi^2}{R^2} \quad \text{Eq. (14)}$$

O modelo matemático de secagem do presente trabalho levou em conta a transferência de massa com as seguintes considerações:

- ◆ Taxa decrescente e Geometria esférica;
- ◆ Transporte Unidirecional;
- ◆ Densidade da amostra durante a secagem não depende da posição;
- ◆ Distribuição inicial de densidade uniforme;
- ◆ O material é homogêneo;
- ◆ O processo é quase isotérmico;
- ◆ A distribuição da umidade inicial no material é uniforme;
- ◆ A difusividade efetiva é constante;
- ◆ Desprezam-se as resistências externas ao transporte de massa;
- ◆ Não existe encolhimento do material.

4.3.11.2 Ajuste dos modelos matemáticos

Os ajustes dos modelos aos dados experimentais da cinética de secagem foram realizados mediante procedimento de regressão linear e não linear do pacote STATISTICA 5.0. O critério de escolha dos melhores ajustes foi a determinação do coeficiente de regressão (R^2) entre as respostas observadas e os valores preditos pelo modelo (BARROS NETO *et alii*, 1996) e o módulo do desvio relativo médio (P) cuja definição encontra-se descrita pela Equação 15 (LOMAURO *et alii*, 1985):

$$P = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|V_p - V_0|}{V_0} \quad \text{Eq. (15)}$$

onde:

P = desvio relativo médio (%);

V_p = valores preditos pelo modelo;

V_0 = valores observados experimentalmente;

N = número de pontos experimentais.

4.3.12 Planejamento experimental

A fim de se estudar a influência de algumas variáveis e o comportamento da noz macadâmia durante as secagens, foi utilizada a metodologia do planejamento experimental, onde foi aplicado um planejamento fatorial completo 2^2 com 3 pontos centrais (Tabela 4). Segundo BARROS NETO *et alii* (1996), um planejamento fatorial completo requer a execução de experimentos para todas as possíveis combinações dos níveis dos fatores. Esta metodologia foi aplicada no processo de secagem proposto, sendo que as variáveis e seus níveis (Tabela 3) bem como as respostas a serem estudadas em cada planejamento, foram determinadas após a realização de testes preliminares. A análise do comportamento do produto foi realizada por tratamento estatístico dos dados obtidos pelo programa *Statistica* versão 5.0 (Microsoft, 1995). A variável independente T_{ajuste} corresponde a temperatura de ajustada no controlador que era usado para chavear o sistema liga/desliga do magnetron (gerador de microondas) e, esta temperatura era lida na superfície da noz (casca) através de um sensor de infra-vermelho conforme descrito na Figura 4.2 (j).

Tabela 3 – Níveis do planejamento experimental do processo de secagem com microondas

Variáveis independentes	-1	0	1
T ar entrada (°C)	58	60	62
T ajuste (°C)	64	66	68

Tabela 4 – Planejamento experimental do processo de secagem com microondas

Ensaio	Variáveis independentes			Variáveis dependentes			
	T _{ar} (°C)	T _{ajuste} (°C)	IP (meqO ₂ .kg ⁻¹ de óleo)	AGL (%)	PI (h)	Aw	Textura (N)
MW1	-1	-1	-	-	-	-	-
MW2	+1	-1	-	-	-	-	-
MW3	-1	+1	-	-	-	-	-
MW4	+1	+1	-	-	-	-	-
MW5	0	0	-	-	-	-	-
MW6	0	0	-	-	-	-	-
MW7	0	0	-	-	-	-	-

IP – Índice de peróxido; AGL – Ácidos graxos livres (%); PI - Período de indução (h); Aw – Atividade de água

5.0 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Estudo da cinética de secagem da noz macadâmia

A Tabela 5 mostra os resultados obtidos nos ensaios de secagem com aplicação de energia de microondas e ar quente, realizados no forno de microondas adaptado. Os valores de X_0 e X_f são referentes às umidades iniciais e finais das amostras, em base seca. As densidades de potência (DP, em W/g) na Tabela 5 foram calculadas dividindo-se a potência aplicada em cada ciclo de secagem pela média da massa de amostra durante o ciclo.

Tabela 5 – Resultados dos ensaios realizados no forno de microondas adaptado

Ensaio n°	DP (W/g)	RH _{ar} (%)	T _{ar} (°C)	T _{ajuste} (°C)	T _{produto} (°C)	X _{0 noz} (%)	X _{f noz} (%)	X _{0 amêndoa} (%)	X _{f amêndoa} (%)	t _{teste} (min)
MW1	0,349	58,70	58 ± 0,5	64	56 – 61	10,19	3,79	3,60	1,51	330
MW2	0,348	59,60	62 ± 0,5	64	57 – 61	9,80	3,72	3,40	1,50	330
MW3	0,349	57,00	58 ± 0,5	68	60 – 65	9,98	3,70	3,50	1,49	270
MW4	0,349	58,50	62 ± 0,5	68	60 – 65,5	10,19	3,75	3,60	1,52	270
MW5	0,349	58,7	60 ± 0,5	66	58 – 63	9,80	3,73	3,40	1,52	300
MW6	0,349	56,9	60 ± 0,5	66	59 – 63	9,98	3,74	3,50	1,54	300
MW7	0,349	60,30	60 ± 0,5	66	58 – 63	10,19	3,78	3,60	1,55	300

O estudo da cinética de secagem foi realizado através da análise dos ensaios de secagem da noz macadâmia com aplicação de energia de microondas e ar quente. Foram realizados 7 ensaios, sendo que os parâmetros utilizados foram temperatura do ar de entrada a 58, 60 e 62°C e temperatura de ajuste de 64, 66 e 68°C, de acordo com o planejamento experimental apresentado no item 4.3.7.

A massa inicial da noz foi fixada em 0,9 kg durante todos os ensaios, a potência de microondas utilizada nos ensaios foi de 300 W e a vazão do ar de entrada e a velocidade do ar foram fixadas em 2,8 m³/min e 1,0 m/s, respectivamente. As pesagens das amostras foram realizadas a cada 30 minutos até a finalização da secagem. Os processos de secagem foram conduzidos até a umidade atingir um valor próximo de 3,7% b.s. e, conseqüentemente, amêndoas com umidade em torno de 1,5% b.s.

As Figuras 10, 11 e 12 apresentam os ajustes das curvas de secagem da noz macadâmia para todos os ensaios do planejamento fatorial completo 2², onde as curvas apresentam os termos da umidade adimensional experimental e observada pelo modelo difusional “Fick” versus o tempo de secagem.

Pelas Figuras 10 e 11, observa-se que a temperatura influencia a cinética de secagem, com o aumento da temperatura diminuindo o tempo de secagem das nozes. Porém, verifica-se que a temperatura de ajuste teve maior influência no processo de secagem do que a temperatura do ar de entrada, haja visto que o tempo de secagem só se alterou quando houve o aumento da temperatura de ajuste. Um exemplo desta afirmação pode ser visto na comparação dos ensaios MW3 e MW4, nota-se que mesmo aumentando a temperatura do ar de entrada de 58°C para 62° e fixando a temperatura do ajuste em 68°C, o tempo de secagem foi o mesmo, ou seja, o tempo de secagem não é alterado, indicando que a temperatura do ajuste é a variável mais significativa no processo de secagem da noz macadâmia com aplicação de energia de microondas e ar quente. Pela Figura 12, observa-se que houve um mesmo tempo de secagem para os ensaios MW5, MW6 e MW7 que representam o ponto central do planejamento, este tempo já era esperado, pois as condições das variáveis utilizadas se repetem.

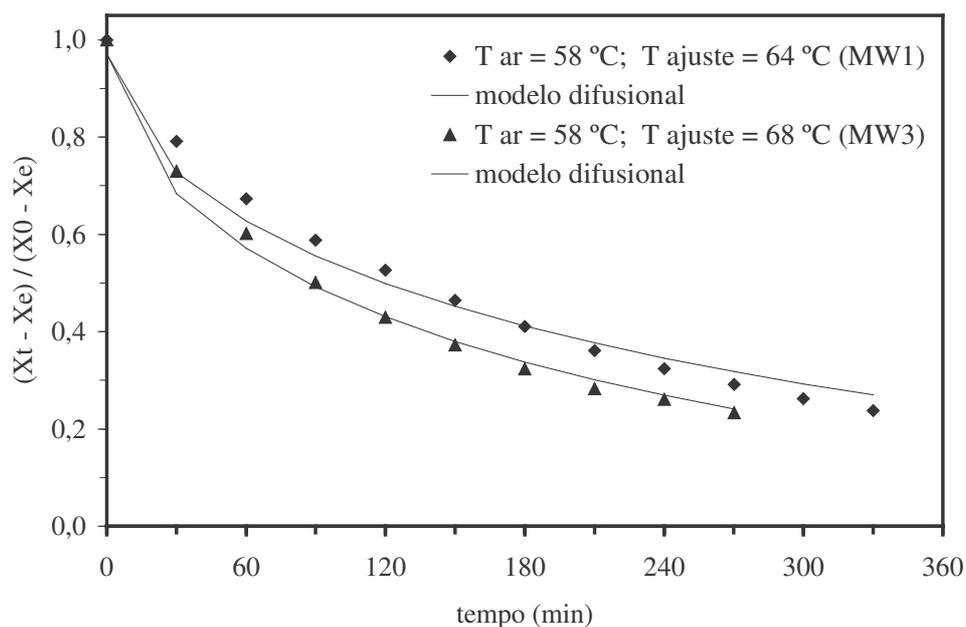


Figura 10 – Ajustes das curvas de secagem da noz macadâmia seca com aplicação de energia de microondas e ar quente pelo modelo difusional “ Fick” - ensaios MW1 e MW3

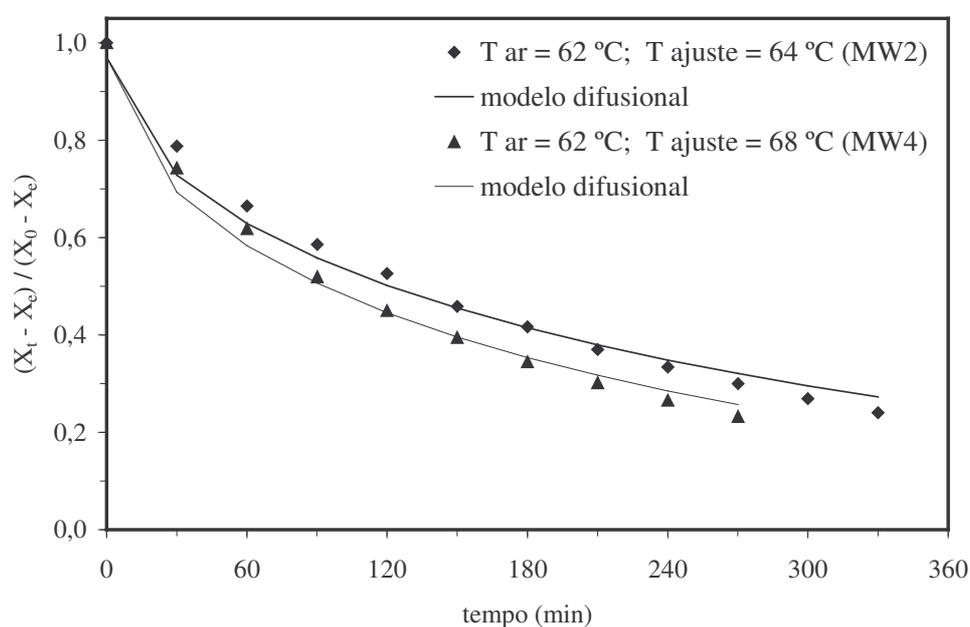


Figura 11 – Ajustes das curvas de secagem da noz macadâmia seca com aplicação de energia de microondas e ar quente pelo modelo difusional “ Fick” - ensaios MW2 e MW4

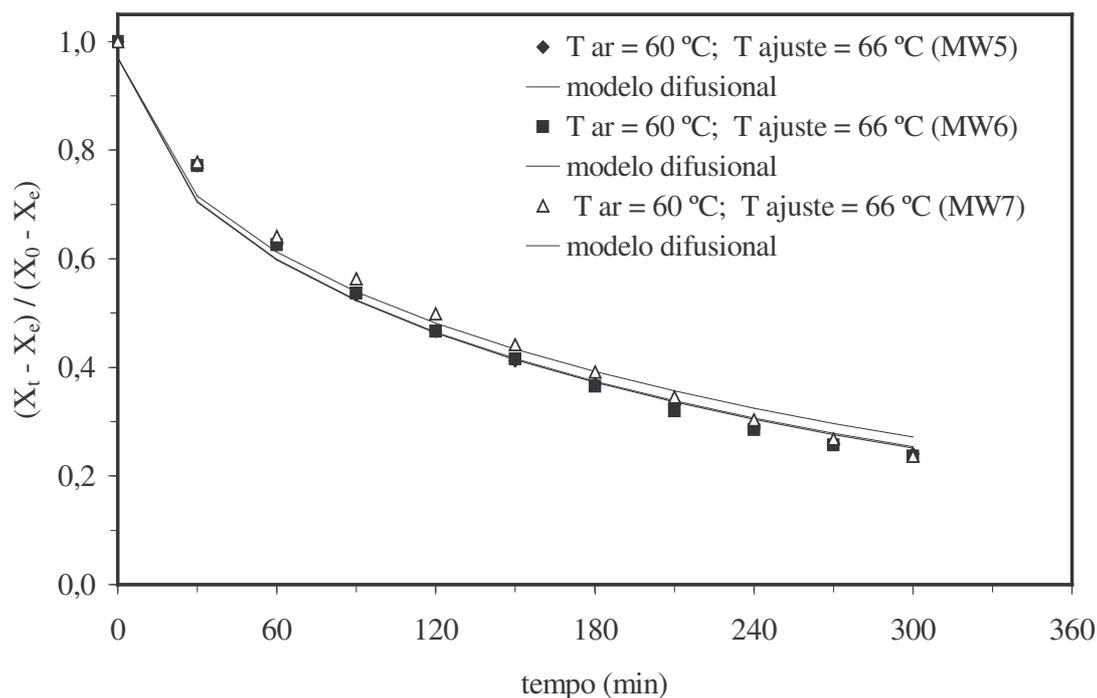


Figura 12 – Ajustes das curvas de secagem da noz macadâmia seca com aplicação de energia de microondas e ar quente pelo modelo difusional “Fick”- ensaios MW5, MW6 e MW7

A Figura 13 mostra a taxa de secagem em função da umidade em base seca para as várias combinações de temperatura do ar de secagem e do produto para a noz macadâmia seca com o processo de combinação de energia de microondas e ar quente.

Observou-se pela Figura 13 que as taxas de secagem são mais altas no início do processo de secagem, quando o conteúdo de umidade é maior. Nos períodos iniciais do processo de secagem ocorre um rápido declínio nas taxas de secagem para todos os ensaios. Após esse período de rápido declínio nas taxas de secagem e abaixo de um determinado conteúdo de umidade, as curvas de taxa de secagem continuam a cair, mas de forma gradual e lenta, quase de forma linear até as condições de equilíbrio. De fato, abaixo desse conteúdo de umidade crítico, as diferenças nas taxas de secagem entre os ensaios não são muito claramente observadas.

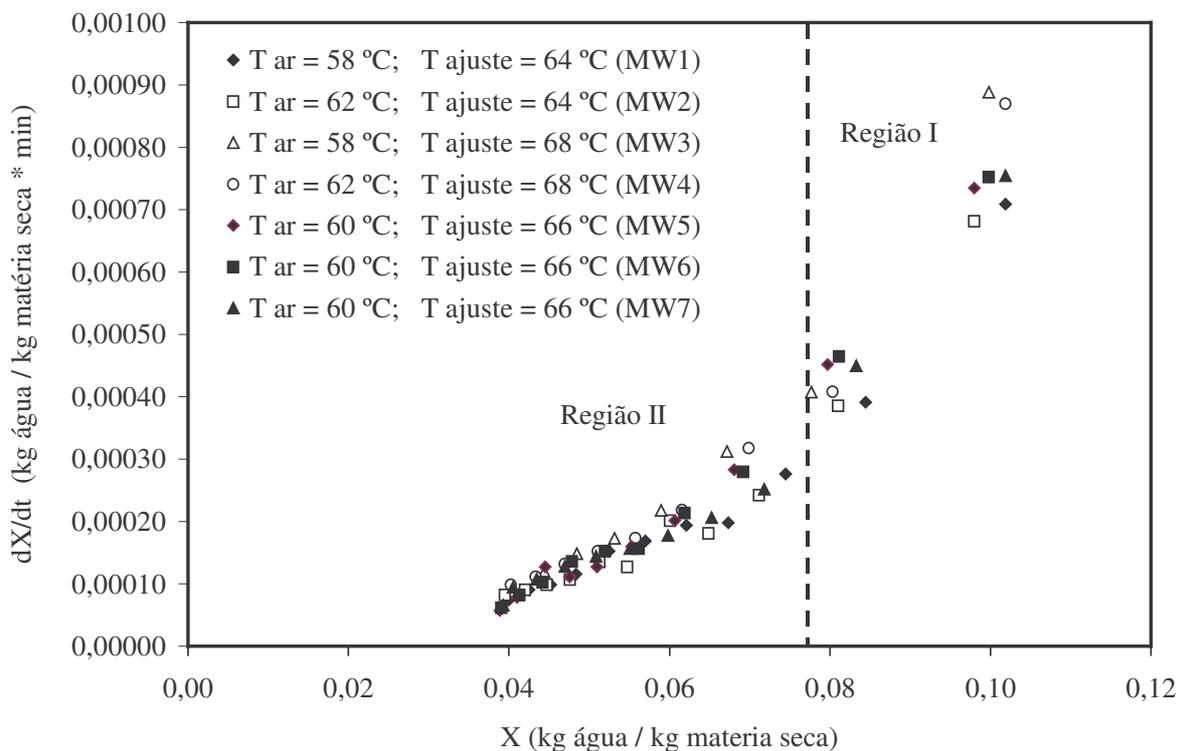


Figura 13 – Taxa de secagem em função da umidade em base seca para a noz macadâmia seca com aplicação de energia de microondas e ar quente

Pela Figura 13 observa-se também que no início do processo de secagem o uso de uma maior temperatura (principalmente a temperatura do ajuste) aumenta as taxas de secagem, esta afirmação fica evidente nos ensaios MW3 e MW4.

As modelagens das curvas de secagem foram realizadas com os 10 primeiros termos da série encontrados pelo uso do modelo. Os dados experimentais das cinéticas de secagem estão apresentados no Apêndice II, nas Tabelas A1 a A7.

Na Tabela 6 são apresentados os valores encontrados da difusividade efetiva (D_{ef}), do coeficiente de correlação R^2 e o desvio relativo médio (P) para cada tratamento do planejamento. Para determinar a difusividade efetiva, utilizou-se o software Statistica 5.0, considerando-se que o produto final fosse uma esfera e utilizando o método de ajuste não

linear tomando os N primeiros termos da solução exata, Equação (9), do modelo de Fick para essa geometria. Utilizou-se um diâmetro médio de 2,39 cm, obtido pela média da medida do diâmetro de 100 nozes. Obteve-se o melhor ajuste para N=10 pelo critério do coeficiente de correlação, R^2 , mais próximo de 1. A espessura média da casca da noz macadâmia utilizada nos processos de secagem com microondas e ar quente foi igual a 0,5 cm.

Tabela 6 – Valores da difusividade efetiva, coeficiente de correlação (R^2) e desvio relativo médio (P) para o modelo difusional (noz macadâmia, casca e amêndoa)

Teste n°	T _{ar} (°C)	T _{ajuste} (°C)	k (1/min)	$D_{ef} \times 10^{10}$ (m ² /s)	R^2	P (%)
MW1	58 ± 0,5	64	0,00252	6,08	0,979	6,39
MW2	62 ± 0,5	64	0,00249	6,01	0,983	5,32
MW3	58 ± 0,5	68	0,00348	8,39	0,991	3,61
MW4	62 ± 0,5	68	0,00325	7,84	0,988	4,48
MW5	60 ± 0,5	66	0,00297	7,17	0,987	3,73
MW6	60 ± 0,5	66	0,00300	7,24	0,986	4,31
MW7	60 ± 0,5	66	0,00275	6,72	0,983	5,57

Pela Tabela 6, percebe-se que o modelo difusional “Fick” utilizado ajustou-se muito bem aos dados experimentais, apresentando valores de erro relativo médio (P) bastante aceitáveis. O aumento da variável temperatura de ajuste nos ensaios de secagem favoreceu o processo de transferência de massa e, conseqüentemente, o aumento da difusividade efetiva (D_{ef}). Os valores de D_{ef} estão plenamente em concordância com os dados de taxa de secagem, uma vez que a D_{ef} representa a velocidade com qual a água é retirada do interior

do material. Vale observar que a transferência de massa deve ter ocorrido em maior velocidade na casca da noz, uma vez que este constituinte da noz apresenta sempre maior teor de umidade em relação a amêndoa.

5.2 Estabilidade oxidativa das amêndoas de noz macadâmia secas com aplicação de energia de microondas e ar quente

5.2.1 Ácidos graxos livres (% ácido oléico) em função do tempo de armazenamento das amêndoas de noz macadâmia

Realizando a análise da regressão linear dos valores de acidez da fração lipídica das amêndoas de noz macadâmia em função do tempo de armazenamento (Tabela 7), verificou-se que não houve correlação linear significativa ($p \leq 0,05$) para todos os ensaios realizados.

Tabela 7 – % ácidos graxos livres presentes na fração lipídica de amêndoas de noz macadâmia (*M. integrifolia*) secas com aplicação de energia de microondas e ar quente

AGL – ÁCIDOS GRAXOS LIVRES (%)									
Tempo (dias)	MW1	MW2	MW3	MW4	MW5	MW6	MW7	CVL	*C
0	0,095 ^a	0,097 ^a	0,096 ^a	0,096 ^a	0,095 ^a	0,094 ^a	0,094 ^a	0,123 ^a	0,055 ^a
90	0,110 ^a	0,112 ^a	0,109 ^a	0,109 ^a	0,094 ^a	0,111 ^a	0,110 ^a	0,136 ^a	0,054 ^a
180	0,113 ^a	0,122 ^a	0,124 ^a	0,109 ^a	0,129 ^a	0,123 ^a	0,113 ^a	0,148 ^a	0,055 ^a

Em cada coluna amostras com a mesma letra não são significativamente diferentes (5% / Tukey)
 (*)Código da amostra de controle, sendo que esta permaneceu in natura e foi armazenada a menos 18°C durante o tempo de armazenamento

A acidez apresentada na fração lipídica da amêndoa de noz macadâmia (Tabela 8) foi bastante baixa e praticamente não se alterou durante todo o período de armazenamento, podendo-se concluir que não ocorreram reações hidrolíticas no produto. A inativação de enzimas que geralmente estão envolvidas no processo hidrolítico durante o processamento (secagem) das amêndoas de noz macadâmia provavelmente deve ser o fator responsável por este comportamento. Pelo teste de Tukey, observou-se que não foi apresentada diferença significativa entre os valores de % AGL durante o armazenamento da amêndoa da noz macadâmia para todos os ensaios, inclusive para a amostra seca convencionalmente (CVL) e a de controle (C). Nota-se também que os valores de % AGL ficaram bem abaixo do limite máximo tolerado para óleos brutos estipulado pela legislação brasileira (ANVISA – Resolução nº 482, de 23 de setembro de 1999) que é de 1,5 % AGL. A Figura 14 mostra melhor o comportamento dos valores do % AGL durante o armazenamento.



Figura 14 – Perfil dos valores do % AGL durante o armazenamento de amêndoas de noz macadâmia secas com aplicação de energia de microondas e ar quente

5.2.2 Índice de peróxido em função do tempo de armazenamento das amêndoas de noz macadâmia

A análise de regressão linear dos valores de índice de peróxido da fração lipídica das amêndoas de noz macadâmia secas com aplicação de energia de microondas e ar quente em função do tempo de armazenamento (Tabela 8) mostrou que existe correlação linear significativa ($p \leq 0,05$) para ambos os ensaios, pois em todos os ensaios os índices de peróxidos se alteraram em função do tempo de armazenamento.

Tabela 8 – Índice de peróxido presentes na fração lipídica de amêndoas de noz macadâmia (*M. integrifolia*) secas com aplicação de energia de microondas e ar quente

IP- ÍNDICE DE PERÓXIDO (meqO ₂ .kg ⁻¹ de óleo)									
tempo (dias)	MW1	MW2	MW3	MW4	MW5	MW6	MW7	CVL	*C
0	0,80 ^c	0,77 ^b	0,84 ^b	0,80 ^b	1,10 ^c	1,13 ^c	1,06 ^b	1,52 ^c	0,54 ^a
90	1,73 ^b	2,14 ^a	1,68 ^{ab}	2,17 ^a	2,12 ^b	1,90 ^b	2,30 ^a	2,83 ^b	0,55 ^a
180	2,57 ^a	2,32 ^a	2,55 ^a	2,56 ^a	2,49 ^a	2,47 ^a	2,45 ^a	3,29 ^a	0,54 ^a

Em cada coluna amostras com a mesma letra não são significativamente diferentes (5% / Tukey)
 (*)Código da amostra de controle, sendo que esta permaneceu in natura e foi armazenada a menos 18°C durante o tempo de armazenamento

Analisando os resultados de avaliação de índices de peróxidos apresentados na Tabela 7, constatou-se que durante o tempo de armazenamento estes valores aumentaram, sendo que somente nos ensaios MW2, MW4 e MW7 os valores dos dois últimos períodos (90 e 180 dias) permaneceram estáveis. A amostra seca convencionalmente (CVL) foi a que apresentou o maior valor de índice de peróxido desde o início até ao final do período de armazenamento, indicando que o processo de secagem com aplicação de microondas e ar quente agrava menos as reações oxidativas da amêndoa e isto se deve principalmente ao fato de que neste processo o tempo de secagem é bem menor quando se compara com os tempos de secagem obtidos pelo processo convencional, ou seja, o produto fica menos

tempo exposto a temperaturas elevadas. Nota-se que, apesar do aumento destes valores, os índices de peróxido obtidos não alcançaram o limite máximo tolerado para óleos brutos estipulado pela legislação brasileira (ANVISA – Resolução nº 482, de 23 de setembro de 1999) que é de 10 meq O₂ kg⁻¹. O aumento deste índice durante o armazenamento é indicativo de que já tiveram início reações oxidativas nas amostras armazenadas. A variação apresentada nos índices de peróxidos deve estar relacionada com as diferentes condições utilizadas na secagem, pois a amostra controle (C) apresentou valores praticamente iguais durante todo o tempo de armazenamento. A Figura 15 mostra melhor o comportamento dos níveis de peróxidos durante o armazenamento.

Pelo teste de Tukey a primeira diferença significativa no nível de peróxido ocorreu a 90 dias de armazenamento para todos os ensaios, enquanto que para a amostra de controle (CM), em nenhum período o nível de peróxido se diferenciou do seu valor inicial.

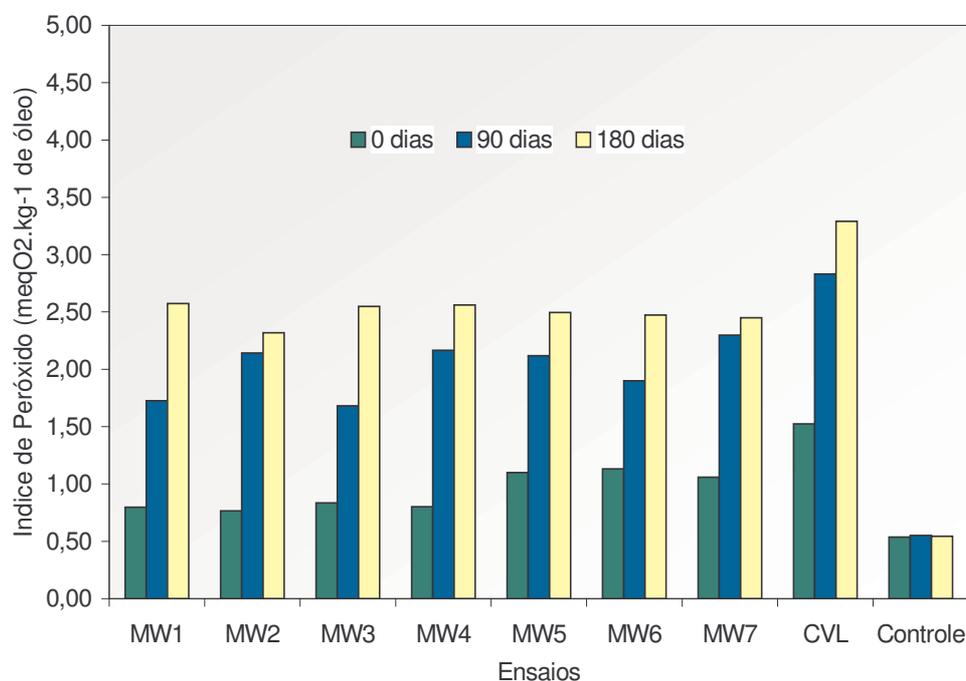


Figura 15 – Perfil dos índices de peróxidos durante o armazenamento de amêndoas de noz macadâmia secas com aplicação de energia de microondas e ar quente

5.2.3 Período de indução em função do tempo de armazenamento das amêndoas de noz macadâmia

A Tabela 9 abaixo apresenta os valores de estabilidade oxidativa (período de indução) determinado na fração lipídica de amêndoas de noz macadâmia secas através da aplicação de energia de microondas e ar quente. Esta estabilidade pôde ser estimada através de testes acelerados, onde o fluxo de oxigênio e a temperatura empregada permitiram uma rápida alteração. No processo de deterioração oxidativa há um período inicial denominado período de indução onde a velocidade de reação é baixa e, quanto maior o período de indução de um óleo, mais estável ele é. Com o tempo de armazenamento, o período de indução tende a diminuir (RAUEN-MIGUEL, 1992).

Tabela 9 – Período de indução determinado na fração lipídica de amêndoas de noz macadâmia (*M. integrifolia*) secas com aplicação de energia de microondas e ar quente

PERÍODO DE INDUÇÃO (h)									
Tempo (dias)	MW1	MW2	MW3	MW4	MW5	MW6	MW7	CVL	*C
0	14,8 ^b	16,7 ^b	16,2 ^b	15,4 ^b	19,1 ^b	14,9 ^b	13,5 ^b	11,9 ^b	20,5 ^a
90	17,3 ^a	15,1 ^b	19,7 ^a	16,0 ^b	17,9 ^b	14,2 ^b	14,9 ^b	11,7 ^b	18,3 ^a
180	14,5 ^b	23,2 ^a	21,0 ^a	17,6 ^a	21,3 ^a	22,0 ^a	20,8 ^a	14,6 ^a	23,5 ^a

Em cada coluna amostras com a mesma letra não são significativamente diferentes (5% / Tukey)
(*Código da amostra de controle, sendo que esta permaneceu in natura e foi armazenada a menos 18°C durante o tempo de armazenamento)

Fazendo a análise de regressão linear dos valores de período de indução (Tabela 9), estes mostraram que existe correlação linear significativa ($p \leq 0,05$) para ambos os ensaios, pois em todos os ensaios estes valores se alteraram em função do tempo de armazenamento. Nota-se porém, que neste estudo era esperado uma diminuição do período de indução ao final do período de armazenamento, mas aconteceu o contrário, o que talvez pode ser

explicado pela possível ocorrência de algum tipo de problema no equipamento utilizado, já que a tendência do período de indução é diminuir com o aumento do valor do índice de peróxido e estes valores de índices de peróxidos (Tabela 7) tiveram, mesmo que pequeno, um aumento gradual durante o período de armazenamento. Pelo teste de Tukey a primeira diferença significativa no índice de estabilidade oxidativa ocorreu ao final do armazenamento para quase todos os ensaios, sendo que somente nos ensaios MW1 E MW3 esta diferença ocorreu já aos 90 dias do armazenamento, enquanto que para a amostra de controle (*C), em nenhum período o índice de estabilidade oxidativa se diferenciou do seu valor inicial. Nota-se também que os menores valores de período de indução obtidos foram o da amostra seca convencionalmente (CVL) evidenciando que o processo convencional de secagem afeta negativamente a vida de prateleira da amêndoa de noz macadâmia. A Figura 16 mostra melhor o comportamento dos índices de estabilidade oxidativa durante o armazenamento.

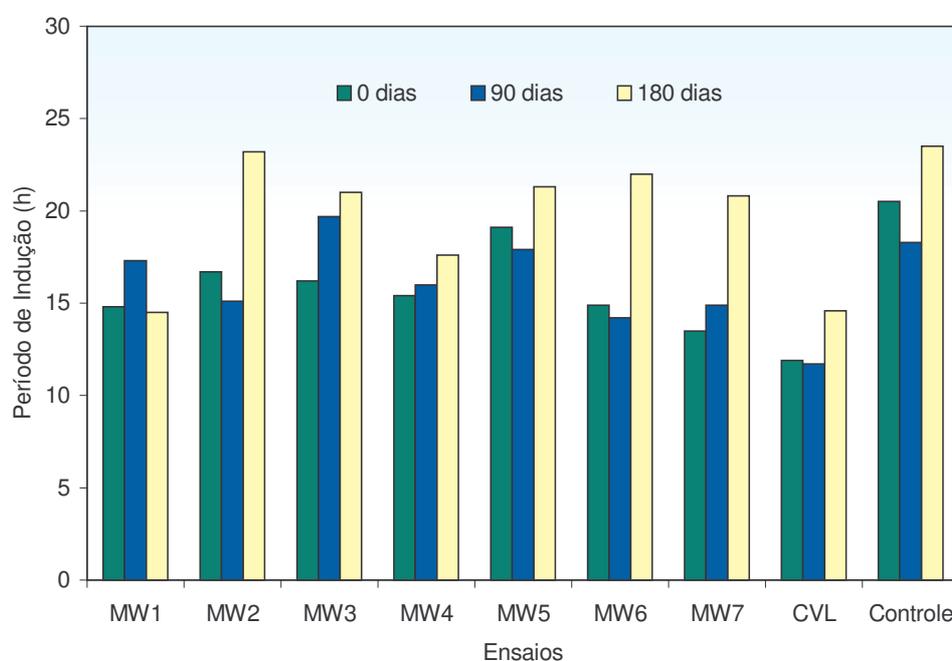


Figura 16 – Perfil dos valores de estabilidade oxidativa durante o armazenamento de amêndoas de noz macadâmia secas com aplicação de energia de microondas e ar quente

5.2.4 Composição em ácidos graxos em função do tempo de armazenamento das amêndoas de noz macadâmia

A Tabela 10 apresenta a composição em ácidos graxos da fração lipídica das amêndoas de noz macadâmia dos ensaios MW1, MW4 (condição inferior e superior do planejamento experimental) e também para amostra seca convencionalmente (CVL) e para a amostra controle (C).

Tabela 10 – Composição em ácidos graxos das frações lipídicas de amêndoas de noz macadâmia (*M. integrifolia*) secas com aplicação de energia de microondas e ar quente

Composição em ácidos graxos (%)	0 dias				180 dias			
	MW1	MW4	CVL	*C	MW1	MW4	CVL	*C
C14:0 (ácido mirístico)	0,77	0,80	0,80	0,78	0,72	0,81	0,81	0,78
C16:0 (ácido palmítico)	7,32	7,69	7,55	7,60	7,62	7,47	7,45	7,62
C16:1 (ácido palmitoléico)	15,72	15,76	15,47	14,54	15,14	14,95	15,33	14,54
C18:0 (ácido esteárico)	4,32	3,91	4,07	3,90	3,99	4,12	4,09	3,90
C18:1 (ácido oléico)	63,31	63,55	63,62	64,59	63,81	64,14	63,78	64,62
C18:2 (ácido linoléico)	1,37	1,40	1,42	1,52	1,51	1,40	1,40	1,52
C18:3 (ácido linolênico)	0,13	0,12	0,12	0,11	0,12	0,11	0,12	0,12
C20:0 (ácido araquídico)	3,13	2,89	2,99	2,90	3,00	3,00	3,00	2,89
C20:1 (ácido eicosenóico)	2,48	2,45	2,50	2,62	2,64	2,59	2,58	2,58
C22:0 (ácido behênico)	0,83	0,84	0,84	0,83	0,83	0,82	0,84	0,83
C22:1 (ácido erúico)	0,27	0,27	0,27	0,28	0,28	0,27	0,28	0,28
C24:0 (ácido lignocérico)	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
% ácidos graxos insaturados	83,29	83,56	83,41	83,66	83,50	83,46	83,48	83,65
% ácidos graxos saturados	16,71	16,44	16,59	16,35	16,50	16,54	16,52	16,35

*Código da amostra de controle, sendo que esta permaneceu in natura e foi armazenada a menos 18°C durante o tempo de armazenamento

Pode-se avaliar pelos resultados obtidos que, entre as amostras analisadas, os valores da composição em ácidos graxos praticamente não se alteraram durante o armazenamento para nenhum dos ácidos apresentados. Este fato é uma evidencia de que as reações oxidativas foram pequenas durante o armazenamento, já que estados oxidativos avançados levam à redução de ácidos graxos insaturados KAIJSER *et alii*, (2000). Os valores encontrados em ácidos graxos estão de acordo com os valores encontrados por CAVALETTO, (1983); DIERBERGER & NETTO, (1985); DUKE, (1989); MASON & McCONACHIE, (1994) e por KAIJSER *et alii*, (2000).

5.2.5 Teor de tocoferóis/tocotrienóis em função do tempo de armazenamento das amêndoas de noz macadâmia

A Tabela 11 apresenta os teores de tocoferóis encontrados na fração lipídica das amêndoas de noz macadâmia dos ensaios MW1, MW4, da amostra seca convencionalmente (CVL) e da amostra controle (C) e verificou-se que apenas o α -Tocotrienol foi detectado, sendo que os outros tocoferóis são encontrados somente na forma de traços. Este resultado está de acordo com o estudo realizado por KAIJSER *et alii*, (2000), onde encontrou-se também uma maior quantidade de α -Tocotrienol em frações lipídicas de amêndoas de noz macadâmia.

Nota-se também que entre as amostras analisadas (Tabela 11), os teores de α -Tocotrienol praticamente não se alteraram durante o período de armazenamento da amêndoa, no entanto o valor da amostra controle (C) foi um pouco maior que as demais em todo o período analisado. Deve-se salientar ainda que os tocoferóis são antioxidantes naturais e a estabilidade de seu teor está normalmente associada ao não desenvolvimento de oxidação, como observado por PERSHERN *et alii* (1995) para avelãs e por QUINN &

TANG (1996) e KAIJSER *et alii*, (2000) para noz macadâmia. Esta afirmação é coerente com os baixos valores de índice de peróxidos obtidos.

Tabela 11 – Teor de tocoferóis/tocotrienóis nas frações lipídicas de amêndoas de noz macadâmia (*M. integrifolia*) secas com aplicação de energia de microondas e ar quente

Tocoferóis/Tocotrienóis (mg/100g)	0 dias				180 dias			
	MW1	MW4	CVL	*C	MW1	MW4	CVL	*C
α-Tocotrienol	1,75	2,11	2,14	2,36	2,19	2,06	2,19	2,35
γ-Tocotrienol	-	-	-	-	-	-	-	-
δ-Tocotrienol	-	-	-	-	-	-	-	-
α-Tocoferol	-	-	-	-	-	-	-	-
γ-Tocoferol	-	-	-	-	-	-	-	-
δ-Tocoferol	-	-	-	-	-	-	-	-

(*)Código da amostra de controle, sendo que esta permaneceu in natura e foi armazenada a menos 18°C durante o tempo de armazenamento; (-) Traços.

5.3 Atividade de água em função do tempo de armazenamento das amêndoas de noz macadâmia secas com aplicação de energia de microondas e ar quente

Analisando estatisticamente os resultados dos valores de atividade de água (Tabela 12) das amêndoas de noz macadâmia secas com aplicação de energia de microondas e ar quente em função do tempo de armazenamento, verificou-se que em todos os testes incluindo a amostra seca convencionalmente (CVL) estes valores não apresentaram correlação linear significativa com o tempo de armazenamento ao nível de significância de $p \leq 0,05$.

O teste de Tukey mostrou que para os ensaios MW2, MW4, MW5, MW7 e para seca convencionalmente (CVL) a primeira diferença significativa ocorreu aos 60 dias de

armazenamento, enquanto que para os ensaios MW1, MW3 e MW6 esta diferença ocorreu aos 120 dias do armazenamento, porém, todos os valores de atividade de água obtidos (Tabela 12) estão dentro dos limites considerados seguros em relação ao crescimento de microrganismos, ou seja, estão abaixo de 0,6 e, portanto, podem ser considerados altamente estáveis do ponto de vista microbiológico (LABUZA, 1980).

Tabela 12 – Atividade de água de amêndoas de noz macadãmia (*M. integrifolia*) secas com aplicação de energia de microondas e ar quente

Atividade de água (A_w)								
Tempo (dias)	MW1	MW2	MW3	MW4	MW5	MW6	MW7	CVL
0	0,504 ^c	0,502 ^c	0,508 ^c	0,501 ^b	0,512 ^d	0,493 ^b	0,507 ^d	0,494 ^d
60	0,518 ^{bc}	0,520 ^b	0,519 ^{bc}	0,515 ^a	0,528 ^c	0,524 ^{ab}	0,518 ^c	0,508 ^c
120	0,533 ^{ab}	0,519 ^b	0,525 ^b	0,545 ^b	0,537 ^b	0,544 ^a	0,537 ^b	0,528 ^b
180	0,542 ^a	0,541 ^a	0,544 ^a	0,570 ^a	0,568 ^a	0,552 ^a	0,561 ^a	0,549 ^a

Em cada coluna amostras com a mesma letra não são significativamente diferentes (5% / Tukey)

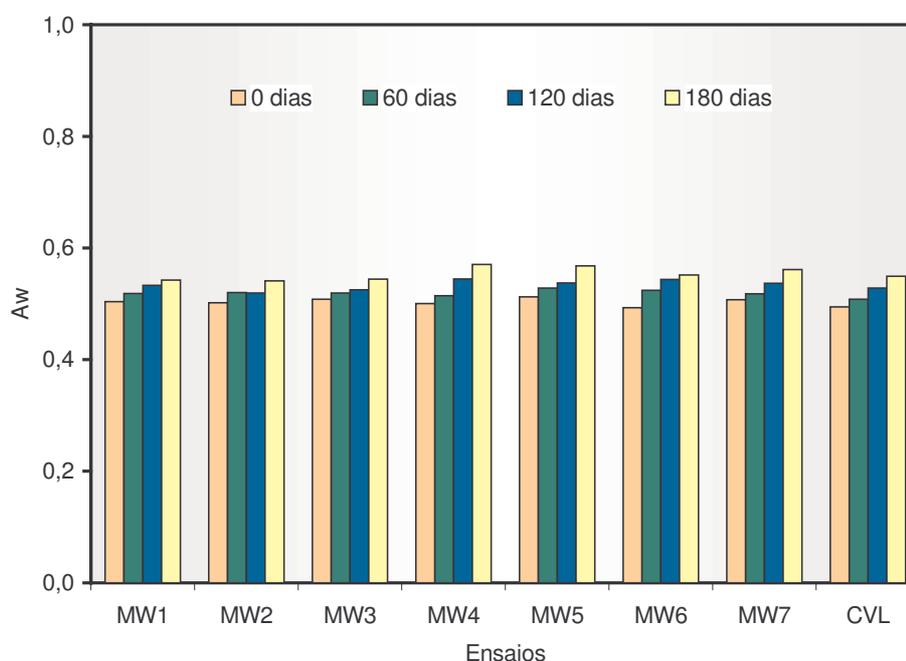


Figura 17 – Perfil dos valores de atividade de água (A_w) durante o armazenamento de amêndoas de noz macadãmia secas com aplicação de energia de microondas e ar quente

Foi observado também, que os valores de atividade de água dos ensaios realizados através da aplicação de energia de microondas e ar quente estão durante todo o tempo de armazenamento próximo dos valores da amostra seca convencionalmente (CVL) o que indica que o teor de umidade do produto seco com microondas ficou praticamente igual ao da amostra seca convencionalmente. A amêndoa utilizada neste processo de secagem com aplicação de energia de microondas e ar quente estava inicialmente com atividade de água igual a 0,72. A Figura 17 mostra melhor o comportamento da atividade de água durante o armazenamento.

5.4 Textura em função do tempo de armazenamento das amêndoas de noz macadâmia secas com aplicação de energia de microondas e ar quente

A análise de regressão dos valores de dureza obtidos nos testes de textura em função do tempo de armazenamento (Tabela 13) mostrou que existe correlação linear estatisticamente significativa ao nível de significância de $p \leq 0,05$ apenas para os ensaios MW6 e para a amostra seca convencionalmente (CVL), para os demais ensaios não existe correlação linear significativa.

Tabela 13 – Dureza de amêndoas de noz macadâmia (*M. integrifolia*) secas com aplicação de energia de microondas e ar quente

DUREZA (Força máxima em N)								
tempo (dias)	MW1	MW2	MW3	MW4	MW5	MW6	MW7	CVL
0	8,62 ^b	9,60 ^b	7,98 ^b	8,91 ^b	10,84 ^{ab}	9,65 ^a	9,07 ^{bc}	9,86 ^a
60	9,90 ^{ab}	9,65 ^{ab}	7,86 ^b	9,07 ^b	9,96 ^b	12,26 ^a	8,83 ^c	12,13 ^a
120	10,84 ^{ab}	9,42 ^b	8,25 ^b	11,18 ^{ab}	8,86 ^b	11,25 ^a	9,67 ^{abc}	10,33 ^a
180	11,40 ^a	11,58 ^a	10,56 ^a	13,49 ^a	12,37 ^a	11,65 ^a	11,30 ^a	12,67 ^a

Em cada coluna amostras com a mesma letra não são significativamente diferentes (5% / Tukey)

Através do teste de Tukey foi possível verificar que para os ensaios MW5, MW6 e para a amostra seca convencionalmente (CVL) não houve diferença significativa de textura em relação à amostra inicial durante todo o período de armazenamento, enquanto que para as outras amostras (MW1, MW2, MW3, MW4, e MW7) esta primeira diferença significativa ocorreu somente no final do período de armazenamento. Pelas Figuras 18 e 19, observou-se através dos perfis das curvas obtidas nos testes de textura uma diferença de comportamento das amêndoas para os tempos inicial e final do armazenamento, porém esta diferença não é muito evidenciada pela força máxima para fraturar ou perfurar a amêndoa.

A área sob a curva (Figuras 18 e 19) representa a energia necessária para realizar cada teste e, através da Tabela 14 podemos verificar os valores de energia gasta em cada teste. Analisando estatisticamente estes valores, pode-se verificar que existe correlação linear estatisticamente significativa ao nível de significância de $p \leq 0,05$ apenas para os ensaios MW1 e MW6, para os outros ensaios não existe correlação linear significativa.

Tabela 14 – Energia gasta nos testes de textura para amêndoas de noz macadâmia (*M. integrifolia*) secas com aplicação de energia de microondas e ar quente

ENERGIA (Ns)								
tempo (dias)	MW1	MW2	MW3	MW4	MW5	MW6	MW7	CVL
0	20,79 ^a	22,60 ^b	20,17 ^b	21,56 ^b	25,49 ^a	23,65 ^a	25,11 ^{ab}	26,25 ^a
60	22,56 ^a	21,73 ^b	21,12 ^b	21,45 ^b	23,90 ^a	31,37 ^a	20,51 ^b	27,96 ^a
120	26,61 ^a	22,63 ^b	20,43 ^b	29,34 ^{ab}	20,71 ^b	27,31 ^a	22,47 ^b	24,51 ^{ab}
180	29,19 ^a	29,33 ^a	26,47 ^a	32,14 ^a	31,56 ^a	28,63 ^a	29,56 ^a	32,69 ^a

Em cada coluna amostras com a mesma letra não são significativamente diferentes (5% / Tukey)

O teste de Tukey mostrou que para as amostras dos ensaios MW1, MW6 não houve diferença significativa da energia gasta em relação à amostra inicial durante todo o período

de armazenamento, enquanto que para as amostras dos ensaios MW2, MW3, MW7 e para a amostra seca convencionalmente (CVL) esta primeira diferença significativa ocorreu somente no final do período de armazenamento, já para os ensaios MW4 e MW5 esta diferença ocorreu aos 120 dias do período de armazenamento.

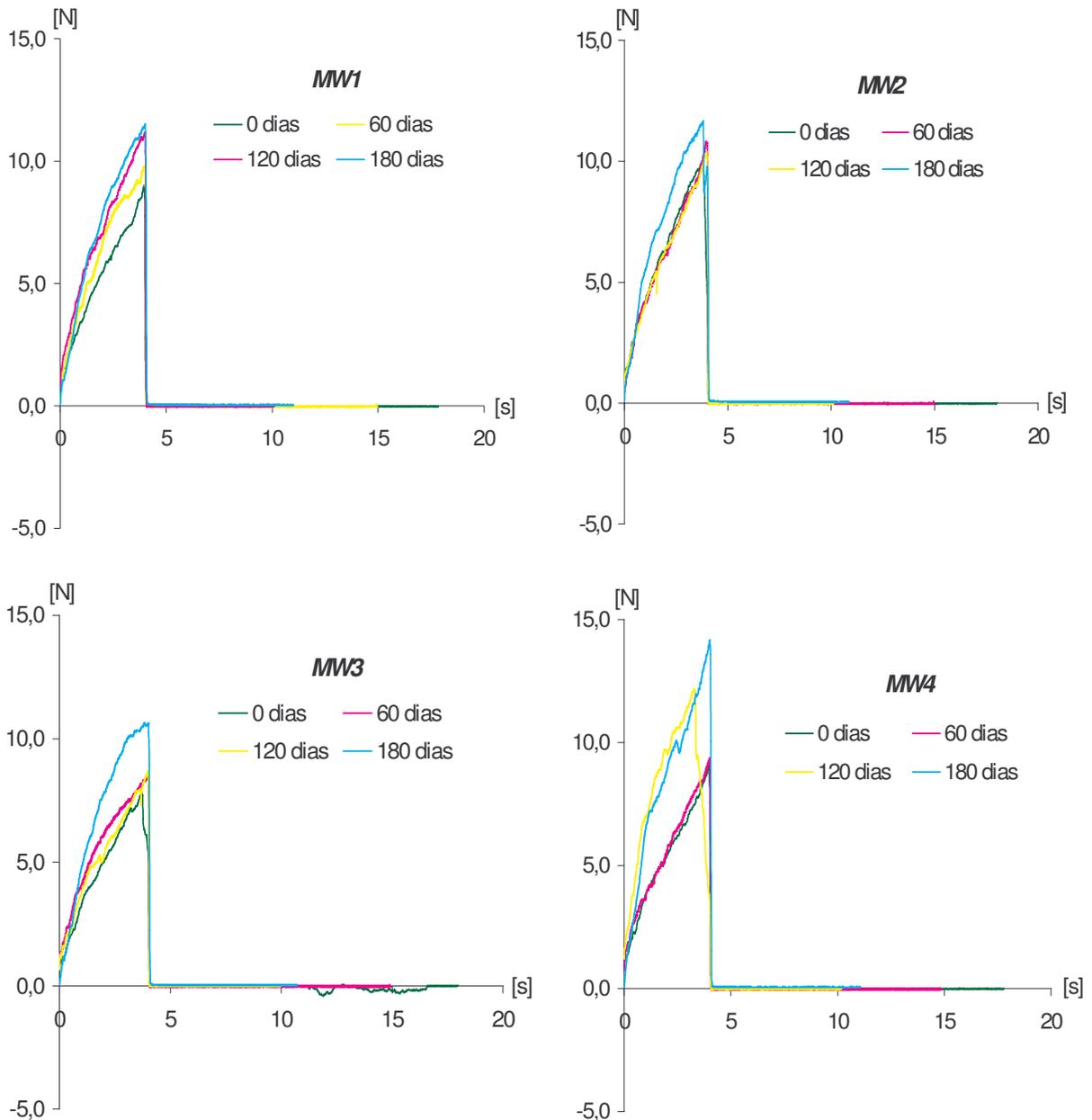


Figura 18 – Curvas dos testes de textura de amêndoas de noz macadâmia secas com aplicação de energia de microondas e ar quente (Ensaio MW1, MW2, MW3 e MW4)

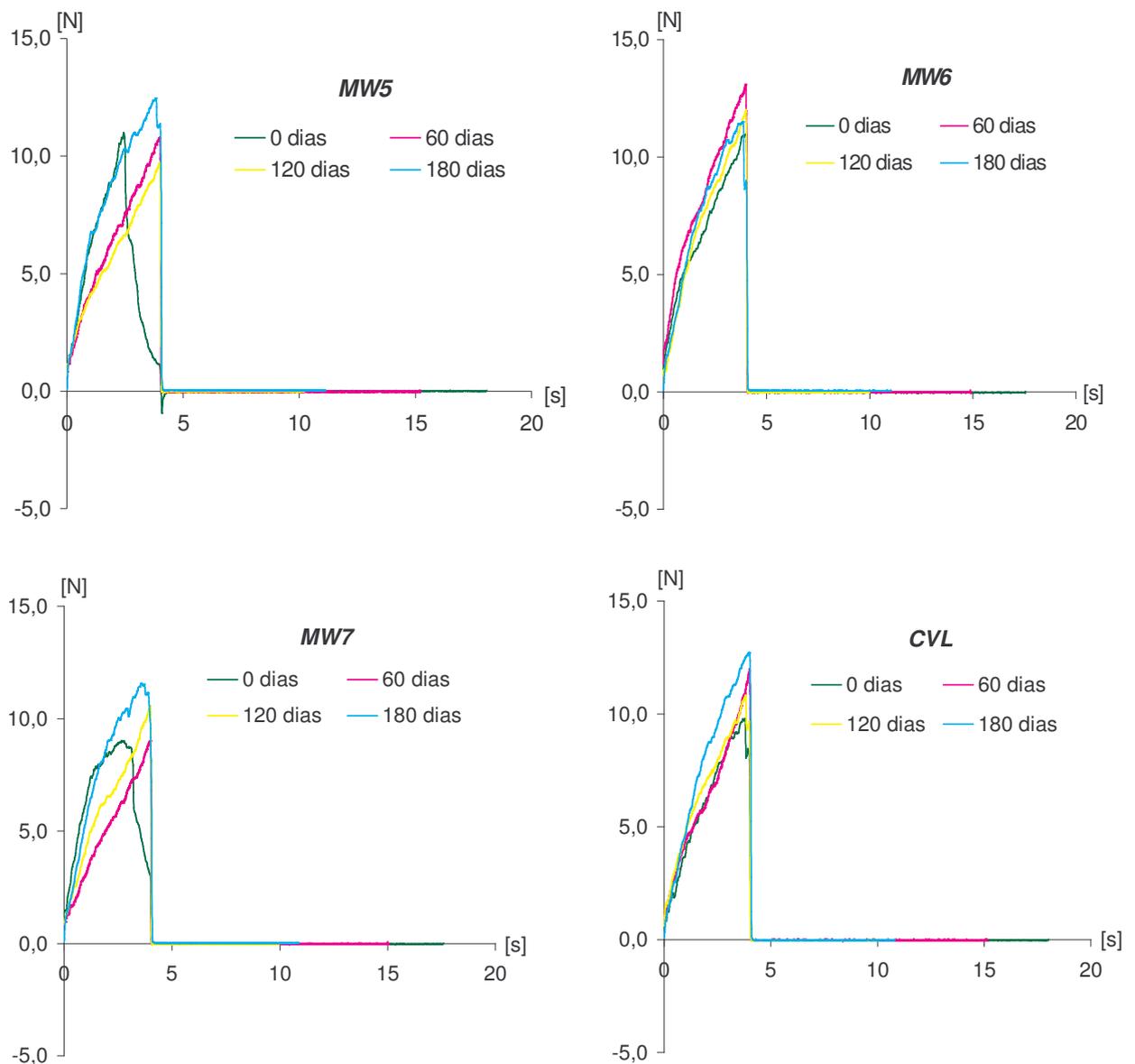


Figura 19 – Curvas dos testes de textura de amêndoas de noz macadâmia secas com aplicação de energia de microondas e ar quente (Ensaio MW5, MW6, MW7 e CVL)

Analisando os gráficos (Figuras 18 e 19) que mostram o comportamento de cada uma das amostras dos diferentes ensaios em função do tempo de armazenamento, é possível verificar que a alteração do comportamento da textura é gradual, com um aumento de área sob a curva. Também através destes gráficos, foi verificado durante o armazenamento uma deformação da amêndoa e conseqüente deslocamento do pico máximo com maior

necessidade de energia para realização do teste. Este aumento na deformação é acompanhado ainda pela adesividade que ficou um pouco mais evidenciada no ensaio MW5, nos outros ensaios praticamente não existiu, talvez para que fosse verificado melhor tal fenômeno seria necessário um maior tempo de armazenamento das amostras. A adesividade é representada nos gráficos pelos picos na porção negativa de força e ao final de cada teste.

Pode-se perceber também pelos gráficos que o grau de alteração de textura (energia) foi maior para a amostra seca convencionalmente (CVL) e para os ensaios MW4, MW5 e MW6. No entanto, estas alterações não foram abruptas, o que pode se dizer que estas amostras não apresentaram grandes alterações no seus teores de umidade durante o armazenamento, pois o contrário poderia gerar uma maior deformação e aumento de energia e isto talvez se deve principalmente à forma pela qual se embalou as amostras (uso de vácuo) e à embalagem utilizada (NYLON/PEBD).

5.5 Análise do planejamento experimental aplicado durante a secagem da noz macadâmia com aplicação de energia de microondas e ar quente

A análise do comportamento das amêndoas de noz macadâmia diante dos tratamentos aplicados durante a secagem com microondas e ar quente, foi realizada através do tratamento estatístico dos dados obtidos, pelo programa *Statistica* versão 5.0 (Microsoft, 1995). As condições do tratamento e as respectivas respostas quanto ao índice de peróxido (meq de O₂ / kg), ácidos graxos livres (%), período de indução (h), atividade de água (Aw) e textura (N), estão apresentadas na Tabela 15. Os valores dos índices de peróxidos, ácidos graxos livres, período de indução, atividade de água e textura, analisados neste planejamento, foram os obtidos ao final do armazenamento.

Tabela 15 – Planejamento fatorial 2^2 com triplicata no ponto central para a amêndoa seca convencionalmente

Ensaio	Variáveis independentes		Variáveis dependentes				
	T _{ar} (°C)	T _{ajuste} (°C)	IP (meqO ₂ .kg ⁻¹ de óleo)	AGL (%)	PI (h)	Aw	Textura (N)
MW1	58	64	2,57	0,113	14,5	0,542	11,40
MW2	62	64	2,32	0,122	23,2	0,541	11,58
MW3	58	68	2,55	0,124	21,0	0,544	10,56
MW4	62	68	2,56	0,109	17,6	0,570	13,49
MW5	60	66	2,49	0,129	21,3	0,568	12,37
MW6	60	66	2,47	0,123	22,0	0,552	11,65
MW7	60	66	2,45	0,113	20,8	0,561	11,30

IP – Índice de peróxido; AGL – Ácidos graxos livres (%); PI - Período de indução (h); Aw – Atividade de água

A Tabela 16 apresenta o efeito das variáveis independentes (temperatura do ar de entrada e temperatura de ajuste), bem como o efeito da interação entre elas sobre as variáveis dependentes (índice de peróxido, % ácido graxo livre, período de indução, atividade de água e textura) para as amêndoas de noz macadâmia secas com aplicação de energia de microondas e ar quente.

A interpretação dos resultados da Tabela 16 deve ser feita com base na magnitude e sinais dos coeficientes de regressão. Quanto maior o valor do coeficiente, maior será a influência deste sobre a resposta em estudo. O sinal indica a proporcionalidade com que varia o coeficiente com relação à resposta, ou seja, um sinal positivo indica que a relação existente entre a variável independente e a resposta é de direta proporcionalidade, ou seja, a passagem de um nível inferior para um superior da variável independente acarreta um aumento no valor da resposta. Para um sinal negativo, a relação é de inversa proporcionalidade.

Tabela 16 – Análises dos efeitos sobre as variáveis dependentes para as amêndoas de noz macadâmia secas com aplicação de energia de microondas e ar quente

Variáveis dependentes	Fator	Coefficiente de regressão	Desvio Padrão	t (2)	p
Índice de peróxido	<i>Média*</i>	2,49	0,01	319,86	0,00
	(1) $T_{ar}(L)$ *	-0,12	0,02	-5,91	0,03
	(2) $T_{ajuste}(L)$ *	0,11	0,02	5,21	0,04
	$1L \times 2L$ *	0,13	0,02	6,45	0,02
Acidez	<i>Média*</i>	0,12	0,00	38,59	0,00
	(1) $T_{ar}(L)$	-0,00	0,01	-0,37	0,75
	(2) $T_{ajuste}(L)$	-0,00	0,01	-0,21	0,85
	$1L \times 2L$	-0,01	0,01	-1,45	0,29
Período de indução	<i>Média*</i>	20,90	1,37	15,20	0,00
	(1) $T_{ar}(L)$	2,55	3,64	0,70	0,56
	(2) $T_{ajuste}(L)$	0,55	3,64	0,15	0,89
	$1L \times 2L$	-5,95	3,64	-1,64	0,24
Atividade de água	<i>Média*</i>	0,55	0,00	178,52	0,00
	(1) $T_{ar}(L)$	0,01	0,01	1,50	0,27
	(2) $T_{ajuste}(L)$	0,02	0,01	1,91	0,20
	$1L \times 2L$	0,014	0,01	1,66	0,24
Textura	<i>Média*</i>	29,55	0,57	52,25	0,00
	(1) $T_{ar}(L)$	2,91	1,50	1,94	0,19
	(2) $T_{ajuste}(L)$	0,04	1,50	0,03	0,98
	$1L \times 2L$	2,77	1,50	1,85	0,21

* $p < 0,05$ (estatisticamente significativo a 95% de confiança)

O valor de “p” (Tabela 16) está relacionado ao nível de significância da variável independente sobre a resposta em estudo. O intervalo de confiança escolhido normalmente é de 95%. Pode-se então afirmar que, para valores de “p” inferiores a 5%, a variável é considerada estatisticamente significativa, caso contrário, não significativa.

Analisando os efeitos para a variável índice de peróxido, observa-se pela Tabela 16 que as duas variáveis, temperatura do ar de entrada e temperatura do ajuste, foram estatisticamente significantes, apresentando um efeito positivo, pois pela Tabela 15, nota-se que os índices de peróxidos obtidos foram bem menores do que o valor estipulado pela legislação brasileira (ANVISA – Resolução nº 482, de 23 de setembro de 1999), que é de 10 meq O₂ kg⁻¹. O valor do desvio padrão foi baixo, o que indica que as replicatas no ponto central foram satisfatórias. O coeficiente de correlação para a variável dependente índice de peróxido foi igual a 0,977.

Para a acidez, viu-se pela Tabela 16 que as variáveis, temperatura do ar de entrada e temperatura do ajuste, não foram estatisticamente significantes, porém os valores obtidos foram muito menores em relação ao valor estipulado pela legislação brasileira (ANVISA – Resolução nº 482, de 23 de setembro de 1999) que é de 1,5 % AGL. O valor do coeficiente de correlação foi igual a 0,687. O baixo valor deste coeficiente de correlação revelou um comportamento particular do produto, diferente do modelo linear utilizado no tratamento estatístico. Segundo BARROS NETO *et alii*, (1996) se o modelo linear não se adequar para o tratamento, o próximo passo na análise do planejamento experimental é tentar o modelo quadrático, modelo este que requer pontos axiais, ou seja, pontos abaixo do nível -1 e acima do nível +1 que, em um planejamento fatorial 2², teria valor -1,41 e +1,41, o que não foi possível devido às condições do equipamento utilizado. Observa-se que o planejamento aqui desenvolvido teve apenas como objetivo conhecer e estudar a influência de algumas variáveis no processo e o comportamento da amêndoa de noz macadâmia diante do tratamento aplicado e não de se obter um modelo matemático que descrevesse esse comportamento, isto foi possível através do tratamento linear. Baixos valores de correlação devido ao comportamento particular do produto ocorreram para as outras variáveis

analisadas neste planejamento, que serão descritas posteriormente devido às mesmas razões citadas acima.

Para a variável período de indução, foi observado pela Tabela 16 que as variáveis independentes utilizadas (temperatura do ar de entrada e temperatura de ajuste) não foram estatisticamente significantes, no entanto estas não afetaram a estabilidade oxidativa da amêndoa de noz macadâmia, pois de acordo com a tabela 15, os valores de períodos de indução se mantiveram estáveis ao final do armazenamento. O valor do desvio padrão foi baixo, o que indica que as replicatas no ponto central foram satisfatórias. O valor do coeficiente de correlação foi igual a 0,655.

Analisando a Tabela 16 para a variável atividade de água, foi verificado também que as variáveis, temperatura do ar de entrada e temperatura de ajuste, não foram estatisticamente significantes, porém, o uso de ambas foi satisfatório, pois pela Tabela 15, os valores de atividade de água se manterão abaixo de 0,6 valor este que pode ser considerado altamente estável do ponto de vista microbiológico. O valor do desvio padrão foi baixo, o que indica que as replicatas no ponto central foram satisfatórias. O valor do coeficiente de correlação foi igual a 0,799.

Para a variável dependente textura, viu-se pela Tabela 16 que as variáveis independentes, temperatura do ar de entrada e temperatura de ajuste, não foram estatisticamente significantes, porém, apresentaram um bom efeito, pois pela Tabela 15, os valores apresentados de textura (força máxima em N) não tiveram grandes alterações ao final do período de armazenamento das amêndoas de noz macadâmia. O valor do desvio padrão foi baixo, o que indica que as replicatas no ponto central foram satisfatórias. O valor do coeficiente de correlação foi igual a 0,870.

5.6 Impacto da secagem com microondas sobre o perfil sensorial e a aceitação de noz macadâmia (*Macadamia integrifolia* Maiden & Betche)

5.6.1 Análise descritiva quantitativa (ADQ) no tempo inicial de armazenamento

5.6.1.1 Pré-seleção de provadores

Foram pré-selecionados 13 dos 20 provadores inicialmente recrutados entre alunos da FEA/UNICAMP. Esses provadores possuíam poder discriminativo associado a um $pF_{amostra} \leq 0,30$, conforme anteriormente especificado.

5.6.1.2 Terminologia descritiva das amostras

Os termos descritivos que segundo os 13 provadores descreveram as similaridades e diferenças entre as amostras de amêndoas de noz macadâmia, podem ser observados na Tabela 17 a seguir.

Tabela 17 – Termos descritivos levantados pelo Método de Rede com número de menções (N)

APARÊNCIA	N	AROMA	N	SABOR	N	TEXTURA	N
Cor Bege	13	Fraco / Forte	13	Nozes	11	Crocância	11
Manchas	9	Nozes	5	Forte / Fraco	10	Dureza	9
Uniformidade	8	Doce	5	Velho / Guardado/ Ranço	10	Maciez	6
Esbranquiçado	5	Torrado	3	Doce / Abacaxi	9	Murcho	6
Tamanho	5	Rançoso	3	Residual	5	Resistência à mordida	3
Brilho	4	Castanha	2	Salgado	4	Quebradiço	3
Rachadura	3	Velho / Guardado	1	Oleoso	4	Gruda na Boca	3
Pontos Brancos	2	Mofo	1	Amargo / Remédio	4	"Farofado"	2
Lisa	2	Fresco	1	Artificial / Natural / Fresco	4	Granuloso / Arenoso	2
Rugosidade	2	Salgado	1	Torrado / Queimado	2	Gordurosa	2
Gordurosa	1	Queimado	1	Adstringência/ "Marrento"	2	Mastigabilidade	2
Cor Creme	1	Sem. Oleaginosa	1	Avelã / Castanha	2	Fibrosa / Resíduos	2
Queimado	1	Água de Côco	1	Fritura / Seco	2	Cebola	1
Seca	1	Ácido	1	Plástico / Aguado	2	Bagaço de Laranja	1
Pontos Pretos	1			Leitoso	1	Seca	1

Dos termos apresentados na Tabela 17, os descritores consensualmente selecionados para caracterizar as amostras e suas respectivas definições, bem como os extremos da escala e respectivos materiais de referência definidos pelos provadores durante as sessões descritas desta etapa da pesquisa, encontram-se listados a seguir:

- 1 - Cor Bege: coloração bege associada a noz macadâmia
Fraco: leite condensado marca Moça da Nestlé
Forte: doce de leite em pasta
- 2 – Brilho: capacidade de reflexão da luz
Nenhum: amêndoa macadâmia seca submetida a estufa à 60°C por 12h
Muito: amêndoa macadâmia in natura
- 3 - Manchas Escuras: manchas ou pontos escuros associados a divisão (ao meio) da amêndoa
Nenhuma: amêndoa macadâmia sem manchas características e com coloração uniforme
Muita: amêndoa macadâmia com manchas características definidas pela equipe sensorial
- 4- Aroma de Noz: aroma característico de nozes
Pouco: 20 g de amêndoa macadâmia *in natura*
Muito: 20 g de amêndoa macadâmia seca com umidade de 1,5% bs.
- 5 - Aroma Doce: aroma associado a produtos açucarados
Pouco: 20 g de amêndoa macadâmia *in natura*
Muito: 10 g de cocada branca fresca marca Bem Doce
- 6 - Aroma Torrado: Aroma característico de produto submetido à calor seco
Nenhum: 20 g de amêndoa macadâmia *in natura*
Muito: 20 g de castanha de cajú torrada Iracema
- 7 - Aroma de Ranço: aroma característico de gordura "velha"
Nenhum: 20 g de amêndoa macadâmia *in natura* com data de produção em agosto/2004
Muito: 20g de castanha do Pará Mr. Valley oxidada com data de produção em agosto/2003
- 8 - Sabor de Noz: sabor característico de nozes
Pouco: amêndoa macadâmia *in natura*
Muito: amêndoa macadâmia seca com umidade de 1,5% b.s.
- 9 - Gosto Doce: sabor associado a produtos açucarados
Pouco: solução de Sacarose 0,01g / ml
Muito: solução de Sacarose 0,01g / ml
- 10 - Gosto Amargo: sabor associado a café sem açúcar

- Nenhum: água
- Muito: solução de café torrado e moído 0,04 g / ml
- 11 - Gosto Torrado: sabor característico de produto submetido a calor seco
- Nenhum: amêndoa macadâmia *in natura*
- Muito: amêndoa macadâmia seca tratada com microondas a 600 W por 5 min
- 12 - Sabor de Óleo: sabor enjoativo que deixa residual oleoso
- Pouco: biscoito tipo agua e sal Tostines
- Muito: óleo de macadâmia extraído em prensa à frio
- 13 - Sabor de Ranço: sabor característico de manteiga “velha”
- Nenhum: amêndoa macadâmia seca com 1,5% b.s. com data de produção agosto/2004
- Muito: 20 g de castanha do Pará Mr. Valley oxidada com data de produção agosto/2003
- 14 – Adstringência: sensação residual associada ao "amarrar a boca"
- Nenhum: amêndoa macadâmia seca com 1,5% b.s. com data de produção agosto/2004
- Muito: banana nanica “verde”
- 15 – Dureza: resistência inicial a mordida (dente molar)
- Pouco: amêndoa macadâmia *in natura*
- Muito: amêndoa macadâmia seca submetida a estufa à 60°C por 12h
- 16 – Crocância: percepção associada à força com que o produto salta dos dentes ao quebrar-se durante a mordida (também associada ao som característico do produto ao quebra-se ao ser mordido)
- Nenhuma: biscoito tipo maizena marca São Luiz da Nestlé armazenada fora da embalagem em condições ambientes por 24h
- Muita: biscoito tipo maizena marca São Luiz da Nestlé
- 17 – Mastigabilidade: tempo necessário para a amostra deixar de ser crocante (virar pasta na boca)
- Pouco: amêndoa macadâmia *in natura*
- Muito: amêndoa macadâmia seca submetida a estufa à 60°C por 12h
- 18 - Fibrosidade Residual: sensação fibrosa na boca percebida após o final da crocância (associado a côco ralado)
- Pouco: biscoito tipo maizena marca São Luiz da Nestlé
- Muito: polpa de coco maduro em pedaços
- 19 – Aderência: sensação de aderência do produto nos dentes
- Pouca: amêndoa macadâmia seca submetida a estufa à 60°C por 12h
- Muita: bala de goma Gomets da Dori Alimentos

Com os descritores anteriormente mencionados, foi elaborada a ficha de avaliação descritiva da amostras (Figura 20), associando-se a cada termo, escalas não estruturadas de 9 cm ancoradas em seus extremos em termos de intensidade, definidos pelos provadores.

Nome: _____ Data: ___/___/___ Amostra: _____

Por favor, avalie cada amostra de Amêndoa de Noz Macadâmia com relação aos atributos listados abaixo utilizando a escala correspondente.

APARENCIA	
Cor bege	Fraca ----- Forte
Brilho	Nenhum ----- Muito
Manchas Escuras	Nenhuma ----- Muita
AROMA	
Noz	Pouco ----- Muito
Doce	Pouco ----- Muito
Torrado	Nenhum ----- Muito
Ranço	Nenhum ----- Muito
SABOR	
Noz	Pouco ----- Muito
Doce	Pouco ----- Muito
Amargo	Nenhum ----- Muito
Torrado	Nenhum ----- Muito
Oleo	Pouco ----- Muito
Ranço	Nenhum ----- Muito
Adstringente	Nenhum ----- Muito
TEXTURA	
Dureza	Pouca ----- Muita
Crocância	Nenhuma ----- Muita
Mastigabilidade	Pouco ----- Muito
Fibrosidade Residual	Pouca ----- Muita
Aderência	Pouca ----- Muita

Figura 20 – Ficha utilizada na Avaliação das amostras

5.6.1.3 Seleção dos provadores

Após a realização do treinamento, descrito na metodologia, foi realizada a seleção da equipe descritiva treinada. O desempenho de cada provador, em cada atributo encontra-se apresentado na Tabela 18.

Tabela 18 – Valores de $p_{amostra}$ e $p_{repetição}$ (entre parênteses) / etapa de pré-seleção

Atributos	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13
Cor Bege	0,04 (0,14)	0,28 (0,68)	0,79* (0,94)	0,50 (0,64)	0,39 (0,25)	0,14 (0,74)	0,13 (0,24)	0,80* (0,31)	0,91* (0,34)	0,30 (0,33)	0,68* (0,22)	0,00 (0,00)*	0,69* (0,65)
Brilho	0,38 (0,13)	0,40 (0,62)	0,30 (0,09)	0,04 (0,21)	0,01 (0,18)	0,49 (0,12)	0,64* (0,71)	0,44 (0,84)	0,86* (0,99)	0,33 (0,32)	0,16 (0,92)	0,49 (0,96)	0,17 (0,47)
Manchas Escuras	0,67* (0,59)	0,66* (0,77)	0,16 (0,08)	0,50 (0,42)	0,99* (0,33)	0,97* (0,46)	0,35 (0,91)	0,49 (0,01)*	0,50 (0,45)	0,15 (0,97)	0,22 (0,59)	0,79* (0,69)	0,37 (0,54)
Aroma de Noz	0,42 (0,16)	0,65* (0,65)	0,81* (0,01)*	0,45 (0,18)	0,43 (0,83)	0,93* (0,92)	0,57* (0,98)	0,41 (0,97)	0,04 (0,10)	0,20 (0,15)	0,71* (0,06)	0,88* (0,97)	0,50 (0,48)
Aroma Doce	0,40 (0,13)	0,37 (0,20)	0,28 (0,36)	0,42 (0,13)	0,15 (0,31)	0,90* (0,91)	0,35 (0,36)	0,41 (0,58)	0,63* (0,51)	0,22 (0,17)	0,45 (0,47)	0,01 (0,47)	0,29 (0,45)
Aroma Torrado	0,00 (0,99)	0,00 (0,99)	0,00 (0,99)	0,42 (0,55)	0,15 (0,41)	0,28 (0,92)	0,44 (0,53)	0,26 (0,67)	0,58* (0,58)	0,00 (0,99)	0,44 (0,16)	0,21 (0,55)	0,00 (0,99)
Aroma de Ranço	0,99* (0,47)	0,00 (0,99)	0,00 (0,99)	0,26 (0,48)	0,47 (0,09)	0,26 (0,68)	0,17 (0,68)	0,00 (0,00)*	0,00 (0,99)	0,40 (0,38)	0,00 (0,99)	0,66* (0,34)	0,00 (0,99)
Sabor de Noz	0,33 (0,51)	0,21 (0,24)	0,34 (0,34)	0,17 (0,67)	0,84* (0,83)	0,89* (0,11)	0,23 (0,35)	0,28 (0,75)	0,04 (0,04)*	0,10 (0,12)	0,79* (0,14)	0,05 (0,44)	0,14 (0,16)
Gosto Doce	0,41 (0,36)	0,20 (0,07)	0,44 (0,22)	0,48 (0,29)	0,29 (0,98)	0,19 (0,38)	0,50 (0,28)	0,26 (0,67)	0,24 (0,33)	0,20 (0,18)	0,59* (0,14)	0,86* (0,63)	0,50 (0,67)
Gosto Amargo	0,95* (0,45)	0,12 (0,44)	0,58* (0,58)	0,07 (0,85)	0,47 (0,30)	0,07 (0,23)	0,23 (0,15)	0,44 (0,12)	0,49 (0,19)	0,65* (0,84)	0,25 (0,23)	0,98* (0,75)	0,32 (0,23)
Sabor Torrado	0,00 (0,99)	0,00 (0,99)	0,44 (0,44)	0,47 (0,42)	0,77* (0,33)	0,25 (0,45)	0,44 (0,09)	0,44 (0,11)	0,99* (0,66)	0,00 (0,99)	0,44 (0,44)	0,23 (0,81)	0,00 (0,99)
Sabor de Óleo	0,36 (0,66)	0,77* (0,83)	0,85* (1,00)	0,86* (0,69)	0,69* (0,63)	0,02 (0,87)	0,00 (0,21)	0,19 (0,00)*	0,96* (0,4)	0,66* (0,16)	0,60* (0,13)	0,69* (0,09)	0,60* (0,38)
Sabor de Ranço	0,14 (0,11)	0,26 (0,42)	0,44 (0,44)	0,00 (0,49)	0,34 (0,50)	0,29 (0,44)	0,47 (0,28)	0,13 (0,27)	1,00* (0,43)	0,50 (0,48)	0,44 (0,44)	0,87* (0,74)	0,44 (0,44)
Adstringência	0,39 (0,47)	0,00 (0,99)	0,00 (0,99)	0,31 (0,37)	0,92* (0,39)	0,92* (0,65)	1,00* (0,87)	0,42 (0,51)	0,43 (1,00)	0,11 (0,00)*	0,65* (0,68)	0,99* (0,29)	0,44 (0,89)
Dureza	0,25 (0,22)	0,44 (0,03)*	0,29 (0,73)	0,63* (0,02)*	0,01 (0,19)	0,73* (0,86)	0,56* (0,23)	0,62* (0,33)	0,42 (0,5)	0,61* (0,67)	0,75* (0,73)	0,41 (0,94)	0,93* (0,53)
Crocância	0,37 (0,45)	0,40 (0,99)	0,58* (0,73)	0,25 (0,50)	0,46 (0,61)	0,44 (0,53)	0,35 (0,53)	0,09 (0,24)	0,79* (0,71)	0,68* (0,62)	0,72* (0,52)	0,25 (0,2)	0,34 (0,41)
Mastigabilidade	0,78* (0,02)*	0,50 (0,67)	0,99* (0,83)	1,00* (0,63)	0,49 (0,24)	0,50 (0,96)	0,09 (0,5)	0,27 (0,48)	0,92* (0,36)	0,46 (0,51)	0,75* (0,74)	0,11 (0,27)	0,68* (0,21)
Fibrosidade Residual	0,26 (0,19)	0,11 (0,29)	0,85* (0,64)	0,70* (0,79)	0,04 (0,29)	0,61* (0,98)	0,22 (0,23)	0,04 (0,14)	0,01 (0,88)	0,29 (0,93)	0,17 (0,16)	0,47 (0,55)	0,09 (0)
Aderência	0,43 (0,44)	0,00 (0,99)	0,22 (0,77)	0,09 (0,13)	0,50 (0,75)	0,44 (0,85)	0,04 (0,32)	0,45 (0,6)	0,88* (0,77)	0,98* (0,99)	0,12 (0,44)	0,68* (0,96)	0,69* (0,16)
D	4	4	7	4	5	7	4	2	10	5	9	9	5
R	1	1	1	1	0	0	0	3	1	1	0	1	0
T	5	5	8	5	5	7	4	5	11	6	9	10	5

D = nº de vezes que o provador não discriminou as amostras ($pF_{amostra} > 0,50$).

R = nº de vezes que o provador não apresentou repetibilidade ($pF_{repetição} < 0,05$). T = D+ R.

Selecionou-se os provadores capazes de discriminar as amostras ($pF_{amostra} \leq 0,50$) apresentando boa repetibilidade ($pF_{repetição} \geq 0,05$) e produzindo resultados consensuais com os demais membros da equipe sensorial. O nível de significância máximo estabelecido de $pF_{amostra}$ para a escolha dos provadores ($pF \leq 0,50$) foi escolhido de acordo com os resultados obtidos nesta etapa, devido ao pequeno grau de diferença existente entre as amostras, bem como para a obtenção de um número aceitável de provadores. Os provadores que não atingiram alguns dos critérios estabelecidos, quer o poder discriminativo, quer a repetibilidade, foram marcados, no atributo onde o problema ocorreu, com (*).

A Tabela 19 (a e b) abaixo apresenta a média obtida por cada provador bem como teste de Tukey para cada amostra em cada atributo e foi utilizada para análise do consenso entre os membros da equipe.

Tabela 19 (a) – Médias atribuídas pelos provadores e pela equipe para etapa de pré seleção

Atributo	Amos.	EQ.	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13
Cor Bege	MW1	3,0 ^a	4,8 ^a	3,5 ^a	1,5 ^a	1,3 ^a	1,2 ^a	3,5 ^a	4,4 ^a	3,8 ^a	2,6 ^a	1,8 ^a	1,6 ^a	5,1 ^a	4,0 ^a
	CVL	2,6 ^a	4,2 ^{ab}	1,8 ^a	2,0 ^a	0,9 ^a	2,0 ^a	4,5 ^a	1,5 ^a	3,8 ^a	2,6 ^a	1,6 ^a	1,5 ^a	4,2 ^a	3,2 ^a
	MW2	2,4 ^a	2,9 ^b	2,1 ^a	1,5 ^a	0,4 ^a	1,5 ^a	2,9 ^a	4,4 ^a	3,0 ^a	3,4 ^a	2,4 ^a	2,1 ^a	2,0 ^b	2,9 ^a
Brilho	CVL	6,5 ^a	5,2 ^a	5,0 ^a	6,8 ^a	6,4 ^a	2,2 ^a	6,1 ^a	8,3 ^a	8,2 ^a	8,5 ^a	6,6 ^a	6,7 ^a	7,3 ^a	7,0 ^a
	MW2	5,5 ^a	6,3 ^a	4,0 ^a	7,3 ^a	0,9 ^b	5,2 ^a	4,5 ^a	5,3 ^a	7,1 ^a	8,4 ^a	8,7 ^a	3,2 ^a	4,3 ^a	6,4 ^a
	MW1	4,3 ^b	3,7 ^a	1,9 ^a	5,0 ^a	1,3 ^{ab}	1,6 ^a	5,1 ^a	6,0 ^a	6,4 ^a	8,2 ^a	5,1 ^a	3,5 ^a	5,5 ^a	2,3 ^a
Manchas Escuras	CVL	2,4 ^a	1,8 ^a	5,2 ^a	0,5 ^a	0,7 ^a	0,5 ^a	2,6 ^a	1,6 ^a	4,0 ^a	2,5 ^a	6,4 ^a	0,6 ^a	2,3 ^a	2,8 ^a
	MW2	2,3 ^a	2,3 ^a	3,8 ^a	1,2 ^a	1,0 ^a	0,5 ^a	2,3 ^a	0,1 ^a	3,4 ^a	5,6 ^a	4,4 ^a	1,4 ^a	3,4 ^a	0,4 ^a
	MW1	2,2 ^a	1,4 ^a	2,2 ^a	0,7 ^a	2,7 ^a	0,5 ^a	2,5 ^a	3,9 ^a	4,6 ^a	3,5 ^a	2,0 ^a	1,1 ^a	4,0 ^a	0,1 ^a
Aroma De Noz	CVL	5,7 ^a	5,3 ^a	7,4 ^a	7,9 ^a	8,0 ^a	1,7 ^a	3,5 ^a	7,6 ^a	7,3 ^a	7,2 ^a	2,0 ^a	3,6 ^a	5,7 ^a	7,5 ^a
	MW2	5,2 ^a	4,2 ^a	9,0 ^a	8,1 ^a	5,6 ^a	0,9 ^a	2,7 ^a	5,8 ^a	6,2 ^a	4,6 ^b	3,7 ^a	5,0 ^a	4,7 ^a	8,1 ^a
	MW1	4,4 ^a	4,1 ^a	6,0 ^a	8,1 ^a	5,0 ^a	1,6 ^a	3,2 ^a	3,2 ^a	2,8 ^a	5,8 ^{ab}	0,5 ^a	4,1 ^a	4,8 ^a	8,3 ^a
Aroma Doce	CVL	2,8 ^a	5,0 ^a	0,7 ^a	0,2 ^a	7,5 ^a	0,5 ^a	2,4 ^a	4,0 ^a	5,4 ^a	4,7 ^a	1,9 ^a	1,3 ^a	5,2 ^a	1,2 ^a
	MW2	2,6 ^a	3,2 ^a	1,9 ^a	0,3 ^a	5,5 ^a	1,2 ^a	2,5 ^a	3,6 ^a	3,8 ^a	3,3 ^a	3,1 ^a	0,5 ^a	1,8 ^b	2,5 ^a
	MW1	2,3 ^a	3,0 ^a	1,7 ^a	0,5 ^a	4,7 ^a	0,5 ^a	1,9 ^a	0,7 ^a	2,5 ^a	3,9 ^a	0,3 ^a	0,8 ^a	3,1 ^{ab}	3,0 ^a
Aroma Torrado	CVL	0,7 ^a	0,0 ^a	0,0 ^a	0,0 ^a	0,3 ^a	0,2 ^a	4,5 ^a	0,3 ^a	0,2 ^a	0,3 ^a	0,0 ^a	0,1 ^a	2,5 ^a	0,0 ^a
	MW2	0,4 ^{ab}	0,0 ^a	0,0 ^a	0,0 ^a	0,9 ^a	0,5 ^a	2,4 ^a	0,3 ^a	0,0 ^a	0,1 ^a	0,0 ^a	0,0 ^a	1,3 ^a	0,0 ^a
	MW1	0,2 ^b	0,0 ^a	0,0 ^a	0,0 ^a	0,4 ^a	0,4 ^a	1,5 ^a	0,1 ^a	0,0 ^a	0,0 ^a	0,0 ^a	0,0 ^a	0,2 ^a	0,0 ^a
Aroma de Ranço	CVL	0,7 ^a	0,2 ^a	0,0 ^a	0,0 ^a	1,7 ^a	0,7 ^a	2,2 ^a	2,1 ^a	0,3 ^a	0,0 ^a	0,8 ^a	0,0 ^a	1,1 ^a	0,0 ^a
	MW2	0,3 ^b	0,2 ^a	0,0 ^a	0,0 ^a	0,3 ^a	0,5 ^a	0,8 ^a	1,3 ^a	0,1 ^a	0,0 ^a	0,4 ^a	0,0 ^a	0,5 ^a	0,0 ^a
	MW1	0,3 ^b	0,2 ^a	0,0 ^a	0,0 ^a	0,2 ^a	0,5 ^a	1,0 ^a	0,1 ^a	0,1 ^a	0,0 ^a	0,1 ^a	0,0 ^a	1,1 ^a	0,0 ^a

Tabela 19(b) – Médias atribuídas pelos provadores e pela equipe para etapa de pré seleção

Atributo	Amos.	EQ.	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13
Sabor	CVL	6,2 ^a	5,7 ^a	8,3 ^a	7,5 ^a	8,4 ^a	3,3 ^a	5,4 ^a	6,6 ^a	7,5 ^a	6,5 ^{ab}	7,2 ^a	2,8 ^a	6,4 ^a	5,4 ^a
de Noz	MW2	6,0 ^{ab}	4,0 ^a	9,0 ^a	8,4 ^a	8,2 ^a	2,7 ^a	5,4 ^a	8,1 ^a	4,7 ^a	7,4 ^a	7,2 ^a	4,3 ^a	4,3 ^{ab}	4,4 ^a
	MW1	5,1 ^b	6,3 ^a	7,4 ^a	6,2 ^a	7,9 ^a	3,3 ^a	5,2 ^a	3,7 ^a	4,4 ^a	3,6 ^b	5,2 ^a	3,2 ^a	1,9 ^b	8,2 ^a
Gosto Doce	CVL	3,5 ^a	7,2 ^a	1,1 ^a	0,1 ^a	1,4 ^a	1,3 ^a	6,5 ^a	5,9 ^a	5,2 ^a	4,4 ^a	6,7 ^a	0,5 ^a	4,0 ^a	1,4 ^a
	MW2	3,0 ^a	4,8 ^a	3,0 ^a	0,2 ^a	2,9 ^a	1,4 ^a	5,8 ^a	2,3 ^a	4,2 ^a	2,0 ^a	6,1 ^a	0,8 ^a	2,9 ^a	2,4 ^a
	MW1	2,9 ^a	4,3 ^a	1,2 ^a	0,0 ^a	0,7 ^a	3,4 ^a	3,9 ^a	4,6 ^a	6,4 ^a	1,0 ^a	4,2 ^a	0,5 ^a	3,6 ^a	3,2 ^a
Gosto Amargo	MW2	1,6 ^a	0,3 ^a	0,0 ^a	0,1 ^a	4,9 ^a	2,2 ^a	1,5 ^a	4,3 ^a	0,0 ^a	1,6 ^a	1,6 ^a	0,0 ^a	3,9 ^a	0,2 ^a
	MW1	1,5 ^a	0,3 ^a	1,1 ^a	0,7 ^a	1,3 ^a	0,9 ^a	4,0 ^a	3,2 ^a	0,2 ^a	2,6 ^a	0,5 ^a	0,3 ^a	4,2 ^a	0,4 ^a
	CVL	1,2 ^a	0,4 ^a	0,0 ^a	0,1 ^a	0,5 ^a	0,6 ^a	3,7 ^a	0,4 ^a	0,1 ^a	3,2 ^a	0,6 ^a	0,3 ^a	4,2 ^a	1,2 ^a
Sabor Torrado	CVL	0,6 ^a	0,0 ^a	0,0 ^a	0,0 ^a	0,4 ^a	1,1 ^a	5,2 ^a	0,1 ^a	0,1 ^a	0,5 ^a	0,0 ^a	0,0 ^a	0,6 ^a	0,0 ^a
	MW1	0,5 ^a	0,0 ^a	0,0 ^a	0,0 ^a	1,1 ^a	0,8 ^a	3,9 ^a	0,1 ^a	0,1 ^a	0,6 ^a	0,0 ^a	0,0 ^a	0,2 ^a	0,0 ^a
	MW2	0,5 ^a	0,0 ^a	0,0 ^a	0,1 ^a	0,4 ^a	0,6 ^a	2,4 ^a	0,3 ^a	0,0 ^a	0,6 ^a	0,0 ^a	0,0 ^a	1,1 ^a	0,0 ^a
Sabor de Óleo	CVL	4,5 ^a	7,2 ^a	4,3 ^a	1,5 ^a	5,3 ^a	3,9 ^a	6,3 ^a	8,2 ^a	5,0 ^a	2,7 ^a	4,2 ^a	0,4 ^a	5,8 ^a	3,9 ^a
	MW1	3,9 ^a	7,0 ^a	4,5 ^a	2,0 ^a	6,6 ^a	3,6 ^a	3,7 ^a	0,1 ^b	3,6 ^a	2,5 ^a	6,1 ^a	0,5 ^a	5,4 ^a	4,8 ^a
	MW2	3,8 ^a	6,1 ^a	3,6 ^a	1,0 ^a	5,6 ^a	2,3 ^a	3,2 ^a	1,5 ^b	4,9 ^a	2,2 ^a	5,3 ^a	0,5 ^a	5,9 ^a	5,3 ^a
Sabor de Ranço	MW2	2,0 ^a	1,2 ^a	4,3 ^a	0,1 ^a	7,1 ^a	2,8 ^a	3,2 ^a	0,9 ^a	0,8 ^a	1,5 ^a	1,1 ^a	0,0 ^a	3,0 ^a	0,3 ^a
	CVL	0,9 ^b	0,2 ^a	3,0 ^a	0,0 ^a	0,7 ^b	1,0 ^a	2,4 ^a	0,1 ^a	0,1 ^a	1,4 ^a	1,0 ^a	0,0 ^a	1,9 ^a	0,0 ^a
	MW1	0,8 ^b	0,3 ^a	0,5 ^a	0,0 ^a	2,0 ^b	0,9 ^a	1,6 ^a	0,7 ^a	0,0 ^a	1,6 ^a	0,1 ^a	0,0 ^a	2,8 ^a	0,0 ^a
Adstringência	MW2	1,9 ^a	4,5 ^a	0,0 ^a	0,0 ^a	1,4 ^a	2,8 ^a	4,0 ^a	3,0 ^a	0,5 ^a	3,7 ^a	0,6 ^a	0,6 ^a	2,9 ^a	0,3 ^a
	CVL	1,8 ^a	3,5 ^a	0,0 ^a	0,0 ^a	0,6 ^a	3,0 ^a	4,4 ^a	3,1 ^a	1,3 ^a	3,1 ^a	0,6 ^a	1,0 ^a	2,6 ^a	0,1 ^a
	MW1	1,4 ^a	2,7 ^a	0,0 ^a	0,0 ^a	0,8 ^a	2,6 ^a	3,5 ^a	3,2 ^a	0,4 ^a	0,9 ^a	0,4 ^a	1,0 ^a	2,7 ^a	0,0 ^a
Dureza	CVL	5,9 ^a	7,7 ^a	8,5 ^a	6,4 ^a	2,5 ^a	5,8 ^a	6,1 ^a	8,0 ^a	6,0 ^a	4,2 ^a	8,8 ^a	3,5 ^a	5,9 ^a	3,3 ^a
	MW2	5,5 ^a	6,1 ^a	7,3 ^a	7,8 ^a	3,2 ^a	1,7 ^b	4,9 ^a	6,7 ^a	6,6 ^a	7,4 ^a	8,1 ^a	4,4 ^a	5,7 ^a	2,1 ^a
	MW1	4,9 ^a	7,3 ^a	7,0 ^a	6,0 ^a	3,5 ^a	3,4 ^{ab}	5,4 ^a	5,2 ^a	3,8 ^a	4,5 ^a	8,3 ^a	3,1 ^a	2,9 ^a	2,8 ^a
Crocância	CVL	7,1 ^a	7,3 ^a	8,3 ^a	6,6 ^a	8,2 ^a	5,4 ^a	5,6 ^a	8,8 ^a	7,8 ^a	8,0 ^a	8,7 ^a	3,1 ^a	6,0 ^a	7,9 ^a
	MW2	6,0 ^b	6,6 ^a	8,3 ^a	6,5 ^a	6,7 ^a	2,8 ^a	3,9 ^a	5,6 ^a	8,2 ^a	7,6 ^a	8,1 ^a	3,1 ^a	5,3 ^a	5,3 ^a
	MW1	5,6 ^b	6,0 ^a	5,7 ^a	5,3 ^a	7,3 ^a	3,8 ^a	5,3 ^a	5,1 ^a	4,0 ^a	8,1 ^a	8,2 ^a	2,2 ^a	4,1 ^a	7,5 ^a
Mastigabilidade	CVL	5,8 ^a	6,1 ^a	6,6 ^a	5,7 ^a	6,2 ^a	3,9 ^a	5,6 ^a	7,6 ^a	6,8 ^a	3,2 ^a	8,4 ^a	3,8 ^a	5,8 ^a	5,5 ^a
	MW2	4,9 ^{ab}	6,2 ^a	8,3 ^a	5,5 ^a	6,1 ^a	2,6 ^a	3,8 ^a	2,1 ^a	7,2 ^a	3,8 ^a	6,3 ^a	3,1 ^a	4,0 ^a	4,8 ^a
	MW1	4,5 ^b	5,8 ^a	5,5 ^a	5,4 ^a	6,2 ^a	2,5 ^a	5,0 ^a	2,2 ^a	4,2 ^a	3,1 ^a	7,6 ^a	2,5 ^a	1,6 ^a	6,9 ^a
Fibrosidade Residual	MW1	4,1 ^a	3,5 ^a	4,1 ^a	0,3 ^a	0,7 ^a	4,0 ^{ab}	5,1 ^a	8,2 ^a	7,3 ^a	5,0 ^{ab}	5,9 ^a	1,5 ^a	5,6 ^a	2,2 ^a
	MW2	4,0 ^a	4,7 ^a	4,1 ^a	0,4 ^a	0,5 ^a	2,3 ^b	3,5 ^a	8,6 ^a	6,1 ^{ab}	8,4 ^a	5,5 ^a	1,8 ^a	3,7 ^a	2,0 ^a
	CVL	3,2 ^b	2,8 ^a	1,2 ^a	0,3 ^a	0,9 ^a	4,7 ^a	5,4 ^a	5,2 ^a	3,4 ^b	1,5 ^b	7,3 ^a	2,8 ^a	4,4 ^a	1,4 ^a
Aderência	MW2	2,4 ^a	3,1 ^a	0,0 ^a	1,0 ^a	1,3 ^a	4,0 ^a	3,1 ^a	8,1 ^a	0,6 ^a	3,7 ^a	1,1 ^a	1,7 ^a	2,3 ^a	1,2 ^a
	MW1	2,2 ^a	2,8 ^a	0,0 ^a	0,4 ^a	0,6 ^a	3,4 ^a	4,4 ^a	3,3 ^{ab}	3,4 ^a	4,3 ^a	1,0 ^a	1,0 ^a	3,2 ^a	1,0 ^a
	CVL	1,9 ^a	1,2 ^a	0,0 ^a	0,1 ^a	0,3 ^a	1,9 ^a	5,1 ^a	2,6 ^b	1,9 ^a	5,3 ^a	0,9 ^a	2,0 ^a	2,1 ^a	0,8 ^a

Pelos resultados obtidos e com a análise do poder discriminativo e repetibilidade, foram escolhidos 8 provadores, sendo que, pelos critérios de escolha, os mesmos deviam apresentar uma somatória de erros (T) ≤ 6. Destes 8 provadores, 2 apresentaram falta de consenso com a equipe, de acordo com o resultado do teste de Tukey apresentado na Tabela

19. O provador 4 apresentou falta de consenso no atributo Brilho e o provador 5 nos atributos Dureza e Fibrosidade Residual. Estes provadores foram retreinados em 2 sessões nestes atributos para a realização da avaliação final das amostras.

5.6.1.4 Perfil Sensorial

A Tabela 20 apresenta os resultados da análise de variância dos dados sensoriais gerados através da técnica de análise descritiva quantitativa.

Tabela 20 – Resultados de F e p para as fontes de variação obtidos da Análise de Variância

Atributo	F _{amostra}	p	F _{provador}	p	F _{amos*prov}	p
Cor Bege	2,02	0,057	15,62	< 0,0001	0,75	0,876
Brilho	2,20	0,039	9,31	< 0,0001	1,32	0,111
Manchas escuras	1,09	0,372	6,56	< 0,0001	1,05	0,413
Aroma de Noz	1,95	0,067	27,12	< 0,0001	0,77	0,846
Aroma Doce	1,04	0,404	17,57	< 0,0001	0,90	0,655
Aroma Torrado	1,02	0,420	7,60	< 0,0001	0,92	0,622
Aroma de Ranço	1,88	0,078	8,38	< 0,0001	0,87	0,704
Sabor de Noz	0,37	0,919	15,79	< 0,0001	1,16	0,253
Sabor Doce	0,62	0,735	11,49	< 0,0001	0,82	0,786
Sabor Amargo	1,61	0,138	7,67	< 0,0001	0,89	0,667
Sabor Torrado	1,56	0,153	13,34	< 0,0001	0,58	0,985
Sabor de Óleo	1,04	0,408	8,86	< 0,0001	1,08	0,358
Sabor de Ranço	6,21	0,0001	14,16	< 0,0001	2,13	0,0004
Adstringente	0,53	0,809	18,13	< 0,0001	0,66	0,945
Dureza	0,93	0,489	21,73	< 0,0001	1,08	0,354
Crocância	3,10	0,005	17,76	< 0,0001	1,16	0,248
Mastigabilidade	1,68	0,119	13,45	< 0,0001	0,96	0,554
Fibrosidade Residual	1,18	0,320	55,79	< 0,0001	1,84	0,004
Aderência	1,21	0,300	18,44	< 0,0001	1,30	0,121

Conforme pode ser observado na Tabela 20, há evidências de que pelo menos 2 amostras diferem entre si ($p \leq 0,05$), com relação aos atributos brilho, sabor de ranço e crocância. Diferenças em níveis ligeiramente superiores a 5% de significância foram também observados para os atributos cor bege ($p=0,057$), aroma de noz ($p=0,067$) e aroma de ranço ($p=0,078$).

Para todos os atributos, a fonte de variação “provedor” apresentou diferença significativa ($p \leq 0,05$), mostrando que apesar do treinamento os provedores utilizaram diferentes porções da escala para avaliar as amostras, o que é indesejável porém de ocorrência frequente em estudos sensoriais. Para 2 atributos, sabor de ranço e fibrosidade residual, a interação amostra *versus* provedor foi significativa ($p \leq 0,05$). Deste modo, o $F_{amostra}$ para o atributo sabor de ranço foi recalculado tendo em seu denominador a Somatória dos Quadrados Médios da interação amostra *versus* provedor ($F_{amostra} = SQM_{amostra} / SQM_{interação amostra \times provedor}$) obtendo-se o valor de 2,92, maior que o $F_{tabelado}$ a 5% de significância de 2,08. Ainda, foi analisado o gráfico das médias de cada provedor para o atributo em questão para avaliar a gravidade da falha de consenso.

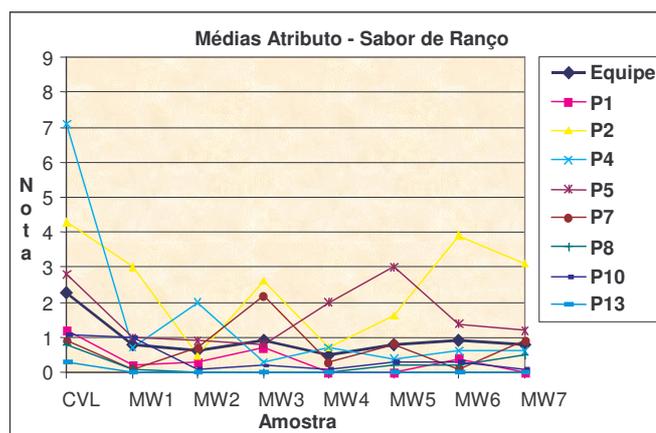


Figura 21 – Médias obtidas por provedor para cada amostra para o atributo sabor de ranço

Pode-se observar que apesar da interação significativa, o novo resultado ainda levou à mesma conclusão anterior, ou seja, para o atributo sabor de ranço há pelo menos 2 amostras que apresentam diferença significativa ($F_{calculado} < F_{tabelado}$ para 5% de significância). O gráfico (Figura 21) não sugere provedores com falha grave de consenso.

A Tabela 21 resume o resultado final das médias e teste de Tukey para cada atributo. Conforme pode ser observado, pelo menos duas amostras deferem entre si com

relação a 5 atributos, quais sejam: brilho, aroma de noz, aroma de ranço, sabor de ranço e crocância. Para os demais atributos, a análise de variância e teste de Tukey concordam em que não há diferença sensorial significativa a $p \leq 0,05$ entre as amostras no início do período de armazenamento, ou seja, logo após o processamento das amostras.

Tabela 21 – Médias dos atributos e resultados do teste de Tukey

Atributo	MDS	Amostra*							
		CVL	MW1	MW2	MW3	MW4	MW5	MW6	MW7
Cor Bege	1,25	2,4 ^a	3,1 ^a	2,5 ^a	2,1 ^a	2,0 ^a	2,5 ^a	3,2 ^a	2,4 ^a
Brilho	2,23	6,1 ^a	3,5 ^b	5,5 ^{ab}	5,1 ^{ab}	4,7 ^{ab}	4,8 ^{ab}	4,4 ^{ab}	4,7 ^{ab}
Manchas escuras	1,94	2,9 ^a	2,2 ^a	2,0 ^a	1,9 ^a	3,0 ^a	3,0 ^a	2,3 ^a	2,1 ^a
Aroma de Noz	2,02	5,9 ^{ab}	3,9 ^b	5,4 ^{ab}	6,1 ^a	5,4 ^{ab}	5,5 ^{ab}	5,4 ^{ab}	5,0 ^{ab}
Aroma Doce	1,96	2,9 ^a	2,4 ^a	3,1 ^a	3,4 ^a	3,5 ^a	3,6 ^a	3,7 ^a	3,7 ^a
Aroma Torrado	0,26	0,1 ^a	0,1 ^a	0,2 ^a	0,1 ^a	0,1 ^a	0,5 ^a	0,3 ^a	0,1 ^a
Aroma de Ranço	0,55	0,7 ^a	0,1 ^b	0,3 ^{ab}	0,3 ^{ab}	0,3 ^{ab}	0,5 ^{ab}	0,3 ^{ab}	0,3 ^{ab}
Sabor de Noz	1,71	6,5 ^a	5,8 ^a	6,1 ^a	6,0 ^a	6,3 ^a	6,1 ^a	6,3 ^a	6,0 ^a
Gosto Doce	2,01	3,8 ^a	3,5 ^a	3,4 ^a	3,1 ^a	3,8 ^a	3,3 ^a	2,7 ^a	3,4 ^a
Gosto Amargo	1,28	0,5 ^a	1,0 ^a	1,7 ^a	1,3 ^a	0,8 ^a	1,0 ^a	0,7 ^a	0,9 ^a
Sabor Torrado	0,35	0,2 ^a	0,2 ^a	0,2 ^a	0,1 ^a	0,2 ^a	0,4 ^a	0,2 ^a	0,2 ^a
Sabor de Óleo	2,05	5,2 ^a	4,5 ^a	4,3 ^a	5,2 ^a	5,2 ^a	4,1 ^a	4,3 ^a	4,3 ^a
Sabor de Ranço	1,00	2,3 ^a	0,8 ^b	0,6 ^b	0,9 ^b	0,5 ^b	0,8 ^b	0,9 ^b	0,8 ^b
Adstringente	1,17	1,5 ^a	1,3 ^a	1,6 ^a	1,1 ^a	1,2 ^a	1,2 ^a	1,3 ^a	1,1 ^a
Dureza	2,11	6,3 ^a	5,1 ^a	5,2 ^a	4,9 ^a	5,6 ^a	5,1 ^a	5,9 ^a	5,6 ^a
Crocância	1,61	7,8 ^a	6,0 ^b	6,4 ^{ab}	6,3 ^{ab}	7,4 ^{ab}	6,7 ^{ab}	6,7 ^{ab}	6,0 ^b
Mastigabilidade	1,99	6,4 ^a	5,1 ^a	5,4 ^a	5,3 ^a	6,5 ^a	5,2 ^a	6,4 ^a	5,5 ^a
Fibrosidade Residual	1,33	3,3 ^a	4,5 ^a	4,2 ^a	3,8 ^a	4,0 ^a	4,0 ^a	4,0 ^a	4,1 ^a
Aderência	1,42	1,2 ^a	1,9 ^a	2,4 ^a	1,6 ^a	1,9 ^a	1,7 ^a	1,5 ^a	1,8 ^a

* Amostras com letras iguais, não diferem entre si a $p \leq 0,05$

Os resultados das médias foram plotados em Gráfico Aranha (Figura 22) como forma de facilitar a visualização das diferenças entre os perfis sensoriais das amostras. Como são 8 as amostras em estudo, foram utilizados para a análise, dois gráficos, sendo que o primeiro apresenta as médias obtidas pelas amostras controle (CVL), MW1, MW2 e MW3 e o segundo, as médias obtidas pelas amostras CVL, MW4, MW5, MW6 e MW7. A amostra CVL foi plotada nos dois gráficos como forma de comparação entre os métodos de secagem.

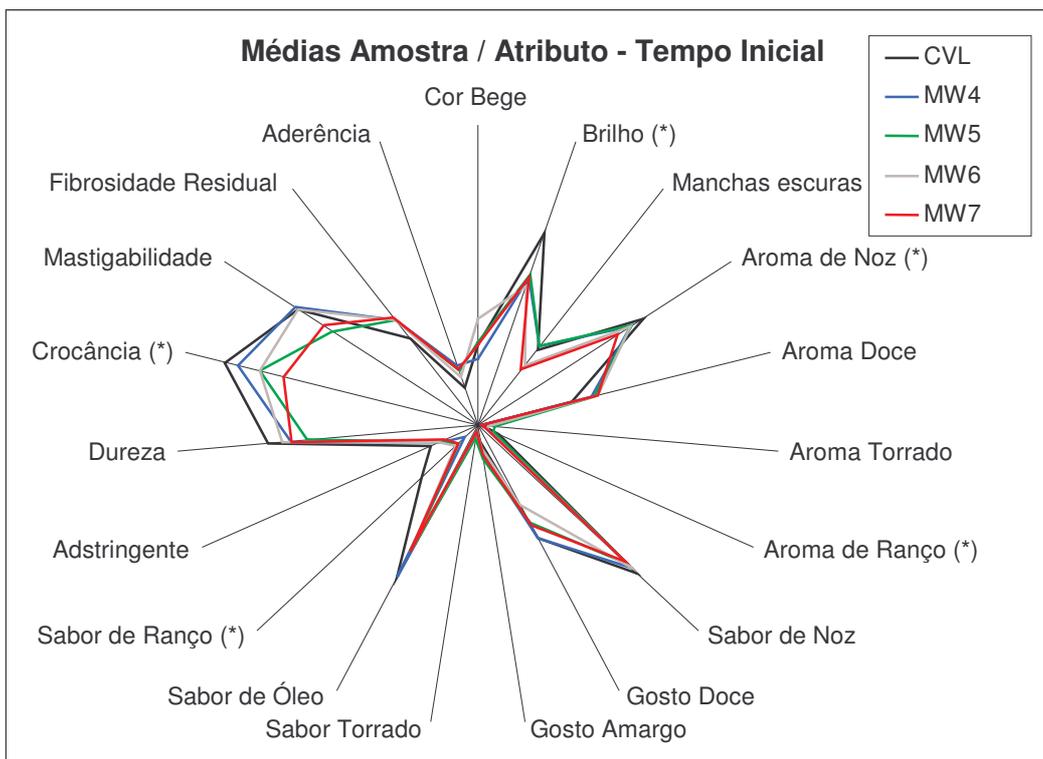
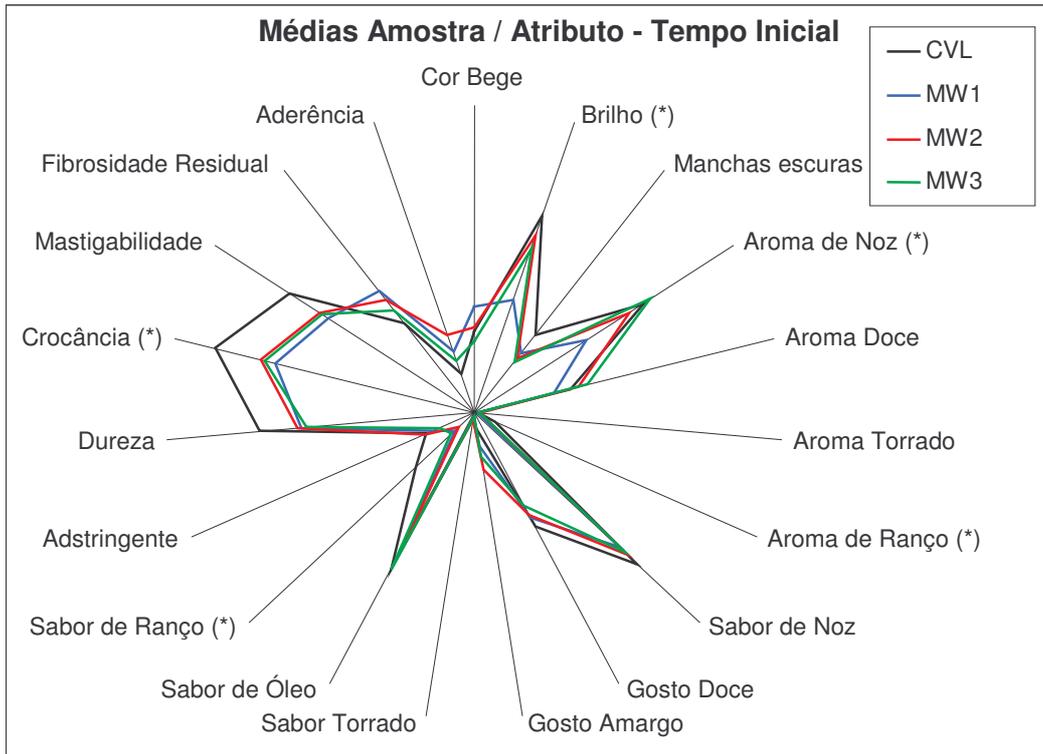


Figura 22 – Gráfico aranha das médias dos atributos por amostra A) CVL, MW1, MW2 e MW3 e B) CVL, MW4, MW5, MW6 e MW7. Os atributos que apresentaram amostras com diferenças significativas a $p \leq 0,05$ estão marcadas com (*).

Através da Figura 22, foi observado que a amostra de amêndoa de noz macadâmia que se caracteriza por maior intensidade de brilho é a amostra CVL, apresentando diferença significativa apenas com a amostra MW1 que por sua vez é a amostra que se caracterizou pela menor intensidade neste atributo. A amostra CVL apresentou maior crocância, diferindo significativamente ($p \leq 0,05$) das amostras MW1 e MW7, amostras estas que possivelmente podem ter adquirido umidade após o final do processo de secagem, pois as amêndoas apresentaram umidade final próxima a das outras amostras. A amostra CVL apresentou ainda, de acordo com a análise das médias, a maior intensidade para os atributos aroma e sabor de ranço. Para aroma de ranço, CVL diferiu significativamente da amostra MW1 ($p \leq 0,05$) e para sabor de ranço, CVL diferiu significativamente ($p \leq 0,05$) de todas as demais amostras que foram submetidas a tratamento com microondas, isso, se deve possivelmente ao fato da secagem convencional durar cerca de 144 horas enquanto que a secagem com microondas durou entre 4,5h e 5,5h, ou seja, o fato da amostra convencional ficar exposta a altas temperaturas durante tanto tempo pode adiantar os processos oxidativos. As amostras que sofreram tratamento com microondas não diferiram entre si a $p \leq 0,05$ exceto para o atributo aroma de noz, no qual houve diferenças significativas a $p \leq 0,05$ entre as amostras MW1 e MW3, sendo a última a amostra com maior intensidade neste atributo. Uma melhor caracterização das similaridades e diferenças entre os perfis sensoriais das amostras pode ser encontrado na análise multivariada de componentes principais (ACP), demonstrada na Figura 23.

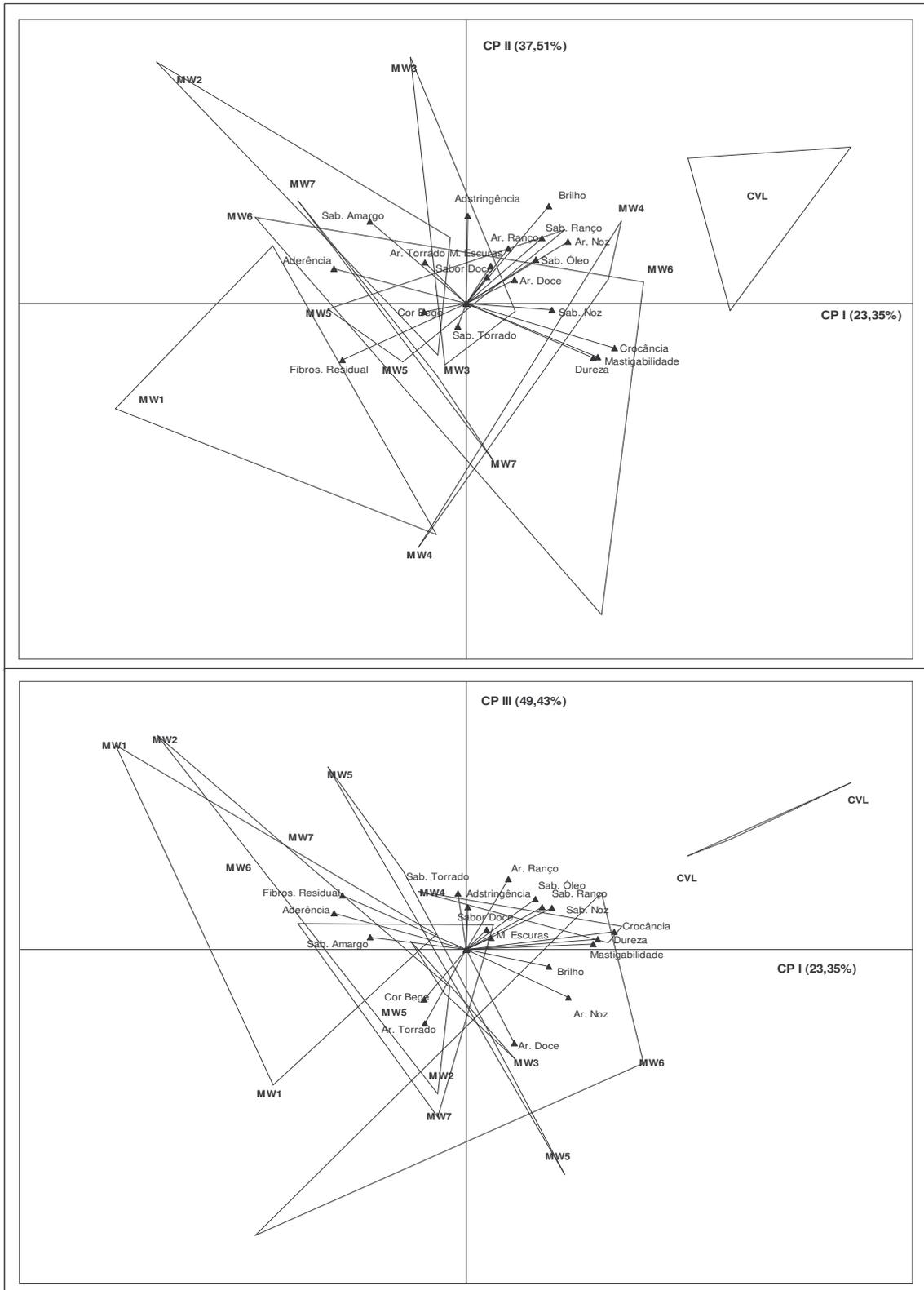


Figura 23 – Gráfico da Análise Multivariada de Componentes Principais (ACP) para o perfil sensorial gerado no início do armazenamento (CPs com valores acumulados)

No gráfico da ACP, cada amostra de amêndoa de noz macadâmia é representada por um triângulo, onde cada vértice corresponde ao valor médio atribuído pela equipe sensorial, em cada repetição. Amostras similares ocupam regiões próximas no gráfico e são caracterizados pelos vetores (atributos) que se apresentam mais próximos a elas.

Neste estudo, 3 componentes principais foram utilizados (CP's) que conjuntamente explicaram 49,43% da variabilidade total observada entre as amêndoas de noz macadâmia. Em ambas as ACP's pode ser observado uma divisão das 8 amostras estudadas em 2 grupos distintos: um primeiro grupo composto das amostras submetidas a tratamento com microondas e o segundo, composto pela amostra controle, submetida a tratamento convencional de secagem (CVL). Observou-se ainda que as repetições não apresentaram valores médios próximos, o que pode ser visualizado através da distância entre os vértices dos triângulos. Isto pode ser explicado pela semelhança entre as amostras, que foi comprovada pelo baixo número de atributos que apresentaram diferença significativa, o que dificulta a discriminabilidade dos provadores. Porém os resultados foram satisfatórios, uma vez que os provadores discriminaram sensorialmente a amostra controle das amostras tratadas com microondas.

A análise multivariada indica que a amostra convencional pode ser caracterizada pela crocância, dureza e mastigabilidade, sabor de noz, brilho, bem como pelo sabor e aroma de ranço. As amostras tratadas com microondas são caracterizadas por sua vez pela fibrosidade residual, aderência e sabor amargo.

As amostras secas com microondas que possuem o perfil sensorial mais próximo ao do tratamento convencional de acordo com a análise multivariada são as amostras MW3 e MW4, amostras estas que foram tiveram um tempo de secagem (270 min) menor. A amostra MW1, que teve o maior tempo de secagem (330 min), por sua vez é a amostra

seca com microondas que possui o perfil sensorial mais distante do perfil apresentado pela amostra submetida ao tratamento convencional. Esta análise sugere que o tratamento com microondas que produz amêndoas com perfil sensorial mais similar ao convencional (tratamento controle do estudo sensorial/CVL) e portanto considerado o melhor tratamento, ou o recomendado é aquele que obteve o menor tempo de processo (MW3 e MW4). Desta forma, amêndoas de noz macadâmia secas com microondas durante um tempo igual a 270 minutos com as seguintes condições de secagem: $T_{\text{ajuste}} = 68^{\circ}\text{C}$ e $T_{\text{ar}} = 58^{\circ}\text{C}$ e 62°C , geraram as melhores amêndoas secas no início do armazenamento.

5.6.2 Perfil sensorial das amostras ao fim do período de armazenamento

As tabelas 22 e 23 (a e b) apresentam o desempenho dos provadores que geraram o perfil sensorial das amostras ao final do período de armazenamento dos mesmos. A equipe sensorial selecionada foi composta por 8 provadores capazes de discriminar as amostras ($pF_{\text{amostra}} \leq 0,50$), apresentando boa repetibilidade ($pF_{\text{repetição}} \geq 0,05$) e consenso com a equipe sensorial.

Tabela 22 – Valores de p amostra e p repetição (entre parênteses) / etapa de pré-seleção

Atributos	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13
Cor Bege	0,13 (0,07)	0,03 (0,06)	0,92* (0,3)	0,62* (0,58)	0,42 (0,03)*	0,45 (0,96)	0,38 (0,62)	0,91* (0,65)	0,8* (0,9)	0,77* (0,98)	0,20 (0,83)	0,43 (0,67)	0,97* (0,32)
Brilho	0,07 (0,11)	0,09 (0,02)*	0,22 (0,25)	0,22 (0,36)	0,08 (0,21)	0,12 (0,48)	0,09 (0,13)	0,46 (0,24)	0,26 (0,22)	0,24 (0,17)	0,36 (0,06)	0,21 (0,58)	0,02 (0,63)
Manchas Escuras	0,95* (0,76)	0,44 (0,14)	0,09 (0,16)	0,80* (0,57)	0,95* (0,85)	0,24 (0,7)	0,96* (0,21)	0,39 (0,02)	0,72* (0,38)	0,62* (0,94)	0,95* (0,26)	0,22 (0,66)	0,27 (0,57)
Aroma de Noz	0,14 (0,74)	0,58* (0,65)	0,44 (0,98)	0,33 (0,49)	0,98 (0,2)	0,94* (0,43)	0,49 (0,42)	0,87* (0,81)	0,26 (0,61)	0,15 (0,14)	0,04 (0,19)	0,81* (0,99)	0,24 (0,45)
Aroma Doce	0,46 (0,83)	0,34 (0,54)	0,06 (0,86)	0,21 (0,00)*	0,57* (0,07)	0,88* (0,28)	0,06 (0,24)	0,26 (0,39)	0,35 (0,26)	0,40 (0,66)	0,18 (0,03)*	0,05 (0,11)	0,44 (0,09)
Aroma Torrado	0,62* (0,62)	0,50 (0,04)	0,00 (0,00)*	0,50 (0,1)	0,63* (0,73)	0,24 (0,19)	0,39 (0,45)	0,01 (0,25)	0,44 (0,44)	0,46 (0,1)	0,44 (0,00)	0,57* (0,07)	0,48 (0,1)
Aroma de Ranço	0,49 (0,17)	0,49 (0,32)	0,46 (0,42)	0,41 (0,86)	0,84* (0,37)	0,62* (0,37)	0,00 (0,15)	0,34 (0,12)	0,02 (0,06)	0,32 (0,01)*	0,76* (0,37)	0,50 (0,59)	0,37 (0,59)
Sabor de Noz	0,50 (0,78)	0,69* (0,95)	0,48 (0,26)	0,38 (0,29)	0,58* (0,03)*	0,56* (0,7)	0,45 (0,81)	0,19 (0,55)	0,10 (0,24)	0,65* (0,00)*	0,08 (0,36)	0,29 (0,83)	0,48 (0,18)
Gosto Doce	0,84* (0,29)	0,91* (0,38)	0,50 (0,75)	0,19 (0,05)	0,00 (0,00)*	0,40 (0,68)	0,20 (0,78)	0,40 (0,88)	0,96* (0,74)	0,01 (0,34)	0,65* (0,94)	0,45 (0,27)	0,82* (0,73)
Gosto Amargo	0,85* (0,56)	0,10 (0,07)	0,27 (0,09)	0,82* (0,21)	0,06 (0,03)*	0,84* (0,61)	0,46 (0,38)	0,01 (0,59)	0,84* (0,44)	1,00 (0,79)	0,22 (0,46)	0,40 (0,32)	0,86* (0,22)
Gosto Torrado	0,44 (0,44)	0,02 (0,99)	0,44 (0,16)	0,92 (0,38)	0,73* (0,32)	0,36 (0,37)	0,38 (0,28)	0,28 (0,3)	0,00 (1)	0,62* (0,33)	0,44 (0,13)	0,11 (0,08)	0,58* (0,11)
Sabor de Óleo	0,77* (0,52)	0,68* (0,18)	0,22 (0,13)	0,24 (0,6)	0,40 (0,09)	0,22 (0,98)	0,43 (0,07)	0,88* (0,22)	0,75* (0,49)	0,21 (0,07)	0,50 (0,54)	0,32 (0,54)	0,84* (0,5)
Sabor de Ranço	0,19 (0,07)	0,47 (0,8)	0,33 (0,42)	0,65* (0,72)	0,91* (0,44)	0,27 (0,86)	0,42 (0,4)	0,00 (0,36)	0,58* (0,05)	0,06 (0,06)	0,32 (0,44)	0,13 (0,56)	0,23 (0,2)
Adstringência	0,12 (0,66)	0,02 (0,01)*	0,14 (0,19)	0,76* (0,4)	0,15 (0,00)*	0,24 (0,47)	0,61* (0,5)	0,29 (0,71)	0,50 (0,66)	0,39 (0,07)	0,49 (0,78)	0,21 (0,01)*	0,68* (0,51)
Dureza	0,96* (0,46)	0,82* (0,86)	0,89* (0,89)	0,30 (0,11)	0,01 (0,48)	0,70* (0,13)	0,43 (0,11)	0,05 (0,01)*	0,45 (0,71)	0,11 (0,55)	0,80* (0,63)	0,88* (0,53)	0,56* (0,55)
Crocância	0,60* (0,17)	0,29 (0,45)	0,60* (0,69)	0,14 (0,24)	0,34 (0,86)	0,42 (0,24)	0,45 (0,49)	0,10 (0,08)	0,73* (0,9)	0,20 (0,2)	0,67* (0,08)	0,92* (0,71)	0,91 (0,25)
Mastigabilidade	0,48 (0,68)	0,10 (0,82)	0,61* (0,48)	0,32 (0,23)	0,36 (0,53)	0,89* (0,71)	0,74* (0,21)	0,66* (0,03)*	0,50 (0,67)	0,80* (0,33)	0,90* (0,85)	0,98* (0,72)	0,62* (0,99)
Fibrosidade Residual	0,72* (0,28)	0,39 (0,19)	0,67* (0,28)	0,36 (0,63)	0,39 (0,72)	0,65* (0,83)	0,28 (0,67)	0,28 (0,63)	0,91* (0,46)	0,48 (0,21)	0,33 (0,11)	0,50 (0,47)	0,34 (0,87)
Aderência	0,56* (0,06)	0,19 (0,05)	0,77* (0,79)	0,11 (0,05)	0,99* (0,19)	0,46 (0,07)	0,98* (0,84)	0,12 (0,41)	0,72* (0,89)	0,44 (0,07)	0,31 (0,1)	0,43 (0,3)	0,04 (0,01)*
D	9	5	6	6	9	8	4	4	9	5	6	5	9
R	0	2	1	0	6	0	0	2	0	2	1	1	1
T	9	7	7	6	15	8	4	6	9	7	7	6	10

D = número de vezes que o provador não discriminou as amostras (pF amostra > 0,50);

R = número de vezes que o provador não apresentou repetibilidade (pF repetição < 0,05); T = D+ R.

Tabela 23 (a) – Médias atribuídas pelos provadores e pela equipe para etapa de pré seleção

Atributo	Amos.	EQ.	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13
Cor Bege	MW1	3,7 ^a	5,1 ^a	3,8 ^a	1,7 ^a	2,3 ^a	5,0 ^a	3,9 ^a	3,3 ^a	4,1 ^a	6,3 ^a	2,3 ^a	5,3 ^a	2,6 ^a	2,7 ^a
	MW2	3,1 ^a	3,3 ^a	2,6 ^b	1,3 ^a	1,2 ^a	5,3 ^a	0,9 ^a	4,9 ^a	4,0 ^a	5,0 ^a	2,0 ^a	3,6 ^a	4,6 ^a	2,7 ^a
	CVL	2,8 ^a	3,6 ^a	2,5 ^b	1,8 ^a	0,9 ^a	4,0 ^a	2,9 ^a	2,9 ^a	3,1 ^a	5,6 ^a	1,7 ^a	3,5 ^a	2,4 ^a	2,4 ^a
Brilho	MW2	6,2 ^a	6,2 ^a	7,2 ^a	5,8 ^a	5,5 ^a	6,0 ^a	8,6 ^a	7,7 ^a	6,0 ^a	5,9 ^a	3,9 ^a	6,0 ^a	6,0 ^a	6,2 ^a
	MW1	3,1 ^b	5,3 ^a	4,6 ^a	2,7 ^a	2,5 ^a	2,7 ^a	4,0 ^a	3,4 ^a	3,5 ^a	3,0 ^a	2,0 ^a	3,0 ^a	3,2 ^a	1,7 ^{ab}
	CVL	1,3 ^c	0,5 ^a	3,4 ^a	0,0 ^a	0,5 ^a	1,2 ^a	2,0 ^a	2,0 ^a	2,1 ^a	0,2 ^a	0,8 ^a	2,7 ^a	1,0 ^a	0,7 ^b
Manchas Escuras	MW2	3,7 ^a	4,5 ^a	2,5 ^a	5,5 ^a	1,2 ^a	4,6 ^a	3,7 ^a	5,9 ^a	2,7 ^a	5,9 ^a	1,7 ^a	2,7 ^a	0,8 ^a	6,6 ^a
	MW1	3,6 ^a	4,0 ^a	0,5 ^a	4,0 ^a	2,7 ^a	5,2 ^a	5,1 ^a	5,5 ^a	1,4 ^a	7,2 ^a	1,6 ^a	3,3 ^a	2,8 ^a	3,5 ^a
	CVL	2,5 ^a	3,8 ^a	2,4 ^a	0,1 ^a	2,0 ^a	4,7 ^a	0,8 ^a	5,3 ^a	1,5 ^a	5,7 ^a	1,0 ^a	3,2 ^a	0,1 ^a	1,8 ^a
Aroma De Noz	MW2	6,2 ^a	6,0 ^a	7,3 ^a	7,3 ^a	5,7 ^a	5,0 ^a	7,0 ^a	6,4 ^a	3,6 ^a	6,8 ^a	7,0 ^a	7,9 ^a	3,8 ^a	7,4 ^a
	CVL	6,1 ^a	4,9 ^a	7,5 ^a	6,3 ^a	5,6 ^a	5,3 ^a	6,4 ^a	7,8 ^a	4,5 ^a	7,3 ^a	5,2 ^a	7,8 ^a	4,3 ^a	6,2 ^a
	MW1	5,6 ^a	6,8 ^a	6,2 ^a	4,1 ^a	3,4 ^a	5,2 ^a	7,2 ^a	7,4 ^a	5,5 ^a	7,9 ^a	3,5 ^a	4,0	2,9 ^a	8,2 ^a
Aroma Doce	CVL	2,5 ^a	2,6 ^a	2,5 ^a	6,8 ^a	0,6 ^a	2,8 ^a	2,8 ^a	3,5 ^a	0,6 ^a	3,3 ^a	1,5 ^a	2,5 ^a	0,5 ^{ab}	2,4 ^a
	MW2	2,4 ^a	1,8 ^a	2,8 ^a	6,9 ^a	0,9 ^a	2,4 ^a	2,7 ^a	0,5 ^a	1,1 ^a	2,1 ^a	1,8 ^a	3,0 ^a	1,6 ^a	3,1 ^a
	MW1	2,3 ^a	0,4 ^a	1,4 ^a	2,3 ^a	0,7 ^a	3,8 ^a	3,8 ^a	5,7 ^a	1,9 ^a	4,6 ^a	1,1 ^a	1,0 ^a	0,2 ^b	2,8 ^a
Aroma Torrado	CVL	1,4 ^a	0,0 ^a	3,8 ^a	0,0 ^b	0,6 ^a	3,3 ^a	2,2 ^a	1,2 ^a	4,1 ^a	0,0 ^a	0,4 ^a	0,4 ^a	0,2 ^a	1,7 ^a
	MW1	0,9 ^{ab}	0,7 ^a	2,7 ^a	0,0 ^b	0,7 ^a	2,2 ^a	1,7 ^a	0,0 ^a	0,3 ^b	0,9 ^a	1,1 ^a	0,4 ^a	0,1 ^a	1,2 ^a
	MW2	0,6 ^b	0,3 ^a	2,8 ^a	0,1 ^a	0,6 ^a	1,8 ^a	0,4 ^a	0,2 ^a	0,1 ^b	0,0 ^a	0,5 ^a	0,3 ^a	0,1 ^a	0,5 ^a
Aroma de Ranço	CVL	2,7 ^a	1,6 ^a	3,4 ^a	2,4 ^a	6,0 ^a	1,7 ^a	1,7 ^a	2,8 ^b	2,5 ^a	6,3 ^a	0,8 ^a	0,5 ^a	1,6 ^a	3,3 ^a
	MW2	2,3 ^{ab}	1,8 ^a	1,7 ^a	0,2 ^a	5,7 ^a	1,4 ^a	0,8 ^a	7,1 ^a	0,0 ^a	7,1 ^a	0,6 ^a	0,3 ^a	2,0 ^a	0,6 ^a
	MW1	1,5 ^b	1,0 ^a	3,8 ^a	0,0 ^a	3,5 ^a	1,3 ^a	1,2 ^a	0,1 ^b	1,5 ^a	4,3 ^a	0,4 ^a	0,5 ^a	0,4 ^a	1,7 ^a
Sabor de Noz	CVL	5,7 ^a	5,6 ^a	7,1 ^a	3,1 ^a	5,3 ^a	5,7 ^a	6,3 ^a	6,5 ^a	8,5 ^a	6,6 ^a	2,9 ^a	6,2 ^a	3,6 ^a	6,3 ^a
	MW2	5,5 ^a	4,9 ^a	8,2 ^a	0,9 ^a	5,6 ^a	5,3 ^a	6,1 ^a	4,9 ^a	7,7 ^a	7,3 ^a	3,4 ^a	8,2 ^a	1,7 ^a	7,3 ^a
	MW1	5,4 ^a	6,9 ^a	6,9 ^a	3,4 ^a	4,0 ^a	5,7 ^a	9,0 ^a	5,4 ^a	4,8 ^a	8,1 ^a	3,4 ^a	2,7 ^a	1,9 ^a	7,6 ^a
Gosto Doce	MW2	3,4 ^a	3,1 ^a	2,6 ^a	0,5 ^a	3,8 ^a	6,3 ^a	7,5 ^a	1,6 ^a	1,4 ^a	4,2 ^a	1,5 ^{ab}	2,6 ^a	5,6 ^a	3,4 ^a
	MW1	3,2 ^a	2,5 ^a	2,2 ^a	0,4 ^a	3,8 ^a	6,0 ^a	7,5 ^a	4,2 ^a	0,8 ^a	4,4 ^a	1,0 ^b	1,0 ^a	4,3 ^a	3,7 ^a
	CVL	2,4 ^a	2,0 ^a	1,9 ^a	0,9 ^a	1,4 ^a	3,6 ^b	4,3 ^a	0,8 ^a	0,2 ^a	5,0 ^a	1,8 ^a	1,4 ^a	2,9 ^a	4,4 ^a
Gosto Amargo	CVL	1,8 ^a	0,7 ^a	1,7 ^a	2,8 ^a	3,6 ^a	3,3 ^a	2,4 ^a	0,1 ^a	3,4 ^a	1,4 ^a	0,2 ^a	1,0 ^a	1,8 ^a	1,3 ^a
	MW2	1,5 ^a	0,8 ^a	1,0 ^a	0,6 ^a	4,2 ^a	1,8 ^a	3,9 ^a	0,3 ^a	0,5 ^b	1,9 ^a	0,2 ^a	0,2 ^a	2,2 ^a	1,4 ^a
	MW1	1,4 ^a	0,3 ^a	2,5 ^a	0,8 ^a	3,0 ^a	1,2 ^a	3,2 ^a	1,6 ^a	0,4 ^b	2,1 ^a	0,2 ^a	1,4 ^a	0,2 ^a	1,6 ^a
Gosto Torrado	MW1	1,0 ^a	0,0 ^a	2,4 ^a	0,0 ^a	1,3 ^a	2,6 ^a	3,1 ^a	0,9 ^a	0,3 ^a	0,0 ^a	0,3 ^a	0,4 ^a	0,0 ^a	1,0 ^a
	CVL	0,8 ^{ab}	0,3 ^a	1,2 ^{ab}	0,1 ^a	1,2 ^a	2,8 ^a	1,6 ^a	0,1 ^a	1,5 ^a	0,0 ^a	0,2 ^a	0,3 ^a	0,2 ^a	1,2 ^a
	MW2	0,4 ^b	0,0 ^a	0,6 ^b	0,0 ^a	1,0 ^a	2,2 ^a	0,0 ^a	0,1 ^a	0,6 ^a	0,0 ^a	0,2 ^a	0,0 ^a	0,0 ^a	0,6 ^a
Sabor de Óleo	MW2	3,8 ^a	6,8 ^a	3,7 ^a	1,1 ^a	2,1 ^a	3,9 ^a	7,4 ^a	4,7 ^a	1,2 ^a	6,7 ^a	0,6 ^a	5,4 ^a	1,4 ^a	4,2 ^a
	CVL	3,3 ^a	5,6 ^a	2,5 ^a	1,4 ^a	4,6 ^a	2,4 ^a	5,8 ^a	2,7 ^a	1,3 ^a	5,7 ^a	0,2 ^a	2,2 ^a	4,1 ^a	4,5 ^a
	MW1	2,8 ^a	6,1 ^a	3,4 ^a	0,7 ^a	2,1 ^a	3,3 ^a	2,3 ^a	2,3 ^a	0,9 ^a	6,2 ^a	0,4 ^a	3,2 ^a	1,2 ^a	4,3 ^a
Sabor de Ranço	CVL	3,0 ^a	1,7 ^a	1,4 ^a	3,0 ^a	4,3 ^a	1,9 ^a	2,3 ^a	2,7 ^a	6,6 ^a	5,8 ^a	0,4 ^a	1,9 ^a	3,6 ^a	3,9 ^a
	MW2	1,5 ^b	1,4 ^a	0,4 ^a	0,1 ^a	2,4 ^a	2,1 ^a	3,1 ^a	0,6 ^a	1,5 ^a	5,6 ^a	0,8 ^a	0,0 ^a	0,0 ^a	2,2 ^a
	MW1	1,3 ^b	0,5 ^a	2,5 ^a	0,0 ^a	2,7 ^a	1,6 ^a	0,3 ^a	0,5 ^a	1,0 ^a	4,5 ^a	1,3 ^a	0,0 ^a	0,3 ^a	1,5 ^a
Adstringência	CVL	2,0 ^a	3,3 ^a	2,0 ^a	0,8 ^a	3,4 ^a	2,2 ^a	3,1 ^a	0,4 ^a	5,8 ^a	0,8 ^a	0,6 ^a	0,2 ^a	1,8 ^a	1,8 ^a
	MW1	1,4 ^a	0,8 ^a	2,2 ^a	0,1 ^a	3,8 ^a	1,8 ^a	0,9 ^a	0,2 ^a	2,1 ^a	2,6 ^a	0,7 ^a	0,7 ^a	0,7 ^a	1,2 ^a
	MW2	1,3 ^a	2,8 ^a	0,7 ^b	0,4 ^a	2,9 ^a	1,5 ^a	0,8 ^a	0,3 ^a	2,1 ^a	1,1 ^a	0,4 ^a	0,8 ^a	2,1 ^a	0,9 ^a
Dureza	CVL	5,6 ^a	6,2 ^a	6,7 ^a	2,7 ^a	3,3 ^a	8,0 ^a	4,5 ^a	5,8 ^a	4,0 ^a	8,0 ^a	5,0 ^a	5,3 ^a	4,4 ^a	8,8 ^a
	MW2	5,3 ^a	6,1 ^a	5,8 ^a	2,0 ^a	1,0 ^a	4,7 ^b	6,5 ^a	7,2 ^a	4,7 ^a	8,1 ^a	7,0 ^a	4,2 ^a	3,3 ^a	8,0 ^a
	MW1	5,1 ^a	5,8 ^a	6,0 ^a	1,8 ^a	2,6 ^a	6,2 ^{ab}	5,5 ^a	7,4 ^a	2,0 ^a	7,3 ^a	6,7 ^a	3,7 ^a	3,4 ^a	7,8 ^a
Crocância	MW2	5,8 ^a	7,5 ^a	6,9 ^a	4,1 ^a	1,0 ^a	4,2 ^a	6,4 ^a	8,0 ^a	6,0 ^a	8,3 ^a	6,3 ^a	6,7 ^a	2,6 ^a	6,8 ^a
	CVL	5,6 ^a	6,3 ^a	7,0 ^a	3,1 ^a	2,9 ^a	6,6 ^a	4,9 ^a	7,7 ^a	7,6 ^a	7,3 ^a	3,7 ^a	5,4 ^a	3,2 ^a	7,1 ^a
	MW1	5,4 ^a	7,1 ^a	4,7 ^a	5,5 ^a	1,3 ^a	5,0 ^a	7,9 ^a	6,8 ^a	3,6 ^a	7,2 ^a	5,0 ^a	6,3 ^a	3,6 ^a	6,7 ^a

Tabela 23 (b) – Médias atribuídas pelos provadores e pela equipe para etapa de pré seleção

Atributo	Amos.	EQ.	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13
Mastigabilidade	MW2	4,9 ^a	7,4 ^a	6,5 ^a	2,6 ^a	1,4 ^a	4,3 ^a	5,2 ^a	6,0 ^a	4,4 ^a	7,9 ^a	5,3 ^a	4,4 ^a	2,3 ^a	5,6 ^a
	CVL	4,7 ^a	6,4 ^a	7,0 ^a	3,2 ^a	2,6 ^a	6,0 ^a	3,5 ^a	4,6 ^a	3,2 ^a	7,4 ^a	4,4 ^a	3,1 ^a	2,2 ^a	7,2 ^a
	MW1	4,7 ^a	5,7 ^a	3,5 ^a	5,3 ^a	0,9 ^a	5,7 ^a	4,6 ^a	5,7 ^a	4,0 ^a	6,9 ^a	4,4 ^a	4,0 ^a	2,5 ^a	7,3 ^a
Fibrosidade Residual	MW2	3,5 ^a	3,3 ^a	2,2 ^a	0,1 ^a	3,6 ^a	4,0 ^a	5,9 ^a	5,3 ^a	2,1 ^a	4,4 ^a	2,4 ^a	5,1 ^a	1,9 ^a	7,8 ^a
	CVL	3,4 ^a	2,1 ^a	2,0 ^a	0,1 ^a	3,8 ^a	6,0 ^a	5,0 ^a	7,2 ^a	4,4 ^a	3,5 ^a	1,7 ^a	3,2 ^a	1,2 ^a	4,5 ^a
	MW1	3,1 ^a	3,4 ^a	1,3 ^a	0,0 ^a	1,5 ^a	5,4 ^a	7,7 ^a	4,0 ^a	2,1 ^a	4,1 ^a	1,4 ^a	2,6 ^a	3,1 ^a	4,1 ^a
Aderência	MW2	2,2 ^a	0,9 ^a	1,4 ^a	0,5 ^a	4,8 ^a	3,9 ^a	2,8 ^a	3,9 ^a	1,9 ^a	1,0 ^a	1,7 ^a	3,1 ^a	0,4 ^a	1,9 ^a
	MW1	2,1 ^a	1,4 ^a	0,9 ^a	0,3 ^a	4,2 ^a	4,0 ^a	4,7 ^a	4,2 ^a	0,6 ^a	1,7 ^a	0,9 ^a	1,7 ^a	0,8 ^a	2,0 ^a
	CVL	2,1 ^a	0,5 ^a	0,7 ^a	0,7 ^a	2,5 ^a	4,0 ^a	3,1 ^a	4,4 ^a	2,9 ^a	2,2 ^a	1,6 ^a	2,9 ^a	0,7 ^a	1,0 ^a

Conforme pode ser observado, a ANOVA dos dados sensoriais (Tabela 24) mostra evidências de que há 6 atributos em que pelo menos 2 amostras diferem entre si ($p \leq 0,05$), quais seja: brilho, aroma de torrado e de ranço, gosto amargo, sabor de ranço e fibrosidade residual. Para todos os atributos, a fonte de variação “provador” apresentou diferença significativa ($p \leq 0,05$), mostrando que apesar do treinamento os provadores utilizaram diferentes porções da escala para avaliar as amostras, o que é indesejável porém de ocorrência frequente em estudos sensoriais. Para 2 atributos, aroma doce e de ranço, a interação amostra *versus* provador foi significativa ($p \leq 0,05$). Deste modo, o F_{amostra} para o atributo aroma de ranço foi recalculado tendo em seu denominador a Somatória dos Quadrados Médios da interação amostra *versus* provador ($F_{\text{amostra}} = \text{SQM}_{\text{amostra}} / \text{SQM}_{\text{interação amostra x provador}}$) obtendo-se o valor de 1,66, menor que o F_{tabelado} a 5% de significância de 2,08. Ainda, foi analisado o gráfico (Figura 24) das médias de cada provador para o atributo em questão para avaliar a gravidade da falha de consenso.

Tabela 24 – Resultados de F e p para as fontes de variação obtidos da Análise de Variância

Atributo	F _{amostra}	P	F _{provedor}	p	F _{amos*prov}	P
Cor Bege	1,54	0,158	9,72	< 0,0001	0,55	0,991
Brilho	3,25	0,003	2,35	0,02700	0,17	1,000
Manchas escuras	0,78	0,605	4,66	0,00010	0,68	0,935
Aroma de Noz	1,59	0,145	12,82	< 0,0001	0,68	0,940
Aroma Doce	1,94	0,068	39,53	< 0,0001	2,18	0,0003
Aroma Torrado	2,37	0,026	20,60	< 0,0001	1,33	0,105
Aroma de Ranço	2,54	0,017	24,16	< 0,0001	1,53	0,031
Sabor de Noz	1,32	0,247	20,51	< 0,0001	0,95	0,579
Gosto Doce	1,24	0,285	7,83	< 0,0001	0,71	0,917
Gosto Amargo	2,07	0,052	6,20	< 0,0001	1,11	0,318
Sabor Torrado	1,26	0,273	14,09	< 0,0001	0,95	0,579
Sabor de Óleo	0,87	0,531	7,51	< 0,0001	0,79	0,819
Sabor de Ranço	4,38	0,0002	16,63	< 0,0001	1,07	0,380
Adstringente	0,86	0,544	22,14	< 0,0001	1,13	0,294
Dureza	0,34	0,936	19,12	< 0,0001	0,73	0,893
Crocância	0,75	0,630	26,99	< 0,0001	0,83	0,765
Mastigabilidade	1,00	0,436	15,74	< 0,0001	0,80	0,813
Fibrosidade Residual	2,46	0,021	30,00	< 0,0001	1,33	0,103
Aderência	1,03	0,412	6,92	< 0,0001	1,38	0,078

Pode-se observar que após o cálculo do F_{amostra} considerando a interação significativa, para o atributo aroma de ranço as amostras apresentam-se semelhantes, não possuindo diferença significativa a $p \leq 0,05$. Os gráfico (Figura 24) não sugere provedores com falha grave de consenso.

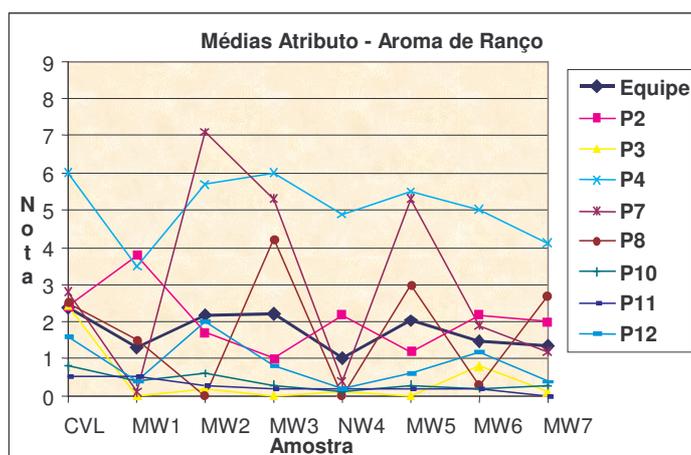


Figura 24 – Médias obtidas por cada provador para cada amostra (6 meses) para o atributo aroma ranço

A Tabela 25 resume o resultado final das médias e teste de Tukey para cada atributo. Pelo teste de Tukey foram 5 os atributos em que há pelo menos 2 amostras com diferença sensorial significativa a $p \leq 0,05$ entre si, quais sejam brilho, aroma torrado, gosto amargo e sabor de ranço. Para os demais atributos, o teste de médias Tukey revela que não há diferença sensorial significativa a $p \leq 0,05$ entre as amostras após 6 meses de armazenamento das mesmas.

Tabela 25 – Médias dos atributos e resultados do teste de Tukey

Atributo	MDS	Amostra*							
		CVL	MW1	MW2	MW3	MW4	MW5	MW6	MW7
Cor Bege	1,58	2,3 ^a	3,2 ^a	3,0 ^a	3,8 ^a	3,0 ^a	3,6 ^a	3,5 ^a	3,5 ^a
Brilho	3,27	1,5 ^b	3,1 ^{ab}	3,0 ^{ab}	3,7 ^{ab}	3,7 ^{ab}	3,5 ^{ab}	3,5 ^{ab}	5,3 ^a
Manchas escuras	2,18	1,9 ^a	2,7 ^a	2,9 ^a	2,2 ^a	2,1 ^a	3,1 ^a	2,8 ^a	3,0 ^a
Aroma de Noz	1,92	6,1 ^a	4,6 ^a	6,1 ^a	4,8 ^a	5,3 ^a	5,7 ^a	5,7 ^a	5,3 ^a
Aroma Doce	1,17	2,3 ^a	1,8 ^a	2,3 ^a	1,3 ^a	1,6 ^a	2,1 ^a	2,2 ^a	1,9 ^a
Aroma Torrado	0,77	1,3 ^a	0,7 ^{ab}	0,6 ^{ab}	0,8 ^{ab}	0,5 ^b	0,6 ^{ab}	0,6 ^{ab}	0,5 ^b
Aroma de Ranço	1,47	2,5 ^a	1,3 ^{ab}	2,2 ^{ab}	2,2 ^{ab}	1,0 ^b	2,0 ^{ab}	1,5 ^{ab}	1,4 ^{ab}
Sabor de Noz	1,70	5,4 ^a	4,1 ^a	5,1 ^a	4,6 ^a	4,8 ^a	5,4 ^a	5,2 ^a	4,8 ^a
Gosto Doce	1,52	1,4 ^a	2,2 ^a	2,4 ^a	2,0 ^a	1,4 ^a	1,7 ^a	2,3 ^a	1,9 ^a
Gosto Amargo	1,08	1,8 ^a	1,3 ^{ab}	1,1 ^{ab}	0,7 ^b	1,2 ^{ab}	0,9 ^{ab}	0,9 ^{ab}	0,8 ^{ab}
Gosto Torrado	0,64	0,6 ^a	0,7 ^a	0,3 ^a	0,4 ^a	0,7 ^a	0,7 ^a	0,3 ^a	0,6 ^a
Sabor de Óleo	1,61	2,4 ^a	1,8 ^a	2,5 ^a	2,0 ^a	1,7 ^a	1,6 ^a	1,9 ^a	1,6 ^a
Sabor de Ranço	1,41	3,0 ^a	1,0 ^b	0,7 ^b	1,7 ^{ab}	1,8 ^{ab}	1,5 ^b	1,3 ^b	1,3 ^b
Adstringente	1,10	1,9 ^a	1,3 ^a	1,2 ^a	1,2 ^a	1,4 ^a	1,7 ^a	1,6 ^a	1,4 ^a
Dureza	1,92	4,7 ^a	4,2 ^a	4,4 ^a	4,3 ^a	4,6 ^a	4,8 ^a	4,9 ^a	4,3 ^a
Crocância	1,62	5,1 ^a	4,6 ^a	5,2 ^a	5,6 ^a	5,1 ^a	5,3 ^a	5,0 ^a	5,6 ^a
Mastigabilidade	1,92	3,8 ^a	3,8 ^a	4,1 ^a	5,0 ^a	4,3 ^a	4,8 ^a	4,1 ^a	4,2 ^a
Fibrosidade Residual	1,18	2,9 ^a	2,0 ^a	2,9 ^a	1,9 ^a	2,0 ^a	2,5 ^a	1,9 ^a	2,5 ^a
Aderência	1,25	2,0 ^a	1,7 ^a	2,2 ^a	1,3 ^a	1,5 ^a	1,7 ^a	1,5 ^a	1,8 ^a

* Amostras com letras iguais, não difere entre si a $p \leq 0,05$

Os resultados das médias foram plotados em Gráfico Aranha (Figura 25) como forma de melhorar a visualização dos mesmos, de forma análoga ao realizado na ADQ no tempo inicial.

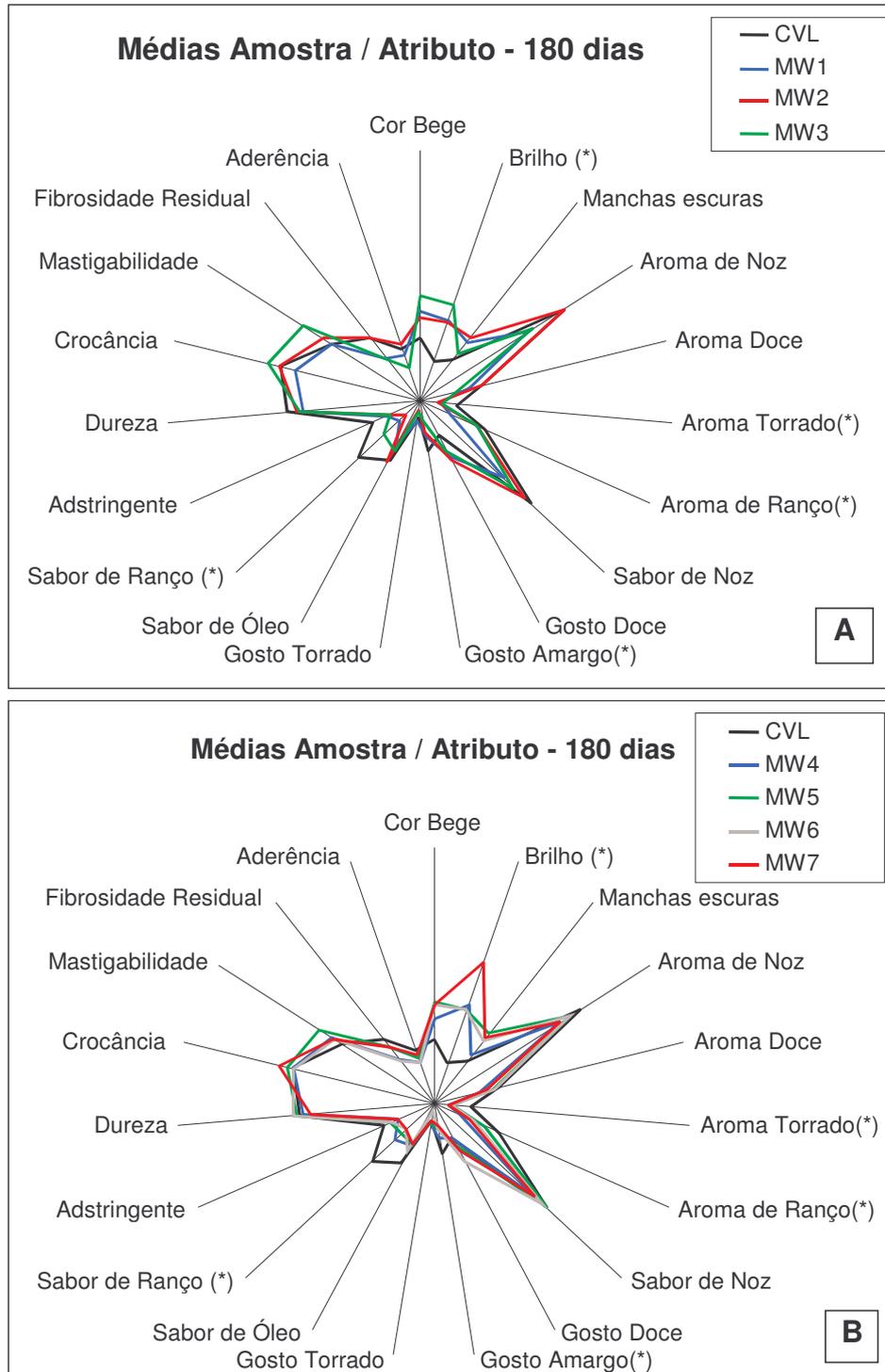


Figura 25 – Gráfico Aranha das médias dos atributos por amostra (6 meses) / A: controle, MW1, MW2 e MW3 e B: controle, MW4, MW5, MW6 e MW7. Os atributos que apresentaram amostras com diferenças significativas a $p \leq 0,05$ estão marcadas com (*).

Pela Figura 25 foi observado que, ao contrário do que ocorreu no tempo inicial, a amostra que se caracterizou por apresentar menor intensidade de brilho foi a amostra controle (CVL), apresentando diferença significativa a $p \leq 0,05$ da amostra MW7. Com relação ao aroma torrado, a amostra controle foi a amostra que apresentou maior intensidade desse atributo, diferindo a $p \leq 0,05$ das amostras MW4 e MW7. Por outro lado, a amostra controle foi também a que apresentou maior gosto amargo diferindo apenas da MW3 a $p \leq 0,05$. A amostra controle foi ainda a que apresenta o maior sabor de ranço, não apresentando diferença estatística das amostras MW3 e MW4, porém diferindo de todas as demais ($p \leq 0,05$). Analisando os parâmetros de secagem observa-se que estas duas amostras, apesar de apresentarem os menores tempos de processos (270 minutos), possuem as maiores temperaturas de ajuste (68°C) e temperatura de saída do produto (65°C), o que possivelmente foram determinantes para o desenvolvimento de características de rancidez mais expressivas. Contudo não foram suficientes para discriminarem estas das demais amostras submetidas à secagem com microondas nem a serem diferenciadas quanto à aceitação (como serão demonstrados em resultados posteriores)

Comparando os resultados obtidos no tempo inicial com os obtidos aos 6 meses, verificou-se uma alteração no perfil sensorial das amêndoas em estudo. Quanto à aparência, em geral observou-se uma queda do brilho da maioria das amostras. Quanto ao aroma, houve queda em todas as amostras do aroma doce, o que possivelmente pode ter refletido no pequeno aumento da percepção de aroma torrado. As amêndoas ainda apresentaram aumento do aroma de ranço, resultado já esperado de acordo com as referências encontradas para produtos com alto teor de lipídeos. Quanto ao sabor, as amostras apresentaram diminuição do sabor característico de noz e sabor doce após o

armazenamento. Houve diminuição geral do sabor de óleo bem como aumento do sabor de ranço, o que era esperado de modo análogo ao aroma de ranço. Em geral, os atributos de textura apresentaram diminuição de sua intensidade: as amostras após 6 meses de armazenamento, apresentaram-se com menores crocância, dureza e fibrosidades residuais, bem como perda da crocância mais rápida após o início da mastigação (mastigabilidade). Os demais atributos apresentaram-se praticamente inalterados, caracterizando pouco a variação do perfil sensorial das amostras.

Uma melhor caracterização das similaridades e diferenças entre os perfis sensoriais das amostras pode ser encontrado na análise multivariada de componentes principais (ACP), demonstrada na Figura 26.

Neste estudo, 3 componentes principais foram utilizados (CP's) que conjuntamente explicaram 56,98% da variabilidade total observada entre as amêndoas de noz macadâmia.

Na ACP compreendendo o primeiro e o terceiro componentes principais, pode ser observado, assim como no tempo inicial, uma divisão das 8 amostras estudadas em 2 grupos distintos: um primeiro grupo composto das amostras submetidas a tratamento com microondas e o segundo, composto pela amostra controle, submetida a tratamento convencional de secagem. Observou-se ainda que em geral as repetições não apresentaram valores médios próximos, o que pode ser visualizado através da distância entre os vértices dos triângulos. Isto pode ser explicado pela semelhança entre as amostras, que foi comprovada pelo baixo número de atributos que apresentaram diferença significativa, o que dificulta a discriminabilidade dos provadores. Porém os resultados foram satisfatórios, uma vez que os provadores discriminaram sensorialmente a amostra controle das amostras tratadas com microondas.

Pode-se observar uma ligeira alteração no perfil sensorial das amostras armazenadas por 6 meses. A separação entre as amostras secas com microondas da amostra seca convencionalmente não é tão expressiva quanto no tempo inicial, provavelmente devido ao desenvolvimento de características comuns como sabor e aroma de ranço e perda da crocância, da intensidade de aromas e sabores característicos das amêndoas. Deste modo pode ser observado nítida aproximação dos grupos antes destacados no tempo inicial de armazenamento.

Uma análise mais específica dos CP's sugere que a amostra controle (CVL) pode ser explicada pelos atributos gosto amargo, sabor e aroma de ranço, aroma torrado, adstringência, aderência e fibrosidade residual. As amostras secas sob aplicação de microondas são caracterizadas por maior intensidade dos atributos crocância, mastigabilidade, brilho e cor bege.

Neste período do armazenamento as amostras secas com microondas que apresentaram perfil sensorial mais próximo ao perfil sensorial da amostra convencional (CVL) foram a MW2 e MW5, amostras que tiveram o maior e segundo maior tempo de secagem (330min e 300 min). A amostra MW1 foi ainda a amostra que apresentou perfil sensorial mais distante, amostra esta que teve o maior tempo de secagem e menor temperatura de ar de secagem. Neste período, perfil sensorial próximo ao convencional representa amostra com características sensoriais negativas (desenvolvimento de sabor de ranço, amargo, aderência e fibrosidade residual). Comparando com o tempo inicial, pode-se supor que tratamentos que utilizam maior temperatura de ar de secagem são favoráveis ao desenvolvimento de características sensoriais negativas durante o armazenamento. Portanto, o tratamento proposto pela amostra MW3 aparentemente é o que melhor proporciona amêndoas secas após 6 meses de armazenamento.

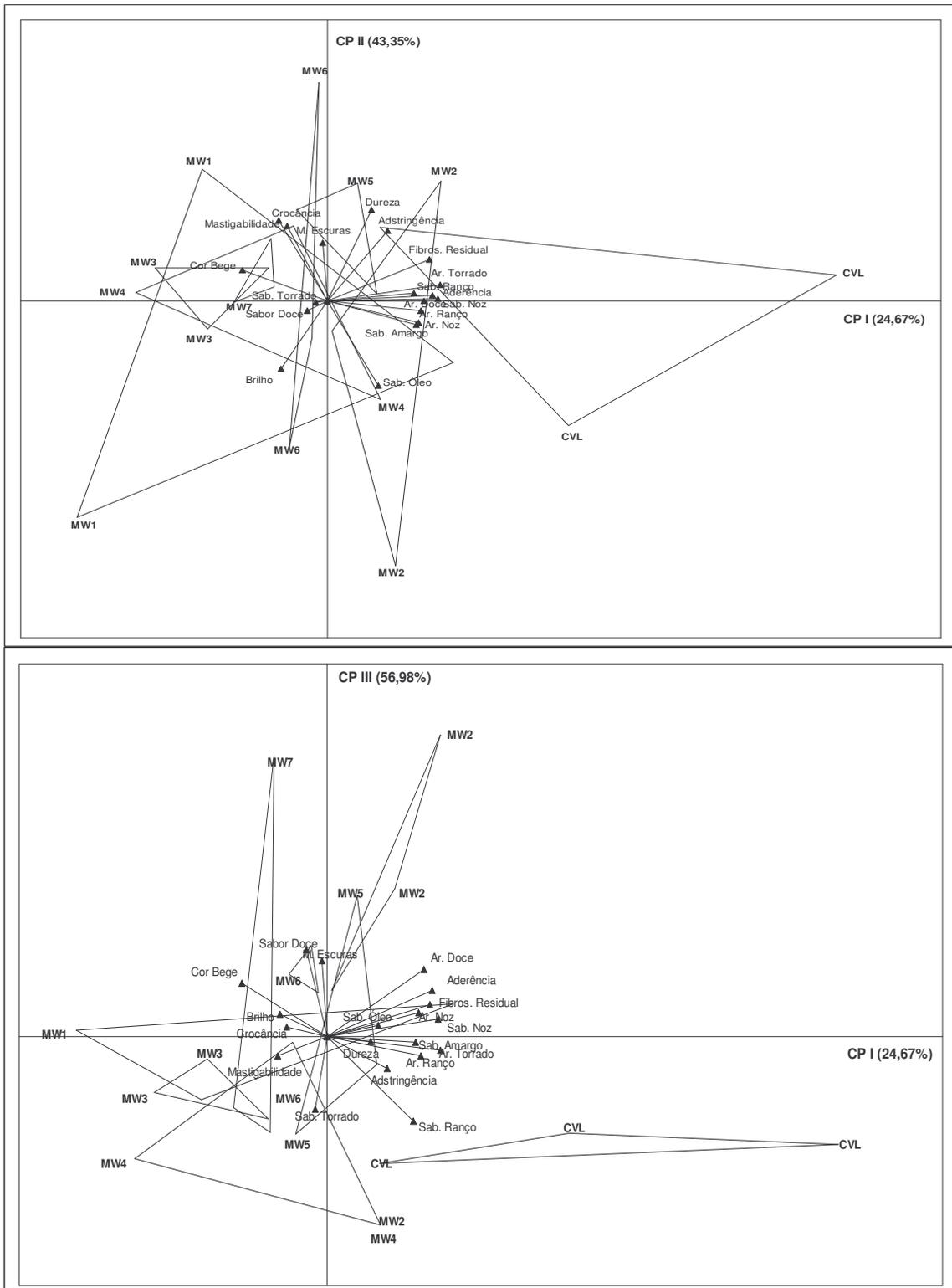


Figura 26 – Gráfico da Análise Multivariada de Componentes Principais (ACP) para o perfil sensorial gerado no final do tempo de armazenamento.(CPs com valores acumulados)

Fazendo uma avaliação comparativa final do perfil sensorial da amêndoa de noz macadâmia seca com aplicação de energia de microondas/ar quente e através do processo convencional de secagem durante todo o período de armazenamento viu-se que, se comparado com o processo convencional de secagem de noz macadâmia, que segundo TOLEDO PIZA (2000) dura até 6 dias com níveis graduados de temperatura entre 40°C e 60°C, a secagem com microondas combinada com ar quente reduz em aproximadamente 29 vezes o tempo de processo, utilizando temperaturas próximas à utilizada pelo método convencional. A redução no tempo da secagem aliada à aplicação de temperaturas semelhantes ao processo convencional possibilitou a produção de amêndoas com perfil sensorial caracterizado por menor Aroma e Sabor Residual de Ranço em ambos os períodos de análise (tempo inicial e 6 meses de armazenamento) de acordo com os resultados gerados pela Análise Descritiva Quantitativa. A rancificação é citada por CHONG e ONG (1988) como sendo a alteração sensorial e físico-química mais expressiva em produtos com alta composição de óleos e gorduras graças à deterioração oxidativa e hidrolítica e por DESROSIER e DESROISIER (1977) para produtos submetidos à secagem (altas temperaturas).

5.6.3 Aceitação sensorial

A Tabela 26 e os histogramas das figuras 27, 28, 29, 30, 31 e 32 apresentam os resultados de aceitação das amostras pelos consumidores em todo o período de armazenamento da amêndoa de noz macadâmia seca com aplicação de energia de microondas/ar quente e seca convencionalmente.

Tabela 26 – Médias de aceitação das amostras junto aos consumidores em todo o período de armazenamento (n = 30 consumidores)

Armaz. (Dias)	Atributo	Amostra							
		CVL	MW1	MW2	MW3	MW4	MW5	MW6	MW7
0	Aparência	6,67 ^a	6,67 ^a	6,17 ^a	6,43 ^a	6,83 ^a	6,60 ^a	6,73 ^a	6,43 ^a
	% Aceitação	76,7	80,0	66,7	73,3	76,7	73,3	83,3	70,0
	Crocância	7,93 ^a	7,40 ^a	7,37 ^a	7,93 ^a	7,50 ^a	7,53 ^a	7,53 ^a	7,67 ^a
	% Aceitação	90,0	93,3	86,7	93,3	93,3	93,3	93,3	90,0
	Modo Geral	7,27 ^a	7,23 ^a	7,27 ^a	7,13 ^a	7,33 ^a	7,03 ^a	7,13 ^a	7,17 ^a
	% Aceitação	93,3	83,3	93,3	86,7	86,7	83,3	86,7	83,3
90	Aparência	7,30 ^a	6,63 ^a	6,70 ^a	6,83 ^a	6,43 ^a	6,77 ^a	7,10 ^a	7,07 ^a
	% Aceitação	93,3	76,7	76,7	76,7	73,3	76,7	86,7	83,3
	Crocância	7,30 ^a	7,10 ^a	7,57 ^a	7,33 ^a	7,13 ^a	7,80 ^a	7,60 ^a	7,37 ^a
	% Aceitação	83,3	90,0	96,7	86,7	83,3	93,3	90,0	86,7
	Modo Geral	7,27 ^a	7,00 ^a	6,77 ^a	7,23 ^a	7,27 ^a	7,43 ^a	7,47 ^a	7,13 ^a
	% Aceitação	93,3	86,7	86,7	86,7	90,0	86,7	96,7	86,7
180	Aparência	7,03 ^a	6,13 ^a	6,57 ^a	6,70 ^a	6,33 ^a	6,03 ^a	6,83 ^a	6,33 ^a
	% Aceitação	80,0	66,7	63,3	80,0	70,0	66,7	76,7	70,0
	Crocância	7,73 ^{ab}	7,37 ^{ab}	7,87 ^a	6,90 ^{ab}	7,37 ^{ab}	6,77 ^b	7,30 ^{ab}	7,47 ^{ab}
	% Aceitação	93,3	93,3	100,0	83,3	90,0	80,0	90,0	86,7
	Modo Geral	7,00 ^a	7,10 ^a	7,23 ^a	6,90 ^a	7,07 ^a	6,60 ^a	7,00 ^a	7,13 ^a
	% Aceitação	86,7	90,0	90,0	86,7	83,3	76,7	83,3	86,7

MDS = Mínima Diferença Significativa obtida pelo teste de Tukey para que as amostras apresentem diferença significativa ao nível escolhido (1 = desgostei extremamente e 9 = gostei extremamente)

Os resultados expressos na Tabela 26 demonstraram que as médias de aceitação das amostras durante todo o tempo de armazenamento não diferiram estatisticamente ao nível de 5% de significância em relação à aceitação das amostras associadas à aparência, crocância e de modo geral, nota-se porém, que ao final do período de armazenamento o atributo crocância apresentou diferença significativa a $p \leq 0,05$ entre as amostras MW2 (maior aceitação) e MW5 (menor aceitação), porém a diferença existente entre as médias

obtidas pelas amostras (1,10) não é muito distante da mínima gerada pelo teste de Tukey (1,08).

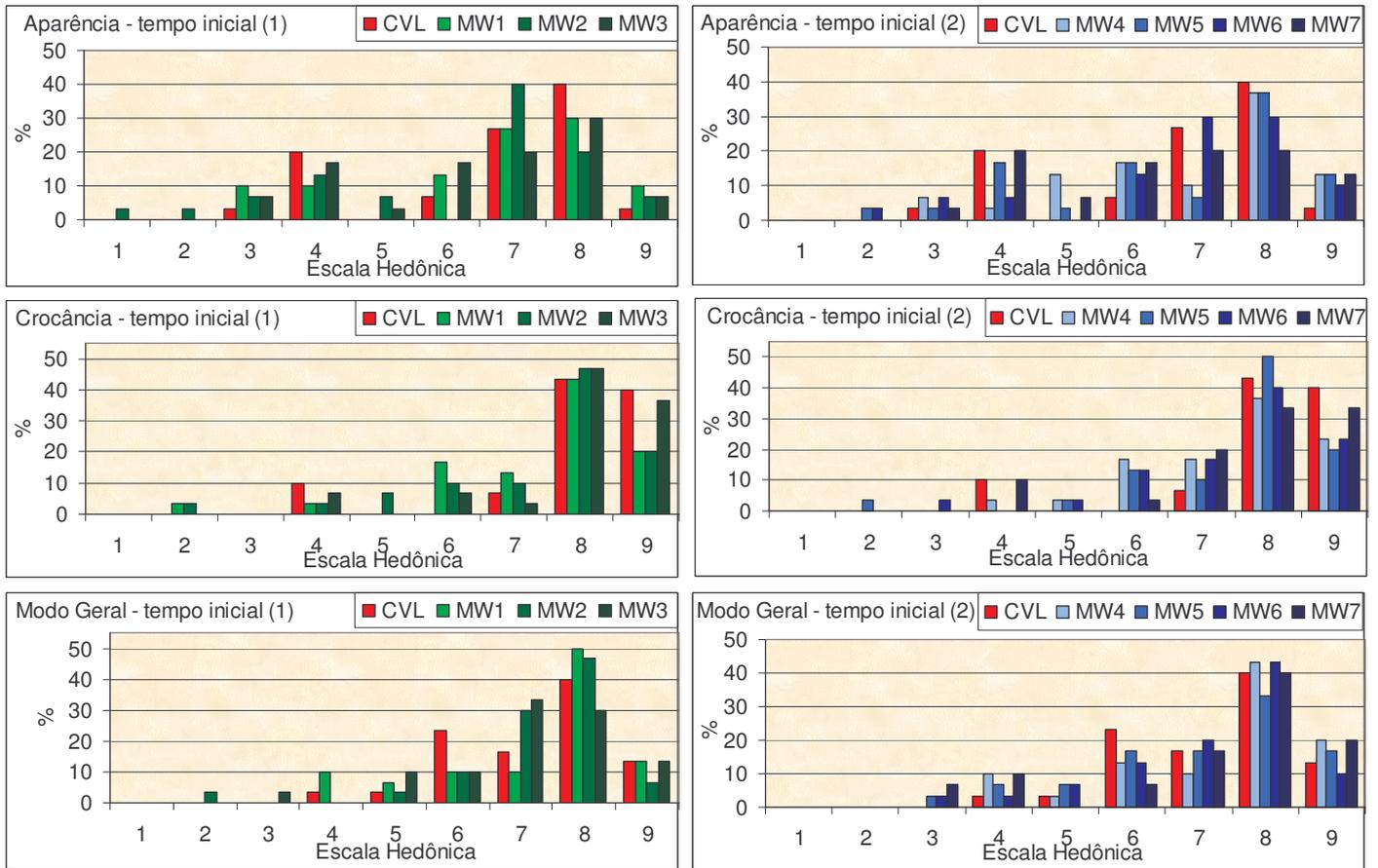


Figura 27 – Histogramas da distribuição das notas por atributo (tempo inicial)

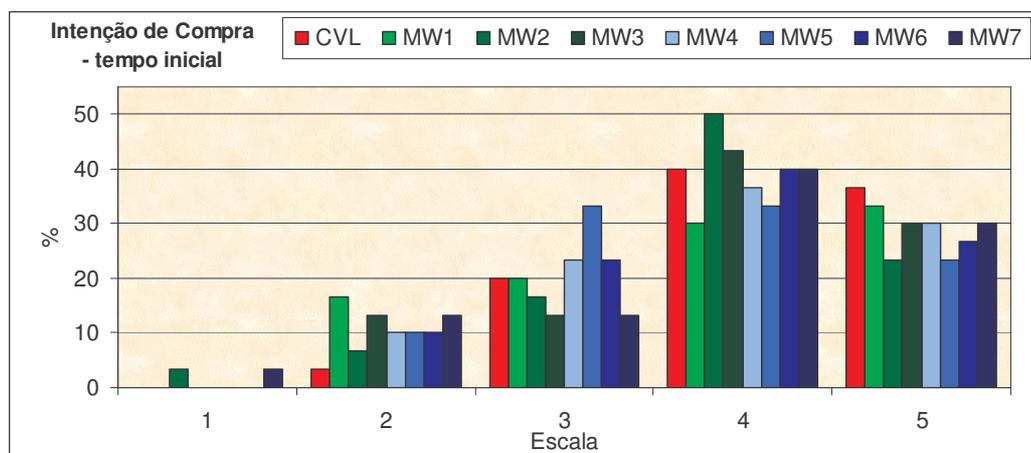


Figura 28 – Intenção de compra (tempo inicial)

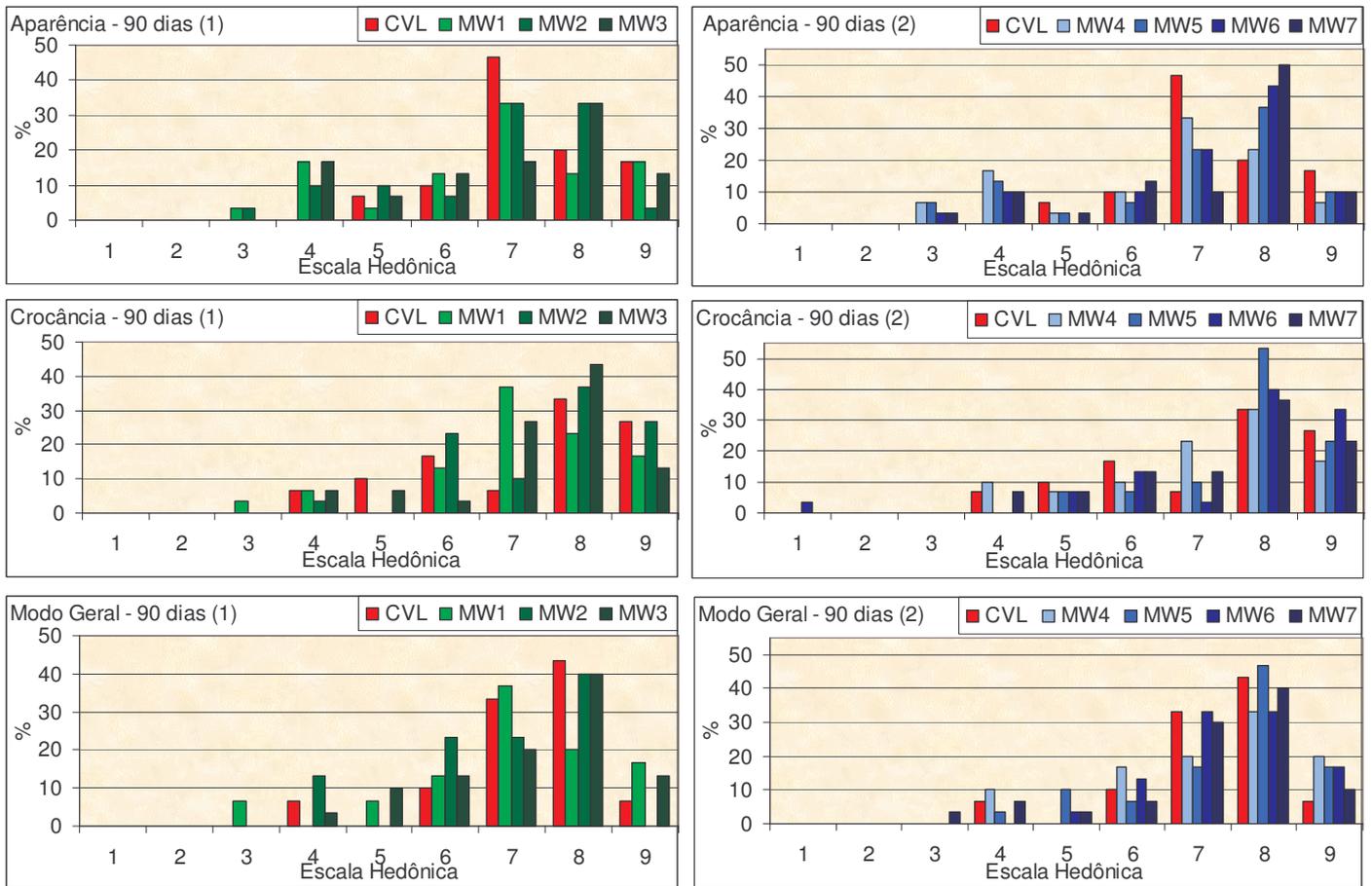


Figura 29– Histogramas da distribuição das notas por atributo (90 dias)

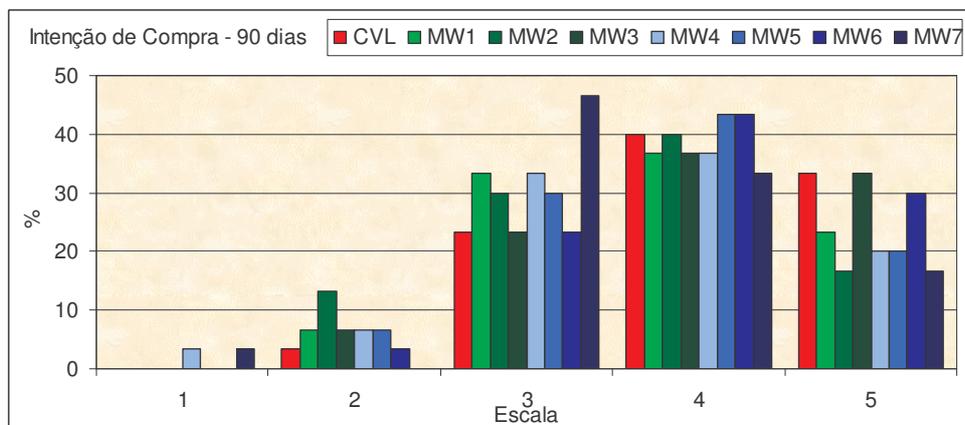


Figura 30 – Intenção de compra (90 dias)

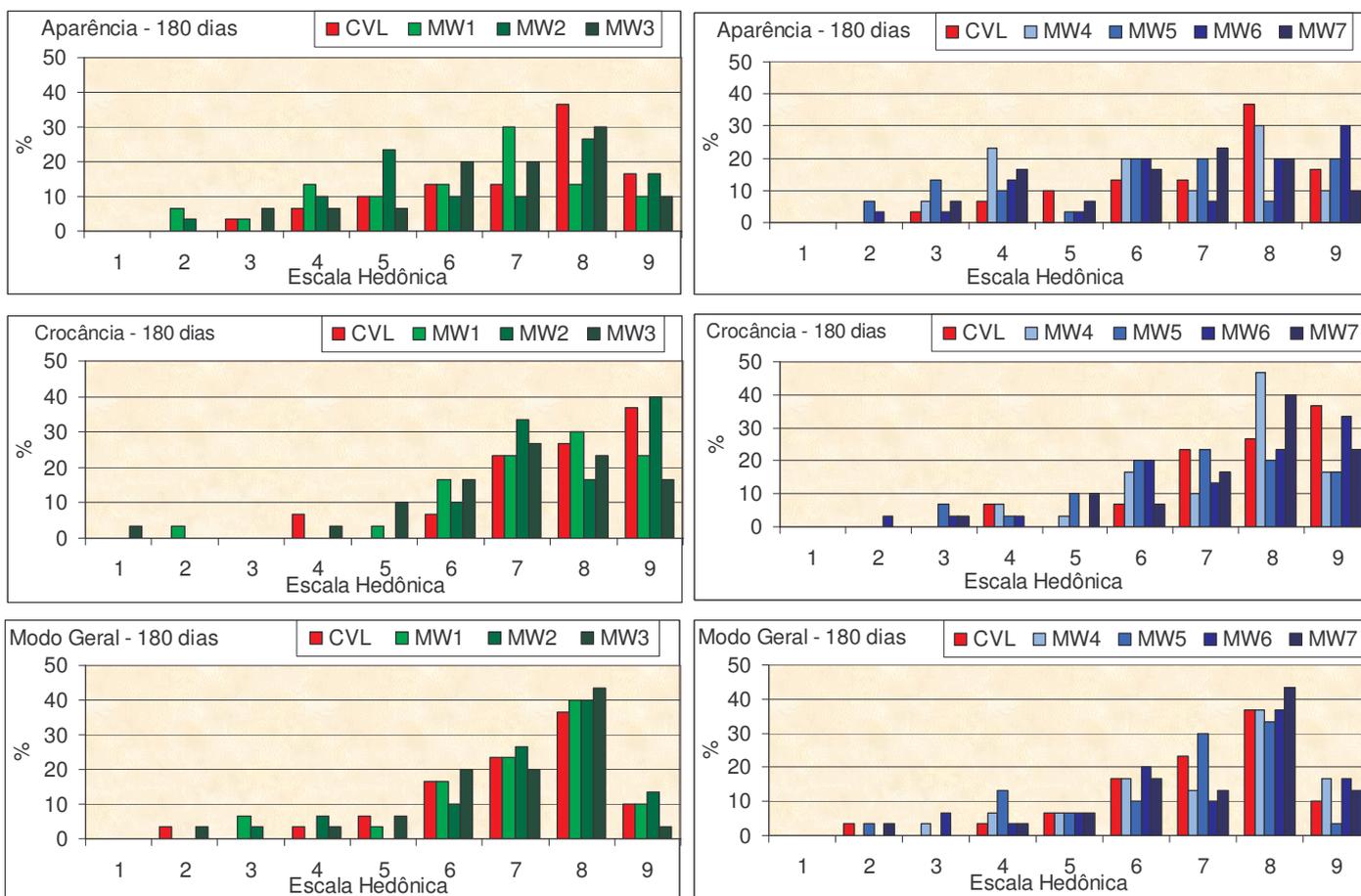


Figura 31 – Histogramas da distribuição das notas por atributo (180 dias)

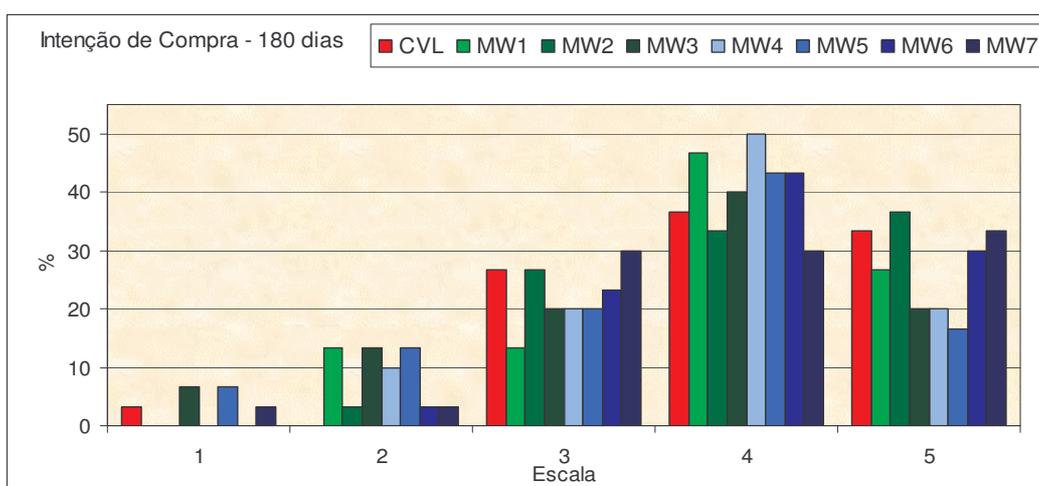


Figura 32 – Intenção de compra (180 dias)

Através dos resultados obtidos para aceitação sensorial durante todo o armazenamento, pode-se observar que para os atributos aparência e de modo geral a aceitação permanece praticamente constante durante todo o período de estudo (6 meses de armazenamento) para todas as amostras secas com microondas/ar quente e para o produto seco convencionalmente, nas condições estabelecidas. Esta observação pode ser realizada tanto para as médias obtidas para todos os atributos e meses, quanto para a porcentagem de aceitação. Em todo o período, as médias se mantêm acima de 6 em todos os atributos, o que na escala utilizada, representa aceitação acima de “gostei ligeiramente” e a porcentagem de aceitação, ou seja, porcentagem de consumidores que gostaram nas amostras em algum grau, acima de 60% para a aparência e de 75% para avaliação de modo geral. Quanto à crocância, a aceitação se mantêm acima de 80% em todo período.

Os histogramas representativos dos resultados da intenção de compra não sugerem alguma preferência quanto à intenção de compra das amêndoas de noz macadâmia, sendo que as amostras secas com energia de microondas não apresentam nível de rejeição à compra considerável no início e aos 90 dias do armazenamento, já ao final as amostras MW3 e MW5 apresentam nível de rejeição de 20% (percentual de provadores que reportaram não possuir nenhuma intenção à compra). De acordo com a apresentação dos resultados é notado que 50% a 76,7% dos provadores possuem algum grau de intenção de compra definida das amostras (o que compreende aceitação entre “possivelmente compraria” e “certamente compraria”), sendo que no início do armazenamento a amostra seca convencionalmente (CVL) apresentou o maior percentual de provadores (76,7%) com intenção de compra, aos 90 dias as amostras CVL e MW6 apresentaram o

maior percentual de provadores (73,3%) e ao final a amostra MW1 apresentou o maior percentual de provadores (73,3%).

A Tabela 27 apresenta a análise estatística da aceitação das amostras entre os tempos de armazenamento ($p \leq 0,05$) e revela que apenas quanto ao atributo crocância houve queda na aceitação das amostras MW3 e MW5 embora, entre as amostras, os provadores não identificaram diferenças quanto à crocância da amostra MW3. Comparando este resultado com a média gerada pelo perfil sensorial para tal amostra no atributo crocância sugere-se que no estudo da aceitação pode ter ocorrido problema de furo da embalagem ou problema na soldagem da embalagem utilizada no teste, o que pode ter induzido ao aumento da umidade e conseqüentemente, perda da crocância. As demais amostras e atributos não apresentaram queda da aceitação, resultado extremamente favorável.

Tabela 27 – Análise estatística da aceitação das amostras entre os tempos de armazenamento ($p \leq 0,05$)

Atributo	Aparência			Crocância			Modo Geral		
	0	90	180	0	90	180	0	90	180
CVL	6,67 ^a	7,30 ^a	7,03 ^a	7,93 ^a	7,30 ^a	7,73 ^a	7,27 ^a	7,27 ^a	7,00 ^a
MW1	6,67 ^a	6,63 ^a	6,13 ^a	7,40 ^a	7,10 ^a	7,37 ^a	7,23 ^a	7,00 ^a	7,10 ^a
MW2	6,17 ^a	6,70 ^a	6,57 ^a	7,37 ^a	7,57 ^a	7,87 ^a	7,27 ^a	6,77 ^a	7,23 ^a
MW3	6,43 ^a	6,83 ^a	6,70 ^a	7,93 ^a	7,33 ^{ab}	6,90 ^b	7,13 ^a	7,23 ^a	6,90 ^a
MW4	6,83 ^a	6,43 ^a	6,33 ^a	7,50 ^a	7,13 ^a	7,37 ^a	7,33 ^a	7,27 ^a	7,07 ^a
MW5	6,60 ^a	6,77 ^a	6,03 ^a	7,53 ^{ab}	7,80 ^a	6,77 ^b	7,03 ^a	7,43 ^a	6,60 ^a
MW6	6,73 ^a	7,10 ^a	6,83 ^a	7,53 ^a	7,60 ^a	7,30 ^a	7,13 ^a	7,47 ^a	7,00 ^a
MW7	6,43 ^a	7,07 ^a	6,33 ^a	7,67 ^a	7,37 ^a	7,47 ^a	7,17 ^a	7,13 ^a	7,13 ^a

Portanto, durante todo o armazenamento das amêndoas de noz macadâmia, as amostras que foram submetidas à secagem com microondas não apresentaram diferenças significativas ($p \leq 0,05$) na aceitação, entre si e entre a amostra padrão (CVL), em todos atributos sensoriais avaliados no teste aplicado. Apresentaram ainda boa aceitação em todos os atributos em estudo e na intenção de compra.

5.6.4 Estabilidade Sensorial do Produto Durante Armazenamento

No tempo inicial e aos 180 dias de armazenamento, a estabilidade sensorial das amostras foi analisada com base nos resultados obtidos no desenvolvimento do perfil sensorial das amêndoas de noz macadâmia em estudo através da aplicação de análise descritiva quantitativa (ADQ) de acordo com a metodologia referenciada. Os resultados a seguir determinaram se a cada 30 dias as amostras submetidas à secagem com microondas e ar quente apresentaram diferenças sensoriais significativas ($p \leq 0,05$) em termos globais da amostra submetida a secagem convencional, denominada de amostra controle ou padrão (CVL) e as análises ocorreram conforme a metodologia descrita no presente trabalho. A Tabela 28 resume os resultados da análise de variância (ANOVA) de acordo com O'MAHONY (1986), bem como expressa os resultados dos Testes de Dunnet (O'MAHONY,1986) para a quantificação da diferença entre as amostras secas por microondas e a amostra padrão ou controle (CVL).

De acordo com os resultados obtidos pela análise de variância (ANOVA) e teste de médias de Tukey (Tabela 30), após 30, 60, 90, 120 e 150 dias de armazenamento, foi demonstrado que as amostras submetidas à secagem com microondas não possuem

diferença significativa ($p \leq 0,05$) da amostra seca convencionalmente (CVL) em termos sensoriais globais, ou seja, os provadores avaliaram não existir diferenças sensoriais em termos globais entre as amostras que sofreram tratamento com microondas e a amostra padrão (CVL).

Tabela 28 – ANOVA e teste de Dunnet para Teste de Diferença do Controle

tempo (dias)	Sessão	ANOVA				Teste de Dunnet		Amostras							
		Amostra		Provador		D	MDS	CVL	MW1	MW2	MW3	MW4	MW5	MW6	MW7
		F	Ft5%	F	Ft5%										
30	1°	2,44	2,77	1,87	1,77	2,1	1,39	2,85 ^a	3,35 ^a	2,45 ^a	4,15 ^a	-	-	-	-
	2°	0,63	2,49	1,25	1,73	2,2	1,53	2,80 ^a	-	-	-	3,15 ^a	3,75 ^a	3,20 ^a	2,80 ^a
60	1°	0,14	2,77	0,68	1,77	2,1	1,32	2,60 ^a	3,00 ^a	2,75 ^a	2,75 ^a	-	-	-	-
	2°	0,56	2,49	0,89	1,73	2,2	1,15	1,90 ^a	-	-	-	2,20 ^a	2,25 ^a	2,65 ^a	2,10 ^a
90	1°	1,62	2,77	1,53	1,77	2,1	1,33	2,35 ^a	3,60 ^a	3,10 ^a	3,50 ^a	-	-	-	-
	2°	1,19	2,49	2,15	1,73	2,2	0,9	2,70 ^a	-	-	-	2,85 ^a	2,20 ^a	2,00 ^a	3,05 ^a
120	1°	0,49	2,77	1,00	1,77	2,1	1,31	3,30 ^a	2,85 ^a	2,70 ^a	2,60 ^a	-	-	-	-
	2°	1,09	2,49	1,69	1,73	2,2	1,19	2,40 ^a	-	-	-	2,25 ^a	3,25 ^a	2,40 ^a	2,70 ^a
150	1°	0,61	2,77	1,06	1,77	2,1	1,51	2,50 ^a	2,95 ^a	3,15 ^a	3,45 ^a	-	-	-	-
	2°	1,48	2,49	1,17	1,73	2,2	1,41	3,25 ^a	-	-	-	2,00 ^a	2,30 ^a	3,15 ^a	2,95 ^a

F = Valor de F calculado, Ft5% = Valor de F tabelado com nível de significância a 0,05 (O'MAHONY,1986), MDS = Mínima Diferença Significativa obtida pelo teste de Dunnet para que as amostras apresentem diferença significativa ao nível escolhido.

Pelo teste discriminativo proposto, em termos globais, foi obtido, a partir do processo de secagem com microondas/ar quente produto semelhante ao submetido ao tratamento convencional. Isso revela, que de acordo com o estudo sensorial realizado, em termos globais é possível a utilização das microondas no processo de secagem da noz macadâmia, etapa fundamental durante o seu processamento.

6.0 CONCLUSÕES

Através dos resultados obtidos neste estudo, pode-se concluir:

- ◆ É tecnicamente possível a secagem da noz macadâmia com aplicação de energia de microondas, com tempo de secagem menor (4,5 a 5,5 h) que o tempo requerido na secagem convencional / processo de secagem com ar quente (144 h).
- ◆ Foi também possível a modelagem das cinéticas de secagem da noz macadâmia para todos os ensaios de secagem com microondas e ar quente, de acordo com o modelo de Crank's para produtos de geometria esférica.
- ◆ Os valores obtidos nas determinações de índice de peróxido e percentual de ácidos graxos livres ficaram abaixo dos valores permitidos pela legislação brasileira, o que indica que mesmo utilizando temperaturas um pouco maiores do que as utilizadas no processo convencional de secagem, o produto seco por microondas e ar quente não perdeu durante os seis meses de armazenamento a sua qualidade em relação ao processo oxidativo, visto que produtos com alto teor de óleo como a noz macadâmia, tornou-se mais susceptíveis a deterioração oxidativa quando submetidos a temperaturas mais elevadas. Da mesma forma, os valores de período de indução, composição em ácidos graxos e tocoferóis/tocotrienóis permaneceu estáveis durante todo o período de armazenamento, ou seja, o método de secagem proposto mostrou-se bastante eficiente no que diz respeito à preservação da qualidade natural das nozes de macadâmia em comparação ao processo de secagem convencional.
- ◆ A Análise Descritiva Quantitativa, responsável por gerar o perfil sensorial das 8 amostras em estudo no tempo inicial e após 6 meses de armazenamento, mostrou que o produto seco com aplicação de energia de microondas e ar quente não difere sensorialmente de forma significativa do produto seco convencionalmente. Nota-se que

as principais alterações observadas em geral em todas as amostras estudadas durante todo o período de armazenamento são perda de Brilho e atributos de Textura (Crocância, Dureza e Mastigabilidade), desenvolvimento de Sabor e Aroma de Ranço, perda de Sabor e Aroma Característicos (Noz, Doce e Intensidade). Alguns atributos descritos não foram expressivos na caracterização do perfil das amêndoas durante o armazenamento (6 meses). Foi demonstrado portanto, que é possível a secagem de noz macadâmia por microondas sob o ponto de vista sensorial, obtendo um produto com características sensoriais semelhantes às do produto seco de forma convencional. A vantagem deste novo processo é o menor impacto quanto a rancificação, proporcionando o desenvolvimento de características de rancidez menos expressivas logo após o processo de secagem e durante todo o armazenamento.

◆ O estudo da estabilidade sensorial, através da realização dos testes de diferença do controle a cada 30 dias após o início do armazenamento sugere que as variáveis de temperatura do processo de secagem com microondas não provocam alterações sensoriais globais significativas que diferem da amostra seca convencionalmente (padrão/controle - CVL) em nenhum período do armazenamento. Também não diferem as amêndoas secas com microondas da seca convencionalmente pelo estudo da aceitação do mercado consumidor quanto aos atributos avaliados (Aparência, Crocância e Modo Geral) em nenhum período do armazenamento. Por fim, também entre as amostras secas com aplicação de energia de microondas e ar quente, não foi observado nenhuma condição de tratamento da secagem que proporcionasse uma aceitação diferenciada junto ao consumidor do produto.

7.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ◆ AGUERRE, R. J.; GABITTO, J. F.; CHIRIFE, J. Utilization of Fick`s second law for the evaluation of diffusion coefficients in food processes controlled by internal diffusion. **Journal of Food Technology**, n.20, 623–629, 1985.
- ◆ ANON. Uma comparação entre instrumentos modernos para análise de estabilidade oxidativa de óleos, gorduras e alimentos. **Óleos & Grãos**, São Bernardo do Campo, p.47-51, set/out, 1995.
- ◆ AOAC – **Official Methods of Analysis of Association of Official Analytical Chemist`s**. Arlington: Ed. HELRICH, k. 1997.
- ◆ AOCS (American Oil Chemists' Society). **Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemist's Society**. 5rd. ed., Champaign, 2002.
- ◆ APROMESP - Associação dos Produtores de Macadâmia do Estado de São Paulo [S.I., 1998?]. Disponível em: <http://www.proservi.com/apromesp/macnut.htm>. Acesso em, 13/02/2004.
- ◆ BARBANTI, D.; MASTROCOLA, D.; PIZZARANI, S. Air drying of plums influence of some Process parameters on the specific drying kinetics. **Sciences Des Aliments**, n. 15, p.19-29,1995.
- ◆ BARRERA-ARELLANO, D. Estabilidade em Óleos e Gorduras. **Óleos &Grãos**, São Bernado do Campo, p.10-13, jul/ago, 1993.

- ◆ BARRERA-ARELLANO, D. Estabilidad y utilización de nitrógeno em aceites y grasas. **Grasas y Aceites**, Sevilla, v.49, n.1, p.55-63, 1998.
- ◆ BARROS NETO, B; SCARMINO, I.S.; BRUNS, R.E. **Planejamento e otimização de experimentos**. Campinas: Ed. Unicamp, 1996.
- ◆ BERTELLI, M. N. **Estudo de um Protótipo para a secagem contínua de macarrão curto mediante ar quente e microondas**. Campinas, 2001. Tese de Mestrado apresentada ao Departamento de Engenharia de Alimentos da FEA/UNICAMP.
- ◆ BERTELI, M.N. & MARSAIOLI, JR., A.. Evaluation of short cut pasta air dehydration assisted by microwaves as compared to the conventional drying process. **Journal of Food Engineering**, 68, p.175–183, 2004.
- ◆ BITTENBENDER, H.C. & Mc GREGOR, A. Situação e perspectivas da macadâmia no mundo. In: São José, A. R. **Macadâmia: tecnologia de produção e comercialização**. Vitória da Conquista, Bahia, DFZ/UESB, 1991. p.159-191.
- ◆ BRASIL. Resolução nº 482, de 23 de setembro de 1999. **ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária**, Brasília - DF, nº 3029, republicada em 20/06/2000.
- ◆ BOBBIO, P. A.; BOBBIO, F. O. **Química do processamento de alimentos**. São Paulo: Varela, 1992. p.11-24.
- ◆ BUFFLER, C.R. **Microwave cooking and processing: engineering fundamentals for the food scientist**. New York, V.N. REINHOLD AVI, 1992.169 p.

- ◆ CANTO, M. W. **Estudo de diferentes processos de torração de café por método convencional e microondas.** Campinas, 2001. 283p. Tese de Doutorado apresentada ao Departamento de Engenharia de Alimentos da FEA/UNICAMP.
- ◆ CAVALETTO, C.G. Macadamia Nut. In CHAN, H. Jr. (Ed.). **Handbook of Tropical Foods.** New York: Marcel Dekker, Inc., 1983. p.361-397.
- ◆ CRANK, J. **The mathematics of diffusion.** Oxford: Claredon Press, 1975, 2nd.ed. 414p.
- ◆ CUNHA, M. L. Estudo da secagem do café cereja descascado pelo processo a ar quente assistido a microondas. Campinas, 1996. 74p. Tese de mestrado apresentada ao Departamento de Engenharia de Alimentos da FEA/UNICAMP.
- ◆ DECAREAU, R. V.; PETERSON, R.A. **Microwave processing and engineering.** Chichester: Ellis Horwood, 1986. 224p.
- ◆ DIERBERGER, J.E.; NETTO, L.M. **Noz macadamia – uma nova opção para a fruticultura brasileira.** São Paulo: Nobel, 1985. 120 p.
- ◆ DOBARGANES, M.C.; & PEREZ-CAMINO, M.C. Frying process: selection of fats and quality control. **International Meeting on Fats & oils Tecnonology Symposium and Exhibition.** Ed. Barrera-A. D.; Gonçalves, L.A.G. Campinas, p.58-66, 1991.
- ◆ DUKE, J. A. **Handbook of Nuts.** New York: CRC Press, INC., 1989. p.343.
- ◆ EARLE, R. L. **Ingeniaria de los alimentos.** Acribia, Zaragoza, 1992.

- ◆ FADINI, A. L. **Comparação da eficiência do processo convencional de torração do cacau frente ao processo por microondas.** Campinas, 1998. 122p. Tese de mestrado apresentada ao Departamento de Tecnologia de Alimentos da FEA/UNICAMP.

- ◆ FISZMAN, S. Bases teóricas de la determinación de la textura de alimentos sólidos. **Curso de Textura Aplicada a Pães, Biscoitos e Massas Alimentícias.** p.1-11, ITAL, 1989.

- ◆ GLADE, M. J. Annual Symposium, American College of Nutrition, Washington, DC, October 1-4, 1999. **Nutrition**, v.16, p.1119-1121, 2000.

- ◆ GOLDBLITH, S.A. Basic principles of microwaves and recent developments. **Adv. Food Res.** **15**, 1967, p.277-301.

- ◆ GONIAK, O. J.; NOBLE, A. C. Sensory study of selected volatile sulfur compounds in white wine. **Am. J. Enol. Viti.**, v.38, n.3, p.223-227, 1987.

- ◆ HANSEN, G.P.; GOUH, M.C. Moisture characteristics of macadamia nuts in relation to storage. **J. Sci. Fd. Agric.** 1977, 28, 990-995.

- ◆ JAYMES, R. A. **Handbook of North American Nut Trees.** New York: The W. F. Humphrey Press, Inc., 1969. 421p.

- ◆ JONES, P. L. High frequency dielectric heating in paper making. **Drying Technology**, v.4, n. 2, p. 217-244, May, 1986.

- ◆ KAIJSER, A.; DUTTA, P. SAVAGE, G. Oxidative stability and lipid composition of macadamia nuts grown in New Zealand. **Food Chemistry**, v.71, p.67-70, 2000.
- ◆ KEEY, R.B. **Drying: principles and practice**. Oxford: Pergamon Press, 1972. 358 p
- ◆ LABUZA, T. P. The effect of water activity on reaction kinetics of food deterioration. **Food Technology**, v.22, p.165-171, 1968.
- ◆ LAUBLI, M. W. & BRUTTEL, P. A. Determination of the oxidative stability of fats and oils: comparison between the active oxygen method (AOCS Cd 12-57) and the Rancimat method. **Journal American Oil Chemical Society**, 63(6): 792-795, 1986.
- ◆ LAWLESS H.T. e HEYMANN H. **Sensory Evaluation of Food - Principles and Practices**. Aspen Publication, p.1-2, 1999.
- ◆ LEE, P. **Macadamia grower's handbook**. SAMAC – The Southern African Macadamia Growers Association, Tzaneen and Africa do Soul, 1998. 65p.
- ◆ LOMAURO, C. J.; BAKSHI, A. S.; LABUSA, T. P. Evaluation of food moisture sorption isotherm equations. Part I: fruit, vegetable and meat products. **Lebensmittel – Wissenschaft and Technologies**. v.18, p.112-122, 1985.
- ◆ MARSAIOLI, JR., A.; CUNHA, M.L.; CANTO, M.W., 2003. Secagem de Café Cereja Descascado por Ar Quente e Microondas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, Brasil, v.23, n.3, p.381-385, 2003.

- ◆ MARSAIOLI JR. A. **Desenvolvimento da tecnologia de aplicação de microondas em secador cilíndrico-rotativo combinado com ar quente para produtos granulados.** Campinas, 1991. 197p. Tese de Doutorado apresentada ao Departamento de Engenharia de Alimentos da FEA/UNICAMP.

- ◆ MASON, R.L.; WILLS, R.B.H. Evaluation of the use of specific gravity as an objective index of the quality of Australian macadamia nuts. **Food Technology**, Australia, 1983, p.245-248.

- ◆ MASON, R.L.; Mc CONACHIE, I. A hard nut to crack. A review of the Australian macadamia nut industry. **Food Australia**, v. 46, n.10, p.466-471, 1994.

- ◆ MASON, R.L.; WILLS, R.B.H. Macadamia nut quality research the processing challenge. **Food Australia**, v.52, n.9, p.416-419, 2000.

- ◆ MEILGAARD, M.; CIVILLE, C. **Sensory evaluation techniques.** Boca Raton: CRC, 1987. 281p.

- ◆ METAXAS, A . C.; MEREDITH, R. J. **Industrial Microwave Heating.** 2. ed. London: Peter Peregrinus, 1988. 357 p.

- ◆ MENON, A.S.; MUJUMDAR, A.S. Drying of solids: principles, classification, and selection of dryers. In: MUJUMDAR, A.S. **Handbook of Industrial Drying.** New York: Marcel Dekker Inc., 1987. cap. 9, p.295-326.

- ◆ MICROSOFT 1995. **Statística versão 5,0 (Copyright ©1984-2000 by StatSoft, Inc.).**

- ◆ MORAES, M. A. C. Métodos para a avaliação sensorial dos alimentos. 8.ed. Campinas; Ed. Unicamp, 1993.
- ◆ MORETTO, E.; BARRERA-ARELLANO, D. Estabilidade oxidativa e comportamento térmico de misturas de oleína de palma e óleos vegetais. **Óleos & Grãos**, São Bernado do Campo, p.19-21, mar/abr 1995.
- ◆ MORETTO, E.; FETT, R. **Tecnologia de óleos e gorduras vegetais na indústria de alimentos**. Brasil, São Paulo. Ed. Varela, 1998. 150p.
- ◆ MOSKOWITZ, H.R. **Product testing and sensory evaluation of foods**. Westport: Food & Nutrition Press, 1983. 605p.
- ◆ MUDGETT, R. E. Electrical properties of foods. In: RAO, M. A. (Ed.) **Engineering properties of food**, 2. Ed. New York, 1996. p.389-456.
- ◆ NOREÑA, C.Z.; HUBINGER, M.D.; MENEGALLI, F.C. Técnicas básicas de Determinação de Atividade de Água: uma Revisão, **Bol. SBCTA**, v.30, n.1, p.91-96, 1996.
- ◆ O'MAHONY M. **Sensory Evaluation of Foods – Statistical Methods and Procedures**, Marcel Dekker Inc., 1986, 478p.
- ◆ PALIPANE, K.B.; DRISCOLL, R.H. & SRZEDENICK, G. Density, porosity and composition of macadamia in – shell nuts. **Food Australia**, 44(6), 276, 1992.

- ◆ PALIPANE, K.B.; DRISCOLL, R.H. The Thin-Layer Drying Characteristics of Macadamia In-shell Nuts and Kernel. **Journal of Food Engineering**, 23(2), 129-144, 1994.

- ◆ PARK, K. J. **Fundamentos de secagem**. Notas de aula. Faculdade de Engenharia Agrícola – UNICAMP, 1988.

- ◆ PARK, K.J.; BROD, F.P. **Secagem de produtos agrícolas**. Apostila de secagem. DPPPAG/FEAGRI/UNICAMP. Campinas. 118p. 1998.

- ◆ PERÉZ-CAMINO.; MÁRQUEZ-RUIZ, G.; DOBARGANES, M.C. Alteración en grasas usadas en fritura. I comportamiento de aceites de oliva y girasol en freidoras domésticas. **Grasas & Aceites**, Sevilla, v.38, n.5, p.307-312, 1987.

- ◆ PERSHERN, A. S.; BREENE, W. M.; LULAI, E. C. Analysis of factors influencing lipid oxidation in hazelnuts (*corylus spp.*). **Journal of Food Processing and Preservation**, Connecticut, v.19, n.1, p.9-26, jan., 1995.

- ◆ PINTO, L. A. A.; TOBINAGA, S. Modelos de secagem em camada fina de alimentos: uma revisão da literatura. **VETOR, Rio Grande**, n.6, p.33-49.

- ◆ QUINN, L. A.; TANG, H. H. Antioxidant properties of phenolic compounds in macadamia nuts. **Journal of the A. Oil Chemists' Society**, 71, 1101-1109, 1996.

- ◆ RODRIGUES, A. C. C. **Influência dos aditivos na obtenção de mamão desidratado osmoticamente**. Campinas, 1999. 98p. Tese de Mestrado apresentada ao Departamento de Engenharia de Alimentos da FEA/UNICAMP.

- ◆ SACRAMENTO, C. K. **A macadamicultura no Brasil**. In: São José, A. R. Macadâmia: tecnologia de produção e comercialização. DFZ/UESB, 1991. p.192-197.
- ◆ SAS Institute, **SAS user's guide: statistics**. Cary, USA: SAS Inst., 1993.
- ◆ SENISE, J. T. A utilização de rádio frequência e microondas na eletrônica industrial. **Revista Brasileira de Engenharia Química**, v.8, n.1, p.51-61, jul/set, 1985.
- ◆ SILVA, F. A. & MARSAIOLI, JR., A., 2003. Drying Brazil Nuts using Hot Air Assisted by Microwaves, Compared to Conventionally Dried Samples, in: **Proceedings of the 9th. International Conference on Microwave and High Frequency Heating**, Loughborough, UK, Sept.1-5, 2003, Editor: Jon Binner, p.341-344.
- ◆ SILVA, M.G. **Macadâmia Nacional: tocoferóis e caracterização físico-química**, Campinas, 2003. 150p. Tese de Mestrado apresentada ao Departamento de Engenharia de Alimentos da FEA/UNICAMP.
- ◆ SOUSA, W.A.; PITOMBO. R.N.M.; DA SILVA, M.A.A.P. and MARSAIOLI, JR., A. 2001.Sensory Evaluation of Dried Bananas Obtained from Air Dehydration Assisted by Microwaves, em "**Advances in Microwave & Radio Frequency Processing – Report from the 8th.International Conference on Microwave and High Frequency Heating**, Bayreuth, Germany, Sept.3-7, 2001", Editor: Monika Willert-Porada, Springer Verlag, p.289-302.

- ◆ STONE, H.; SIDEL, J.L. **Sensory evaluation practices**. Academic Press. New York, USA, 1993. 338p.
- ◆ STONE, H.; SIDEL, J.; OLIVER, S.; WOOLSEY, A.; SINGLETON, R.C. Sensory evaluation by quantitative descriptive analysis. **Food Technhology**, Chigago, v.28, n.11, p.24, 26, 28-29, 32, 34, nov., 1974.
- ◆ TEIXEIRA NETO, R. O. Atividade de água e transformações dos alimentos. JARDIM, D. C. P. (coord.). **Atividade de água em alimentos**. ITAL, Campinas, Cap. 2. p.2-1/9, 1997.
- ◆ TEIXEIRA NETO, R. O. Alterações da qualidade de frutas e hortaliças desidratadas durante a estocagem. In: **Desidratação de frutas e hortaliças – Manual técnico**. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 2001. p. 81-89.
- ◆ TOLEDO PIZA, J.A.N. **A colheita e o beneficiamento da noz macadâmia**. In: Macadâmia: tecnologia de produção e comercialização. Vitória da Conquista, BA, DFZ/UESB, 1991. p.159-191.
- ◆ TOLEDO PIZA, P.L.B. **Segunda etapa de secagem da noz macadâmia**. Botucatu, 2000. 93p. Tese (Mestrado em Agronomia/ Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP.
- ◆ TSANG M. M. C.; FURUTANI S. C. Rapid moisture content determination of macadamia nuts by microwave drying. **HortScience**, 24(4): 694-695, 1989.

- ◆ TSANG M. M. C.; FURUTANI S. C. Microwave drying of macadamia nuts. **Transactions of the ASAE**, 5(4):565-567, December 1989.
- ◆ **USDA - United States Department Of Agriculture (2002)**. “Situation and outlook for macadamia nuts”. Available in: www.fas.usda.gov/htp/Hort_Circular/2002/02-04/Stats/MAC.pdf. Access: 29/01/2003.
- ◆ VAN DEN BERG, C.; LENIGER, H. A. The water activity of foods. **Miscellaneous Papers**, Landbouwhogeschool Wageningen, The Netherlands, v.15, n.2, p.231-242, 1978.
- ◆ VEGA-MERCADO, H; GONGORA-NIETO, M. and BARBOSA-CÁNOVAS, G., Advances in dehydration of foods. **Journal of Food Engineering**, (49) 271-289, 2001.
- ◆ VON HIPPEL, A.R. **Dielectric and waves**. 2. Ed. Massachusetts: MIT Press, 1995. 284p.
- ◆ WOLF, W.; SPIESS, W. L.; JUMG, G. **Sorption isotherms and water activity of food material**. London: Elsevier Science Publishing Co., 1985.
- ◆ Xavier, J. A., Toledo Piza, J. A. N., Toledo Piza, P. L. B., Valarelli, I. D. Estudo comparativo entre duas metodologias para determinação do teor de umidade de equilíbrio da noz macadâmia em casca. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 25, 1996, Bauru. **Anais do 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, Bauru, São Paulo, 1996. (CD-ROM).

APÊNDICE I – Dados econômicos preliminares relativos ao processo de secagem da noz macadâmia com aplicação de energia de microondas e ar quente para a hipótese de uma escala de produção de 4000 kg/dia (166,7 kg/h)

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, 1988).

Para o caso específico da amêndoa de noz macadâmia foi considerada uma linha de produção de 4000 kg/dia (166,7 kg/h) de noz a 3,5 % (b.s.) final, partindo de uma matéria-prima com 10% (b.s.) de umidade inicial. Com base nestes dados, pode-se estimar o custo devido ao processamento por microondas da seguinte forma:

P_{ta} = Potência teórica para aquecer o produto a 68°C:

$$P_{ta} = M * C_p * \Delta T \quad \text{Eq. (16)}$$

onde, M = kg/s

$$C_p = \text{kJ/kg}^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = ^\circ\text{C}$$

Assim:

$$P_{ta} = (166,7/3600) * 1,9 * 43 = 3,78\text{kW}$$

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

$$P_{te} = M * (m_1 - m_2 / m_1 + 100) * L_h \quad \text{Eq. (17)}$$

onde, m_1 e m_2 = umidades inicial e final do produto em base seca

L_h (J/kg) = calor latente de evaporação da água a 68°C

Assim:

$$P_{te} = (166,7/3600) * (10 - 3,5/10 + 100) * 2350 = 6,43\text{kW}$$

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

$$P_t = P_{ta} + P_{te} = 3,78 + 6,43 \approx 10,21\text{kW}$$

$$\text{Eq. (18)}$$

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

$$P_g = P_t / \eta_a = 10,21/0,8 \approx 12,7\text{kW} \quad \text{Eq. (19)}$$

Adota-se o valor mais próximo disponível comercialmente, que é a unidade de 6 kW.

Assumindo-se o valor instalado da unidade geradora de microondas de 915 MHz como de US\$ 2500/kW, o seu custo fica:

$$C_{mo} = \text{US\$ } 2500/\text{kW} * 12 \text{ kW} = \text{US\$ } 30000 \quad \text{Eq. (20)}$$

Um aplicador rotativo industrial de microondas de corpo cilíndrico, com capacidade produtiva de 166,7 kg/h, custaria estimativamente US\$ 65000, o que soma um investimento total para o sistema a microondas de valor US\$ 95000.

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 (η_g) de aproximadamente 55%, isto é:

$$P_r = P_g / \eta_g = 12,7 / 0,55 = 23,1 \text{ kW} \quad \text{Eq. (21)}$$

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

$$C_{er} = g_o * P_r * 1 \text{ hora} = 0,10 * 23,1 * 1 = \text{US\$ } 2,31/\text{h} \quad \text{Eq. (22)}$$

Como em uma hora se produz 166,7kg de nozes, tem-se:

$$g_{m01} = C_{er} / 166,7 = 0,014 \text{ US\$ / kg} \quad \text{Eq. (23)}$$

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 (5100h trabalhadas), isto é:

$$g_{m02} = (0,12 * 95000) / (5100 * 166,7) = 0,0134 \text{ US\$ / kg} \quad \text{Eq. (24)}$$

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

$$g_{mot} = g_{m01} + g_{m02} = 0,014 + 0,0134 = 0,028 \text{ US\$ / kg de produto} \quad \text{Eq. (25)}$$

Vale observar que a alternativa de secagem por microondas poderia recorrer à co-geração energética, através do aproveitamento da casca da noz macadâmia para a produção de eletricidade para o processo.

APÊNDICE II - Dados experimentais da cinética de secagem da noz macadâmia

Tabela A1–Dados experimentais da cinética de secagem da noz macadâmia (ensaio MW1)

tempo (min)	X_{bs} (%)	X_t-X_e/ X₀-X_e (exp.)	X_t-X_e/ X₀-X_e (obs.)	P (%)	dX/dt
0	10,190	1,000	0,970	2,965	0,00071
30	8,442	0,792	0,727	8,221	0,00039
60	7,447	0,673	0,627	6,874	0,00028
90	6,732	0,588	0,556	5,490	0,00020
120	6,213	0,526	0,499	5,103	0,00019
150	5,699	0,465	0,452	2,706	0,00017
180	5,246	0,411	0,412	0,277	0,00015
210	4,834	0,362	0,377	4,181	0,00012
240	4,519	0,324	0,346	6,620	0,00010
270	4,248	0,292	0,318	8,886	0,00009
300	3,998	0,262	0,293	11,688	0,00007
330	3,793	0,237	0,270	13,628	

Tabela A2–Dados experimentais da cinética de secagem da noz macadâmia (ensaio MW2)

tempo (min)	X_{bs} (%)	X_t-X_e/ X₀-X_e (exp.)	X_t-X_e/ X₀-X_e (obs.)	P (%)	dX/dt
0	9,800	1,000	0,970	2,96	0,00068
30	8,105	0,788	0,728	7,61	0,00039
60	7,117	0,665	0,629	5,37	0,00024
90	6,485	0,586	0,558	4,73	0,00018
120	6,009	0,526	0,502	4,63	0,00020
150	5,473	0,459	0,455	0,90	0,00013
180	5,130	0,416	0,415	0,35	0,00014
210	4,763	0,370	0,380	2,52	0,00011
240	4,472	0,334	0,349	4,39	0,00010
270	4,201	0,300	0,321	6,89	0,00009
300	3,952	0,269	0,296	9,95	0,00008
330	3,724	0,240	0,273	13,51	

Tabela A3–Dados experimentais da cinética de secagem da noz macadâmia (ensaio MW3)

tempo (min)	X_{bs} (%)	X_t-X_e / X₀-X_e (exp.)	X_t-X_e / X₀-X_e (obs.)	P (%)	dX/dt
0	9,980	1,000	0,970	2,96	0,00089
30	7,768	0,730	0,684	6,31	0,00041
60	6,718	0,601	0,571	5,01	0,00031
90	5,895	0,501	0,492	1,69	0,00022
120	5,312	0,429	0,431	0,27	0,00017
150	4,846	0,372	0,380	2,09	0,00015
180	4,442	0,323	0,338	4,50	0,00012
210	4,114	0,283	0,301	6,37	0,00008
240	3,930	0,260	0,269	3,35	0,00007
270	3,704	0,233	0,241	3,55	

Tabela A4–Dados experimentais da cinética de secagem da noz macadâmia (ensaio MW4)

tempo (min)	X_{bs} (%)	X_t-X_e / X₀-X_e (exp.)	X_t-X_e / X₀-X_e (obs.)	P (%)	dX/dt
0	10,190	1,000	0,970	2,96	0,00087
30	8,034	0,743	0,693	6,71	0,00041
60	6,987	0,618	0,583	5,62	0,00032
90	6,155	0,519	0,506	2,49	0,00022
120	5,574	0,450	0,446	0,93	0,00017
150	5,109	0,394	0,396	0,38	0,00015
180	4,695	0,345	0,354	2,51	0,00013
210	4,334	0,302	0,317	5,06	0,00011
240	4,027	0,265	0,285	7,54	0,00010
270	3,753	0,233	0,257	10,57	

Tabela A5–Dados experimentais da cinética de secagem da noz macadâmia (ensaio MW5)

tempo (min)	X_{bs} (%)	X_t-X_e / X₀-X_e (exp.)	X_t-X_e / X₀-X_e (obs.)	P (%)	dX/dt
0	9,800	1,000	0,970	2,96	0,00073
30	7,970	0,771	0,705	8,55	0,00045
60	6,809	0,626	0,599	4,30	0,00028
90	6,065	0,533	0,524	1,71	0,00020
120	5,529	0,466	0,465	0,27	0,00016
150	5,099	0,412	0,416	0,89	0,00013
180	4,754	0,369	0,374	1,42	0,00011
210	4,451	0,331	0,338	2,12	0,00013
240	4,101	0,288	0,307	6,63	0,00008
270	3,886	0,261	0,279	6,88	0,00006
300	3,726	0,241	0,254	5,30	

Tabela A6–Dados experimentais da cinética de secagem da noz macadâmia (ensaio MW6)

tempo (min)	X_{bs} (%)	X_t-X_e / X₀-X_e (exp.)	X_t-X_e / X₀-X_e (obs.)	P (%)	dX/dt
0	9,980	1,000	0,970	2,96	0,00075
30	8,112	0,772	0,704	8,76	0,00046
60	6,920	0,626	0,598	4,53	0,00028
90	6,187	0,536	0,522	2,64	0,00021
120	5,619	0,467	0,463	0,85	0,00016
150	5,199	0,416	0,414	0,40	0,00015
180	4,787	0,365	0,372	1,94	0,00014
210	4,417	0,320	0,336	5,09	0,00010
240	4,134	0,285	0,304	6,71	0,00008
270	3,907	0,258	0,276	7,32	0,00006
300	3,736	0,237	0,251	6,20	

Tabela A7–Dados experimentais da cinética de secagem da noz macadâmia (ensaio MW7)

tempo (min)	X_{bs} (%)	X_t-X_e / X₀-X_e (exp.)	X_t-X_e / X₀-X_e (obs.)	P (%)	dX/dt
0	10,190	1,000	0,970	2,96	0,00075
30	8,326	0,778	0,715	8,02	0,00045
60	7,179	0,641	0,612	4,49	0,00025
90	6,524	0,563	0,539	4,27	0,00021
120	5,981	0,498	0,481	3,44	0,00018
150	5,508	0,442	0,433	2,00	0,00016
180	5,087	0,392	0,392	0,11	0,00014
210	4,695	0,345	0,357	3,32	0,00013
240	4,346	0,303	0,325	7,13	0,00011
270	4,051	0,268	0,297	10,74	0,00009
300	3,788	0,237	0,272	14,75	

ANEXO I – Potência disponível de microondas em forno doméstico

Para medir a potência do forno de microondas doméstico do modelo descrito no item 4.2 (j), BERTELLI (2001), utilizou testes seguindo a metodologia da *Commission Electrotechnique Internationale – CEI – IEC 705*, onde foram feitas duas repetições para cada nível de potência oferecido pelo forno e comparados com as especificações do fabricante. A potência foi calculada segunda a Equação:

$$P=[4,187 \times M_w \times (T_2 - T_1) + 0,55 \times M_c \times (T_2 - T_0)] / t \quad (26)$$

Onde,

P é a potência de saída do microondas em watts;

M_w é a massa de água em gramas;

M_c é a massa do recipiente em gramas;

T_0 é a temperatura ambiente em °C;

T_1 é a temperatura inicial da água em °C;

T_2 é a temperatura final da água em °C;

t é o tempo de aquecimento em segundos.

BERTELLI (2001) observa também que o uso de determinação de potência está limitado à calibração de equipamentos e que sua aplicação na análise dos processos dos alimentos por microondas apresenta dificuldades devido a diversas razões:

- A absorção de potência e a intensidade de campo dentro dos produtos variam com a profundidade a partir da superfície sob condições que estão continuamente variando com a temperatura durante o curso da irradiação. Assim o fator de perda dielétrica ϵ'' varia não somente de uma região do produto para

outra, mas também dentro de um particular segmento do produto conforme a temperatura sobe pelo aquecimento mediante as microondas;

- O gradiente de voltagem dentro do produto varia como uma função da profundidade a partir da superfície;
- O calor gerado dentro do produto pelo acoplamento da energia elétrica do campo está sujeito aos mecanismos convencionais de transferência de calor por condução interna, convecção superficial e evaporação de umidade, mediadas pelas propriedades térmicas e de transporte do produto.

Os resultados dos níveis de potências reais oferecidos pelo forno de microondas podem ser vistos na Tabela A8.

Tabela A8 – Potência calculada disponível no forno de microondas doméstico

Especificações do Fabricante		Potência Calculada Disponível (W)		
		Voltagem (V)		Média (V)
Níveis de Potência	Potência (W)	127,4	127,5	127,5
1	150	99,4	108,50	103,9
2	200	197,5	200,34	198,9
3	300	280,9	299,57	290,2
4	400	395,0	398,84	396,9
5	500	496,2	499,07	497,6
6	550	542,5	545,66	544,1
7	650	645,8	610,81	628,3
8	750	739,8	744,08	741,9
9	800	797,8	802,44	800,1
10	900	884,5	889,66	887,1

Fonte: (BERTELLI, 2001).