

SECAGEM CONVECTIVA DE ABACAXI COMBINADA COM
APLICAÇÃO DE POTÊNCIA DE MICRO-ONDAS VARIÁVEL

POLLYANE GOMES CORRÊA

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY
RIBEIRO

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ
ABRIL – 2014

SECAGEM CONVECTIVA DE ABACAXI COMBINADA COM
APLICAÇÃO DE POTÊNCIA DE MICRO-ONDAS VARIÁVEL

POLLYANE GOMES CORRÊA

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Orientadora: Prof^a Dra. Nádia Rosa Pereira - UENF

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ

ABRIL – 2014

FICHA CATALOGRÁFICA

Preparada pela Biblioteca do CCTA / UENF 009/2015

Corrêa, Pollyane Gomes

Secagem convectiva de abacaxi combinada com aplicação de potência de micro-ondas variável / Pollyane Gomes Corrêa. – 2014. 108 f. : il.

Orientador: Nádya Rosa Pereira
Dissertação (Mestrado - Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. Campos dos Goytacazes, RJ, 2015. Bibliografia: f. 94 – 100.

1. Secagem 2. Micro-ondas 3. Alimentos 4. Aceitação sensorial 5. Abacaxi I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. II. Título.

CDD–
664.0284

SECAGEM CONVECTIVA DE ABACAXI COMBINADA COM
APLICAÇÃO DE POTÊNCIA DE MICRO-ONDAS VARIÁVEL

POLLYANE GOMES CORRÊA

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de mestre em Produção Vegetal.

Aprovado em 14 de abril de 2014

Comissão examinadora:

Dr. Antonio Marsaioli Junior (D.Sc., Engenharia de Alimentos) – ITAL e
FEQ/UNICAMP

Prof^a. Karla Silva Ferreira (D.Sc., Ciência e Tecnologia de alimentos) – UENF

Prof. Sílvio de Jesus Freitas (D.Sc. Produção Vegetal) - UENF

Prof^a. Nádia Rosa Pereira (D.Sc., Engenharia de Alimentos)– UENF
(Orientadora)

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiramente a Deus, que está sempre comigo nas horas boas e ruins, e que sempre me deu forças para enfrentar tudo;

Ao meu pai Raimundo Bernabel Corrêa, à minha mãe Maria Goreth Pinheiro Gomes, e a todos os meus irmãos: Paulo Alexandro, Polany, Helton e Heliton, pois sem o apoio deles também seria tudo muito mais difícil;

A toda família Pinheiro Gomes, vocês fazem minha vida mais divertida e aconchegante;

À professora Nádia Rosa pela orientação;

À professora Selma Bergara pela amizade e por toda ajuda na construção do trabalho e no laboratório;

Ao Renê Lemos, pois sem ele eu com certeza não ficaria sabendo dessa oportunidade. Por todo amor, carinho, dedicação e respeito que ele tem por mim, foi uma peça fundamental nessa trajetória acadêmica;

A todos os meus amigos do LTA que já se foram e que ainda estão na luta aqui Jeferson Santos, Francemir Lopes, Juliana Barreto, Carmozene Santos, Luiz Fernando Miranda, Larissa Zambe, Lucy Assis, Clara Nunes, Natália Bernardes, Simone Vilela Talma, João Batista, Suelen Alvarenga, Letícia Tinoco, Ana Luiza Ávila, Valdinéia (assistente do laboratório), Patrícia Rodrigues, Diana Cubides, Wellington, Geraldo, em especial a Ana Sílvia Boroni e a Lara Poses meninas vocês foram nota mil;

Aos meus amigos de casa, a Ingrid Gaspar que me aturou por todo esse tempo e foi como uma irmã mais velha para mim, assim como o Misael e o Léo Fernandes;

A todos os meus outros amigos que fiz aqui na Uenf, cujos vínculos foram encurtados com a convivência;

Aos meus amigos e professores da Ueap, sei que todos torcem por mim.

À minha professora e ex orientadora Sílvia Simone a quem tenho um carinho enorme e sou imensamente agradecida pela reciprocidade;

A Uenf pela oportunidade do curso de pós-graduação em Produção Vegetal;

A Faperj por me oportunizar a bolsa de auxílio financeiro.

SUMÁRIO

SUMÁRIO	4
LISTA DE TABELAS	7
LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE ABREVIACÕES	14
RESUMO	16
ABSTRACT	18
1. INTRODUÇÃO	20
2.1 Abacaxi.....	22
2.3 Análise sensorial	25
2.4 Micro-ondas.....	26
2.5 Materiais dielétricos.....	29
2.6 Mecanismos de aquecimento	30
2.7 Secagem	32
2.8 Secagem por micro-ondas combinada com ar quente	34
2.9.1 Objetivo geral	37
2.9.2 Objetivos específicos.....	37
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	38

3.1 Seleção e preparo da matéria-prima.....	38
3.2.1 Determinação do teor de umidade.....	40
3.2.2 Sólidos solúveis totais (°Brix).....	41
3.2.3 pH.....	41
3.2.4 Atividade de água.....	41
3.2.5 Acidez.....	41
3.2.6 Análise de volume.....	42
3.2.7 Capacidade de Reidratação.....	43
3.2.8 Atividade antioxidante.....	43
3.2.9 Análise de cor.....	44
3.2.10 Análise de minerais.....	45
3.5 Planejamento Experimental.....	47
3.6 Secagem convectiva combinada com aplicação de potência de micro-ondas variável.....	48
3.7 Ajuste das curvas de secagem ao modelo de Page.....	51
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	52
4.1 Caracterização da matéria-prima.....	52
4.2 Avaliação da cinética de secagem.....	54
4.3 Tratamento estatístico do planejamento experimental.....	62
4.4 Ajustes ao modelo matemático de PAGE.....	65
4.5 Análise da qualidade dos produtos secos.....	66
4.5.1 Atividade de água.....	66
4.5.2 Capacidade de reidratação e umidade do produto seco e reidratado.....	68
4.5.3 Volume (V/V_0).....	70
4.5.5 Cor do abacaxi <i>in natura</i> e o seco obtido.....	72
4.6 Avaliação no tipo de corte do fruto.....	75
4.6.1 Cinética de secagem de abacaxi diferenciando-se no corte do fruto.....	75

4.6.2 Análises físicas e químicas quanto ao tipo de Corte do abacaxi	76
4.7 Análise dos pontos extremos e do ponto central do planejamento	78
4.8 Aceitação sensorial	79
4.8.1 Perfil dos avaliadores	79
4.8.2 Aceitação global	81
4.8.3 Aceitação da cor, do aroma, do sabor e da textura	86
5. RESUMO e CONCLUSÕES	92
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição centesimal do Abacaxi (<i>Ananas comosus L.</i>).....	23
Tabela 2 – Variáveis e níveis utilizados no trabalho	48
Tabela 3 – Planejamento experimental fatorial 2^3 com três repetições no ponto central	48
Tabela 4 - Características físicas e químicas do abacaxi <i>in natura</i>	53
Tabela 5 - Tempo total de processo para cada condição experimental.....	63
Tabela 6 – Análise de efeitos das variáveis independentes no tempo de secagem em nível de 95 % de confiabilidade.....	63
Tabela 7 - Tabela da análise de variância para a resposta Tempo.....	65
Tabela 8 - Parâmetros e coeficientes de determinação do modelo de PAGE	65
Tabela 9 – Atividade de água do produto seco obtido em cada ensaio	67
Tabela 10 - Análise dos efeitos sobre a variável dependente: atividade de água para o produto obtido pela secagem convectiva com aplicação de micro-ondas variável.....	68
Tabela 11 - Média da umidade e capacidade de reidratação do produto seco e umidade do produto reidratado em cada condição dos 11 ensaios experimentais.	68
Tabela 12 - Análise dos efeitos das variáveis do processo sobre a capacidade de reidratação para o produto obtido pela secagem convectiva com aplicação de potência de micro-ondas variável.....	(

Tabela 13 - Análise de variância para a resposta capacidade de reidratação com $p \leq 0,1$	70
Tabela 14 - Média de V/V_0 para cada condição experimental do delineamento...	71
Tabela 15 - Análise dos efeitos sobre a variável dependente: V/V_0 para o produto obtido pela secagem convectiva com aplicação de micro-ondas variável	72
Tabela 16 - Análise dos efeitos sobre a variável dependente: cor, subdividido em cada uma das coordenadas e diferença de cor das amostras <i>in natura</i> e do produto obtido pela secagem convectiva com aplicação de micro-ondas variável.	74
Tabela 17 – Análise de variância para as coordenadas a e b , ambas componentes da cor ($p \leq 0,1$).....	75
Tabela 18 - Análises físicas e químicas de amostras <i>in natura</i> e do produto obtido pela secagem convectiva com aplicação de micro-ondas variável	76
Tabela 19 - Análises físico-químicas de amostras <i>in natura</i> e do produto obtido pela secagem convectiva com aplicação de potência de micro-ondas variável....	78
Tabela 20 - Média da aceitação global das 11 condições experimentais do planejamento de abacaxi seco. (n = 60).	81
Tabela 21 - Análise dos efeitos das variáveis independentes sobre a aceitação global dos produtos de abacaxi seco obtidos pelas condições do planejamento .	82
Tabela 22 - Média da aceitação dos atributos cor, aroma, sabor e textura; de abacaxi seco obtido por 4 tratamentos (n = 60).	86

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mudança do DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazila) para a forma reduzida pela ação de um agente oxidante.	25
Figura 2 - Espectro de ondas-eletromagnéticas.....	28
Figura 3 - Interação entre as micro-ondas e o material dentro da cavidade do forno micro-ondas.	28
Figura 4 - Tentativas da molécula de água em alinhar seus polos no mesmo sentido do campo elétrico das micro-ondas.....	31
Figura 5 – Ilustração das transferências simultâneas de calor e massa durante a secagem convectiva.....	33
Figura 6 - Cortador cilíndrico de abacaxi e organização dos 400 g de abacaxi na bandeja.	38
Figura 7 – Cortes realizados no abacaxi <i>in natura</i>	39
Figura 8 - Pontos de medição da espessura ao longo da amostra de abacaxi.	43
Figura 9 - Coordenadas constituintes da cor a, b, L.....	45
Figura 10 - (1) entrada de ar, (2) válvula, (3) tubo conector, (4) ventilador, (5) aquecedor elétrico, (6) Tubo flexível, (7) conector rápido, (8) controlador e indicador de temperatura, (9) Chave liga/desliga do controlador, (10) difusor de ar, (11) cavidade de micro-ondas, (12) suporte de produto, (13) janela de exaustão, (14), saída de ar, (15) ar de resfriamento do gerador de micro-ondas, (16) balança semi-analitica, (17) prato giratório, (18) Sensor de temperatura (termopar tipo K). (Adaptado de SILVA et al, 2006; SOUSA & MARSAIOLI 2004; LOPES, 2013). ..	49

Figura 11 - Adimensional de umidade em função do tempo de secagem com aplicação de potência de micro-ondas variável em pedaços de abacaxi durante todo o processo (a), no período I (b) e no período II (c) de todas as condições do planejamento experimental, sendo o ar quente a 1m ³ /min.	54
Figura 12 - Adimensional de umidade em função do tempo de secagem com aplicação de potência de micro-ondas variável em pedaços de abacaxi no período I (a) e no período II (b) das condições experimentais quando a temperatura do ar de secagem foi de 40°C e vazão do ar quente a 1m ³ /min.	55
Figura 13 - Adimensional de umidade em função do tempo de secagem com aplicação de potência de micro-ondas variável em pedaços de abacaxi no período I (a) e no período II (b) das condições experimentais para ar de secagem a 70°C e vazão de 1m ³ /min.	56
Figura 14 - Adimensional de umidade em função do tempo de secagem com aplicação de potência de micro-ondas variável em pedaços de abacaxi no período I (a) e no período II (b) das três repetições da condição do ponto central do planejamento com T = 55°C, PI = 320 W, PII 95 W e vazão de 1m ³ /min.....	57
Figura 15 - Adimensional de umidade em função do tempo de secagem com aplicação de potência de micro-ondas variável em pedaços de abacaxi no período I para 180 W (a) e 450 W (b).....	57
Figura 16 - Adimensional de umidade em função do tempo de secagem com aplicação de potência de micro-ondas variável em pedaços de abacaxi dos ensaios 2 e 3 (a) e dos ensaios 6 e 7(b), com vazão do ar de secagem a 1m ³ /min.	58
Figura 17 – Amostras de abacaxi seco após o processo de secagem convectiva com aplicação de potência de micro-ondas variável dos ensaios 1 (a) e 8 (b).	59
Figura 18 – Taxa de secagem em função da umidade adimensional dos pedaços de abacaxi com aplicação de potência de micro-ondas variável e vazão do ar de 1m ³ /min para todas as condições experimentais do período I e II.	60
Figura 19 - Densidade da potência de micro-ondas aplicada durante o processo de secagem em pedaços de abacaxi, na qual a temperatura do ar foi igual a 40°C (a), 70°C (b) e 55°C (c) com vazão de ar a 1m ³ /min.....	61
Figura 20 - Temperatura do ar de entrada e de saída do sistema em função do tempo de secagem dos pedaços de abacaxi na qual aplicou-se potência de micro-ondas variável sob a temperatura do ar de 40°C (a), 70°C (b) e 55°C (c).	62

Figura 21 - Diagrama de Pareto para a variável: tempo	64
Figura 22 – Ajustes das curvas de secagem dos pedaços de abacaxi seco com aplicação de potência de micro-ondas variável ao modelo de Page para o ensaio 1 (a) e ensaio 2 (b); a vazão do ar de secagem foi de $1\text{m}^3/\text{min}$	66
Figura 23 - Parâmetros de cor L, a, b e ΔE (23a, 23b, 23c e 23d respectivamente) de pedaços de abacaxi <i>in natura</i> e seco por meio da secagem convectiva combinada com aplicação de potência de micro-ondas variável	73
Figura 24 - Adimensional de umidade em função do tempo (a); taxa de secagem em função do adimensional de umidade (b) da secagem com aplicação de potência de micro-ondas variável em abacaxi de ensaios nas condições do ponto central com diferença apenas no tipo de corte.....	76
Figura 25 - Abacaxi <i>in natura</i> e seco pelos dois tipos de cortes: transversal e longitudinal.....	77
Figura 26 - Perfil dos avaliadores participantes dos testes sensoriais. a) Sexo; b) Idade; c) Atitude dos avaliadores em relação a abacaxi <i>in natura</i>	80
Figura 27 – Distribuição de frequência das respostas dos avaliadores (n = 60) para a aceitação global das amostras de cada uma das 11 condições do planejamento. Escala hedônica: 1: Desgostei extremamente; 2: Desgostei muito; 3: Desgostei moderadamente; 4: Desgostei ligeiramente; 5: Nem gostei / nem desgostei; 6: Gostei ligeiramente; 7: Gostei moderadamente; 8: Gostei muito; 9: Gostei extremamente	84
Figura 28 - Distribuição das notas hedônicas, em percentagem, para os atributos cor (a, c, e, g), e sabor (b, d, f, h) de amostras analisadas sensorialmente dos pontos: inferior (-1,-1,-1) 40°C, PI 180 W, PII 0 W; superior (+1, +1 +1) 70°C, PI 450 W, PII 180 W; ponto central com corte transversal (0, 0, 0) 55°C, PI 320 W, PII 95 W; e ponto central com corte longitudinal (0, 0, 0) 55°C, PI 320 W, PII 95 W.....	90
Figura 29 - Distribuição das notas hedônicas, em percentagem, para os atributos textura (a, c, e, g) e aroma (b, d, f, h) de amostras analisadas sensorialmente dos pontos: inferior (-1,-1,-1) 40°C, PI 180 W, PII 0 W; superior (+1, +1 +1) 70°C, PI 450 W, PII 180 W; ponto central com corte transversal (0, 0, 0) 55°C, PI 320 W, PII 95 W; e ponto central com corte longitudinal (0, 0, 0) 55°C, PI 320 W, PII 95 W.....	91

Figura 30: Potência nominal do forno micro-ondas calculada por meio do Testeimpi 2 litros adaptado por Buffler C. 1991.	102
--	-----

APÊNDICES

APÊNDICE A - Teste para medir a potência nominal do forno micro-ondas utilizado para o processo de secagem convectiva combinada com aplicação de potência de micro-ondas variável.....	102
APÊNDICE B - Avaliação sensorial de abacaxi seco – Ficha 1.....	103
APÊNDICE C - Avaliação sensorial de abacaxi seco – Ficha 2.....	104
APÊNDICE D - Termo de consentimento da Análise sensorial de abacaxi seco.....	105

LISTA DE ABREVIações

FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IAL	Instituto Adolfo Lutz
AOAC	Official Methods of Analysis
TACO	Tabela Brasileira de Composição de Alimentos
UENF	Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro
ANOVA	Análise de variância
CNS	Conselho nacional de Saúde
ABTS	2,20-azino-bis (ácido 3-ethylbenzthiazoline-6-sulfônico) Método usado para avaliar atividade antioxidante
FRAP	ferric reducing antioxidant power - férrico-tripiridiltriazina Método usado para avaliar atividade antioxidante
DPPH	2,2-difenil-1-picrylhydrazil Método usado para avaliar atividade antioxidante
PI	Período I
PII	Período II
T	Temperatura do ar de secagem
DP	Desvio Padrão
Aw	Atividade de água
CR	Capacidade de Reidratação
V/V ₀	Encolhimento

CT	Corte Transversal do fruto
CL	Corte Longitudinal do fruto
AG	Aceitação Global
PQ	Peças Queimadas
b.u.	Base úmida
X/X ₀	Umidade adimensional
°C	Graus Celsius
W	Watts – unidade de potência de micro-ondas
Ca	Cálcio
Na	Sódio
K	Potássio
K	Constante de secagem do modelo de Page
N	Constante do Modelo de page
R ²	Coeficiente de determinação
CV	Coeficiente de variação
FV	Fonte de Variação
SQ	Soma de quadrado
GL	Graus de Liberdade
QM	Média Quadrática
Ppm	Parte por milhão
Trolox	6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchoman-2-carboxylic acid Reagente padrão usado como padrão do método ABTS e FRAP
P	Relacionado ao nível de significância do fator sobre a resposta
ΔE	Diferença de cor
ΔL ²	Diferença do parâmetro L que é referente à cor branca e preta
Δa ²	Diferença do parâmetro a que é referente à cor verde e vermelha
Δb ²	Diferença do parâmetro b que é referente à cor amarela e azul
ε*	Permissividade dielétrica relativa
ε'	Constante dielétrica relativa
ε''	Fator de perda relativa
Λ	Comprimento de onda
F	Frequência

RESUMO

CORRÊA, Pollyane Gomes, M. Sc. Produção Vegetal. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Abril de 2014. Secagem convectiva de abacaxi combinada com aplicação de potência de micro-ondas variável. Orientadora: Prof.^a.Dr.^a Nádia Rosa Pereira

O abacaxi é uma fruta tropical de alto valor nutritivo e comercial, possui características sensoriais peculiares além da propriedade antioxidante e digestiva. O Brasil é um dos principais produtores deste fruto proveniente do abacaxizeiro (*Ananas comosus L.*) e a região norte fluminense contribui substancialmente para a produção estadual. Relacionado a isto tem-se a secagem como um dos métodos de utilização do excedente de produção e de diminuição das perdas durante a safra. A secagem é uma operação unitária que elimina água aplicando calor de maneira controlada e é largamente empregada na conservação de frutas por diminuir, em níveis seguros, o teor de água na matéria-prima. Através da secagem convectiva obtém-se produtos com baixo teor de substâncias aromáticas, nutricionais e bioativas em relação à matéria-prima *in natura*. Essas características são adquiridas em razão dos longos tempos de secagem e da baixa eficiência energética atribuída a este tipo de processo. A utilização de energia de micro-ondas no processo de secagem convectiva garante a eficiência

energética em função do seu tipo de aquecimento volumétrico e seletivo. Nesse sentido, o controle das potências de micro-ondas possibilita a obtenção de produtos secos com qualidade comparável ou até superior àquela obtida pelo método convencional. Diante disso visa-se o desenvolvimento de abacaxi seco por meio da secagem convectiva aliada à potência de micro-ondas variável avaliando os efeitos, no processo, de três variáveis, são elas: potências aplicadas no período I, potências aplicadas no período II e temperatura do ar de secagem. Os resultados mostraram que o uso da energia de micro-ondas na secagem de abacaxi seco acelerou a cinética de secagem reduzindo o tempo de processo. E, o uso de potências de micro-ondas variável possibilitou um produto de qualidade, com mínimo de peças queimadas que obtiveram boa aceitação sensorial, isto é, receberam notas hedônicas em torno de 7, correspondentes a “gostar moderadamente” dos produtos provenientes de cada condição experimental. Em geral, os produtos apresentaram boa capacidade de reidratação (75%), atividade de água próxima de níveis seguros (0,6) e encolhimento em torno de 80%. Apesar da perda de componentes, ainda detectou-se atividade antioxidante no produto seco (0,8%/gms) bem como os minerais potássio (13mg/gms) e cálcio (8mg/gms).

ABSTRACT

CORRÊA, Pollyane Gomes, M. Sc. Vegetal Production. Northern Rio de Janeiro State University (UENF). April 2014. Convective drying pineapple combined with variable application of microwave power. Advisor: Prof.^a.Dr.^a Nádia Rosa Pereira.

Pineapple is a tropical fruit with high nutritional and commercial value, has peculiar sensorial characteristics beyond the antioxidant and digestive property. Brazil is a leading producer of this fruit from the pineapple plant whose scientific name corresponds to *Ananas comosus* L., in which the north part of Rio de Janeiro state region contributes substantially to the state production. Related to this there is the drying up as one of the methods of uses of surplus production and reduction of losses during harvest. The drying is a unit operation that removes water by applying heat in a controlled manner and is widely used for the conservation of the fruits by decrease, to safe levels, the water content in raw material. Through convective drying obtains products with low aromatic content, nutritional and bioactive substances for the raw material *in nature*. These characteristics are acquired as a result of long drying times and low energy efficiency assigned with this kind of process. The use of microwave energy in the convective drying process guarantee the energy efficiency depending on their type of volumetric and selective heating. Accordingly, the use of microwaves power being controlled,

enables obtaining dry products with quality to comparable or even higher that obtained by conventional method. Given this, the aim is the development of dry pineapple through convective dry allied with variable power microwave evaluating the effects, in the process, of three variables: power applied in period I, power applied in period II and drying air temperature. The results showed that the use of microwave energy in drying dried pineapple accelerated the kinetics of drying by reducing the process time. And, the use of variable microwave power enabled a quality product, with a minimal burned pieces that had good sensory acceptability, ie, they received good hedonic grades about 7, corresponding to “moderately like” of products from each experimental condition. In general, the product showed good rehydration capacity (75%), water activity close to safe levels (0.6) and shrinkage of around 80%. Despite the degradation of bioactive compounds, there remains, however small, of antioxidant activity in the dry product (0.8%/gms) as well the minerals potassium (13mg/gms) and calcium (8mg/gms), even after losses during diffusivity of water in drying.

1. INTRODUÇÃO

O fruto do abacaxizeiro (*Ananas comosus* L.) pode ser conceituado como uma sorose, pois possui um cilindro central onde inúmeros frutinhos crescem ao seu redor de forma espiral. Esta planta é originária de clima tropical (CUNHA et al, 1999). Possui considerável teor de macro e micronutrientes, características sensoriais peculiares, propriedades digestivas e antioxidantes além de elevada importância comercial, econômica e social (HOSSAIN & RAHMAN, 2011).

De acordo com a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura-FAO quando se trata da produção mundial deste fruto tropical, o Brasil é apontado como terceiro colocado no ano de 2012, ficando atrás somente da Tailândia e Costa Rica. E segundo o último levantamento sistemático do IBGE de 2013, a região sudeste está em 3º lugar na produção nacional, sendo que o Estado do Rio de Janeiro contribui com cerca de 8,5 %, no qual a região norte fluminense participa potencialmente.

Pesquisadores vêm buscando métodos de transformação que possam aumentar a vida de prateleira dos vegetais, favorecendo o aproveitamento do excesso de produção, reduzindo perdas nos períodos de safra e possibilitando agregação de valor aos materiais primários.

A secagem é uma operação unitária largamente empregada nos processos de conservação de frutas e hortaliças, pois os produtos secos apresentam estabilidade durante o armazenamento à temperatura ambiente, segurança microbiológica, praticidade de consumo, capacidade de reconstituição,

volume e massa reduzidos em relação ao produto *in natura*, além de outras vantagens (FELLOWS, 2006).

Na secagem convencional usa-se a energia térmica, produzida por uma combustão, para aquecimento do material. No entanto, esta técnica conhecida e largamente empregada em diversos ramos, como na agricultura e na indústria alimentícia, possui algumas desvantagens, causando redução no teor de nutrientes em relação às matérias-primas *in natura*, elevado grau de encolhimento, baixa porosidade e capacidade de reidratação, decorrentes principalmente dos longos tempos de secagem e da baixa eficiência energética do processo (PEREIRA, 2007; MARSAIOLI, 1991; SENISE 1985).

O uso da energia de micro-ondas na secagem convectiva desses produtos, por sua vez, acelera a cinética de secagem em função do seu tipo de aquecimento volumétrico e seletivo, isto é, atua de maneira direta principalmente em partes úmidas do alimento, pois dentre os componentes do alimento, a água é capaz de absorver a energia eletromagnética convertendo-a em calor, favorecendo a retirada de umidade de maneira eficaz quando comparada com a secagem convencional, cuja operação é de maneira indireta, pois o calor penetra através da superfície do material até o interior do mesmo para posterior evaporação de água, o que justifica os longos tempos de secagem (PEREIRA, 2007; MARSAIOLI, 1991).

A busca pela melhor aliança entre a eficiência energética e a qualidade do produto seco na secagem de alimentos tem sido alvo de muitos estudos ultimamente, por isso, o controle da potência de micro-ondas na secagem de vegetais deve ser explorado (KUMAR et al 2014; BOTHA et al 2012).

Dessa forma, propõe-se a exploração dos processos de secagem de abacaxi por convecção com ar quente combinado com a potência de micro-ondas variável, na qual são usadas três variáveis operacionais, são elas: potência de micro-ondas elevada durante os instantes iniciais, menor ou nenhuma potência no tempo seguinte, e temperatura do ar de secagem, sendo que a vazão deste ar quente usado é constante em todas as condições testadas. A metodologia de superfície de resposta foi adotada para identificar condições de processo eficientes que possibilitem um produto seco de abacaxi com retenção dos compostos bioativos, elevado teor de nutrientes, reduzido encolhimento e boa aceitação sensorial.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Abacaxi

O abacaxizeiro (*Ananas comosus L.*) é uma planta de clima tropical, monocotiledônea, herbácea e perene da família Bromeliácea, com caule curto, grosso, ao redor do qual crescem folhas estreitas, compridas e resistentes. A planta adulta, das variedades comerciais, tem de 1 a 1,20 m de altura e 1 a 1,5 m de diâmetro. No caule, insere-se o pedúnculo que sustenta a inflorescência e depois o fruto (CRESTANI et al, 2010).

O abacaxi pode ser conceituado botanicamente como uma sorose, pois possui uma coleção de 100 a 200 frutinhos fundidos de forma espiral ao eixo central (CUNHA et al, 1991).

O abacaxi é classificado como fruto não climatérico, isto é, após ser colhido não alcança níveis elevados de características sensoriais como doçura e acidez. Justificando sua classificação, este fruto também não possui ascensão na taxa respiratória. Por isso, é importante identificar o ponto de maturação ideal para a colheita de frutos não climatéricos (CHITARRA & CHITARRA, 2005). No entanto, a colheita é realizada de acordo com a necessidade do mercado e das indústrias. Dessa forma, na maioria dos casos o tempo de transporte do fruto é mais relevante do que a qualidade sensorial do mesmo, pois são colhidos antes do ponto ideal de maturação.

As variedades mais encontradas no Brasil são Smooth Cayenne e Pérola (CRESTANI et al, 2010). A primeira possui formato cilíndrico, polpa amarela, casca amarelo-alaranjada, coroa pequena, com alta doçura e acidez elevada, indicada principalmente para o ramo industrial e consumo *in natura*. Já a outra variedade possui formato cônico com casca amarelada, coroa comprida, polpa branca, pouco ácida, doce, succulenta e saborosa, indicada principalmente para o consumo *in natura* (NASCENTE, et al 2005).

Conforme o Levantamento Sistemático da Produção Agrícola feito pelo IBGE em julho de 2013, as regiões Nordeste, Sudeste e Norte são as maiores produtoras destacando-se os estados da Paraíba, Minas Gerais e Pará. Porém, o estado do Rio de Janeiro contribui com cerca de 8,5% da produção nacional.

Tabela 1 – Composição centesimal do Abacaxi (*Ananas comosus L.*)

Componentes	Gonçalves et al (2010)		TACO 2011
	Abacaxi In natura (g/100g amostra)	Abacaxi seco (g/100 g amostra)	Abacaxi In natura (100 g amostra)
Umidade	83,62	13,20	86,3 g
Cinzas	2,16	1,50	0,4 g
Fibras	0,65	2,42	--
Carotenoides	0,00004	0,00006	--
Açúcares redutores	7,06	16,52	--
Açúcares não redutores	2,74	11,85	--
Proteínas	3,75	5,41	0,9 g
Valor energético	54,28 kcal	289,01 kcal	48 Kcal
Vitamina C	--	--	1,2 mg
Cálcio	--	--	22 mg
Potássio	--	--	107 mg
Sódio	--	--	1 mg
Ferro	--	--	0,4 mg

A Tabela 1 mostra uma composição química e o valor energético de frutos secos e *in natura*.

O abacaxi tem grande aceitação pelas suas propriedades sensoriais e valor nutritivo. Gomes (2007) ressalta a propriedade digestiva, esta por sua vez é decorrente da enzima bromelina encontrada no fruto, mais especificamente na

casca, no cilindro interno, e em partes da planta, cuja função justifica sua aplicabilidade no ramo industrial e, ou comercial (fabricação de remédios e amaciantes de carne). Para Hossain e Rahman (2011) o suco desta fruta pode ser tomado com o objetivo de aliviar enjô e dor de garganta.

2.2 Atividade antioxidante

Além dos nutrientes presentes no abacaxi, pode-se evidenciar a presença de compostos bioativos, que por sua vez, podem ser conceituados como componentes funcionais. Estas substâncias presentes em concentrações baixas retardam significativamente ou inibem a oxidação de compostos no organismo (ALI et al 2008). Em outras palavras esses compostos mesmo em pequena quantidade combatem os radicais livres presentes no organismo humano, diminuindo ou erradicando os riscos de doenças degenerativas e cardiovasculares dentre outros benefícios (BASTOS et al, 2009; AMES e GOLD; 1991).

Substâncias funcionais segundo a legislação brasileira (Anvisa) são aquelas encontradas em alimentos que diminuem ou anulam os danos causados ao organismo humano.

Diversos métodos são empregados para avaliar e quantificar a atividade antioxidante dos alimentos. Alguns se baseiam na a transferência de elétrons e outros na transferência de átomos de hidrogênio tais como no método do DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazila) (CRUZ, 2008).

No método do DPPH avalia-se a atividade antioxidante por meio da redução do DPPH que apresenta coloração púrpura, pois absorve em um comprimento de onda de 515 nm, quando em um estado oxidado. Por ação de um antioxidante ou uma espécie radicalar, o DPPH é reduzido apresentando coloração amarela. Portanto é monitorado o decréscimo de absorbância (Figura 1).

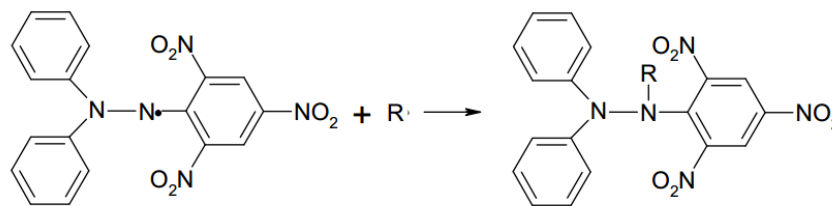


Figura 1 - Mudança do DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazila) para a forma reduzida pela ação de um agente oxidante.
Fonte: Rufino, 2008.

Cunha et al (1999) descrevem que o fruto proveniente do abacaxizeiro não possui quantidades expressivas de vitaminas, proteínas e lipídios. No entanto, Cordenunsi et al (2010) detectaram atividade antioxidante em torno de 33 μM Trolox/ $\text{g}_{\text{amostra}}$ pelo método FRAP, e 10,5 μM Trolox/ $\text{g}_{\text{amostra}}$ pelo método ABTS da polpa de frutos do abacaxi da cultivar Pérola. Isso mostra que a capacidade deste fruto na inibição de compostos oxidativos é relevante. Para Leong e Shui (2002) a ocorrência destes compostos fitoquímicos nas frutas e/ou hortaliças varia de acordo com a variedade, o nível de maturação e as condições edafoclimáticas do plantio.

2.3 Análise sensorial

A análise sensorial é relevante para diversos processos, como por exemplo, os de indústrias alimentícias, pois está ligada ao desenvolvimento de novos produtos, à verificação da qualidade, à análise de custo/benefício, à mudança de formulação dentre outras atividades que envolvem a percepção sensorial do homem.

Genericamente, os métodos sensoriais classificam-se entre testes discriminativos, descritivos e afetivos. Os discriminativos avaliam se há diferença sensorial significativa entre as amostras de produtos. Os testes descritivos determinam e quantificam o perfil sensorial de amostras. E os testes afetivos objetivam a avaliação de consumidores quanto à preferência, aceitação, e opinião dentre outros aspectos (MEILGAARD et al, 2007)

Os testes de preferência e de aceitação são classificados como afetivos. No primeiro, o consumidor é forçado a escolher um produto de sua preferência dentre outros dentro de um conjunto de amostras. Já no segundo teste, utiliza-se escala hedônica com a qual o consumidor atribui o nível de contentamento e/ou satisfação, ou seja, expressa o quanto “gosta ou desgosta” de um ou mais produtos. As mais aceitas são as mais preferidas e vice-versa (FERREIRA et al, 2000).

Em geral, o abacaxi *in natura* é a forma mais consumida desse fruto. Contudo, existem diversos produtos derivados que podem agradar muitos paladares como os sucos, os doces, as compotas e as geleias de abacaxi. O produto seco pode fazer parte desse vasto quadro de opções no que se refere ao fruto do abacaxizeiro.

Azeredo e Jardine (2000) e Gonçalves et al (2010) analisaram sensorialmente o abacaxi desidratado osmoticamente, com umidade final próxima de 15% b.u., e obtiveram boa aceitação sensorial do produto.

Cortellino et al (2011), utilizaram a secagem convectiva com temperaturas de 70, 75 e 80°C em anéis de abacaxi pré-desidratados osmoticamente até peso constante, e pelo teste descritivo, 10 painelistas avaliadores treinados avaliaram o produto seco com relação aos atributos: cor, firmeza, crocância e aroma. O melhor resultado alcançado foi para o produto cuja temperatura foi de 75°C, sem pré-tratamento osmótico, que apresentou cor levemente laranja-amarelo, crocância e moderada firmeza. Já o produto que foi tratado a 80°C, não tratado osmoticamente, apresentou cor marrom-amarelo, crocância com ligeiro sabor desagradável. O produto seco a 70°C apresentou dentre as demais características de “borrachudo”.

2.4 Micro-ondas

Micro-ondas é um tipo de radiação transmitida por meio de ondas eletromagnéticas cuja frequência está compreendida entre 300 MHz e 300 GHz e o comprimento de onda correspondente ao intervalo de 1 m a 1mm (SCHUBERT & REGIER, 2005; SCAMAN & DURANCE, 2005).

Ondas eletromagnéticas são constituídas de um campo elétrico e um campo magnético dispostos de maneira perpendicular à direção que a onda se propaga. Se esta estiver difundindo-se no vácuo sua velocidade é igual a da luz (OKUNO, 2013). Existe, portanto uma relação entre a velocidade e a frequência com que a onda se propaga e o seu comprimento (equação 1).

$$\lambda = \frac{c_0}{f} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

λ = comprimento de onda, correspondente à distância entre uma crista e outra (m)

c_0 = velocidade de propagação da onda no espaço livre = $2,9979 \cdot 10^8$ (m/s)

f = frequência da onda, o número de ondas ou ciclos por segundo (Hz)

Com relação ao espectro eletromagnético, as micro-ondas apresentam frequência acima das ondas de rádio e abaixo da frequência da radiação infravermelha (Figura 2). Diferentemente dos raios gama, as micro-ondas não possuem poder ionizante, dessa forma, não são capazes de causar alterações no interior do átomo, tendo, portanto efeitos estritamente térmicos (SCHUBERT & REGIER, 2005; MARSAIOLI, 2001; OKUNO, 2013).

O uso das micro-ondas dentro de um processo de aquecimento pode ser caracterizado por três componentes comentados em ordem cronológica de ação: primeiramente tem-se o gerador de micro-ondas normalmente chamado de “magnetron”, que transforma a energia elétrica de frequência industrial (60 Hz) em energia eletromagnética em uma alta frequência (2450 MHz).

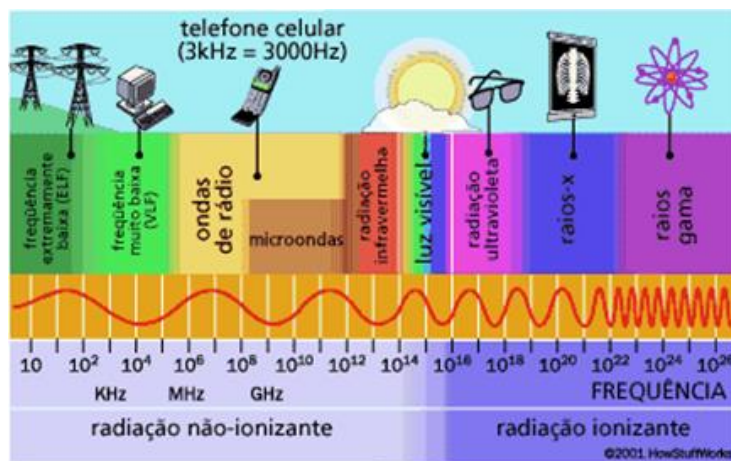


Figura 2 - Espectro de ondas-eletromagnéticas
Fonte: física.tubalivre.com

O componente seguinte é o tubo, guia de ondas, cuja função é de transmitir estas ondas para um aplicador. E o último componente, normalmente, é uma cavidade em que se encontra o material a ser aquecido. Nestas, frequentemente ocorre a formação de ondas estacionárias em função da reflexão das micro-ondas nas paredes metálicas. Dessa maneira é comum a propagação dessas ondas em direções opostas causando ora aumento do campo elétrico e ora a diminuição deste, resultando em um aquecimento não uniforme (SCHUBERT & REGIER, 2005; MARSAIOLI, 2001).



Figura 3 - Interação entre as micro-ondas e o material dentro da cavidade do forno micro-ondas.
Fonte: brasilescola.com

Nesse sentido, a geometria da cavidade e do material interfere diretamente neste tipo de aquecimento, podendo alcançar melhoras significativas. Por conseguinte, chama-se atenção para o sistema de movimentação que é

empregado no aquecimento por micro-ondas, normalmente chamado de agitador, que exerce a função de nivelamento das zonas quentes e frias dentro da cavidade buscando a minimização da heterogeneidade do material (Figura 3).

2.5 Materiais dielétricos

As micro-ondas, assim como a luz visível, podem sofrer reflexão, refração e absorção. Nesse sentido, pode-se dizer que existem materiais que são transparentes às micro-ondas, materiais que as refletem continuamente, e os que absorvem completamente e parcialmente este tipo de radiação (MENEZES, SOUTO E KIMINAMI, 2007).

Quando se aplica a potência de micro-ondas a um determinado material transparente a estas, não haverá perda de energia. Mas, quando se aplica esta energia em materiais com constituintes sólidos e líquidos, parte desta será perdida dentro deste. Em outras palavras, pode-se dizer que estes tipos de materiais são maus condutores de energia elétrica, mas não são isolantes perfeitos. A estes, dá-se o nome de materiais dielétricos (SENISE, 1985).

Estes materiais podem ser caracterizados por três parâmetros: a constante dielétrica relativa ϵ' , a constante de perda dielétrica relativa ϵ'' e a permissividade complexa relativa ϵ^* . Estas três são relacionadas entre si por meio da equação 2:

$$\epsilon^* = \epsilon' - j\epsilon'' \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

ϵ^* = permissividade complexa relativa;

ϵ' = parte real da permissividade = constante dielétrica relativa;

ϵ'' = parte imaginária da permissividade = fator de perdas relativo;

$j = \sqrt{-1}$.

A constante dielétrica mede a energia armazenada pelo material dielétrico, por unidade de volume, em um campo elétrico. Enquanto que a constante de perda dielétrica mede a energia dissipada por segundo nas mesmas condições.

$$\mathit{Tang} \delta = \frac{\epsilon''}{\epsilon'} \quad \text{Equação 3}$$

A tangente de perdas ou fator de dissipação calculado pela equação 3 é comumente usada para quantificar as perdas dielétricas, sendo dependente da frequência e de outros fatores. Em outras palavras, a tangente de perdas indica o tempo de defasagem entre a aplicação do campo e a polarização do material. A temperatura é uma grandeza que influencia diretamente estes três parâmetros descritos, assim como a frequência utilizada, o conteúdo de umidade e também as características intrínsecas do material dielétrico como estrutura e composição. Estes atributos dos alimentos, juntamente com volume, tamanho, textura, geometria e porosidade, são decisivos para um aquecimento uniforme e eficaz com aplicação de micro-ondas (SCHUBERT & REGIER, 2005).

2.6 Mecanismos de aquecimento

Os materiais dielétricos interagem com um campo elétrico aplicado, pois possuem portadores de cargas que podem ser deslocadas com respeito ao núcleo. Considerando isto, o processo de aquecimento desses materiais, em especial os materiais biológicos, acontece por meio de dois mecanismos essenciais: a polarização iônica e a rotação dipolar (SCHUBERT & REGIER, 2005; MARSAIOLI, 1991; SENISE, 1985).

No primeiro mecanismo há agitação dos íons e colisões aleatórias entre estes e moléculas não ionizadas em função do campo elétrico gerado. Dessa forma a energia cinética recebida é transformada em energia térmica. O outro mecanismo se relaciona com o movimento rotatório de moléculas polares que

tendem a interagir com o campo eletromagnético produzido (SCHUBERT & REGIER, 2005).

Em outras palavras, quando um campo elétrico é aplicado a um alimento, os dipolos na molécula da água, ou outras moléculas polares, tendem a se orientar em direção ao campo elétrico produzido. No entanto, este campo oscila rapidamente de positivo para negativo na frequência da onda produzida (como por exemplo, 2450 milhões de vezes por segundo) e assim sendo, os dipolos na tentativa de seguir essas constantes e demasiadamente aceleradas oscilações geram calor por fricção (Figura 4). Assim, o aumento na temperatura das moléculas de água dos alimentos aquece os outros componentes que estão ao redor por condução e, ou convecção (SCHUBERT & REGIER, 2005).

O segundo mecanismo é o principal responsável pelo aquecimento na frequência usual (2450 MHz). Inicialmente ocorre a ruptura de pontes de hidrogênio fracas associadas com a rotação dos dipolos de moléculas de água livre e com a polarização de íons dos sais livres em um campo elétrico de polaridade rapidamente variável (BUFFLER, 1991 apud TAVARES, 2010). Vale ressaltar que esses materiais não interagem com o campo magnético presente em razão da sua pequena permeabilidade magnética (MARSAIOLI, 1991).

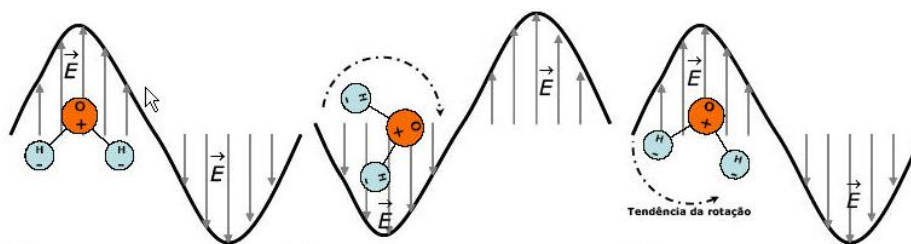


Figura 4 - Tentativas da molécula de água em alinhar seus polos no mesmo sentido do campo elétrico das micro-ondas
Fonte: refrigeração.net

No aquecimento por micro-ondas existem fenômenos que se envolvem diretamente no processo. Os básicos são: acoplamento de energia de um campo eletromagnético pelo produto e a atenuação da absorção da energia dentro do mesmo. Contudo, no aquecimento de materiais estão relacionadas características como: as propriedades dielétricas, de transmissão intrínseca aos processos de

aquecimento dielétrico, térmicas e de transporte que afetam transferências de calor e massa (MARSAIOLI, 2001).

A absorção volumétrica de potência (P_v , W/m^3) é proporcional a frequência (f , Hz), ao fator de perdas dielétricas relativo (ϵ'') e ao campo elétrico local (E , V/m), de acordo com a equação 4.

$$P_v = 2\pi f \epsilon'' E^2 \quad \text{Equação 4}$$

2.7 Secagem

A secagem é uma operação unitária que se baseia na aplicação de calor e remoção de água por evaporação (ou sublimação). Todavia, essa adição de energia ocorre de maneira controlada. Este mecanismo se diferencia das outras formas de retirada de água por atingir menores conteúdos de umidade chegando a níveis em torno de 3%, na qual a atividade de água do alimento impede o crescimento de micro-organismos e outras reações químicas indesejáveis. Em outras palavras, consegue-se chegar a níveis considerados seguros para o consumo humano (ORDÓÑEZ, 2005).

A secagem convectiva caracteriza-se pelo contato direto do ar quente com a superfície do alimento, que por sua vez difunde energia pelo interior do mesmo, com isso é constituído um gradiente de pressão de vapor d'água entre o interior e exterior do alimento, e é este gradiente que promove a remoção de água do interior para a superfície do produto, na qual um sorvedor, como o ar em movimento, entra em atividade levando para fora o vapor de água formado (Figura 5).

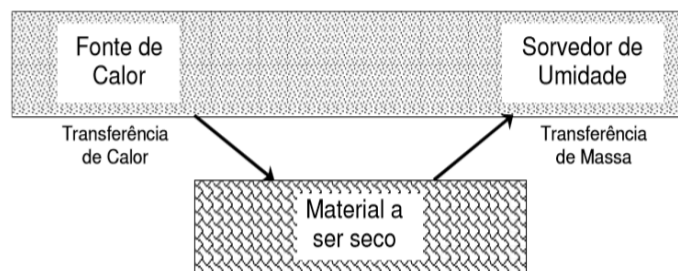


Figura 5 – Ilustração das transferências simultâneas de calor e massa durante a secagem convectiva

Fonte: Park et al (2007)

Neste tipo de processo em que há transferência simultânea de calor e massa os mecanismos de massa mais importantes são: a difusão líquida que ocorre devido à existência do gradiente de concentração; a difusão de vapor que ocorre devido ao gradiente de pressão de vapor causado pelo gradiente de temperatura; e o escoamento de líquido e de vapor que ocorrem devido à diferença de pressão externa, de concentração, capilaridade e alta temperatura.

Segundo Park et al (2007), o processo de secagem convectiva é constituído de três períodos: o de indução, o de taxa constante e o de taxa decrescente. O primeiro relaciona-se diretamente com os instantes iniciais do processo no qual normalmente a temperatura do material é menor que a do ar e a pressão parcial de vapor na superfície deste é fraca e a transferência de massa por consequência é pequena juntamente com a velocidade de secagem. Logo, o calor chegando excessivamente ocasiona uma rápida elevação da temperatura, pressão de vapor e da velocidade de secagem. No entanto este período descrito é muito curto, chegando muitas vezes a não ser observado na prática dependendo do material a ser seco.

O segundo período ocorre quando a movimentação no interior do alimento ocorre em concordância com a formação de vapor úmido na superfície do mesmo até que cesse a quantidade de água livre do material. Em materiais biológicos raramente é observado esta etapa do processo, pois as condições operacionais de secagem são tais que, as resistências de transferências de massa encontram-se essencialmente no interior do produto, fazendo com que a taxa de evaporação da superfície ao ambiente seja bem superior à taxa de reposição de umidade do interior à superfície do material (PARK et al, 2007).

O último período corresponde ao da taxa decrescente e acontece quando a transferência de massa não é correspondida pela transferência de calor, logo a pressão de vapor na superfície do alimento diminui, a temperatura do alimento aumenta podendo alcançar a temperatura do ar, mostrando que o conteúdo de água livre foi bastante reduzido. E a partir desse momento fica difícil a retirada de água, pois esta está fortemente ligada aos demais compostos da estrutura ou outro tipo de mecanismo não está sendo mais eficiente para a difusividade da água. Esta etapa é considerada a mais lenta da operação de desidratação.

A obtenção de produtos secos possibilita a diminuição do volume e da massa; facilidade no transporte, gerando menores gastos; melhoras significativas quanto ao armazenamento; praticidade, simplificando seu uso; e variedade na oferta de produtos (ORDÓÑEZ, 2005).

Contudo, a secagem convectiva possui baixa eficiência energética, em razão da baixa condutividade térmica dos alimentos e da alta resistência interna à transferência de umidade, causando longo período de taxa decrescente de secagem influenciando de forma negativa quanto às propriedades sensoriais e o valor nutritivo dos produtos (FOUST et al., 2008).

2.8 Secagem por micro-ondas combinada com ar quente

Na secagem por micro-ondas emprega-se energia eletromagnética em geral nas faixas de frequência, de 915 e 2450 MHz. A maior parte da água é evaporada no local onde se encontra dentro do alimento e difunde-se para a superfície na forma de vapor. Uma vez que o ponto de ebulição da solução no alimento é atingido, desenvolve-se rapidamente pressão de vapor positiva dentro do alimento que provoca a evaporação pela superfície.

A potência das micro-ondas disponíveis juntamente com as propriedades dielétricas do alimento, que definem a eficiência da conversão das micro-ondas em calor, são os principais determinantes das taxas de secagem de processos que utilizam micro-ondas. E a aplicação destas, fornecem os meios mais rápidos disponíveis de transferência de energia para o interior dos sólidos biológicos (SCAMAN & DURANCE, 2005).

A secagem com micro-ondas ocorre com rápida elevação de temperatura dentro do produto por causa da atuação de dois mecanismos, polarização iônica e rotação dipolar. O inverso acontece no processo de aquecimento convencional que transfere energia pela superfície dos alimentos, tendo penetração de calor da superfície para o interior dos produtos, ocasionando longos períodos no tempo de secagem, que equivale a uma das maiores desvantagens do uso deste último processo comentado (SENISE, 1985).

Para Ordóñez (2005), as principais vantagens da aplicação das micro-ondas promove a evaporação da água nas partes úmidas do alimento, não interferindo nas partes secas do mesmo; usa baixa temperatura e obtém produtos de boa qualidade. Senise (1985) destaca determinados benefícios relacionados ao aspecto econômico do uso de aquecimento dielétrico por micro-ondas tais como: aumento de produtividade, pois ocorre aceleração do processo; melhoria do controle de qualidade, já que o fornecimento de energia ocorre de maneira instantânea; e diminuição de espaço para realização do procedimento e para a estocagem do produto. Entretanto, conforme Fellows (2006), possui alto custo de instalação.

Estudos mostram que existem alimentos que ao passarem por este sistema de desidratação atingem melhores valores nutricionais e sabores em relação a outros tipos de secagem como a convencional (VANDIVAMBAL E JAYAS, 2007).

Ultimamente é crescente o uso de processos de secagem em que há a junção de micro-ondas com ar quente, pois através da sinergia destas pode-se obter produtos com benefícios significativos, como diminuição do tempo de desidratação e a preservação do produto final, isto é, sem maior degradação da qualidade em comparação com o método convencional (PEREIRA, 2007; LOPES, 2013; BOTHA et al, 2012; MARSAIOLI, 1991; KONÉ et al, 2013; ZAREIN et al, 2013; LI et al, 2010; CONTRERAS et al, 2008; e MALAFRONTTE et al, 2012).

A indústria de alimentos vem utilizando cada vez mais a energia de micro-ondas, por ser um método alternativo, em uma grande variedade de produtos alimentares e agrícolas (VANDIVAMBAL & JAYAS, 2007).

Muitos estudiosos vêm aplicando esta técnica alternativa de secagem convectiva combinada com aplicação de micro-ondas em produtos alimentícios como Maskan (2001) que utilizou o fruto kiwi; Al-Harahsheh et al (2009) que

usaram bagaço do tomate; Vandivambal e Jayas (2007) que citaram variedades de produtos agrícolas; Silva e Marsaioli (2004), que realizaram um estudo sobre a amêndoa de castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa*); Silva et al (2007) com amêndoas de noz de macadâmia; Sousa e Marsaioli (2004), que usaram a banana do tipo nanicão (*Musa acuminata* subgrupo *Cavendish*). E Pereira (2007) que também obteve a banana seca como produto, utilizando o pré-tratamento osmótico, conferiu os benefícios da aplicação de micro-ondas na secagem convectiva.

Muitos pesquisadores afirmam que há substancial diminuição no tempo de secagem. Outros efeitos foram verificados, como menor encolhimento no caso do kiwi (MASKAN, 2001); e aceitação sensorial satisfatória para itens como cor, doçura e textura no caso da banana (SOUSA E MARSAIOLI, 2004).

Lopes (2013) avaliou a cinética de encolhimento do abacaxi da variedade pérola, colhidos no mês de setembro, provenientes da região Norte Fluminense do Estado do Rio de Janeiro e, aplicando a potência de micro-ondas constante e variável durante o processo de secagem, e assim como em muitos trabalhos, verificou que o aumento de temperaturas do ar de secagem juntamente com a elevação da potência de micro-ondas favorecem positivamente a cinética de secagem proporcionando altas taxas de secagem e diminuição no tempo de processo. Os resultados mostraram que o encolhimento durante o processo de secagem em todas as condições testadas não diferiu significativamente. A capacidade do abacaxi seco em reabsorver água foi similar para todas as condições de processo testadas.

Para Botha et al (2012), que realizaram um estudo usando a técnica de secagem convectiva combinada com energia de micro-ondas em pedaços de abacaxi visando melhores condições de processo, os principais parâmetros avaliados foram potência de micro-ondas variável e temperatura do ar de secagem. Foi usada, em cada condição testada, alta potência no início do processo seguida de gradativa diminuição mantendo constante a temperatura do ar de secagem. Os resultados indicaram que o uso da potência de micro-ondas variável com menor temperatura do ar de secagem acelerou a cinética de secagem proporcionando rapidez no processo sem a mínima carbonização dos pedaços de abacaxi secos. No entanto, foi utilizado um pré-tratamento osmótico que intensificou a coloração característica da matéria *in natura*.

2.9. OBJETIVOS

2.9.1 Objetivo geral

Este trabalho teve como objetivo o estudo do desenvolvimento de abacaxi seco utilizando a secagem convectiva combinada com aplicação de potência de micro-ondas variável.

2.9.2 Objetivos específicos

- Estudar a cinética de secagem em secador por convecção combinada com energia de micro-ondas em pedaços de polpa de abacaxi nas quais as variáveis independentes foram: temperatura do ar de secagem; potências aplicadas no Período I (correspondente aos 40 minutos iniciais); e potências aplicadas no Período II, (tempo posterior ao período I até que a umidade da amostra fosse igual a 15%);
- Avaliar tempo final do processo de secagem e as seguintes características do produto seco: umidade, atividade de água, volume, cor, capacidade de reidratação, atividade antioxidante e teores dos minerais: sódio, potássio e cálcio;
- Verificar a aceitação sensorial do produto seco com relação aos seguintes atributos: aceitação global, cor, aroma, sabor e textura;
- Avaliar a influência do tipo de corte da matéria-prima, transversal e longitudinal, quanto ao processo de secagem, características do produto seco e aceitação sensorial.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Seleção e preparo da matéria-prima

A fruta utilizada neste trabalho foi o abacaxi da variedade Pérola (*Ananas comosus L.*), fornecida pelo comércio local em um único lote. Os frutos foram selecionados de acordo com tamanho e grau de maturação, identificado pelo teor de sólidos solúveis totais ($11,1^{\circ}\text{Brix} \pm 0,5$), pH (entre 3,7 e 0,2) e coloração da casca (pelo menos 50% da casca amarela e a malha bastante aberta), massa total entre 1,2 a 1,5 Kg, colhidos no período de safra (dezembro de 2013).

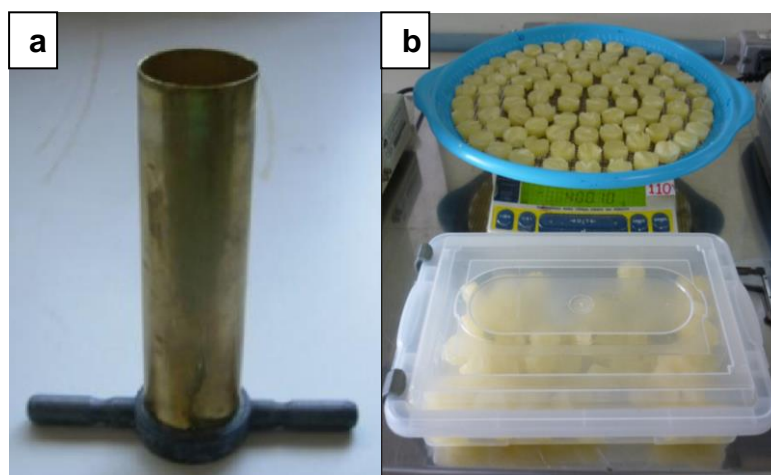


Figura 6 - Cortador cilíndrico de abacaxi e organização dos 400 g de abacaxi na bandeja.

Os frutos foram lavados em água corrente, com solução de detergente e escovação para retirada de sujidades, imersão em solução clorada (200 mg/L) por 15 minutos, e secagem com papel toalha.

O corte dos frutos foi realizado em duas etapas. Na primeira, efetuou-se o corte com espessura de 10 mm, dos frutos ainda com casca utilizando cortador de frios (marca Gural, modelo GPL-330). Na segunda etapa, cortou-se pedaços circulares de 25 mm de diâmetro somente da polpa destas rodela provenientes da primeira etapa utilizando um cortador cilíndrico de latão polido e cabo fundido (Figura 6a). Apenas a região equatorial foi utilizada nos ensaios (Lopes, 2013). Os frutos foram seccionados de maneira transversal, isto é, na mesma direção das fibras, para todo o conjunto do planejamento experimental de 11 ensaios. E somente, para uma repetição extra na mesma condição do ponto central foi seccionado longitudinalmente, ou seja, na direção contrária às fibras (Figura 7). O procedimento seguinte foi mensurar cerca de 400 g de pedaços de abacaxi *in natura* em bandeja de polipropileno vazada e circular de 30 cm de diâmetro (Figura 6b).

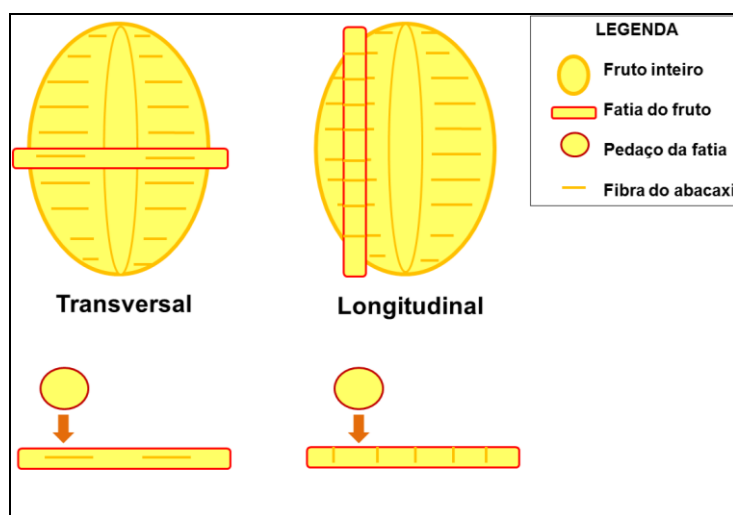


Figura 7 – Cortes realizados no abacaxi *in natura*

Todas as etapas de preparo e processamento dos frutos atenderam às normas de Boas Práticas de Manipulação de Alimentos e aos requisitos higiênico-sanitários para o processamento de alimentos, a fim de que o produto final fosse seguro ao consumo humano.

3.2 Caracterização da matéria-prima e do produto seco

A matéria-prima foi caracterizada pelas análises de umidade, atividade de água, sólidos solúveis totais, pH, acidez, cor, volume. As amostras secas também foram submetidas a análise de umidade, atividade de água, cor, volume, capacidade de reidratação, umidade do abacaxi reidratado e aceitação global das amostras. As análises físico-químicas foram realizadas em triplicata. Apenas para repetições do ponto inferior (-1,-1,-1), do superior (+1,+1,+1), do ponto central do planejamento experimental (Item 3.5) com corte transversal (0,0,0) e do ponto central com corte longitudinal (0,0,0) foram realizadas análises de atividade antioxidante, dos minerais sódio, potássio e cálcio, e análise sensorial dos atributos cor, sabor, textura e aroma.

3.2.1 Determinação do teor de umidade

A determinação do teor de água das amostras de abacaxi, frescas e secas, foi realizada por gravimetria, na qual as amostras foram secas em estufa sob pressão atmosférica a 105°C até peso constante (AOAC, 1998).

Para determinação da umidade na balança de infravermelho da marca GEHAKA modelo IV2000 – Versão 4.21, mensurou-se em torno de 3 g de amostra *in natura* triturada. Transferiu-se para o prato de alumínio desta balança, com cuidado para que não houvesse acúmulos de amostras para evitar erro instrumental. A temperatura e o período de tempo estipulados foram de 140°C e 15 minutos, respectivamente (LOPES, 2013). Este último método foi utilizado em virtude da rapidez em obter o resultado, pois fez-se necessário para a determinação da massa final (do produto seco), isto é, quando o processo deveria ser finalizado.

3.2.2 Sólidos solúveis totais (°Brix)

O teor de sólidos solúveis das amostras de abacaxi *in natura* foi determinado refração. Desta forma, foi utilizado um refratômetro de bancada da marca Quimis Q-109B, N° Serie *064 a 25°C (AOAC, 1998). Foi utilizado papel de filtro qualitativo para comprimir a amostra *in natura* e apenas o sumo foi gotejado no prisma do referido equipamento.

3.2.3 pH

O pH foi determinado por imersão direta ao eletrodo do pHmetro digital (Analyses pH/lan 450M, N° Serie 4379/02) em 20 g de amostra de abacaxi *in natura* triturados e homogeneizados, usando pHmetro calibrado com soluções de pH 4 e 7 (AOAC, 1998).

3.2.4 Atividade de água

A determinação da atividade de água foi realizada a 25°C pelo instrumento Aqualab, modelo DEW - 4TEV - Decagon. O princípio deste método consiste na medida do ponto de orvalho da amostra acondicionada em uma cápsula plástica dentro de um banho de temperatura constante.

3.2.5 Acidez

A determinação de acidez foi realizada por meio de titulação. Mensurou-se 3 g de polpa de abacaxi *in natura* triturada, 25 mL de água e 2 gotas de fenolftaleína; em seguida titulou-se com solução de hidróxido de sódio

padronizada (0,1 N) até a coloração rósea. O teor de acidez foi calculado pela equação 5 (IAL, 2008):

$$\text{Acidez de ácido cítrico (\%)} = \frac{V \times N \times \epsilon}{10M} \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

V = volume da solução de hidróxido de sódio gasto na titulação (mL).

N = concentração normal da solução alcalina padronizada (N).

ϵ = equivalente grama do ácido cítrico. (egg)

M = massa do abacaxi *in natura* mensurada (g)

3.2.6 Análise de volume

A determinação de volume das amostras *in natura* e secas foi realizada pela análise de imagem e medida de espessura das mesmas.

Para a análise de imagem, cinco amostras coletadas em pontos diferentes da bandeja foram fotografadas no mesmo instante em que foram pesadas no início e no final do processo de secagem. Por meio destas fotografias foi possível mensurar a área superficial projetada da face cilíndrica por meio do tratamento feito pelo software livre ImageJ. Este programa possui a capacidade de converter o número de pixels da amostra em centímetros quadrados (cm²), por isso a importância da escala em centímetros na imagem (Figura 8). A espessura de cada uma das cinco amostras foi medida em cinco pontos (Figura 8) com a utilização de um paquímetro.

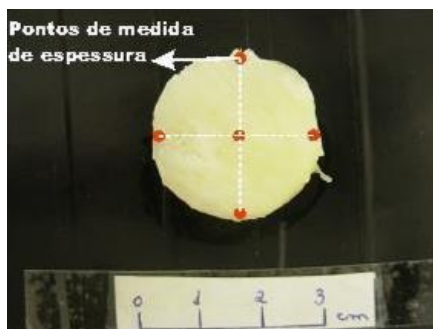


Figura 8 - Pontos de medição da espessura ao longo da amostra de abacaxi.
Fonte: Lopes, 2013.

A determinação do volume seguiu a equação 6 na qual foi utilizada a média aritmética da espessura (cm) e da área (cm²).

$$\text{Volume (cm}^3\text{)} = [\text{média espessura (cm)}] * [\text{média área superficial (cm}^2\text{)}] \quad \text{Equação 6}$$

3.2.7 Capacidade de Reidratação

As amostras secas de abacaxi foram reidratadas (capacidade do tecido vegetal seco de reabsorver água) durante 15 horas em 100 mL de água destilada a 25°C e o cálculo para a sua determinação foi feito conforme a equação 7.

$$\text{Capacidade de Reidratação (\%)} = \frac{\text{Massa reidratada} - \text{Massa seca}}{\text{Massa seca}} \times 100 \quad \text{Equação 7}$$

3.2.8 Atividade antioxidante

A atividade antioxidante foi realizada por meio do método fotocolorimétrico, baseado na capacidade de compostos antioxidantes em sequestrar o radical livre estável DPPH (YEN, G.; & DUHT, P., 1994). Foi

mensurado em torno de 2 mg de amostra e adicionado 1 mL de metanol. A partir desta solução foram feitas duas diluições sucessivas (0,1 e 0,01 µL). Todas as soluções foram feitas em triplicatas e levadas a banho de ultrassom por 15 minutos. Em seguida preparou-se a solução de DPPH na proporção de 10 mg : 25 mL de metanol. Preparou-se as soluções finais misturando-se 500 µL de cada solução da amostra para 500 µL de DPPH, (proporção 1:1). As soluções foram agitadas em shaker à rotação de 90 rpm sob a temperatura de 25°C sob abrigo de luz durante 60 minutos. Em seguida as leituras foram realizadas em espectrofotômetro UV-Vis (Shimadzu Mini 1240). Utilizou-se como zero a solução metanólica, e a solução do radical DPPH como solução padrão. A capacidade de sequestrar radical livre DPPH foi expressa como percentual de inibição de oxidação do radical (BRAND-WILLIAMS et al, 1995).

$$\% \text{ de AA} = \frac{\text{Absorbancia da solução de DPPH} - \text{Absorbancia da amostra em solução com DPPH}}{\text{Absorbancia da solução de DPPH}} \times 100 \quad \text{Equação 8}$$

Para evitar meio reacional indesejável possibilitado pela água, a amostra de abacaxi *in natura* foi liofilizada ficando com 3% de umidade. Já com as amostras provenientes do processo de secagem não foram liofilizadas e o teor de água ficou entre 15,1 e 18,1%.

3.2.9 Análise de cor

As medidas de cor foram realizadas por um colorímetro portátil da marca Hunter modelo miniScan XE Plus. A cor é expressa pelo sistema de coordenadas **L**, **a** e **b** como mostra a Figura 9. A coordenada **L** indica a luminosidade (branco a preto); a coordenada **a** é relativa à cor vermelha e verde e a coordenada **b** é relativa às cores amarelo e azul. A leitura foi realizada diretamente sobre a superfície de 5 fatias diferentes antes e após o processo de secagem. A variação da cor das fatias iniciais e finais foi avaliada pelo parâmetro **ΔE**, calculado conforme a equação 9.

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$$

Equação 9

Sendo:

ΔE = Diferença de cor;

$\Delta L^2 = L_f - L_i$;

$\Delta a^2 = a_f - a_i$;

$\Delta b^2 = b_f - b_i$.

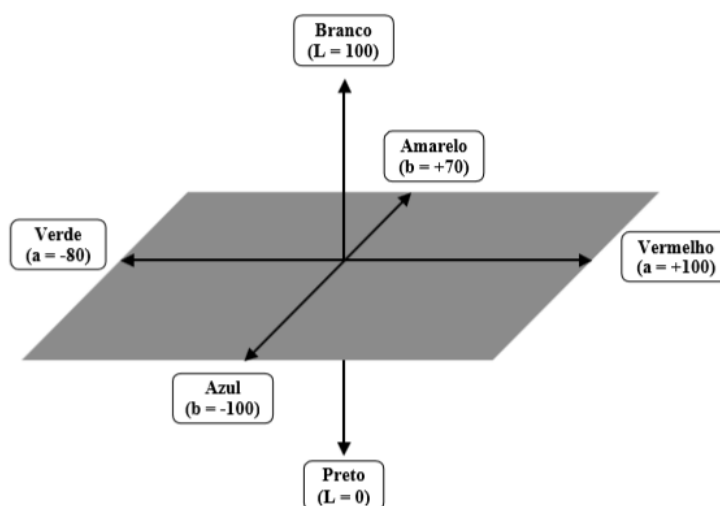


Figura 9 - Coordenadas constituintes da cor **a**, **b**, **L**
Fonte: Hunterlab

3.2.10 Análise de minerais

A determinação dos minerais Na, K, e Ca foi realizada por emissão de chama com digestão da amostra com ácido nítrico (63%) e peróxido de hidrogênio. Em seguida, foi realizada diluição e leitura em fotômetro de chama. As soluções padrão foram de 20mg.L⁻¹ para Na e K, e 100 mg.L⁻¹ para o Ca. Foi utilizado cloreto de lantânio 1% como descomplexante para a análise de Cálcio.

3.3 Avaliação Sensorial

A avaliação sensorial foi realizada por meio de dois testes de aceitação. No primeiro teste avaliou-se a aceitação global de amostras dos 11 tratamentos de abacaxi seco do planejamento experimental (Item 3.5). Como não houve efeitos das variáveis de processo, bem como suas interações, realizou-se o segundo teste, no qual se avaliou a aceitação dos atributos cor, aroma, sabor e textura das amostras do ponto inferior (40°C; PI = 180 W; PII = 0 W); superior (40°C; PI = 450 W; PII = 180 W); e do ponto central com corte transversal (55°C; PI = 320 W; PII = 95 W), e do ponto central com corte longitudinal (55°C; PI = 320 W; PII = 95 W).

Nas avaliações, foi utilizada a escala hedônica estruturada verbal de 9 pontos (MEILGAARD et al, 2007), conforme mostram as fichas apresentadas nos Anexos B e C.

A apresentação das amostras, no primeiro teste, foi monádica sequencial e seguiu delineamento em blocos completos aleatorizados (COCHRAN & COX, 1957). Todavia, para que não houvesse fadiga sensorial aos avaliadores, uma vez que as amostras possuíam gosto ácido residual, o primeiro teste aconteceu em três sessões: em duas destas, foram avaliadas quatro amostras, e na terceira sessão, três amostras, totalizando os 11 tratamentos. Neste, foi servido um pedaço de abacaxi seco de cada tratamento, que correspondeu a aproximadamente 500 mg, para avaliação do atributo aceitação global.

O segundo teste de aceitação, foi realizado em única sessão na qual dois pedaços de cada um dos quatros tratamentos foram apresentados de forma sequencial aos avaliadores seguindo o mesmo delineamento utilizado no teste 1.

Após o processamento, os produtos foram acondicionados em polietileno de baixa densidade com fechamento do tipo zip de tamanho médio, e armazenados em dessecador no prazo máximo de 15 dias.

Cada um dos testes de aceitação foi realizado por 76 avaliadores não treinados, representativos de consumidores potenciais do produto, recrutados na comunidade universitária (estudantes e funcionários). O recrutamento dos avaliadores aconteceu mediante respostas ao questionário apresentado no Anexo D, recrutando-se os candidatos que atenderam aos seguintes critérios: possuir

idade entre 18 e 45 anos; gostarem de abacaxi em grau igual ou superior a moderadamente; não possuir nenhuma patologia que os impedisse de consumir abacaxi; ter interesse e disponibilidade para participar voluntariamente de todas as sessões de avaliação, expressados por meio de assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido disponibilizado no próprio questionário de recrutamento (Anexo D), atendendo à resolução CNS, 466/12 do Conselho Nacional de Saúde (Brasil, 2012).

3.5 Planejamento Experimental

Para alcançar os objetivos desta pesquisa, o delineamento experimental fatorial utilizado foi baseado na metodologia de superfície de resposta. Por meio deste delineamento é possível a obtenção de modelo preditivo linear das respostas em função das variáveis independentes bem como suas interações. E por meio do planejamento fatorial é possível realizar todas as combinações existentes entre os níveis dos fatores (BARROS NETO et al, 2003).

Utilizou-se o planejamento fatorial 2^3 com três repetições do ponto central, totalizando 11 ensaios. As variáveis estudadas foram: as potências de micro-ondas aplicadas no período I (PI), no período II (PII) e a temperatura do ar de secagem (T). Apenas a vazão do ar de secagem foi fixa para todas as condições experimentais em $1\text{m}^3/\text{min}$. A duração do primeiro estágio foi de 40 minutos e o segundo se estendeu até 15% de umidade. Esta foi estimada através da rápida medição em balança por infravermelho da marca GEHAKA modelo IV2000 – Versão 4.21.

Os dados obtidos de atividade de água, coloração, volume, aceitação global, número de peças queimadas e capacidade de reidratação foram tabulados e analisados pelo programa estatístico Statistica versão 5.0 empregando-se análise de variância (ANOVA), teste tukey e análise fatorial 2^3 para verificação dos efeitos causados nas variáveis dependentes pelas três variáveis independentes em níveis estatísticos de significância iguais ou maiores que 90% de confiabilidade ($p \leq 0,1$).

Tabela 2 – Variáveis e níveis utilizados no trabalho

Variável	Potência aplicada no Período I (W)	Potência aplicada no Período II (W)	Temperatura do ar de secagem (°C)
+1	450	180	70
0	320	95	55
-1	180	0	40

Tabela 3 – Planejamento experimental fatorial 2³ com três repetições no ponto central

Ensaio	Variáveis Independentes						Variáveis Dependentes						
	Codificadas			Reais			Tempo (Min)	Aw	CR	V/V ₀	Cor	AG	PQ
	PI	PII	T	PI (W)	PII (W)	T (°C)							
01	-1	-1	-1	180	0	40							
02	+1	-1	-1	450	0	40							
03	-1	+1	-1	180	180	40							
04	+1	+1	-1	450	180	40							
05	-1	-1	+1	180	0	70							
06	+1	-1	+1	450	0	70							
07	-1	+1	+1	180	180	70							
08	+1	+1	+1	450	180	70							
09	0	0	0	320	95	55							
10	0	0	0	320	95	55							
11	0	0	0	320	95	55							

PI: Período I, primeiros 40 minutos de secagem.

PII: Período II, a partir de 40 minutos de processo até 15 % de umidade.

T: Temperatura do ar de secagem.

Aw: Atividade de água.

CR: Capacidade de Reidratação

V/V₀: Volume

AG: Aceitação Global

PQ: Peças Queimadas.

3.6 Secagem convectiva combinada com aplicação de potência de micro-ondas variável

Para a realização do processo de secagem convectiva combinada com potência de micro-ondas variável, os experimentos foram conduzidos em um forno doméstico de micro-ondas, no qual sua cavidade possui volume igual a 38 litros, marca Brastemp, modelo BMC38-A, com 760 W de potência nominal

máxima, devidamente adaptado a um sistema de ar quente, como proposto por Silva e Marsaioli (2004) e Pereira (2007), instalado no Setor de Operações Unitárias do Laboratório de Tecnologia de Alimentos da UENF (Figura10).

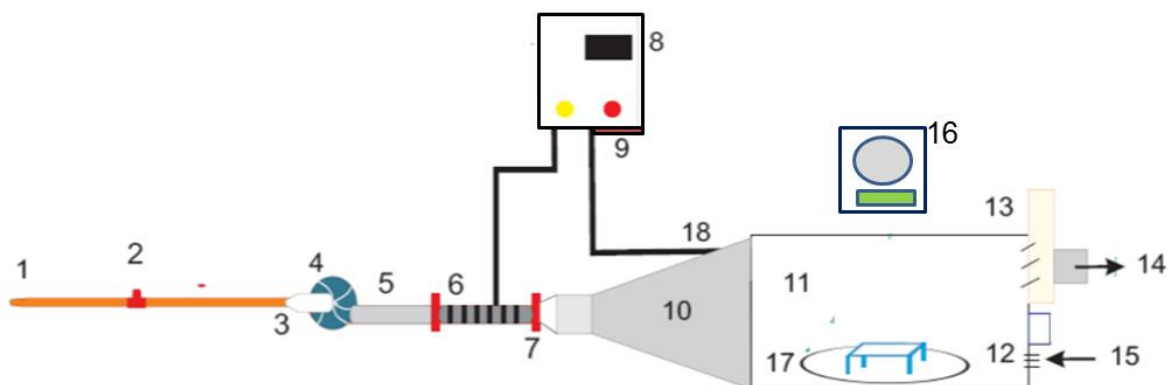


Figura 10 - (1) entrada de ar, (2) válvula, (3) tubo conector, (4) ventilador, (5) aquecedor elétrico, (6) Tubo flexível, (7) conector rápido, (8) controlador e indicador de temperatura, (9) Chave liga/desliga do controlador, (10) difusor de ar, (11) cavidade de micro-ondas, (12) suporte de produto, (13) janela de exaustão, (14), saída de ar, (15) ar de resfriamento do gerador de micro-ondas, (16) balança semi-analítica, (17) prato giratório, (18) Sensor de temperatura (termopar tipo K). (Adaptado de SILVA et al, 2006; SOUSA & MARSALIOI 2004; LOPES, 2013).

A cinética de secagem foi explorada por meio das curvas de umidade X tempo determinadas pelo método gravimétrico, isto é, pela perda de massa do material exposto ao longo do tempo de processo. Assim foi realizada a pesagem, em balança semi-analítica da marca Shimadzu da bandeja contendo os pedaços de abacaxi em intervalos de 10 minutos durante o período I e a cada 15 minutos no período II, no entanto, neste segundo período o tempo de pesagem pode ser maior dependendo da perda de massa durante a etapa de taxa decrescente de secagem. Este procedimento foi repetido para cada um dos 11 ensaios, utilizando prato giratório dentro da cavidade do forno (figura 10). Sendo que, estas sucessivas mensurações de massa eram feitas sem abertura da porta do forno micro-ondas e sem aplicação de micro-ondas no ato dessas pesagens. A bandeja era suspensa por fios de nylon através de um furo e atrelada a balança apenas no momento de cada pesagem. Dessa forma, não havia contato do sistema interno com o ar ambiente.

A temperatura de entrada de ar no equipamento era controlada de maneira automática, e as temperaturas e umidades relativas de saída do

processo e do ambiente da sala foram medidas por meio de dois aparelhos de termo hidrômetro da marca Hanna. Todos esses dados foram anotados a cada pesagem.

A umidade inicial foi medida em triplicata na balança de infravermelho e a média dessa medida juntamente com a massa total inicial da amostra foram usadas para identificação do valor de massa total da amostra final com 15% de umidade (equações 10 e 11).

$$\textit{Umidade inicial em base úmida} (\%) = \frac{\textit{Massa de água (g)}}{\textit{Massa total da amostra (g)}} \quad \text{Equação 10}$$

$$\textit{Massa total da amostra} = \textit{Massa sólida} + \textit{Massa de água} \quad \text{Equação 11}$$

Inicialmente calculou-se o valor da massa de água pela equação 10, e em seguida, a massa sólida pela equação 11. A massa sólida é constante ao longo do processo. Assim, usou-se a equação 12 para determinar a massa total da amostra correspondente a 15 % de umidade.

$$\textit{Umidade final em base úmida} (\%) = \frac{\textit{Massa total da amostra (g)} - \textit{Massa sólida (g)}}{\textit{Massa total da amostra (g)}} \times 100 \quad \text{Equação 12}$$

As análises de pH, sólidos solúveis totais, atividade de água, e umidade inicial foram realizadas antes do processo de secagem. Após o processo de secagem foram realizadas as análises de umidade por meio da estufa, a atividade de água e a capacidade de reidratação.

O armazenamento do produto para análise sensorial foi em sacos de polietileno de baixa densidade com fechamento do tipo zip de tamanho médio, colocados em dessecador no prazo máximo de 15 dias.

3.7 Ajuste das curvas de secagem ao modelo de Page

Diversos modelos matemáticos são utilizados para descrever a cinética de secagem de materiais. A difusividade líquida e de vapor é um dos principais mecanismos de transferência de umidade relacionados com a secagem de materiais biológicos (Cranck 1975 apud Lescano 2009). Nesse sentido, o modelo de Page é um dos mais usados, pois se ajusta às curvas de secagem de vegetais da melhor forma, alcançando coeficiente de correlação muito próximo da unidade (Lopes, 2013; Pereira, 2007; Lescano 2009).

As curvas de secagem dos 11 ensaios do planejamento experimental foram ajustadas ao modelo de Page (Equação).

$$\frac{X}{X_0} = \exp(-K \cdot t^n) \quad \text{Equação 13}$$

Sendo:

X = umidade média (g/gms);

X₀ = umidade inicial (g/gms);

k = constante de secagem (min⁻¹);

t = tempo (min);

n = constante do modelo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização da matéria-prima

Os dados da caracterização de amostras *in natura* estão apresentados na tabela 11. Analisando os valores de umidade do abacaxi *in natura*, verifica-se média geral de 88,1% usando a estufa como instrumento de análise e 88,2% usando a balança de infravermelho. Verifica-se coerência e proximidade quando comparadas com outros trabalhos, pois Lopes (2013) obteve média de 87,6% utilizando a estufa e 87,2% de umidade do abacaxi *in natura* utilizando a balança de infravermelho. Estes dados são similares aos da Tabela Brasileira de Composição de Alimentos - TACO (2011), 86,3%. Os dados referentes ao teor de água nas amostras *in natura* apresentaram coeficientes de variação abaixo de 1,2% indicando pouca variação em relação à média, sendo, portanto bastante homogêneos segundo Gomes, (1990).

Tabela 4 - Características físicas e químicas do abacaxi *in natura*.

Ensaio	Condições	Umidade Infra (%)	Umidade Estufa (%)	pH	SST (°Brix)	Atividade de água	Acidez (% ác. cítrico)
Ens 1	40°C PI 180 W PII 0 W	88,2±0,5	88,6±0,2	3,5±0,1	11±5	0,984±0,002	0,6±0,4
Ens 2	40°C PI 450 W PII 0 W	87,5±0,3	88,2±0,1	3,610±0,004	12±1	0,9916±0,0003	0,5±0,2
Ens 3	40°C PI 180 W PII 180 W	88,5±0,4	88,7±0,5	3,360±0,004	11±1	0,9850±0,0007	0,9±0,8
Ens 4	40°C PI 450 W PII 180 W	86,0±0,3	88,1±0,6	3,660±0,004	11,8±0,4	0,9870±0,0006	0,6±0,5
Ens 5	70°C PI 180 W PII 0 W	87,8±0,4	88,5±0,0	3,760±0,004	11±1	0,987±0,003	0,5±0,2
Ens 6	70°C PI 450 W PII 0 W	88,9±0,5	88,7±0,1	3,850±0,004	10,8±0,3	0,986±0,003	0,5±0,6
Ens 7	70°C PI 180 W PII 180 W	88,8±0,5	88,7±0,3	3,710±0,004	11±1	0,992±0,003	0,5±0,8
Ens 8	70°C PI 450 W PII 180 W	86,5±0,2	87,4±0,1	3,90±0,01	11,9±0,3	0,986±0,001	0,4±0,2
Ens 9	55°C PI 320 W PII 180 W	89,1±0,6	86,7±0,2	3,650±0,004	10,6±0,3	0,986±0,002	0,6±0,5
Ens 10	55°C PI 320 W PII 180 W	89,1±0,3	88,6±0,3	3,710±0,004	11±1	0,989±0,002	0,5±0,7
Ens 11	55°C PI 320 W PII 180 W	88,8±0,1	88,4±0,1	3,50±0,01	10,6±0,4	0,985±0,001	0,6±0,4
Média		88	88,2	3,7	11,1	0,987	0,6
Desvio Padrão		1	0,6	0,2	0,5	0,002	0,1
Coeficiente de Variação (CV) %		1,2	0,7	4,3	4,6	0,26	22,1

As demais características físicas e químicas tais como umidade determinada por infravermelho e a atividade de água do abacaxi *in natura* foram similares às detectadas por Lopes (2013), que realizou trabalhos com abacaxi colhidos na mesma época.

Acidez elevada é uma característica indesejável no abacaxi. A média geral de acidez neste trabalho (0,6%) é similar às detectadas por outros pesquisadores que utilizaram a mesma cultivar (FALCAO FILHO, 2011; e BERILLI et al, 2011).

Os frutos colhidos fora do período de safra normalmente apresentam parâmetros fora do ideal como pH e sólidos solúveis totais. As condições climáticas também possuem forte impacto nessas características, haja vista que sob período de maior incidência de luz e baixa quantidade de água, como no verão, o fruto do abacaxizeiro adquire maior teor de açúcar e menor acidez (CHITARRA & CHITARRA, 2005).

4.2 Avaliação da cinética de secagem

A Figura 11a mostra curvas de secagem das onze condições experimentais testadas, nas quais as variáveis independentes foram: as potências de micro-ondas aplicadas no período I, no período II e a temperatura do ar de secagem, mantendo-se constante a vazão do ar de secagem em todas as condições experimentais ($1 \text{ m}^3/\text{min}$). O tempo e o adimensional de umidade em base seca iniciais do período II, isto é no tempo zero, correspondem ao tempo de 40 minutos de processo de secagem para todos os gráficos apresentados.

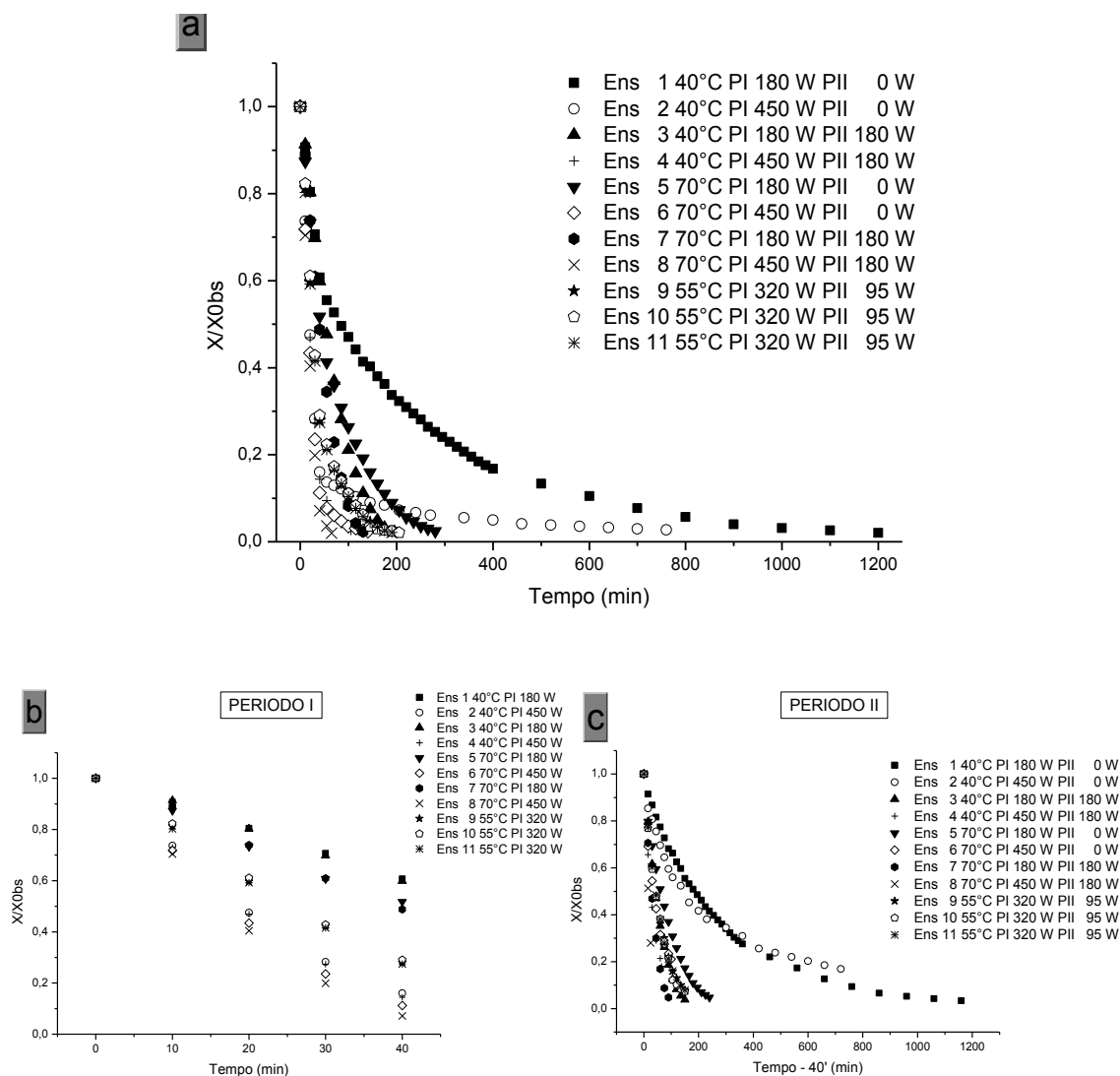


Figura 11 - Adimensional de umidade em função do tempo de secagem com aplicação de potência de micro-ondas variável em pedaços de abacaxi durante todo o processo (a), no período I (b) e no período II (c) de todas as condições do planejamento experimental, sendo o ar quente a $1 \text{ m}^3/\text{min}$.

Verifica-se por meio da Figura 11b, que as curvas nas quais a aplicação da potência de micro-ondas foi de 450 W no período I de secagem foram as mais inclinadas independente da temperatura do ar utilizada. As curvas de secagem das três repetições do ponto central apresentaram boa repetibilidade, e mostraram comportamento superior à menor potência utilizada que foi de 180 W no que se refere à perda de água durante os quarenta minutos iniciais de processo.

Durante o segundo período da condição do Ensaio 1 em que se utilizou a menor temperatura do ar de secagem (40°C) e 180 W potência de micro-ondas no período I seguida de potência nula, isto é apenas secagem convectiva, foi a que apresentou curva de secagem mais extensa dentre todas as outras planejadas. E como esperado, na condição oposta apresentou a menor curva de secagem (Figura 11c).

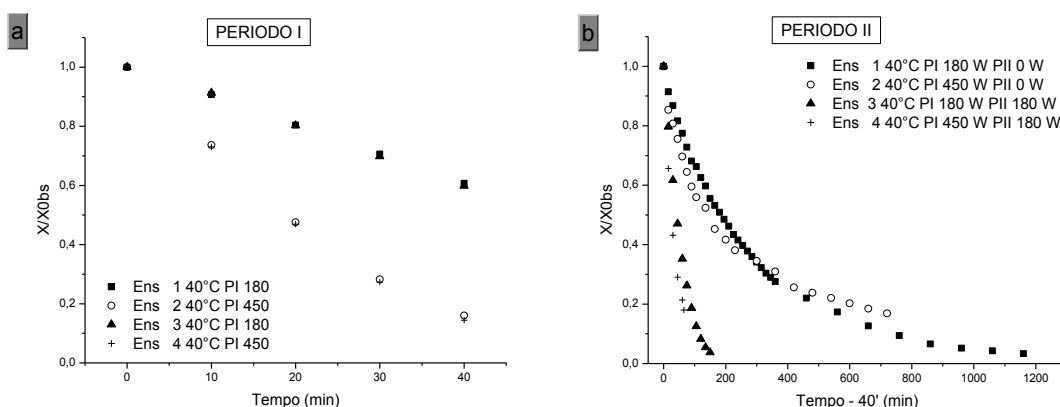


Figura 12 - Adimensional de umidade em função do tempo de secagem com aplicação de potência de micro-ondas variável em pedaços de abacaxi no período I (a) e no período II (b) das condições experimentais quando a temperatura do ar de secagem foi de 40°C e vazão do ar quente a 1m³/min.

Observa-se por meio da Figura 12a, duas curvas com menor aceleração (Ensaio 1 e 3), nas quais foram utilizadas potência de micro-ondas de 180 W obtendo umidade média de 83% em base úmida ao final do período I. Em contraponto, verifica-se que as condições em que se utilizou 450 W de potência de micro-ondas, as curvas provenientes apresentaram maior inclinação tendo 64% b.u. como média de umidade aos 40 minutos de processo.

Na Figura 12b, verifica-se que os maiores tempos de secagem correspondem aos ensaios 1 e 2 (1200 e 760 minutos respectivamente), nos quais as potências de micro-ondas aplicadas foram nulas, isto é, utilizou-se apenas o ar secagem a 40°C para que a umidade chegasse em torno de 15%. Verifica-se o efeito causado pelas potências aplicadas no período anterior para estas duas condições, isto é, naquela em que a potência foi maior nos minutos iniciais (450 W), continha menor quantidade de água para alcançar a umidade final desejada no período II. Enquanto que na outra condição na qual se aplicou potência de micro-ondas menor (180 W), a umidade inicial do segundo período era maior comparado com a anteriormente citada, com isso o tempo até a parada final do processo foi maior.

Por meio da Figura 13a pode-se verificar que no período I a curva de secagem dos Ensaios 6 e 8, foi mais rápida, alcançando umidade média de 56%. Logo, verifica-se o efeito da potência de micro-ondas aplicado ao processo, pois nos outros dois ensaios deste mesmo período (Ens 5 e 7) a média foi de aproximadamente 75%.

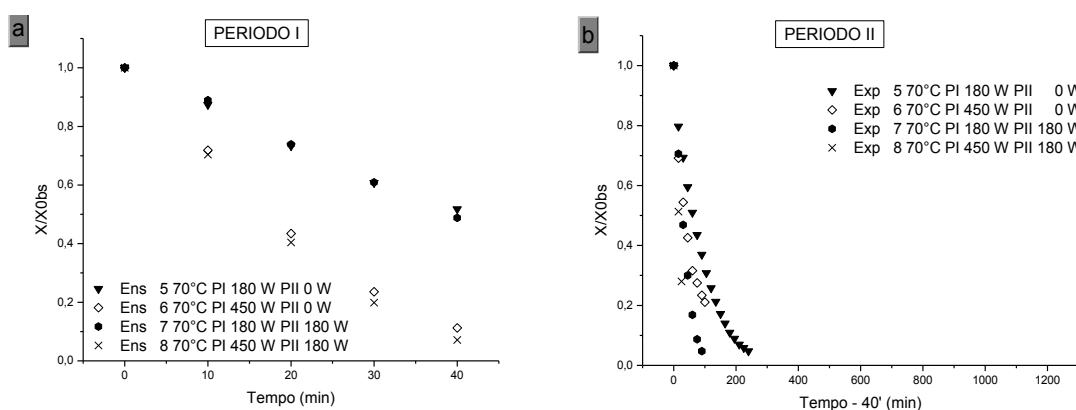


Figura 13 - Adimensional de umidade em função do tempo de secagem com aplicação de potência de micro-ondas variável em pedaços de abacaxi no período I (a) e no período II (b) das condições experimentais para ar de secagem a 70°C e vazão de 1m³/min.

No período II as condições de secagem que apresentaram menor tempo foram as dos Ensaios 7 e 8 (160 e 55 min, respectivamente), nos quais a potência de micro-ondas foi de 450 W. Nas outras duas condições em que foi utilizada a menor potência de micro-ondas durante o período II observa-se a curva de secagem resultando em maior tempo para alcançar a umidade final almejada.

Verifica-se na Figura 13b o efeito da maior e menor potência de micro-ondas aplicadas durante o primeiro período de secagem. Naquelas em que foi utilizada a menor potência (180 W) apresentou maior tempo de secagem.

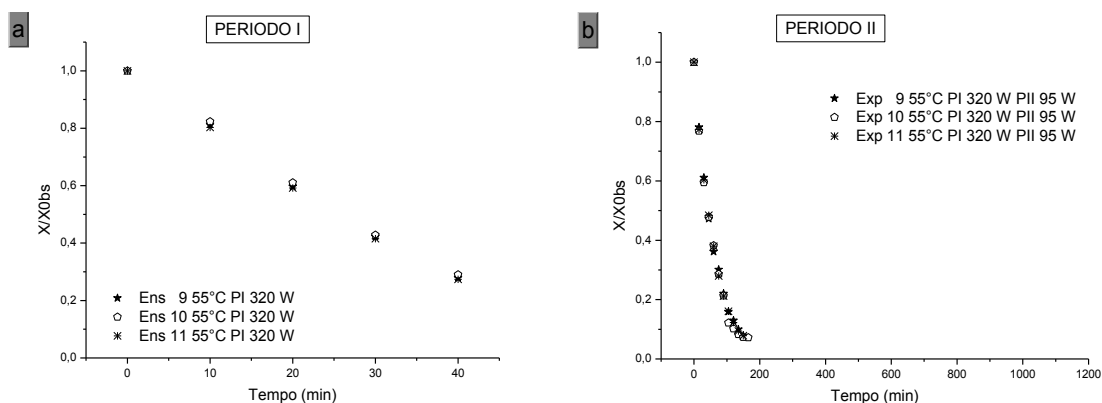


Figura 14 - Adimensional de umidade em função do tempo de secagem com aplicação de potência de micro-ondas variável em pedaços de abacaxi no período I (a) e no período II (b) das três repetições da condição do ponto central do planejamento com $T = 55^{\circ}\text{C}$, $PI = 320\text{ W}$, $PII\ 95\text{ W}$ e vazão de $1\text{ m}^3/\text{min}$.

Verifica-se por meio da Figura 14a, a reprodutibilidade entre as três repetições da condição experimental correspondente ao ponto central do delineamento, mostrando que as demais condições são representativas. A umidade média obtida no período I foi de $69,3 \pm 0,8\%$. E as curvas apresentadas no período II possuem um comportamento bastante similar resultando também em tempo final de processo com média igual a 145 minutos (Figura 14b).

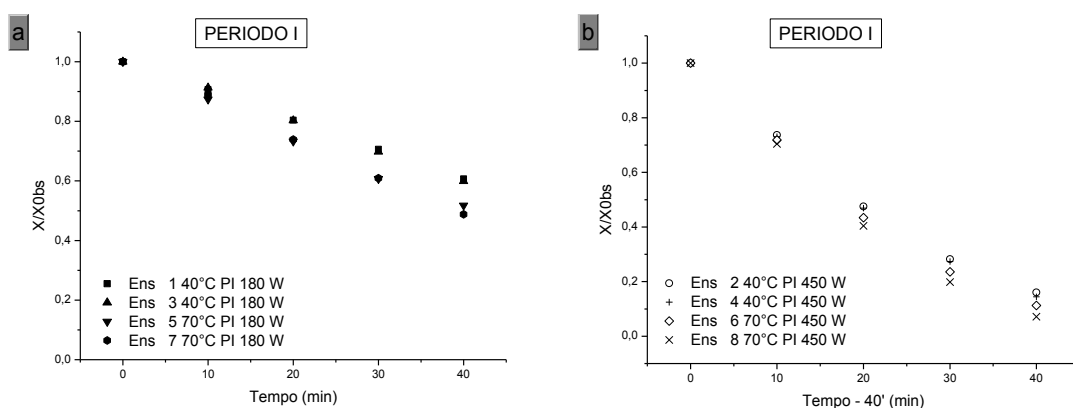


Figura 15 - Adimensional de umidade em função do tempo de secagem com aplicação de potência de micro-ondas variável em pedaços de abacaxi no período I para 180 W (a) e 450 W (b).

Na Figura 15 observa-se o efeito da temperatura do ar de secagem utilizado durante o primeiro período de secagem. Quando se utilizou potência alta, 450 W, o comportamento das quatro curvas de secagem (Figura 15b), foi semelhante mesmo com temperatura do ar diferente (40 e 70°C), demonstrando menor desvio entre as curvas quando comparado com as curvas da Figura 15a nas quais a potência de micro-ondas utilizada foi de 180 W, evidenciando menor efeito causado pela temperatura.

Por meio da Figura 16a, pode-se verificar que a curva de secagem foi mais rápida quando se aplicou 180 W de potência durante os períodos I e II (Ensaio 3) quando comparado com o Ensaio 2 que se aplica 180 W apenas nos primeiros 40 minutos de processo. Em ambos usou-se 40°C de temperatura do ar de secagem. Já quando a temperatura do ar de secagem foi de 70°C para as mesmas potências de micro-ondas aplicadas, as curvas de secagem apresentaram proximidade foi o caso dos Ensaios 6 e 7 (Figura 16b), diferenciando-se em 10 minutos no tempo total de processo. Em resumo verifica-se o maior efeito das energias de micro-ondas quando se utiliza o ar de secagem à temperatura mais baixa. Isto pode ser justificado pelo tipo de aquecimento volumétrico e seletivo.

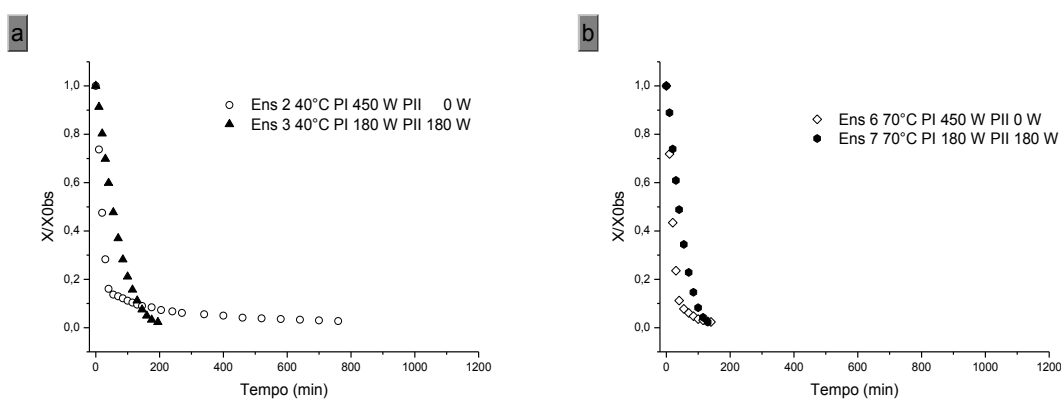


Figura 16 - Adimensional de umidade em função do tempo de secagem com aplicação de potência de micro-ondas variável em pedaços de abacaxi dos ensaios 2 e 3 (a) e dos ensaios 6 e 7 (b), com vazão do ar de secagem a $1\text{ m}^3/\text{min}$.

O aspecto visual de amostras ao final do processo de secagem dos Ensaios 1 e 8 pode ser visualizado na Figura 17. O percentual de peças

queimadas no produto foi nulo nos Ensaios 1, 2, 3, 5, 7, 9, 10 e 11. Já nas condições dos Ensaios 4, 6 e 8 foi de 3, 4 e 20%, respectivamente. Este aparecimento de peças queimadas na saída do processo foi decorrente principalmente da aplicação de elevadas potências de micro-ondas e temperatura do ar de secagem durante todo o processo, provocando um superaquecimento proveniente da absorção de energia eletromagnética por parte da amostra. E certamente o fluxo de ar quente não foi capaz de realizar o resfriamento da superfície da mesma, resultando em carbonização.

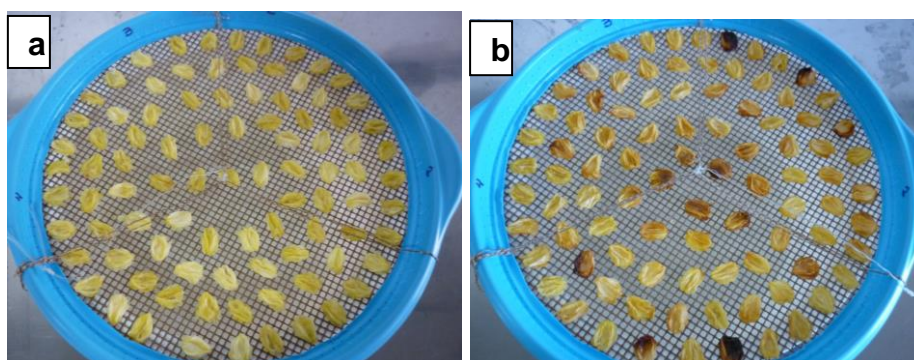


Figura 17 – Amostras de abacaxi seco após o processo de secagem convectiva com aplicação de potência de micro-ondas variável dos ensaios 1 (a) e 8 (b).

Na Figura 18 verifica-se o período de indução nas condições em que foram usadas inicialmente potência de micro-ondas igual a 180 W e 320 W. Para aquelas cuja potência foi 450 W observou-se apenas o período de taxa constante, isto pode ser justificado pela rapidez do processo, pois o intervalo de pesagem foi o mesmo para todas as condições (10 min). Após esses períodos mencionados, de indução e o constante, verifica-se o período de taxa decrescente de secagem, característico de produtos vegetais para todas as condições experimentais.

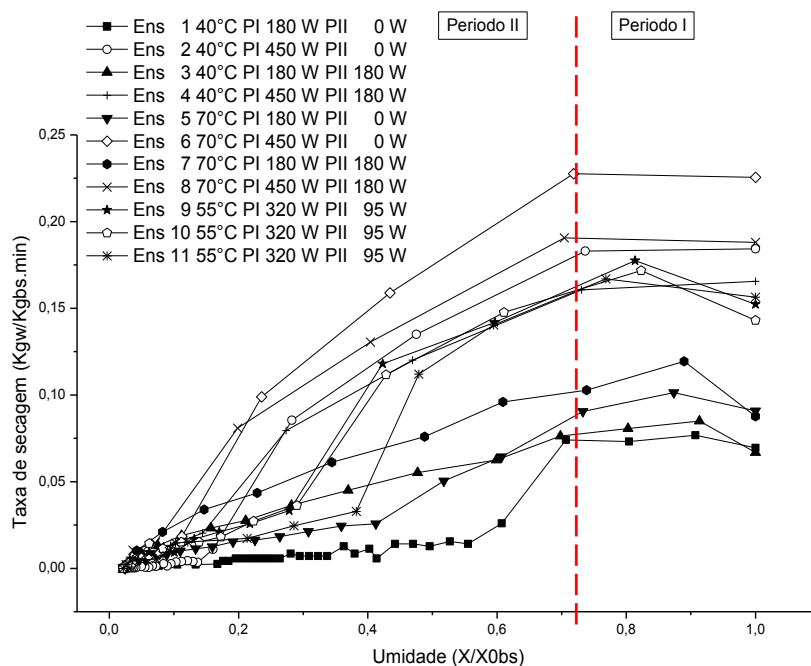


Figura 18 – Taxa de secagem em função da umidade adimensional dos pedaços de abacaxi com aplicação de potência de micro-ondas variável e vazão do ar de $1\text{m}^3/\text{min}$ para todas as condições experimentais do período I e II.

Destacam-se maiores taxas de secagem das condições em que foram utilizadas a maior potência de micro-ondas, 450 W, seguida de 320 W e 180 W respectivamente durante o período I (Figura 18).

Quanto às densidades de potências aplicadas, observa-se pela Figura 19 (a, b e c) curvas ascendentes em todas as condições de processo com exceção apenas no período II de quatro ensaios nos quais há anulação de potência de micro-ondas. Verifica-se também a redução da densidade na mudança de período, uma vez que, no geral utilizou-se menores potências de micro-ondas (180 W, 95 W e 0 W) durante o período II quando comparado às aplicadas durante os minutos iniciais (450 W, 320 W, e 180 W).

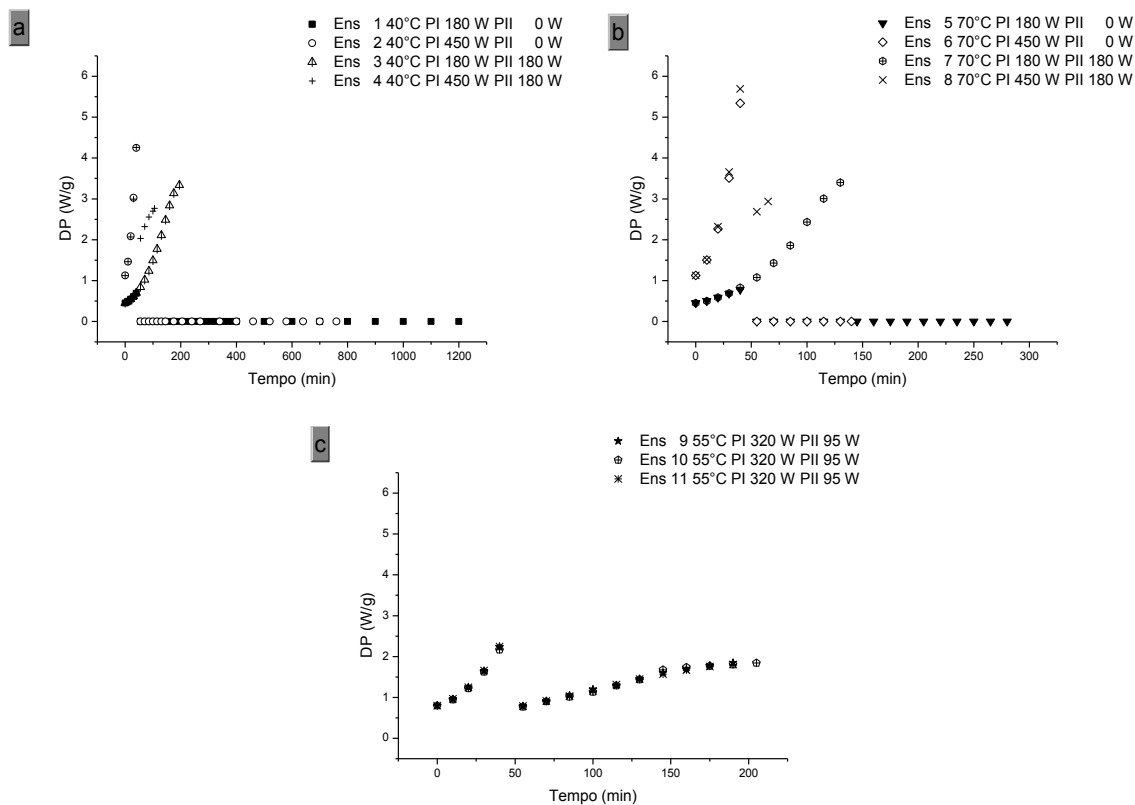


Figura 19 - Densidade da potência de micro-ondas aplicada durante o processo de secagem em pedaços de abacaxi, na qual a temperatura do ar foi igual a 40°C (a), 70°C (b) e 55°C (c) com vazão de ar a 1m³/min.

Pode-se observar também o comportamento da temperatura do ar de saída, na qual, em geral, manteve-se abaixo da temperatura de entrada, pois há perdas de calor durante a passagem pelo equipamento. Observou-se aumento apenas nos momentos em que se aplicaram as elevadas potências (450 W, 320 W e 180 W) de micro-ondas durante o período I (Figura 20).

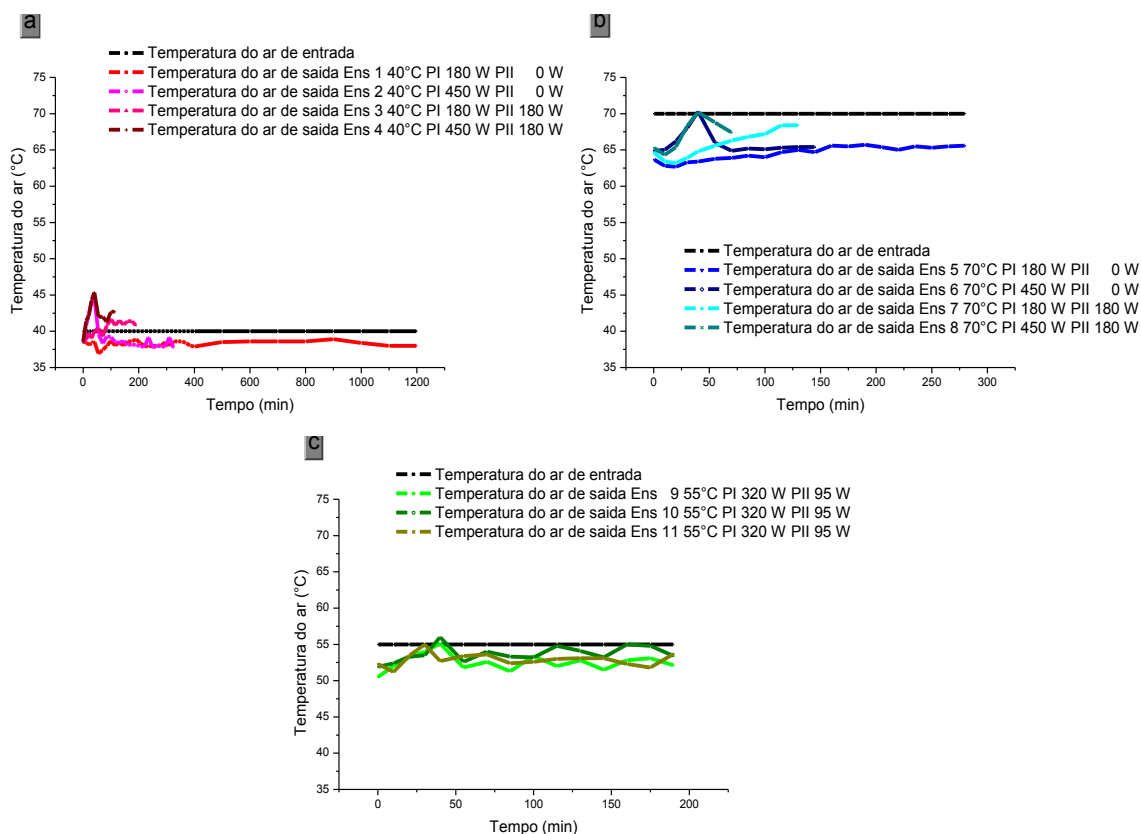


Figura 20 - Temperatura do ar de entrada e de saída do sistema em função do tempo de secagem dos pedaços de abacaxi na qual aplicou-se potência de micro-ondas variável sob a temperatura do ar de 40°C (a), 70°C (b) e 55°C (c).

4.3 Tratamento estatístico do planejamento experimental

A tabela 5 mostra o tempo final, das 11 condições experimentais, necessário para que a umidade das amostras de abacaxi atingisse 15% (b.u.) conforme os cálculos efetuados pelas equações 10, 11 e 12 que tiveram como base a umidade inicial (medida em balança de infravermelho) e massa total da amostra inicial.

Tabela 5 - Tempo total de processo para cada condição experimental.

Ensaio	VARIÁVEIS INDEPENDENTES						VARIÁVEL DEPENDENTE
	Codificadas			Reais			Tempo (Minuto)
	PI	PII	T	PI (W)	PII (W)	T (°C)	
01	-1	-1	-1	180	0	40	1200
02	+1	-1	-1	450	0	40	760
03	-1	+1	-1	180	180	40	195
04	+1	+1	-1	450	180	40	105
05	-1	-1	+1	180	0	70	280
06	+1	-1	+1	450	0	70	140
07	-1	+1	+1	180	180	70	130
08	+1	+1	+1	450	180	70	65
09	0	0	0	320	95	55	190
10	0	0	0	320	95	55	205
11	0	0	0	320	95	55	190

Com base nesses dados, avaliaram-se os efeitos causados pelas variáveis independentes e suas interações no tempo final de cada condição experimental em 95% de confiabilidade estatística (Tabela 6 e Figura 22).

Tabela 6 – Análise de efeitos das variáveis independentes no tempo de secagem em nível de 95 % de confiabilidade.

Variável dependente: Tempo				
Fator	Efeito	DP	T(2)	p
Média	314,5455	2,6112	120,4617	0,0001
1 Potência de MO no Período I	-183,75	6,12	-30,01	0,0011
2 Potência de MO no Período II	-471,25	6,12	-76,95	0,0002
3 Temperatura do ar de secagem	-411,25	6,12	-67,16	0,0002
Interação 1 e 2	106,25	6,12	17,35	0,0033
Interação 1 e 3	81,25	6,12	13,27	0,0056
Interação 2 e 3	358,75	6,12	58,58	0,0003

Os valores de “p” menores que 0,05 para cada fator mostram diferença significativa e assim seu efeito. Logo, pode-se verificar que o maior efeito causado no tempo de processo é decorrente das potências de micro-ondas aplicadas durante o período II. Seguida dos efeitos causados pela temperatura do ar de secagem, a interação entre estas duas variáveis independentes mencionadas. Seguindo a ordem decrescente de efeito, têm-se as potências de MO aplicadas durante os minutos iniciais de processo e as outras duas interações restantes. Como se observa todas as variáveis e suas interações foram significativas em nível de confiança utilizado (Figura 22).

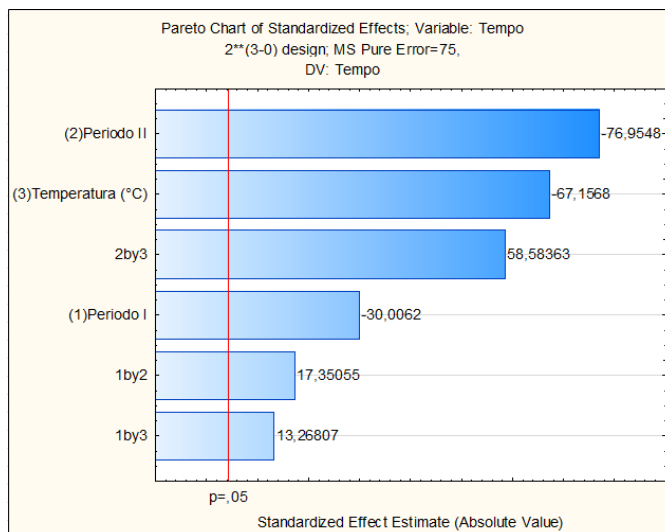


Figura 21 - Diagrama de Pareto para a variável: tempo

Após verificação dos efeitos significativos das variáveis analisadas em função do tempo foi realizada a análise de variância (Tabela 7). O modelo não pode ser validado para explicar a regressão dos dados das variáveis independentes em função do tempo, porque o valor de F calculado da falta de ajuste foi significativo, se este fosse não significativo, o modelo seria validado.

Tabela 7 - Tabela da análise de variância para a resposta Tempo.

ANOVA					
FV	SQ	GL	QM	Fcal	Ftab
Regressão	1143119	6	190519,8	11,12	6,16
Resíduo	68554	4	17138,5		
Falta de ajuste	68404	2	34202,0	456,03	19,3
Erro puro	150	2	75		
Total	1211673	10	121167,3		

FV: Fonte de variação - SQ: Soma de Quadrado - GL: Grau de Liberdade - MQ: Média quadrática

4.4 Ajustes ao modelo matemático de PAGE

A tabela 8 mostra os parâmetros do modelo de Page (equação 13) e os coeficientes de determinação para cada condição experimental.

Tabela 8 - Parâmetros e coeficientes de determinação do modelo de PAGE

Ensaio	VARIÁVEIS INDEPENDENTES						PARÂMETROS DO MODELO DE PAGE E COEFICIENTES DE DETERMINAÇÃO					
	Codificadas			Reais			K (min ⁻¹)	DP (min ⁻¹)	n	DP	X ²	R ²
	PI	PII	T	PI (W)	PII (W)	T (°C)						
01	-1	-1	-1	180	0	40	0,041	0,003	0,63	0,01	0,0004	0,9935
02	+1	-1	-1	450	0	40	0,09	0,03	0,71	0,08	0,0031	0,9484
03	-1	+1	-1	180	180	40	0,0052	0,0003	1,24	0,01	0,0000	0,9997
04	+1	+1	-1	450	180	40	0,022	0,005	1,19	0,07	0,0006	0,9957
05	-1	-1	+1	180	0	70	0,024	0,002	0,88	0,02	0,0003	0,9972
06	+1	-1	+1	450	0	70	0,021	0,006	1,2	0,1	0,0009	0,9925
07	-1	+1	+1	180	180	70	0,0056	0,0005	1,32	0,02	0,0001	0,9995
08	+1	+1	+1	450	180	70	0,014	0,002	1,45	0,05	0,0001	0,9992
09	0	0	0	320	95	55	0,031	0,007	0,95	0,06	0,0010	0,9904
10	0	0	0	320	95	55	0,029	0,006	0,97	0,06	0,0009	0,9908
11	0	0	0	320	95	55	0,033	0,007	0,95	0,06	0,0009	0,9909

Em geral, verifica-se que as curvas de secagem se ajustaram bem ao modelo de Page, apresentando um coeficiente de determinação próximo de 1, explicando cerca de 99 % da variação dos dados obtidos, com exceção apenas do ensaio 2, no qual foi utilizada menor temperatura do ar de secagem (40°C) e potência de micro-ondas moderada (180 W) durante todo o processo (Figura 22b). As demais curvas de secagem do planejamento se ajustaram bem como ilustra a Figura 22a.

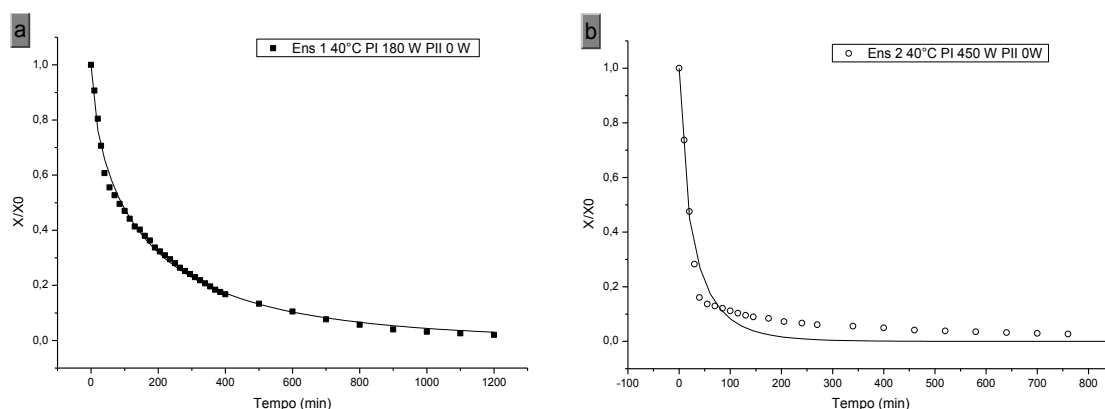


Figura 22 – Ajustes das curvas de secagem dos pedaços de abacaxi seco com aplicação de potência de micro-ondas variável ao modelo de Page para o ensaio 1 (a) e ensaio 2 (b); a vazão do ar de secagem foi de $1\text{m}^3/\text{min}$.

4.5 Análise da qualidade dos produtos secos

4.5.1 Atividade de água

A média de atividade de água dos produtos secos obtidos em cada ensaio experimental pode ser visualizada na Tabela 9. A média geral de atividade de água resultante dos ensaios foi de 0,61, mostrando baixa quantidade de água livre presente no produto. Níveis de atividade de água abaixo de 0,6 são considerados seguros, pois impossibilitam o crescimento de micro-organismos (BOBBIO & BOBBIO, 1995, DAMODARAN et al, 2010 e GOMES & OLIVEIRA, 2011).

Quanto à umidade final do produto, observam-se valores compreendidos no intervalo de 15 e 20% de umidade final para todas as condições operacionais trabalhadas. Verifica-se maior desvio para o ponto superior do planejamento ($T = 70^{\circ}\text{C}$, $PI = 450\text{ W}$ e $PII = 180\text{ W}$) quanto à atividade de água e umidade final, isso pode ser decorrente principalmente da falta de homogeneidade causada pelas ondas estacionárias formadas dentro da cavidade onde ocorre a interação entre as ondas eletromagnéticas e o material dielétrico, em outras palavras, ocorre a formação de zonas com maior e menor intensidade de calor. Vale ressaltar que a movimentação do prato na cavidade minimiza os efeitos desse aquecimento heterogêneo.

Tabela 9 – Atividade de água do produto seco obtido em cada ensaio

Ensaio	VARIÁVEIS INDEPENDENTES						VARIÁVEIS DEPENDENTES			
	Codificadas			Reais			Atividade de água		Umidade final	
	PI	PII	T	PI (W)	PII (W)	T ($^{\circ}\text{C}$)	(Aw)	DP	(%)	DP
01	-1	-1	-1	180	0	40	0,5984	0,0032	16,7	1,4
02	+1	-1	-1	450	0	40	0,7112	0,0148	16,2	1,3
03	-1	+1	-1	180	180	40	0,5799	0,0397	15,4	1,2
04	+1	+1	-1	450	180	40	0,6859	0,0030	16,5	1,8
05	-1	-1	+1	180	0	70	0,6770	0,0152	17,2	1,1
06	+1	-1	+1	450	0	70	0,6453	0,0526	17,7	2,1
07	-1	+1	+1	180	180	70	0,4864	0,0272	15,1	0,7
08	+1	+1	+1	450	180	70	0,5966	0,0787	18,1	7,0
09	0	0	0	320	95	55	0,5513	0,0326	15,6	1,0
10	0	0	0	320	95	55	0,5823	0,005	15,8	0,6
11	0	0	0	320	95	55	0,6253	0,014	15,5	0,8

Assim, avaliaram-se os efeitos dos três fatores experimentais em nível de 95 % de significância estatística na atividade de água (Tabela 10). E pode-se verificar que esses efeitos não foram significativos ao nível de confiabilidade adotada, pois os valores de “p” não foram menores do que 0,05. No entanto, a média obtida para a atividade de água é caracterizada como nível moderado de segurança, pois valores abaixo de 0,6 são considerados totalmente seguros, isto é, sem possíveis riscos de crescimento microbiano (DAMODARAN et al, 2010).

Tabela 10 - Análise dos efeitos sobre a variável dependente: atividade de água para o produto obtido pela secagem convectiva com aplicação de micro-ondas variável

Variável Dependente: Atividade de água					
Fator	Efeito	DP	T(2)	p	
Média	0,6127	0,0112	54,6816	0,0003	
1 Potência de MO no Período I	0,07	0,03	2,83	0,11	
2 Potência de MO no Período II	-0,07	0,03	-2,69	0,11	
3 Temperatura do ar de secagem	-0,04	0,03	-1,62	0,25	
Interação 1 e 2	0,03	0,03	1,29	0,33	
Interação 1 e 3	-0,04	0,03	-1,33	0,31	
Interação 2 e 3	-0,05	0,03	-1,86	0,20	

* $p \leq 0,05$ (estatisticamente significativo ao nível de 95 % de confiabilidade).

4.5.2 Capacidade de reidratação e umidade do produto seco e reidratado

As médias quanto à capacidade de reidratação e umidade do abacaxi seco e reidratado podem ser visualizadas na Tabela 11.

Tabela 11 - Média da umidade e capacidade de reidratação do produto seco e umidade do produto reidratado em cada condição dos 11 ensaios experimentais.

Ensaio	VARIÁVEIS INDEPENDENTES						VARIÁVEIS DEPENDENTES				
	Codificadas			Reais			Capacidade de Reidratação		Umidade Reidratado		
	PI	PII	T	PI (W)	PII (W)	T (°C)	%	DP	%	DP	
01	-1	-1	-1	180	0	40	78	2	98,3	0,2	
02	+1	-1	-1	450	0	40	71,6	2,6	98	1	
03	-1	+1	-1	180	180	40	72,4	1,7	97,7	0,2	
04	+1	+1	-1	450	180	40	71,5	2,8	97,9	0,2	
05	-1	-1	+1	180	0	70	74,3	1,9	97,8	0,2	
06	+1	-1	+1	450	0	70	75,4	1,4	97,7	0,3	
07	-1	+1	+1	180	180	70	75,5	2,9	98,0	0,1	
08	+1	+1	+1	450	180	70	74,7	0,3	97	1	
09	0	0	0	320	95	55	77,2	2,9	98,2	0,1	
10	0	0	0	320	95	55	76,1	5,2	97,9	0,3	
11	0	0	0	320	95	55	76,1	1,1	97,9	0,3	

A umidade do abacaxi reidratado mostrou similaridade para todos os ensaios, tendo como valor médio $97,9\pm 0,3\%$. E a média da capacidade de reidratação foi igual a $74,8\%$, a maior capacidade de reidratação foi para a condição do ensaio 1, em que se usou 180 W durante os quarenta minutos iniciais seguido da anulação das micro-ondas e continuação apenas da secagem convectiva, indicando que a habilidade do tecido seco de absorver água é maior quando usa-se menores valores de temperatura e potência de micro-ondas. Em geral, esses valores estão de acordo com os encontrados por Lopes (2013) cuja matéria-prima empregada e condições experimentais foram similares.

Verifica-se efeito na capacidade de reidratação causada pela interação das potências aplicadas no período I e da temperatura do ar de secagem, seguidos pelos demais como mostra a Tabela 12. No entanto, estes efeitos são muito pequenos em comparação com a média (74,79) da capacidade de reidratação, variando no intervalo de 0,88 a 1,88 - em módulo (Tabela 12).

Tabela 12 - Análise dos efeitos das variáveis do processo sobre a capacidade de reidratação para o produto obtido pela secagem convectiva com aplicação de potência de micro-ondas variável

Variável dependente: Capacidade de Reidratação				
Fator	Efeito	DP	t (2)	P
Média	74,79091	0,19149	390,58278	0,00001
1 Potência de MO no Período I	-1,73	0,45	-3,84	0,06
2 Potência de MO no Período II	-1,28	0,45	-2,84	0,10
3 Temperatura do ar de secagem	1,63	0,45	3,62	0,07
Interação 1 e 2	0,88	0,45	1,95	0,19
Interação 1 e 3	1,88	0,45	4,18	0,05
Interação 2 e 3	1,53	0,45	3,40	0,08

* $p \leq 0,1$ (estatisticamente significativo ao nível de 90 % de confiabilidade).

Para Pereira (2007), o uso de potência de micro-ondas elevada diminuiria a capacidade de reidratação de frutos que contêm amido, pois ocorre a gelatinação na camada superficial causando menor porosidade e conseqüentemente menor capacidade de reabsorção de água. Nos frutos não climatéricos, como o abacaxi, o teor de amido é baixo, logo a capacidade de reidratação é afetada resultando valores menores do que aqueles vegetais que

possuem alto teor de amido (HASSAN et al, 2011). Para Maskan (2001), quando trabalhou com kiwi utilizando convecção e micro-ondas, verificou que a capacidade de reidratação é melhor na secagem convectiva combinada com micro-ondas quando comparada com outros dois métodos de secagem.

Tabela 13 - Análise de variância para a resposta capacidade de reidratação com $p \leq 0,1$.

ANOVA					
FV	SQ	GL	QM	Fcal	Ftab
Regressão	23	4	5,73	1,44	3,18
Resíduo	24	6	3,97		
Falta de ajuste	23	4	5,76	14,27	9,24
Erro puro	1	2	0,40		
Total	47	10	4,67		

Mediante a análise de variância, o modelo não foi validado. Logo não se tem uma expressão que explica o comportamento dos fatores em função da capacidade de reidratação, pois o modelo explica falta de ajuste (Tabela 13).

4.5.3 Volume (V/V_0)

A relação entre volume e encolhimento do produto é expressa segundo a equação 14, logo, pode-se inferir que quanto menor for o valor de V/V_0 maior será o encolhimento.

$$\text{encolhimento} = 1 - \frac{\text{Volume final da amostra}}{\text{Volume inicial da amostra}}$$

Equação 14

Tabela 14 - Média de V/V₀ para cada condição experimental do delineamento.

Ensaio	VARIÁVEIS INDEPENDENTES						VARIÁVEL DEPENDENTE	
	Codificadas			Reais			V/V ₀	DP
	PI	PII	T	PI (W)	PII (W)	T (°C)		
01	-1	-1	-1	180	0	40	0,19	0,03
02	+1	-1	-1	450	0	40	0,17	0,01
03	-1	+1	-1	180	180	40	0,20	0,03
04	+1	+1	-1	450	180	40	0,19	0,03
05	-1	-1	+1	180	0	70	0,20	0,04
06	+1	-1	+1	450	0	70	0,17	0,03
07	-1	+1	+1	180	180	70	0,21	0,03
08	+1	+1	+1	450	180	70	0,17	0,03
09	0	0	0	320	95	55	0,17	0,02
10	0	0	0	320	95	55	0,16	0,02
11	0	0	0	320	95	55	0,21	0,03

Mediante os valores de volumes aparentes resultantes em cada ensaio, pode-se dizer que não houve diferença significativa nas médias (Tabela 14). Então, o volume é uma variável resposta que não é influenciada pelas diversas condições de processo utilizadas neste trabalho, como mostra a Tabela de efeitos (Tabela 15).

Fazendo relação entre o volume aparente e o encolhimento gerado no produto (usando a equação 14), infere-se também que o encolhimento não foi afetado pelas variáveis de processo. Resultados diferentes foram encontrados por Lopes (2013) e Raghavan e Silveira (2001), pois em seus estudos verificaram que o encolhimento é maior quando elevadas potências são aplicadas nos momentos iniciais do processo.

Tabela 15 - Análise dos efeitos sobre a variável dependente: V/V_0 para o produto obtido pela secagem convectiva com aplicação de micro-ondas variável

Variável dependente: V/V_0				
Fator	Efeito	DP	T(2)	p
Média	0,185	0,009	33,556	0,001
1 Potência de MO no Período I	-0,02	0,01	-1,85	0,21
2 Potência de MO no Período II	0,01	0,01	0,46	0,69
3 Temperatura do ar de secagem	0,00	0,01	-0,46	0,69
Interação 1 e 2	-0,01	0,01	-0,46	0,69
Interação 1 e 3	-0,02	0,01	-1,39	0,30
Interação 2 e 3	0,00	0,01	0,00	1,00

* $p \leq 0,05$ (estatisticamente significativo ao nível de 95 % de confiabilidade).

4.5.5 Cor do abacaxi *in natura* e o seco obtido

A Figura 23 mostra os parâmetros de cor das amostras de abacaxi antes e depois do processo de secagem segundo o planejamento experimental.

Em geral, verifica-se que as amostras de abacaxi apresentam coloração mais escura em relação ao fruto fresco, isto é evidenciado pelo decréscimo do valor da coordenada **L**. Ressalta-se o maior escurecimento para o ensaio 8 (T = 70°C, PI = 450 W, PII = 180 W) mostrando novamente maior percentual de escurecimento dentre as peças secas obtidas.

Em relação à coordenada **a** observa-se coloração mais avermelhada no produto obtido, isto pode ocorrer em virtude de pigmentos de coloração marrom como a melanoidina formados pelo escurecimento não enzimático; ou ainda pela caramelização de açúcar dentre outras reações não enzimáticas ocorridas durante o processo (DAMODARAN et al, 2010). Na matéria-prima *in natura* observa-se coloração mais próxima do verde podendo ser decorrente de pequenas proporções de clorofila.

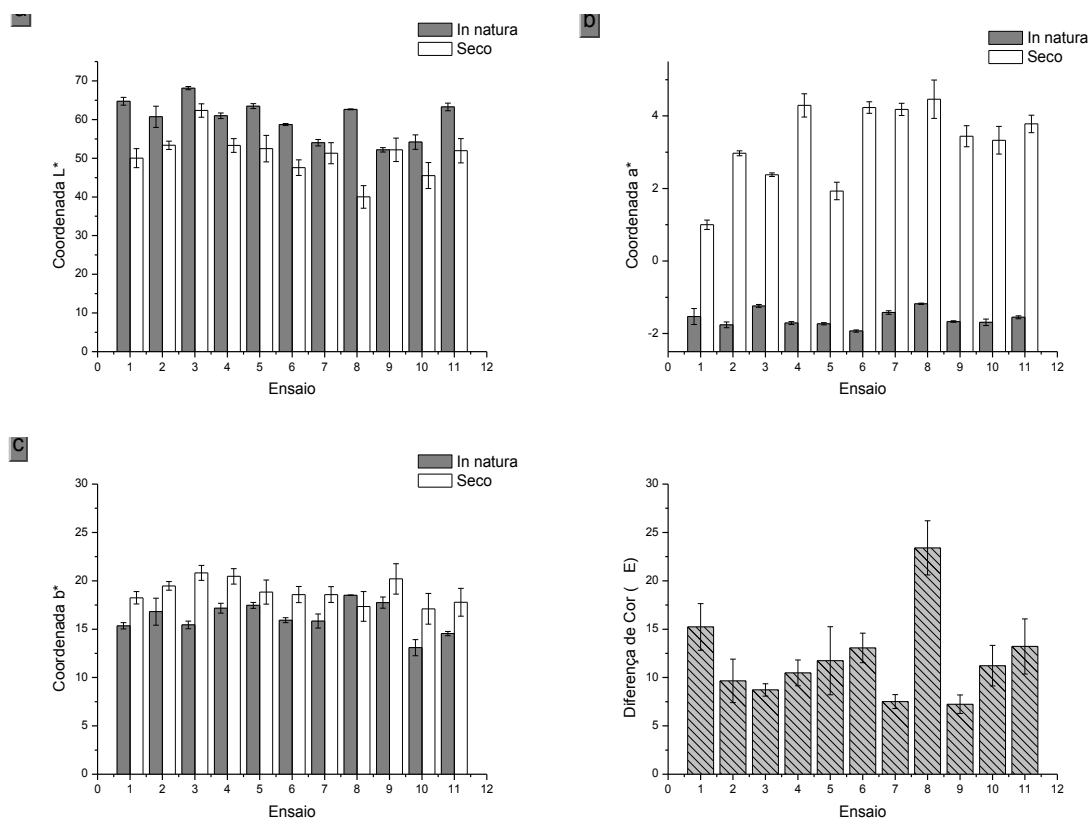


Figura 23 - Parâmetros de cor L, a, b e ΔE (23a, 23b, 23c e 23d respectivamente) de pedaços de abacaxi *in natura* e seco por meio da secagem convectiva combinada com aplicação de potência de micro-ondas variável

Para a coordenada **b** verifica-se que o abacaxi seco apresenta coloração amarela de maior intensidade quando comparada com o *in natura*, e dentre os outros parâmetros de cor (**L**, e **a**), este foi o que mostrou menor diferença entre a matéria prima e o produto.

Ramalho & Mascheroni (2012) obtiveram menor variação na coordenada **b** no abacaxi seco obtido quando a temperatura do ar de secagem foi de 70°C. Resultado semelhante foi encontrado neste trabalho.

Tabela 16 - Análise dos efeitos sobre a variável dependente: cor, subdividido em cada uma das coordenadas e diferença de cor das amostras *in natura* e do produto obtido pela secagem convectiva com aplicação de micro-ondas variável.

Variável dependente	Fator	Efeito	DP	T(2)	p
Coordenada a	Média	120,94	19,41	6,23	0,02
	1 Potência de MO no Período I	92,98	45,52	2,04	0,18
	2 Potência de MO no Período II	24,02	45,52	0,53	0,65
	3 Temperatura do ar de secagem	100,43	45,52	2,21	0,16
	Interação 1 e 2	172,25	45,52	3,78	0,06
	Interação 1 e 3	160,95	45,52	3,54	0,07
	Interação 2 e 3	113,16	45,52	2,49	0,13
Coordenada b	Média	24,7373	0,4985	49,6238	0,0004
	1 Potência de MO no Período I	15,97	1,17	13,66	0,01
	2 Potência de MO no Período II	8,04	1,17	6,88	0,02
	3 Temperatura do ar de secagem	9,16	1,17	7,83	0,02
	Interação 1 e 2	-4,29	1,17	-3,67	0,07
	Interação 1 e 3	-3,47	1,17	-2,97	0,10
	Interação 2 e 3	-2,13	1,17	-1,82	0,21
Coordenada L	Média	9,59	1,52	6,33	0,02
	1 Potência de MO no Período I	-5,11	3,56	-1,44	0,29
	2 Potência de MO no Período II	6,07	3,56	1,71	0,23
	3 Temperatura do ar de secagem	-9,35	3,56	-2,63	0,12
	Interação 1 e 2	-7,03	3,56	-1,98	0,19
	Interação 1 e 3	4,59	3,56	1,29	0,33
	Interação 2 e 3	-6,10	3,56	-1,72	0,23
Diferença de Cor (ΔE)	Média	11,95	0,92	13,04	0,01
	1 Potência de MO no Período I	3,35	2,15	1,56	0,26
	2 Potência de MO no Período II	0,11	2,15	0,05	0,96
	3 Temperatura do ar de secagem	2,91	2,15	1,35	0,31
	Interação 1 e 2	5,48	2,15	2,55	0,13
	Interação 1 e 3	5,26	2,15	2,44	0,13
	Interação 2 e 3	2,95	2,15	1,37	0,30

* $p \leq 0,10$ (estatisticamente significativo ao nível de 90 % de confiabilidade).

Os efeitos das variáveis influenciaram de forma singular ou por meio de interações nas coordenadas a* e b*, o mesmo não foi evidenciado na coordenada L* e na diferença de cor ao nível de confiabilidade utilizado (90-%). No entanto os modelos não foram validados. Como pode ser observado pelos quadros de

análise de variâncias para ambas as respostas cujos efeitos mostraram-se significativos.

Para Maskan (2001), as alterações na cor de produtos alimentícios provenientes de processamentos térmicos são resultantes principalmente de reações não enzimáticas e da destruição de pigmentos como os carotenoides e as clorofilas.

Tabela 17 – Análise de variância para as coordenadas **a** e **b**, ambas componentes da cor ($p \leq 0,1$)

ANOVA						
	FV	SQ	GL	QM	Fcal	Ftab
Coordenada a	Regressão	111149	2	55574,64	4,60	3,11
	Resíduo	96583	8	12072,82		
	Falta de ajuste	88295	6	14715,88	3,55	9,32
	Erro puro	8287	2	4143,65		
	Total	207732	10	20773,19		
Coordenada b	Regressão	868	5	173,56	5,83	3,45
	Resíduo	149	5	29,75		
	Falta de ajuste	143	3	47,75	17,47	9,16
	Erro puro	5	2	2,73		
	Total	1017	10	101,65		

4.6 Avaliação no tipo de corte do fruto

4.6.1 Cinética de secagem de abacaxi diferenciando-se no corte do fruto

A condição do ponto central, na qual foi utilizada temperatura do ar de secagem a 55°C, potência de micro-ondas no Período I igual a 320 W, durante o período II igual a 95 W e vazão de 1 m³/min foi utilizada para dois tipos de corte do abacaxi, o transversal (a favor das fibras) e longitudinal (contrário às fibras).

Pode-se verificar por meio da Figura 24 que não houve diferença no que diz respeito à cinética de secagem. Demonstrando que o efeito do tipo de corte não influencia na difusividade da água para esta condição.

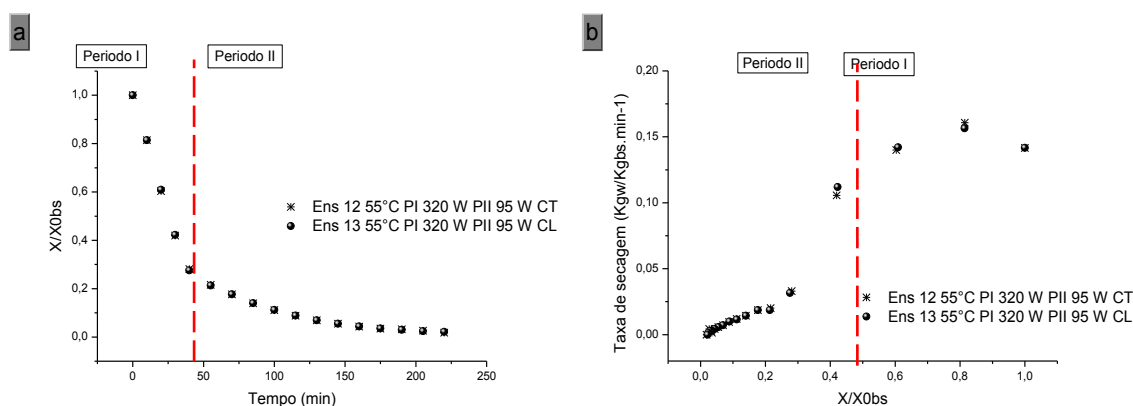


Figura 24 - Adimensional de umidade em função do tempo (a); taxa de secagem em função do adimensional de umidade (b) da secagem com aplicação de potência de micro-ondas variável em abacaxi de ensaios nas condições do ponto central com diferença apenas no tipo de corte.

4.6.2 Análises físicas e químicas quanto ao tipo de Corte do abacaxi

No geral, verifica-se que o tipo de corte no fruto não influenciou de forma significativa nas análises físico-químicas com exceção da característica V/V_0 analisada nos produtos obtidos (Tabela 18).

Tabela 18 - Análises físicas e químicas de amostras *in natura* e do produto obtido pela secagem convectiva com aplicação de micro-ondas variável

Análise	Corte Transversal		Corte Longitudinal	
	<i>in natura</i>	Seco	<i>in natura</i>	Seco
Atividade antioxidante	0,918±0,009	0,874±0,009	0,946±0,001	0,848±0,002
K	15,1±0,4	12±1	16,9±0,2	15,2±0,5
Ca	12,74±0,09	10,4±0,3	9,8±0,2	7,1±0,3
Cor – Coordenada a*	-2,10 ± 0,06	3,84 ± 0,04	-1,86 ± 0,03	4,39 ± 0,23
Cor – Coordenada b*	15,14 ± 0,18	23,28 ± 1,06	14,08 ± 0,17	18,02 ± 0,60
Cor – Coordenada L*	52,81 ± 0,45	56,65 ± 1,29	51,80 ± 0,50	45,78 ± 0,98
Diferença de Cor	--	10,89 ± 0,94 a	--	9,62 ± 0,53 a
Umidade final	--	15,8 ± 1,3 b	--	15,9 ± 2,2 b
Atividade de água	--	0,558 ± 0,02 c	--	0,593 ± 0,03 c
Capacidade de Reidratação	--	73,7 ± 2,9 d	--	74,9 ± 1,7 d
V/V_0	--	0,18 ± 0,6 e	--	0,23 ± 0,8 f

*Média com letras iguais na mesma linha não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ($p \leq 0,1$)

O volume obtido nos produtos secos no qual utilizou-se o corte transversal apresentou 0,18 de volume aparente, já no outro produto cujo corte foi

longitudinal este valor foi de 0,23. Como o V/V_0 tem relação direta com o encolhimento (pela equação 14), pode-se dizer que o corte longitudinal pode ter proporcionado menor encolhimento do produto, em virtude da difusividade da água.

Na Figura 25 são apresentadas as amostras antes e depois do processo de secagem pelos dois tipos de corte.

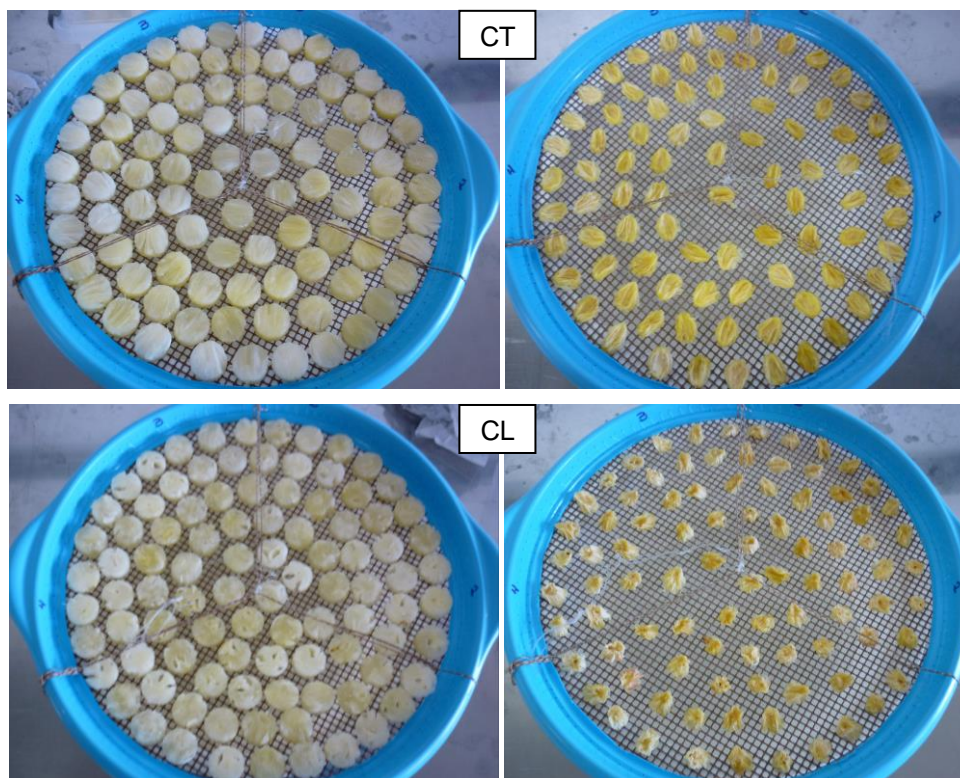


Figura 25 - Abacaxi *in natura* e seco pelos dois tipos de cortes: transversal e longitudinal

Observa-se diferença no encolhimento do produto obtido. Obteve-se em média 82 % de encolhimento para o corte transversal, isto é, na mesma direção das fibras e 77% quando o fruto *in natura* foi seccionado longitudinalmente, isto é, contrário às fibras, mostrando que o corte na mesma direção das fibras produz maior encolhimento em relação ao outro tipo de corte.

Lopes (2013), quando trabalhou em condições similares com a mesma cultivar utilizando o corte transversal obteve encolhimento também similar a este encontrado para o fruto com corte transversal. Já para o outro tipo de corte não foram encontrados trabalhos para realizar comparações e/ou constatações.

4.7 Análise dos pontos extremos e do ponto central do planejamento

Os resultados das análises físico-químicas feitas nas amostras de abacaxi *in natura* e seca estão apresentados na Tabela 19. O mineral sódio não foi detectado nas amostras analisadas, mostrando que este se encontra em quantidade muito reduzida, isto é, menor do que 3 mg/100g de amostra.

Tabela 19 - Análises físico-químicas de amostras *in natura* e do produto obtido pela secagem convectiva com aplicação de potência de micro-ondas variável

VARIÁVEIS INDEPENDENTES				VARIÁVEIS DEPENDENTES					
Condição Experimental				AAox (%/gms)		Potássio (mg/gms)		Cálcio (mg/gms)	
Pontos	PI (W)	PII (W)	T (°C)	<i>In natura</i> **	Seco	<i>In natura</i>	Seco	<i>In natura</i>	Seco
(-1,-1,-1)	180	0	40	0,999± 0,002	0,932± 0,006	13±1	13±1	8,7±0,7	6,2±0,3
(+1,+1,+1)	450	180	70	0,92± 0,01	0,83± 0,03	17±1	13,6±0,3	12,9±1,6	8,4±0,6
(0,0,0)	320	95	55	0,918± 0,009	0,874± 0,009	15,1±0,4	12±1	12,74±0,09	10,4±0,3

* A amostra de abacaxi *in natura* foi liofilizada para retirada de umidade, pois a água interfere de forma significativa neste tipo de análise.

**Condição do ponto central com corte longitudinal do fruto.

Percebe-se a degradação de compostos bioativos pela secagem, haja vista que no geral a atividade antioxidante no produto foi menor para as condições experimentais testadas (Tabela 19). O menor valor médio obtido foi na condição do ponto superior (+1, +1, +1). Isso pode ser em virtude das altas temperaturas atingidas pela amostra durante o processo de retirada de umidade.

Destaca-se o valor da atividade antioxidante do ponto inferior (-1, -1, -1), que diminuiu pouco no produto seco em relação ao material *in natura*, pois a secagem nesta condição foi com temperatura baixa (40°C) em relação às demais, reduzindo as perdas de compostos bioativos.

Para Hossain e Rahman (2011) a quantidade de compostos fenólicos está diretamente ligada com a atividade antioxidante, isto é, um dos grupos responsáveis pela atividade inibidora de sequestro de radicais livres.

Vale destacar que a atividade antioxidante da polpa *in natura* foi realizada após o processo de liofilização, isto é, a polpa atingiu 3 % de umidade. Enquanto a polpa seca por meio do processo utilizado neste trabalho atingiu cerca de 15% de umidade. Ambos os processos degradam a matéria-prima, entretanto, a liofilização degrada em menor proporção quando comparada com o processo que envolve energia térmica, pois através da liofilização ocorrem mudanças estruturais e encolhimento mínimo (FELLOWS, 2006).

Os minerais exibem efeitos significativos, devido a interações com outros componentes alimentares, embora em baixas concentrações. Verifica-se por meio da Tabela 19, a permanência do mineral cálcio na condição do ponto inferior e a diminuição de potássio e cálcio nas amostras secas em relação às frescas das demais condições testadas, indicando perdas de minerais juntamente com a saída de água durante o processo de secagem, haja vista que os elementos, em sua maioria, são encontrados como espécies iônicas livres solúveis em água e apresentam baixa afinidade para a maioria dos ligantes, podendo ainda estar presentes como complexos, quelatos ou ânions oxigenados (FELLOWS, 2006).

4.8 Aceitação sensorial

4.8.1 Perfil dos avaliadores

Por ocasião do recrutamento, todos os participantes de ambos os testes sensoriais expressaram gostar moderadamente a extremamente de abacaxi *in natura*, com maior proporção de respostas na categoria “gosto muito”: 51 %, no primeiro teste, e 45 %, no segundo (Figura 26c). Portanto, pode-se inferir que os avaliadores eram consumidores potenciais de produtos de abacaxi.

Houve também predominância, em ambos os testes sensoriais, de avaliadores da faixa etária de 25 a 36 anos, de 53 % no primeiro teste e 57 % no segundo, bem como de indivíduos do sexo feminino (62 %), no primeiro teste, e de (57 %), no segundo (Figura 26a; 26b).

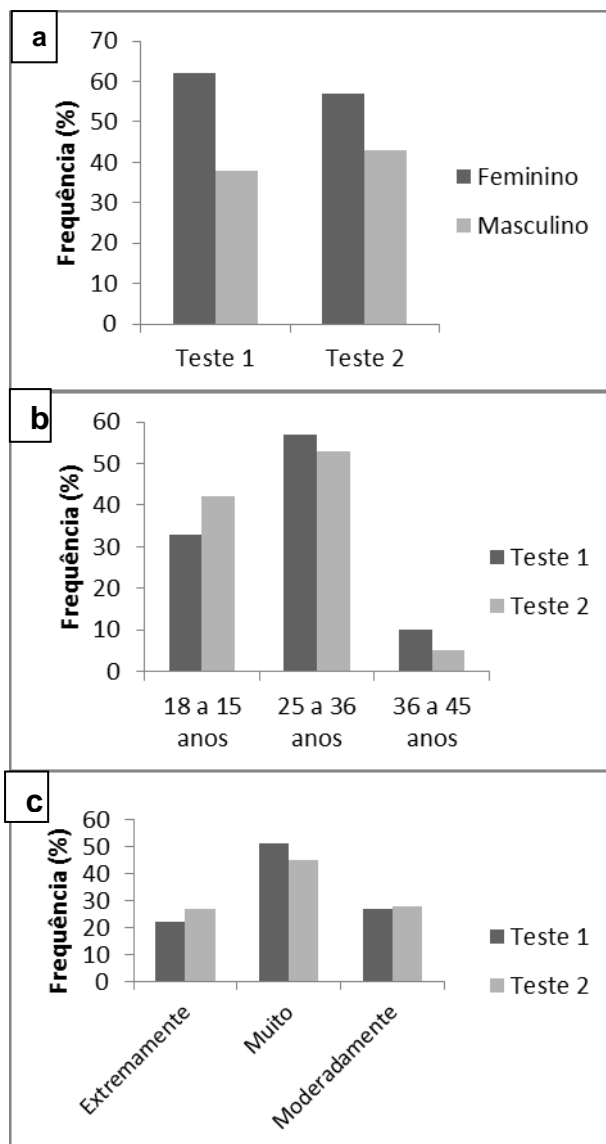


Figura 26 - Perfil dos avaliadores participantes dos testes sensoriais. a) Sexo; b) Idade; c) Atitude dos avaliadores em relação a abacaxi *in natura*.

4.8.2 Aceitação global

As médias de aceitação global dos produtos secos obtidos pelas 11 condições experimentais do planejamento estão apresentadas na Tabela 20.

Tabela 20 - Média da aceitação global das 11 condições experimentais do planejamento de abacaxi seco. (n = 60).

Ensaio	VARIÁVEIS INDEPENDENTES						VARIÁVEL DEPENDENTE
	Codificadas			Reais			Média de aceitação Global ¹
	PI	PII	T	PI (W)	PII (W)	T (°C)	
01	-1	-1	-1	180	0	40	6,9 abc
02	+1	-1	-1	450	0	40	7,4 a
03	-1	+1	-1	180	180	40	5,0 d
04	+1	+1	-1	450	180	40	6,8 abc
05	-1	-1	+1	180	0	70	6,8 abc
06	+1	-1	+1	450	0	70	7,0 ab
07	-1	+1	+1	180	180	70	7,1 ab
08	+1	+1	+1	450	180	70	6,8 abc
09	0	0	0	320	95	55	6,3 bc
10	0	0	0	320	95	55	6,8 abc
11	0	0	0	320	95	55	6,1 c

PI: Potência de micro-ondas aplicadas no período I; PII: Potência de micro-ondas aplicadas no período II; T: Temperatura do ar de secagem;¹Médias com letras iguais numa mesma coluna não diferem significativamente ($p \leq 0,05$), pelo teste de Tukey; 1: Desgostei extremamente; 2: Desgostei muito; 3: Desgostei moderadamente; 4: Desgostei ligeiramente; 5: Nem gostei / nem desgostei; 6: Gostei ligeiramente; 7: Gostei moderadamente; 8: Gostei muito; 9: Gostei extremamente.

Observa-se, na Tabela 20, que as amostras do Ensaio 3 (180 W em ambos os períodos e $T = 40^{\circ}\text{C}$) apresentaram média de aceitação correspondente à categoria de indiferença – “nem gostei / nem desgostei”. Com exceção deste Ensaio, os valores médios obtidos pelas amostras de todos os ensaios de abacaxi seco localizaram-se na região de aceitação da escala hedônica – entre “gostei ligeiramente” e “gostei muito”. Destacam-se os Ensaios 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, cujas médias aproximaram-se da categoria “gostei moderadamente”, normalmente

considerada boa aceitação em estudos com consumidores, sendo a maior média atribuída ao Ensaio 2 ($T = 40^{\circ}\text{C}$; $PI = 450\text{ W}$ e $PII = 0\text{ W}$).

Os efeitos das variáveis de processo, bem como de suas interações, sobre a aceitação global dos consumidores potenciais de abacaxi seco podem ser observados na Tabela 21. Verifica-se que não houve efeito significativo de nenhuma das variáveis de processo bem como de suas interações sobre a aceitação global ao nível de confiabilidade adotado ($p \leq 0,10$). Desta forma, não há modelo linear válido que explique os dados obtidos neste estudo da aceitação global por consumidores em função das variáveis de processo, quais sejam temperatura do ar de secagem e potências de micro-ondas nos períodos I e II.

Tabela 21 - Análise dos efeitos das variáveis independentes sobre a aceitação global dos produtos de abacaxi seco obtidos pelas condições do planejamento

Variável dependente: aceitação global				
Fator	Efeito ¹	DP	t (2)	P
Média	6,6545	0,1087	61,2129	0,0002
1 Potência de MO no Período I	0,50	0,25	1,96	0,19
2 Potência de MO no Período II	-0,60	0,25	-2,35	0,14
3 Temperatura do ar de secagem	0,40	0,25	1,57	0,26
Interação 1 e 2	0,20	0,25	0,78	0,51
Interação 1 e 3	-0,60	0,25	-2,35	0,14
Interação 2 e 3	0,70	0,25	2,75	0,11

MO: Micro-ondas; ¹Efeito significativo se $p \leq 0,10$. p: nível de significância.

Assim, para melhor exploração dos dados obtidos e verificação de possíveis diferenças significativas entre os tratamentos a respeito da aceitação global, aplicou-se análise da variância (ANOVA; $p \leq 0,05$) e o teste de comparação de médias de Tukey, cujos resultados estão expressos na Tabela 20.

Por meio dessas análises, verificou-se que as médias das amostras segmentaram-se em, no mínimo, quatro grupos (Tabela 20). Em um primeiro segmento, a média do Ensaio 2 ($T = 40^{\circ}\text{C}$; $PI = 450\text{ W}$ e $PII = 0\text{ W}$) foi a de maior valor, entre “gostei moderadamente” e “gostei muito”, e que diferiu significativamente das médias dos Ensaios 3 ($T = 40^{\circ}\text{C}$; $PI = PII = 180\text{ W}$), 9 e 11 (repetições do ponto central, com $T = 55^{\circ}\text{C}$; $PI = 320\text{ W}$ e $PII = 95\text{ W}$). Em um

segundo segmento, observa-se a média do Ensaio 3, significativamente a menor dentre todas e a única que não obteve notas localizadas na região de aceitação da escala hedônica, com valor correspondente à categoria de indiferença (“nem gostei / nem desgostei”). Em um terceiro segmento, encontra-se a média do Ensaio 11, correspondente a uma das repetições das condições do ponto central, a segunda menor média ($p \leq 0,05$), próxima a “gostei ligeiramente”. Composto um quarto segmento de médias, podem ser agrupadas aquelas associadas aos Ensaios 1, 4, 5, 6, 7, 8 e 10, com valores próximos a “gostei moderadamente”, que não diferiram significativamente da maior média (Ensaio 2) e, sim, da menor (Ensaio 3). Por isso, os abacaxis secos desses Ensaios apresentaram médias de aceitação intermediárias, mas que podem ser considerados, assim como os do Ensaio 2, produtos bem aceitos pelos consumidores potenciais. Além disso, observa-se que nem todas as médias das amostras desse grupo de amostras foram similares umas às outras ou diferiram da média das amostras dos Ensaios 9 ou 11.

Apesar de as amostras dos Ensaios 9, 10 e 11, que são repetições do ponto central, terem sido obtidas a partir das mesmas condições de processo de secagem ($T = 55^{\circ}\text{C}$; $PI = 320\text{ W}$ e $PII = 95\text{ W}$), suas médias de aceitação divergiram na segmentação em relação às médias dos demais Ensaios do experimento. Mesmo assim, deve-se enfatizar que esses três ensaios não diferiram entre si, indicando reprodutibilidade do processo e da avaliação hedônica. Quando analisadas as distribuições de frequência das respostas dos consumidores a esses três Ensaios (Figura 27), é evidente que a divergência entre elas consiste no fato de que 90 % das avaliações às amostras do Ensaio 10 estiveram concentradas na região de aceitação da escala hedônica – entre “gostei ligeiramente” e “gostei extremamente” –, enquanto entre 71 % e 77 % das avaliações dos Ensaios 9 e 11 nessa região. Essa diferença na distribuição acentua-se ao se verificar que 68 % do total dos consumidores responderam gostar em grau igual ou superior a moderadamente das amostras do Ensaio 10. Além das possíveis causas da variabilidade observada entre as respostas às amostras das três repetições do ponto central estarem associadas ao processo, à subjetividade ou às falhas nas avaliações sensoriais, pode também ser decorrente da variabilidade intrínseca dos frutos, muito comum entre unidades de uma mesma cultivar, conforme comentado por CHITARRA & CHITARRA (2005).

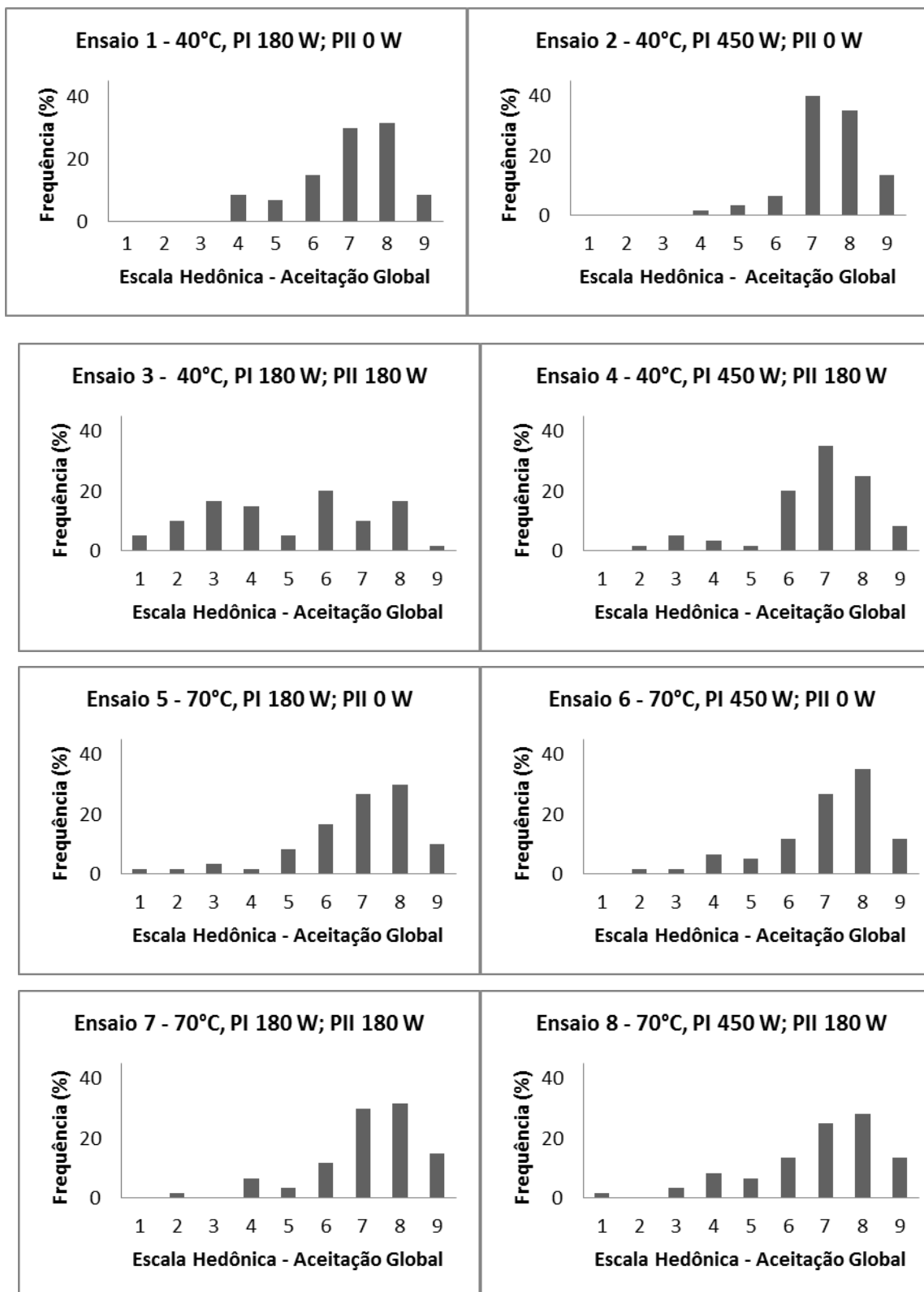


Figura 27 – Distribuição de frequência das respostas dos avaliadores (n = 60) para a aceitação global das amostras de cada uma das 11 condições do planejamento. Escala hedônica: 1: Desgostei extremamente; 2: Desgostei muito; 3: Desgostei moderadamente; 4: Desgostei ligeiramente; 5: Nem gostei / nem desgostei; 6: Gostei ligeiramente; 7: Gostei moderadamente; 8: Gostei muito; 9: Gostei extremamente

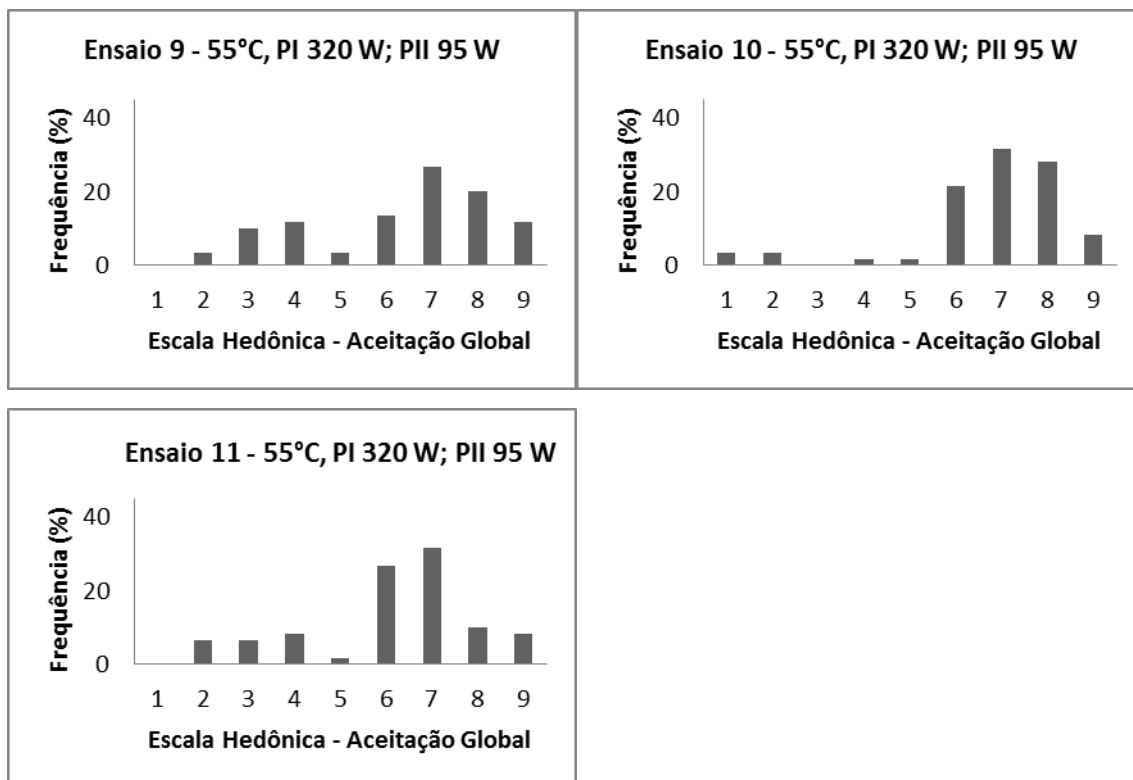


Figura 27, Cont..

Enquanto as amostras do Ensaio 3 apresentaram respostas distribuídas mais uniformemente por toda a escala hedônica, com quase 47 % na região de rejeição (“desgostei...”), as respostas dos avaliadores aos demais Ensaio concentraram-se na região de aceitação da escala, em proporção superior a 70 % (Figura 27).

Embora as estimativas dos efeitos das variáveis independentes sobre a aceitação dos produtos secos não tenham sido estatisticamente significativas, quando foram comparadas as distribuições de frequência das respostas de aceitação dos avaliadores aos Ensaio 3 e 7 (Figura 27), é possível observar que, à elevação da temperatura de secagem do nível -1 do planejamento (40°C) para o nível +1 (70°C), mantendo-se constante a potência de micro-ondas nos períodos I e II a 180 W, a maioria das respostas (88,3 %) encontra-se na região de aceitação da escala hedônica. Portanto, os consumidores gostaram mais dos abacaxis secos à temperatura máxima testada neste estudo quando foi aplicada potência constante de 180 W até o final do processo, do que daqueles secos à temperatura mínima.

Gonçalves & Blume (2008) e Quintero (2007) obtiveram boa média de aceitação (de 7,5 a 7,9), entre “gostei moderadamente” e “gostei muito” na escala hedônica de 9 pontos, para abacaxi seco. Nos dois trabalhos citados, foi utilizada a secagem convectiva, tendo a desidratação osmótica como pré-tratamento, resultando em produtos com umidades próximas a 15% e similares às dos produtos obtidos neste trabalho. A temperatura do ar utilizada foi de 65 °C para o primeiro estudo citado, e 60°C para o segundo.

Não foram encontrados na literatura científica estudos envolvendo avaliação sensorial de abacaxi seco obtido por secagem convectiva combinada com energia de micro-ondas.

4.8.3 Aceitação da cor, do aroma, do sabor e da textura

As médias de aceitação sensorial dos atributos cor, aroma, sabor e textura dos abacaxis estão apresentadas na Tabela 22:

Tabela 22 - Média da aceitação dos atributos cor, aroma, sabor e textura; de abacaxi seco obtido por 4 tratamentos (n = 60).

VARIÁVEIS INDEPENDENTES							VARIÁVEIS DEPENDENTES			
Corte	Codificadas			Reais			Média de aceitação ¹			
	PI	PII	T	PI (W)	PII (W)	T (°C)	Cor	Aroma	Sabor	Textura
CT	-1	-1	-1	180	0	40	6,3 b	6,8 a	6,5 b	7,0 a
CT	+1	+1	+1	450	180	70	7,4 a	7,2 a	7,2 a	7,2 a
CT	0	0	0	320	95	55	6,9 ab	6,8 a	6,1 b	6,7 a
CL	0	0	0	320	95	55	6,3 b	6,8 a	6,8 ab	6,7 a

¹Médias com letras iguais em uma mesma coluna não diferem significativamente ($p \leq 0,05$), pelo teste de Tukey; 1: Desgostei extremamente; 2: Desgostei muito; 3: Desgostei moderadamente; 4: Desgostei ligeiramente; 5: Nem gostei / nem desgostei; 6: Gostei ligeiramente; 7: Gostei moderadamente; 8: Gostei muito; 9: Gostei extremamente

De forma geral, os potenciais consumidores dos abacaxis secos gostaram dos produtos, haja vista que as médias de aceitação dos atributos hedônicos

avaliados corresponderam ao intervalo da escala hedônica compreendido entre “gostei ligeiramente” a “gostei muito” (Tabela 22).

Segundo Fellows (2006), dentre as principais alterações ocorridas durante processos térmicos em alimentos estão as modificações na textura e a perda de aroma. No entanto, neste experimento, a ocorrência de tais alterações nos produtos secos não foi percebida pelos avaliadores, uma vez que não houve diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre as médias dos tratamentos (Tabela 22). Nestes, foram observados valores médios de aceitação próximos a “gostei moderadamente”, indicando que todos os quatro tratamentos avaliados foram bem aceitos por seus potenciais consumidores com relação às características de aroma e textura dos produtos.

Fellows (2006) também menciona que processos de secagem rápidos em que são aplicadas elevadas temperaturas resultam em maior alteração na textura do produto final do que utilizando baixas temperaturas. Neste sentido, verifica-se que o uso das potências de micro-ondas pode ter auxiliado a condição do ponto superior (+1, +1, +1 / $T = 70^{\circ}\text{C}$, $PI = 450\text{ W}$ e $PII = 180\text{ W}$), no que se refere à textura, pois em função do tipo de aquecimento volumétrico propicia um produto mais poroso e de boa textura quando comparado com o processo de secagem convencional (MASKAN, 2001) (Tabela 22).

Ainda referente ao atributo textura, verifica-se que apesar da diferença visual e estatística no encolhimento entre os produtos de mesma condição (0, 0, 0 - porém com corte diferenciado), não foi constatada diferença sensorial na textura, conforme mostrado na Tabela 22.

Já com relação à cor e ao sabor dos abacaxis secos, as amostras do tratamento obtido a partir das condições de temperatura e potência de secagem mais intensas ($T = 40^{\circ}\text{C}$, $PI = 450\text{ W}$ e $PII = 180\text{ W}$) foram significativamente mais aceitas pelos avaliadores, apresentando média de aceitação correspondente superior a “gostei moderadamente”.

Com relação ao aroma, sabe-se que em um processo de secagem ocorre evaporação da água e juntamente à esta, também ocorre a perda de compostos voláteis presentes no alimento. Mas, novamente, pela análise sensorial realizada no produto seco de abacaxi, verificou-se média hedônica maior para a condição relacionada com o nível superior em todos os fatores. Há relatos que alimentos que possuem em sua composição carotenoides, como é o caso do abacaxi, após

a secagem, podem emitir aroma de “violetas” em função da oxidação de compostos como os carotenoides (ROLLS & PORTER,1973 apud FELLOWS, 2006).

Nos produtos obtidos pelos quatro tratamentos houve reações que possibilitaram a cor amarela intensa (podendo ser visualizado na Figura 23c), isto provavelmente foi causado em função da caramelização de açúcares bem como outras reações como a não enzimáticas. No entanto, na condição do ponto superior (+1, +1, +1) foi a que agradou de forma mais significativa expressa pela maior média de aceitação para o atributo cor.

Nas Figuras 28 e 29 estão apresentadas a distribuição de notas para cada um dos quatro atributos hedônicos avaliados dos quatro tratamentos selecionados.

Chama-se atenção para a amostra da condição do ponto central (0, 0, 0 - com corte longitudinal), pois o atributo aroma não recebeu notas igual ou inferior a 4 correspondentes à região da escala caracterizada pelo “desgostei...”, demonstrando ser uma boa condição para obtenção de um produto que não elimina com tanta intensidade os compostos aromáticos pois não desagradou os avaliadores não treinados (Figura 29h).

A amostra da condição do ponto superior (+1, +1, +1) (Figura 29c), isto pode ter ocorrido porque nesta condição o produto aparentemente possui uma textura mais dura em relação às demais em virtude do maior e rápido aquecimento no qual a amostra é submetida durante todo o processo. Ainda fazendo relação com esta amostra (ponto superior), verifica-se na Figura 28 (a, c, e, g), a concentração das notas na parte de aceitação da escala hedônica significando que a amostra degustada foi atrativa aos avaliadores quanto ao atributo cor.

Fazendo comparação entre a média de aceitação de cor dessa amostra com a análise colorimétrica realizada Figura 23 – a, b, c, d, verifica-se que houve no abacaxi seco desta condição, maior diferença de cor (ΔE), amarelo menos acentuado (relativo à coordenada b) e vermelho mais acentuado (coordenada a), em relação à amostra *in natura*.

Para a condição do ponto central (0, 0, 0 / corte longitudinal) verificou-se maior percentual de rejeição (21,7%) com relação à cor, isto pode estar relacionado com o tipo de encolhimento possibilitado não somente pelas variáveis

independentes de processo como o tipo de corte utilizado. Apresentando um produto com poucas áreas amareladas da polpa e mais partes esbranquiçadas em relação ao corte transversal (Figura 25).

No que diz respeito ao atributo aroma, as amostras das condições do ponto inferior (-1, -1, -1) e do ponto central (0, 0, 0 / corte transversal) apresentaram mínimo ou nenhum índice de rejeição da escala (1,7 e 0 %) respectivamente. Justificativas para tal efeito, podem estar ligadas a temperaturas amenas no caso do ponto inferior, porém do ponto central, não foram encontradas sugestões para tal comportamento (Figura 29 / b, d, f, h).

No geral, para a condição do ponto central cuja principal diferença é no tipo de corte utilizado no fruto *in natura*, verificou-se que o corte transversal mostrou-se superior ao corte longitudinal pela análise sensorial.

As distribuições das respostas relacionadas ao sabor mostram-se semelhantes para as condições trabalhadas, no entanto, as amostras 3 e 4 apresentam maiores percentuais de rejeição (26, 7 e 21,7%), isto pode ter ocorrido em virtude das condições de processo utilizadas que favoreceram sabores não muito agradáveis ao paladar do avaliador sensorial.

Como a média hedônica geral do produto para cada um dos atributos analisados (cor, aroma, sabor e textura) foi de 7, que relaciona-se com gostar moderadamente, pode-se sugerir o produto obtido para consumo direto e/ou para uso como ingrediente na fabricação de cereais matinais, barras de cereais, “granolas” e outros. Além de reduzir as perdas do fruto *in natura* e utilizar o excedente de produção, a secagem atende as exigências de praticidade no consumo.

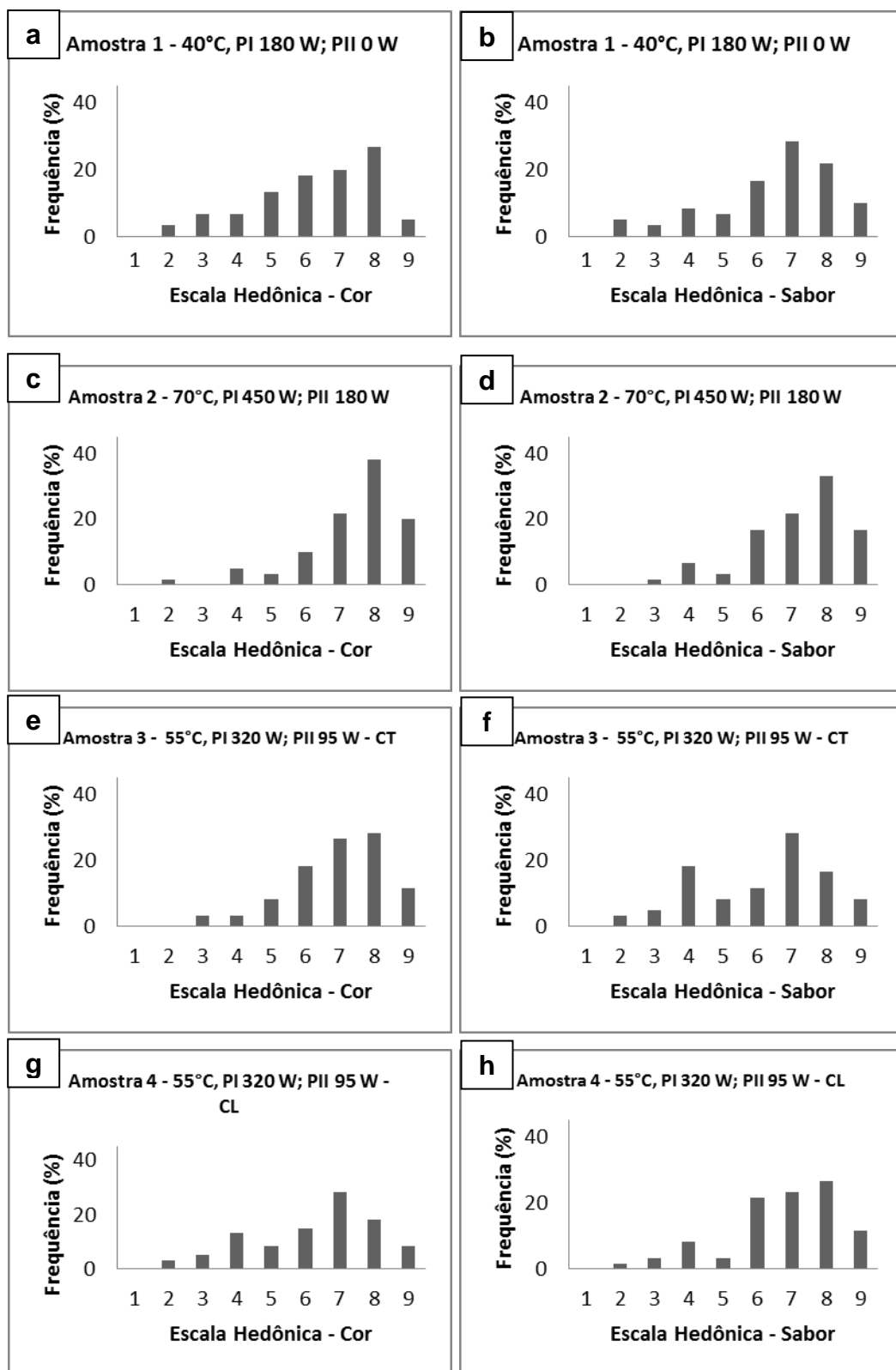


Figura 28 - Distribuição das notas hedônicas, em percentagem, para os atributos cor (a, c, e, g), e sabor (b, d, f, h) de amostras analisadas sensorialmente dos pontos: inferior (-1,-1,-1) 40°C, PI 180 W, PII 0 W; superior (+1, +1 +1) 70°C, PI 450 W, PII 180 W; ponto central com corte transversal (0, 0, 0) 55°C, PI 320 W, PII 95 W; e ponto central com corte longitudinal (0, 0, 0) 55°C, PI 320 W, PII 95 W.

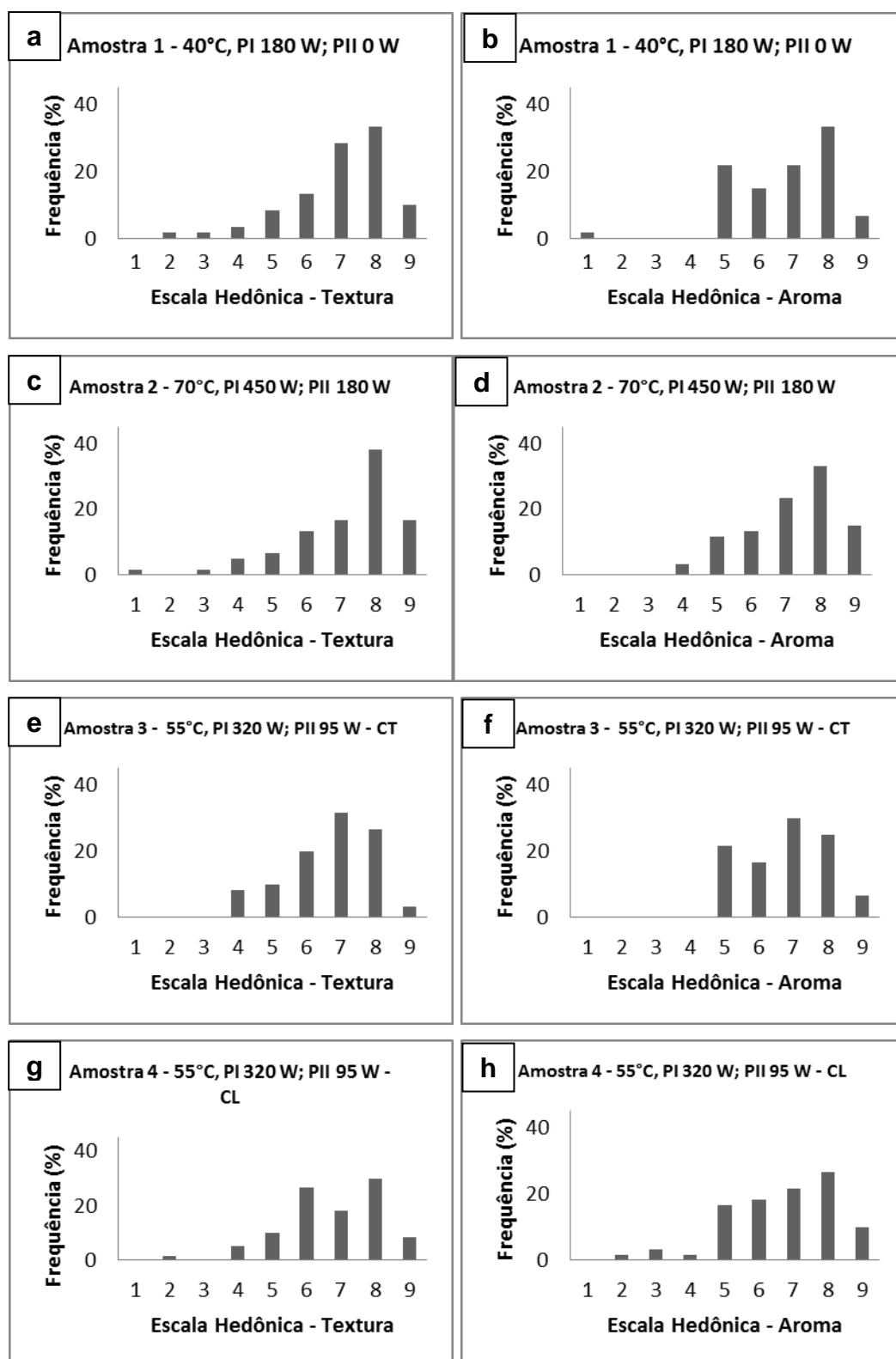


Figura 29 - Distribuição das notas hedônicas, em porcentagem, para os atributos textura (a, c, e, g) e aroma (b, d, f, h) de amostras analisadas sensorialmente dos pontos: inferior (-1,-1,-1) 40°C, PI 180 W, PII 0 W; superior (+1, +1 +1) 70°C, PI 450 W, PII 180 W; ponto central com corte transversal (0, 0, 0) 55°C, PI 320 W, PII 95 W; e ponto central com corte longitudinal (0, 0, 0) 55°C, PI 320 W, PII 95 W.

5. RESUMO e CONCLUSÕES

O uso da energia de micro-ondas acelera a cinética de secagem. A potência de micro-ondas aplicada durante o período II foi a variável de processo que apresentou maior efeito no tempo de processo. E verificou-se também maior efeito das potências de micro-ondas quando se utilizou menor temperatura do ar de secagem.

A aplicação de potências maiores no primeiro momento seguido de menores é possível obter um produto de boa qualidade. Haja vista que em algumas condições nas quais foram utilizadas potências de 450 W e 180 W no período I e II respectivamente, observou-se carbonização de no máximo 20%.

As curvas ajustaram-se bem ao modelo de Page apresentando um coeficiente de correlação que explica 99% das curvas de secagem resultantes.

Não houve efeito estatisticamente significativo da temperatura do ar de secagem e das potências aplicadas no período I e II sobre a atividade de água, no entanto, a média desta pode ser considerada de segurança moderada, haja vista que a média foi de 0,61.

O maior efeito significativo causado na capacidade de reidratação foi das potências de micro-ondas aplicadas no primeiro período de processo, todavia, a média desse efeito foi muito pequena em relação à referida resposta.

As variáveis independentes do processo não tiveram efeitos sobre a variável V/V_0 que está diretamente relacionada com o encolhimento, este por sua

vez foi maior nas condições cuja potência de micro-ondas foi mais elevada no período I, 450 W.

Com relação à cor obtida no material seco, verificou-se coloração mais próxima do vermelho, amarelo mais intenso e menos esbranquiçada em relação à matéria-prima utilizada.

No que diz respeito ao tipo de corte do fruto observou-se encolhimento maior quando utilizou-se o corte transversal no fruto (82%) diferenciando-se de forma significativa do outro tipo de corte ao nível de 90% de confiabilidade pelo teste Tukey. Em se tratando da cinética de secagem, não houve efeito significativo entre os cortes.

Como esperado, a atividade antioxidante do produto seco apresentou decréscimo, haja vista que é um processo no qual as amostras atingem temperaturas altas favorecendo reações enzimáticas e não enzimáticas, degradando compostos entre eles os considerados bioativos que sequestram de radicais livres.

Em geral, a quantidade dos minerais cálcio e potássio foi menor no produto seco obtido, haja vista que durante os procedimentos como o de corte ocorre a perda de suco, e juntamente com este, esses referidos minerais são perdidos. Com relação ao mineral sódio, não foi quantificado demonstrando concentração menor que 3mg/100g amostra.

Na aceitação global não foi verificado efeito pelas variáveis do processo. Obtendo média hedônica 7 significando que os avaliadores gostaram ligeiramente do produto seco. E através do teste Tukey ao nível de 95 % de confiabilidade as médias hedônicas dos ensaios planejados diferiram-se em 4 níveis.

A análise sensorial dos atributos cor, aroma, sabor e textura, aplicada apenas para 4 condições de secagem (ponto inferior, superior, central, e central com corte diferente), diferiram-se pelo teste tukey em apenas dois níveis nos atributos cor e sabor. Para os atributos textura e cor não houve diferença entre as médias resultantes. No geral, a média obtida em cada um dos 4 atributos foi 7 correspondente ao gostei ligeiramente do produto seco de abacaxi.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALI, S. S., KASOJU, N., LUTHRA, A., SINGH, A., SHARANABASAVA, H., SAHU, A., BORA, U. (2008) Indian medicinal herbs as sources of antioxidants. *Food Research International* 41:1–15.
- AL-HARAHSEH, M.; MUHTASEBB, A. H. A.; MAGEEC, T. R. A. (2009) Microwave drying kinetics of tomato pomace: Effect of osmotic dehydration. *Chemical Engineering and Processing* 48:524–531.
- AMES, B. N.; GOLD, L. S. (1991) Endogenous mutagens and the causes of aging and cancer. *Mutation Research*, 250: 3-16.
- AOAC (1998) *Official Methods of Analysis*, Association of Official Analytical Chemists, Washington.
- AZEREDO, H. M. C.; JARDINE, J. G. (2000) Desidratação osmótica de abacaxi, aplicada à tecnologia de métodos combinados. *Ciência e Tecnologia de Alimentos- Campinas*. Vol. 20 n. 1.
- BARROS NETO, B.; SCARMINIO, L. S.; BRUNS, R. E. (2003) *Como fazer experimentos: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria*. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, P.401.
- BASTOS, D. H. M.; ROGERO, M. M.; ARÊAS, J. A. G. (2009) Mecanismos de ação de compostos bioativos dos alimentos no contexto de processos inflamatórios relacionados à obesidade. *Arq. Bras Endocrinol Metab.* V 53 N. 5.

- BERILLI, S. S.; ALMEIDA, S. B.; CARVALHO, A. J. C.; FREITAS, S. J.; BERILLI, A. P. C. G.; SANTOS, P. C. (2011) Avaliação sensorial dos frutos de cultivares de abacaxi para consumo *in natura*. Revista Brasileira de Fruticultura. Vol. 33 N.
- BOBBIO, P. A.; BOBBIO, F. O. (1995) Química do processamento de alimentos. 2 ed. São Paulo: Varela.
- BOTHA, G. E.; OLIVEIRA; J. C.; AHRNÉ, L.(2012) Microwave assisted air drying of osmotically treated pineapple with variable power programmes. Journal of Food Engineering. 304 - 311p.
- BRAND-WILLIAMS, W.; CUVÉLIER, M. E.; BERSET, C. (1995) Use of a Free Radical Method to Evaluate Antioxidant Activity. Lebensm.-Wiss. u.-Technol., 28.25-30 .
- BRASIL, Ministério da Saúde (2012) Resolução 466/12 do Conselho Nacional de Saúde/MS Sobre Diretrizes e Normas Regulamentadoras de Pesquisa envolvendo seres humanos. Disponível em:<<http://conselho.saude.gov.br/resolucoes/2012/Reso466.pdf>> 02/12/2014.
- CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. D. B. (2005) Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio. 2. ed. Lavras: UFLA. P.783.
- COCHRAN, W. G.; COX, G. M. (1957). *Experimental designs*. 2 ed. New York: JOHN WILEY AND SONS.
- CONTRERAS, C.; MARTIN-ESPARZA, M. E.; CHIRALT, A.; MARTINEZ-NAVARRETE, N. (2008) Influence of microwave application on convective drying: Effects on drying kinetics, and optical and mechanical properties of apple and strawberry. Journal of Food Engineering. 88 p.55–64.
- CORTELLINO, G.; PANI, P.; TORREGGIANI, D. (2011) Crispy air-dried pineapple rings: optimization of processing parameters Procedia Food Science 1. p1324 – 1330.
- CORDENUNSI, B. et al. (2010) Carbohydrate composition of ripe pineapple (cv.perola) and the glycemic response in humans. Ciência e Tecnologia de Alimentos – Campinas. Vol 30. N 1.
- CRUZ, A. P. G.(2008) Avaliação do efeito da extração e da microfiltração do açaí sobre sua composição e atividade antioxidante (Mestrado em Bioquímica) – Rio de Janeiro – RJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, 88f.
- CUNHA, G. A. P.; CABRAL, J. R. S.; SOUZA, L. F. da S. (Org.). (1999) O abacaxizeiro: cultivo, agroindústria e economia. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia.

- DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. (2010) Química de alimentos de Fennema. 4 ed. Porto Alegre: Artmed.
- FALCÃO FILHO, R. S. (2011) *Produção de passas de talo de abacaxi pérola por processo osmo-solar*. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de alimentos. Universidade Federal da Paraíba. 178 p.
- FALLER, A. L. K.; FIALHO, E. (2009) Disponibilidade de polifenóis em frutas e hortaliças consumidas no Brasil. Saúde pública.
- FELLOWS, P. J.(2006) Tecnologia do Processamento de alimentos: princípios e práticas. 2ª Ed. Porto Alegre: Artmed.
- FERREIRA, V.L.P.; ALMEIDA, T.C.A.; PETTINELLI, M.L.C.V.; SILVA, M.A.A.P.; CHAVES, J.B.; BARBOSA, E.M.M. (2000) Análise Sensorial: Testes Discriminativos e Afetivos. Manual: Série Qualidade. Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos. Campinas, 127p.
- FAO - Food and Agriculture Organization of United Nations. Disponível em: <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>. Acesso em: 28 de março de 2014.
- FOUST, A. S.; WENZEL, L. A.; CLUMP, C. W. (2008) Princípios das operações unitárias. 2. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 670 p.
- GAVA, A. J.; SILVA, C. A. B. da; FRIAS, J. R. G. (2008) Tecnologia de alimentos: princípios e aplicações. São Paulo: Nobel.
- GOMES, F. P. (1990) Curso de estatística experimental. 13 ed. Piracicaba: Universidade de São Paulo, P.467.
- GOMES, J. C.; OLIVEIRA, G. F. (2011) Análises Físico-Químicas de Alimentos, ed. UFV, Viçosa.
- GOMES, R. P.(2007) Fruticultura Brasileira. São Paulo: Nobel.
- GONÇALVES, A. A.; BLUME, A. R. (2008) Efeito da desidratação osmótica como tratamento preliminar na secagem do abacaxi. Estudos Tecnológicos Vol. 4. N. 2. 124 – 143p.
- GONÇALVES, S. da S.; ANDRADE, J. S.; SOUZA, R. S. (2010) Influência do Branqueamento nas características físico químicas e sensoriais do abacaxi desidratado. Alimentos e Nutrição Araraquara. Vol. 21, N. 4.
- HASSAN, A.; OTHMAN, Z.; SIRIPHANICH, J. (2011) Pineapple (Ananas comosus L. Merr.). Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits. p. 194-217,218e.

- HOSSAIN, M. A; RAHMAN, S. M. M. (2011) Total phenolics, flavonoids and antioxidant activity of tropical fruit pineapple. *Food Research International*44: 672–676.
- HUNTERLAB. The world's true measure of color. Disponível em: <<http://www.hunterlab.com>> Acesso em: 28 de março de 2014.
- IAL. INSTITUTO ADOLFO LUTZ (2008) Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz: Métodos físicos e químicos para análises de alimentos. 4ª. ed. São Paulo.
- IBGE (2012a) Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. Disponível em <<http://sidra.ibge.gov.br>>.
- KONÉ K. Y.; DRUON C.; GNIMPIEBA E. Z.; DELMOTTE M.; DUQUENOY A.; LAGUERRE J. (2013) Power density control in microwave assisted air drying to improve quality of food. *Journal of Food Engineering* 119. p.750–757.
- KESERVANI, R. K.; SHARMA, A. K.; ARMAD, F.; BAIG, M. E. (2014) Nutraceutical and functional food regulations in the United States and Around the world. Chapter 19. 2 ed. p. 327-342.
- KUMAR, C.; KARIM, M. A.. JOADER, M. U. H. (2014) Intermittent drying of food products: a critical review. *Journal of food engineering*. N121, p.48-57.
- LEONG, L. P.; SHUI G. (2002) An investigation of antioxidant capacity of fruits in Singapore markets. *Food Chemistry* 76: 69–75p.
- LESCANO, C. A. A. (2009) Análise da secagem de resíduo de leite de soja “okara” em secadores de leite de jorro e de cilindro rotativo assistido a micro-ondas. Tese de doutorado em Engenharia Química, Faculdade de Engenharia Química. Universidade Estadual de Campinas – Unicamp.
- LI, Z.; RAGHAVAN, G.S.V.; ORSAT, V. (2010) Temperature and power control in microwave drying. *Journal of Food Engineering*. 97 p.478–483.
- LOPES, F. J. (2013) Estudo da aplicação de energia de micro-ondas na secagem de abacaxi. Dissertação de Mestrado em Produção Vegetal, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF.
- MALAFRONTI, L.; LAMBERTI, G. BARBA, A. A.; RAAHOLT, B.; HOLTZ, E. AHRNÉ, L. (2012) Combined convective and microwave assisted drying: Experiments and modeling. *Journal of Food Engineering*. 112 p. 304-312.
- MARANCA, G. (1978) Fruticultura comercial: mamão, goiaba e abacaxi. São Paulo: Nobel,

- MARSAIOLI JÚNIOR, A.; Berteli, M. N.; PEREIRA, N. R. (2009) Applications of microwave energy to postharvest technology of fruits and vegetables. *Stewart Postharvest Review* V. 5, p.1-5.
- MARSAIOLI, Jr. A. (2001) Tecnologia das microondas no processamento de alimentos. Apostila da aula da disciplina TP 331. Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP, Campinas, SP. 197p.
- MARSAIOLI, Jr. A. (1991) Desenvolvimento da tecnologia de aplicação de micro-ondas em secador cilíndrico-rotativo combinado com ar quente para produtos granulados. Tese de doutorado em Engenharia de Alimentos, Faculdade de Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas – Unicamp
- MASKAN, M. (2001) Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*.48: 177-182.
- MEILGAARD, M.; CIVILLE, G.V.; CARR, B.T. (2007) *Sensory Evaluation Techniques*. 4ª ed. Boca Raton: CRC Press.448 p.
- MENEZES, R. R.; SOUTO, P. M.; KIMINAMI, R. H. G. A. (2007) Sinterização de cerâmicas em microondas. Parte I: aspectos fundamentais. *Cerâmica [online]*., vol.53, n.325, pp. 1-10.
- NASCENTE, A.S.; DA COSTA, R.S.C.; Costa, J.N.M. (2005) Embrapa Rondônia. Cultivo do abacaxi em Rondônia. 2005. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Abacaxi/CultivodoAbacaxi/autores.htm>>. Acesso em dezembro de 2013.
- OKUNO, E. (2013) Efeitos biológicos das radiações ionizantes: acidente radiológico de Goiânia. *Estud. av. [online]*., vol.27, n.77, pp. 185-200.
- ORDÓÑEZ, J. A (Org.) (2005) Tecnologia de alimentos: componentes dos alimentos e processos. Vol1. Porto Alegre: Artmed.
- PARK, K.J.; ANTONIO, G.C.; OLIVEIRA, R.A.; PARK, K.J.B. (2007) Conceitos de processo e equipamentos de secagem. 121p. Campinas: Unicamp.
- PEREIRA, N ; MARSAIOLI JR, A ; AHRNE, L. (2007) Effect of microwave power, air velocity and temperature on the final drying of osmotically dehydrated bananas. *Journal of Food Engineering*, v. 81, p. 79-87.
- PEREIRA, N. R. (2007) Estudo da aplicação de microondas na secagem de bananas tratadas osmoticamente (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Campinas – RJ, Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, 165p.

- QUINTERO, A. C. S. (2007). Desidratação de abacaxi: modelos de secagem, avaliação de qualidade e feito de embalagem. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Viçosa. Curso de Ciência e Tecnologia de Alimentos. 78P.
- RAGHAVAN, G. S. V.; SILVEIRA, A. M. (2001) Shrinkage characteristics of strawberries osmotically dehydrated in combination with microwave drying. *Drying Technology*, v.19, n.2, p.405-414.
- RAMALHO, L. A. MASCHERONI, R. H. (2012) Quality evaluation of pineapple fruit during drying process. *Food and bioproducts processing*. n 90, p.275-283.
- RUFINO, M. S. M. (2008) Propriedades funcionais de frutas tropicais brasileiras não tradicionais. Tese de doutorado em Fitotecnia na Universidade Federal Rural do Semi-árido – Mossoró- RN. P. 237.
- SCAMAN, C.H.; DURANCE, T.D. (2005) Combined Microwave Vacuum-drying. In: SUN, D. (Editor) *Emerging technologies for food processing*. ISBN 978-0-12-676757-5. Elsevier Ltd..
- SCHUBERT, H.; REGIER, M. (2005) *The microwave processing of foods*. Elsevier.
- SENISE, J. T. (1985). A utilização de rádio-frequência e micro-ondas na eletrônica industrial. *Revista Brasileira de Engenharia Química*, 8(1): 51-61.
- SILVA, F. A. da S.; MAXIMO, G. J.; MARSAIOLI, Jr. A.; SILVA M. A. A. P. da. (2007) Impacto da secagem com microondas sobre o perfil sensorial de amêndoas de noz macadâmia. *Ciênc. Tecnol. Aliment. Campinas* 27(3): 553-561.
- SILVA, F.A.; MARSAIOLI, Jr A. (2004) Estudo comparativo da conservação de castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa*) seca por microondas e convencionalmente. *B. CEPPA*. V.22. N. 2. 387-404 p.
- SOUSA, W. A.; MARSAIOLI, Jr. A. (2004) Drying of bananas assisted by microwave energy. *Proceedings of the 14 th Internacional Drying Symposium*. vol. C. p. 1946-1954.
- SOUSA, C. M. M. et al. (2007) Fenóis totais e atividade antioxidante de cinco plantas medicinais. *Química Nova*. Vol. 30. N. 2, 351-355.
- TACO - TABELA BRASILEIRA DE COMPOSIÇÃO DE ALIMENTOS (2011) 4 Ed. Unicamp.
- TAVARES, J. S. (2010) Mudanças físico-químicas e sensoriais de farinhas de arroz submetidas à torração em micro-ondas (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Goiânia – GO, Universidade Federal de Goiás, Goiânia – UFGO, 219p.

- VANDIVAMBAL, R.; JAYAS, D. S. (2007) Changes in quality of microwave-treated agricultural products – a review. *Biosystems engineering*.1-16.
- YEN, G.; & DUHT, P. (1994) Scavenging Effect of Methanolic Extracts of Peanut Hulls on Free-Radical and Active-Oxygen Species. *J. Agric. Food Chem.* Vol 42, 629-632.
- ZAREIN, M.; SAMADI, S. H.; GHOBADIAN, B. (2013) Investigation of microwave dryer effect on energy efficiency during drying of apple slices. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*.

APÊNDICES

**APÊNDICE A - Teste para medir a potência nominal do forno micro-ondas
utilizado para o processo de secagem convectiva combinada com aplicação
de potência de micro-ondas variável**

TESTEIMPI 2–Litros “(Adaptado de “Buffler, C.1991. A guideline for power output measurement of consumer microwave ovens. Microwave World 10 (5):15.”)
IMPI=INTERNATIONAL MICROWAVE POWER INSTITUTE

O forno foi ligado na rede sob voltagem nominal com uma carga de água de 2000 ± 5 g, separados em dois béqueres com 1L de capacidade. A temperatura inicial da água estava a 20°C ± 2°C, medida no instante em que se colocava e os centralizava, tocando-se mutuamente, no interior do forno. O forno então foi ligado por exatos 2 minutos e 2 segundos. Os béqueres foram removidos do forno de forma singular e as temperaturas foram medidas e registradas. A potência nominal em watts (P (W)) foi calculada a partir da seguinte fórmula:

$$P(W) = \frac{70 \times \Delta T1(^{\circ}C) + \Delta T2(^{\circ}C)}{2}$$

Onde $\Delta T1$ e $\Delta T2$ são variações da temperatura (inicial e final) correspondentes a cada um dos béqueres. O forno foi pré-aquecido através do aquecimento dos 2L de água no nível máximo de potência por 5 minutos, enxugando as paredes com um pano úmido e frio. A água em cada béquer foi agitada, com bastão de plástico, antes de se medir as temperaturas inicial e final.

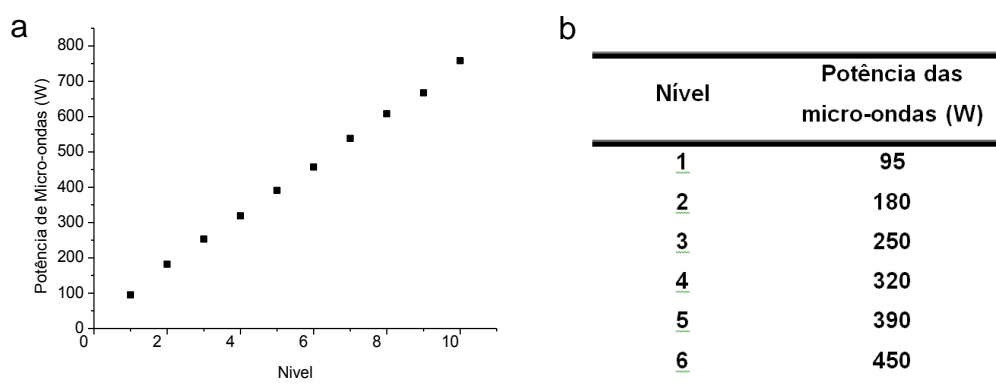


Figura 30: Potência nominal do forno micro-ondas calculada por meio do Testeimpi 2 litros adaptado por Buffler C. 1991, em dois formatos, (a) gráfico, (b) tabela.

APÊNDICE B - Avaliação sensorial de abacaxi seco – Ficha 1

Nome: _____ Data: ___/___/___ Sessão: _____

Por favor, avalie-a amostra codificada de **abacaxi seco do tipo “snack”**, e use a escala abaixo para indicar o quanto você gostou ou desgostou de cada uma.

AMOSTRA _____

- Gostei extremamente
- Gostei muito
- Gostei moderadamente
- Gostei ligeiramente
- Nem gostei/nem desgostei
- Desgostei ligeiramente
- Desgostei moderadamente
- Desgostei muito
- Desgostei extremamente

Comentários: _____

APÊNDICE C - Avaliação sensorial de abacaxi seco – Ficha 2

Nome: _____ Data: ___/___/___

Você está recebendo quatro amostras codificadas de **abacaxi seco do tipo "snack"**. Por favor, avalie-as, da esquerda para a direita, e use a escala abaixo para indicar o quanto você gostou ou desgostou com relação à **COR, SABOR, TEXTURA, e AROMA** de cada uma das amostras.

Código da Amostra _____	Cor	Sabor	Textura	Aroma
Gostei extremamente				
Gostei muito				
Gostei moderadamente				
Gostei ligeiramente				
Não gostei/ Nem desgostei				
Desgostei ligeiramente				
Desgostei moderadamente				
Desgostei muito				
Desgostei extremamente				

Código da Amostra _____	Cor	Sabor	Textura	Aroma
Gostei extremamente				
Gostei muito				
Gostei moderadamente				
Gostei ligeiramente				
Não gostei/ Nem desgostei				
Desgostei ligeiramente				
Desgostei moderadamente				
Desgostei muito				
Desgostei extremamente				

Código da Amostra _____	Cor	Sabor	Textura	Aroma
Gostei extremamente				
Gostei muito				
Gostei moderadamente				
Gostei ligeiramente				
Não gostei/ Nem desgostei				
Desgostei ligeiramente				
Desgostei moderadamente				
Desgostei muito				
Desgostei extremamente				

Código da Amostra _____	Cor	Sabor	Textura	Aroma
Gostei extremamente				
Gostei muito				
Gostei moderadamente				
Gostei ligeiramente				
Não gostei/ Nem desgostei				
Desgostei ligeiramente				
Desgostei moderadamente				
Desgostei muito				
Desgostei extremamente				

**APÊNDICE D - Termo de consentimento da Análise sensorial de abacaxi
seco**

Esta é uma avaliação sensorial (degustação) de abacaxi seco e corresponde a uma das etapas experimentais de uma pesquisa de Mestrado em Produção Vegetal, do Laboratório de Tecnologia de Alimentos, da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. O objetivo desta avaliação é conhecer a aceitação sensorial por consumidores potenciais do produto. Os abacaxis utilizados como matéria-prima foram adquiridos pelo comércio local, tendo sido cultivados segundo as Boas Práticas Agrícolas. A produção dos pedaços de abacaxi seco envolveu aplicação de secagem por micro-ondas. Os princípios de Boas Práticas de Fabricação e Manipulação de Alimentos estão sendo obedecidos em todas as etapas experimentais, garantindo a segurança dos avaliadores.

Será necessário que cada avaliador realize quatro avaliações, em períodos distintos de um mesmo dia ou em dias distintos de uma mesma semana. A identidade dos participantes será mantida em sigilo.

CASO VOCÊ NÃO POSSUA NENHUM IMPEDIMENTO DE SAÚDE para consumir esse produto e tenha interesse em PARTICIPAR VOLUNTARIAMENTE desta avaliação sensorial, por favor, preencha esta ficha e assine-a, expressando seu interesse e consentimento.

NOME: _____

SEXO: () Masculino () Feminino

FAIXA ETÁRIA: () < 18 anos () 26 a 35 anos () > 45 anos
() 18 a 25 anos () 36 a 45 anos

A fim de verificar se você tem algum impedimento de saúde para participação. Marque se você tem ou já teve algum dos seguintes problemas de saúde?

() Gastrite () Insuficiência Renal () Outro(s). Qual (is)?

Por favor, usando a escala abaixo, expresse o quanto você NORMALMENTE gosta ou desgosta de abacaxi.

- () Gosto extremamente
- () Gosto muito
- () Gosto moderadamente
- () Gosto ligeiramente
- () Nem gosto/ Nem desgosto
- () Desgosto ligeiramente
- () Desgosto moderadamente
- () Desgosto muito
- () Desgosto extremamente

CONTATOS: _____ Data: ____/____/____

LABORATÓRIO: _____ PRÉDIO: _____ RAMAL: _____

FONES: CEL () _____ RES.: () _____

E-MAIL: _____

Assinatura de consentimento:
