

**DESENVOLVIMENTO DE CHIPS DE MANDIOCA POR SECAGEM COM
AR QUENTE COMBINADO COM MICRO-ONDAS PARA DIETAS COM
FINS ESPECIAIS**

LETICIA TINOCO GONÇALVES

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY
RIBEIRO**

**CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
MARÇO DE 2016**

**DESENVOLVIMENTO DE CHIPS DE MANDIOCA POR SECAGEM
COM AR QUENTE COMBINADO COM MICRO-ONDAS PARA
DIETAS COM FINS ESPECIAIS**

LETICIA TINOCO GONÇALVES

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 Nádia Rosa Pereira

**CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
MARÇO DE 2016**

FICHA CATALOGRÁFICA

Preparada pela Biblioteca do **CCT / UENF**

116/2016

Gonçalves, Leticia Tinoco

Desenvolvimento de chips de mandioca por secagem com ar quente combinado com micro-ondas para dietas com fins especiais / Leticia Tinoco Gonçalves. – Campos dos Goytacazes, 2016.

154 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) -- Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. Laboratório de Tecnologia de Alimentos. Campos dos Goytacazes, 2016.

Orientador: Nádía Rosa Pereira.

Área de concentração: Tecnologia de alimentos e constituintes químicos vegetais.

Bibliografia: f. 114-119.

1. MANDIOCA 2. SECAGEM 3. MICRO-ONDAS 4. MINERAIS 5. AMIDO 6. GELATINIZAÇÃO 7. CHIPS I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. Laboratório de Tecnologia de Alimentos II. Título

CDD

633.682


DESENVOLVIMENTO DE CHIPS DE MANDIOCA POR SECAGEM
COM AR QUENTE COMBINADO COM MICRO-ONDAS PARA
DIETAS COM FINS ESPECIAIS


LETICIA TINOCO GONÇALVES

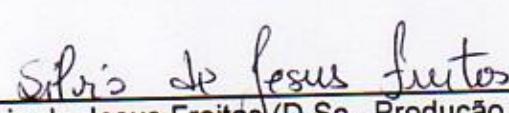
Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

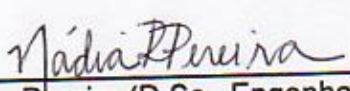
Aprovada em 30 de Março de 2016

Comissão Examinadora


Prof.^a Cristina Yoshie Takeiti (D.Sc., Tecnologia de Alimentos) – Embrapa
Agroindústria de Alimentos


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)

Dedico esta obra a minha família e ao Guilherme.

AGRADECIMENTOS

Se hoje comemoro uma conquista, esta se deve àqueles que estiveram ao meu lado nesta caminhada. Nada mais justo do que agradecer, ao chegar ao final desta trajetória, àqueles que participaram, torceram e ajudaram na elaboração deste trabalho de mestrado;

Primeiramente quero agradecer ao meu Deus, que me proporcionou a realização desse sonho. Que por ser meu pastor, nada me deixou faltar;

Aos meus pais, José Marcos e Nizete por todo carinho, suporte, confiança e dedicação à minha formação pessoal e profissional. Por me aconselharem nos momentos mais difíceis, com palavras de conforto. Pelas constantes vibrações perante minhas vitórias, pelo exemplo de superação e vontade de vencer;

Ao meu noivo, Guilherme, pela incansável paciência, por todos os seus conselhos e motivações, pelo cuidado constante e principalmente, pelo seu amor. Mesmo distante, se fez presente todos os dias, tornando o caminho cada vez mais brando e prazeroso. Sua torcida foi essencial!

Ao meu irmão, Diego, pelo companheirismo, incentivo e amizade. A todos os familiares e amigos, que rezaram e torceram por mim;

À professora e orientadora Nádía Rosa Pereira, muito obrigada por todo ensinamento, paciência, incentivo, acolhida e confiança. Guardarei com carinho a

lembrança e o orgulho de ter sido sua aluna. Este sonho se tornou realidade graças a você!

Aos meus amigos do Laboratório de Tecnologia de Alimentos, obrigada por tornarem esses dois anos mais agradáveis. Obrigada pela troca de experiências, discussões enriquecedoras, estudos na madrugada, conselhos, além das angústias e alegrias compartilhadas;

A todos os professores do Laboratório de Tecnologia de Alimentos, em especial a Selma Bergara Almeida, Karla Silva Ferreira e Victor Haber Perez, pela amizade, carinho e paciência nos momentos de transmitir conhecimentos. Pela disponibilização dos seus respectivos laboratórios, em todos os momentos solicitados. Por demonstrarem interesse na elaboração deste trabalho, tanto ajudando na escolha das metodologias e suas execuções como também nas discussões dos resultados. Muito obrigada!

Ao professor Sílvio de Jesus Freitas, obrigada pelas ideias, incentivos e apoio, e aos funcionários da Estação Experimental da UENF, pela ajuda nas coletas de mandioca;

Ao professor Walter Ruggeri Waltman, por ter me auxiliado na análise de microscopia eletrônica de varredura e por ter enriquecido meu trabalho com nossas discussões e trocas de conhecimento. Ao CNPEM que proporcionou a execução da análise de microscopia eletrônica de varredura ao aceitar e apoiar o projeto submetido;

A UENF, CAPES, FAPERJ, CNPQ, obrigada pelo suporte financeiro para execução deste projeto;

Àqueles que não foram citados, mas que direta ou indiretamente me ajudaram nesses anos, meus mais sinceros agradecimentos.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE FIGURAS	xiii
APÊNDICES.....	xvi
LISTA DE ABREVIACÕES.....	xvii
RESUMO.....	xix
ABSTRACT	xxii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISO DE LITERATURA.....	4
2.1 A cultura da mandioca.....	4
2.2 Doença Renal Crnica	8
2.3 Lixiviação de Minerais	10
2.4 Caractersticas e Estrutura do Amido.....	11
2.4.1 Gelatinização do amido.....	14
2.4.2 Retrogradação do amido.....	15
2.5 Secagem	16
2.6 Micro-ondas	19

2.7	Considerações Finais.....	21
3.	OBJETIVOS.....	22
3.1	Objetivo Geral:	22
3.2	Objetivos Específicos:.....	22
4.	TRABALHO	24
	RELAÇÃO ENTRE CONDIÇÕES DE COZIMENTO E ALTERAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS E ESTRUTURAIS DA MANDIOCA.....	24
	RESUMO	24
4.1	INTRODUÇÃO	25
4.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	27
4.2.1	Preparo da Matéria-Prima	27
4.2.2	Cozimento	28
4.2.3	Análises Físicas e Químicas	29
4.2.4	Absorção de água com o cozimento	30
4.2.5	Morfologia	31
4.2.6	Análise Estatística	31
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.3.1	Redução de Minerais	32
4.3.2	Umidade e Absorção de Água	40
4.3.3	Teores de amido, amilose, amilopectina, açúcares redutores, fibras, lipídios e morfologia.....	44
4.4	RESUMO E CONCLUSÕES	47
4.5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48
5.	TRABALHO	52
	OBTENÇÃO DE CHIPS DE MANDIOCA: EFEITO DO COZIMENTO NA SECAGEM POR AR QUENTE COMBINADA COM MICRO-ONDAS.....	52
	RESUMO	52

5.1	INTRODUÇÃO	53
5.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	55
5.2.1	Preparo da Matéria-Prima	55
5.2.2	Cozimento	56
5.2.3	Secagem	57
5.2.4	Análises Físicas e Químicas	60
5.2.5	Determinação da Absorção de Água.....	60
5.2.6	Volume aparente (Vap) e Encolhimento.....	60
5.2.7	Morfologia	61
5.2.8	Análise Sensorial.....	61
5.2.9	Análise Estatística	61
5.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	62
5.3.1	Caracterização das raízes utilizadas.....	62
5.3.2	Caracterização do produto <i>in natura</i> , cozido e seco	63
5.3.3	Avaliação da Cinética de Secagem.....	66
5.3.4	Encolhimento	70
5.3.5	Morfologia	71
5.4	Aceitação Sensorial.....	74
5.5	RESUMO E CONCLUSÕES	78
5.6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	78
6.	TRABALHO	83
	EFEITO DA VARIEDADE DE MANDIOCA NA SECAGEM CONVECTIVA COMBINADA À APLICAÇÃO DE MICRO-ONDAS.....	83
	RESUMO	83
6.1	INTRODUÇÃO	84
6.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	86
6.2.1	Preparo da Matéria-Prima	86

6.2.2	Cozimento	88
6.2.3	Secagem	88
6.2.4	Análises Físicas e Químicas	88
6.2.5	Determinação da Absorção de Água.....	88
6.2.6	Volume aparente (Vap) e Encolhimento.....	89
6.2.7	Morfologia	89
6.2.8	Análise sensorial	89
6.2.9	Análise Estatística	90
6.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	90
6.3.1	Caracterização das raízes utilizadas.....	90
6.3.2	Caracterização do produto <i>in natura</i> , cozido e seco	91
6.3.3	Avaliação da cinética de secagem	95
6.3.4	Encolhimento	99
6.3.5	Morfologia	100
6.3.6	Avaliação da aceitação sensorial	104
6.4	RESUMO E CONCLUSÕES	106
6.5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	107
7.	RESUMOS E CONCLUSÕES	112
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	114
9.	APÊNDICES	120

LISTA DE TABELAS

Tabela 2-1 Composição química nutricional e valor energético por 100 gramas da parte comestível da raiz de mandioca crua e cozida.....	7
Tabela 4-1 - Planejamento experimental fatorial 2^2 proposto.....	29
Tabela 4-2 - Concentração dos minerais (mg/100g) na raiz <i>in natura</i> e na raiz cozida de acordo com a temperatura (T - °C) e tempo (t – min) de cozimento	33
Tabela 4-3 - Redução (%) de minerais na mandioca de acordo com temperatura (T - °C) e tempo (t – min) de cozimento	35
Tabela 4-4 - Resultados de umidade (X) nas amostras <i>in natura</i> e cozidas e absorção de água (%) durante o cozimento.....	40
Tabela 4-5 - Teores de amido, amilose, amilopectina, açúcares redutores, fibra dietética e lipídios (g/100g de amostra em base úmida) de amostras de chips de mandioca <i>in natura</i> e cozidos e porcentagem de redução após cozimentos em relação aos teores da amostra <i>in natura</i>	45

Tabela 5-1 – Descrição das condições experimentais utilizadas no pré-tratamento	57
Tabela 5-2 Modelos matemáticos ajustados aos dados de secagem	59
Tabela 5-3 - Rendimento e perdas da mandioca da variedade IAC Espeto no processamento. Massa da raiz (g), perda no descasque (g), percentual de perda no descasque (%) e rendimento de chips obtidos (%) nos seis experimentos.....	62
Tabela 5-4 - Teores de umidade, amido, amilose, amilopectina, açúcares redutores (g/100g de amostras em base úmida), absorção de água durante os cozimentos, atividade de água e tempo total de secagem obtidos das amostras <i>in natura</i> , cozidas e secas	64
Tabela 5-5 Parâmetros dos modelos de Page, Henderson e Pabis, Lewis e Logarítmico, na secagem com ar quente combinada com micro-ondas de mandioca.....	69
Tabela 5-6 - Encolhimento volumétrico, na área e na espessura (%) nas secagens com diferentes condições de cozimento	70
Tabela 5-7 - Média da aceitação dos atributos aparência, impressão global, sabor e textura dos chips de mandioca obtidos por 3 pré-tratamentos (n = 66)	75
Tabela 6-1 - Rendimento e perdas de mandioca no processamento. Massa da raiz com casca, perda no descasque (%), rendimento de chips obtidos por raiz (%) e massa de raiz colhida por planta (kg)	91
Tabela 6-2 - Teor de umidade, amido, amilose, amilopectina, açúcares redutores (g/100g de amostra em base úmida), absorção de água (%),	

atividade de água (A_w) e tempo de secagem (min) das variedades de mandioca <i>in natura</i> , cozidas e secas	94
Tabela 6-3 Parâmetros dos modelos de Page, Henderson e Pabis, Lewis e Logarítmico, na secagem com ar quente combinada com micro-ondas de mandioca.....	98
Tabela 6-4 - Encolhimento total médio, encolhimento da área e encolhimento na espessura (%) nas secagens das diferentes variedades	99
Tabela 6-5 Média da aceitação dos atributos aparência, impressão global, sabor e textura dos chips de mandioca obtidos por 3 pré-tratamentos (n = 66)	104
Tabela 9-1 - Estimativa dos efeitos sobre os teores de minerais das amostras de mandioca cozidas.....	121
Tabela 9-2 - Análise da variância para as respostas de redução dos teores de minerais, $p \leq 0,05$	122
Tabela 9-3 - Estimativa dos efeitos sobre a absorção de água durante o cozimento.....	123

LISTA DE FIGURAS

Figura 4-1 - A redução dos teores de potássio com a cocção ocorre em função de sua concentração inicial na amostra <i>in natura</i>	34
Figura 4-2 Superfície de resposta (a) para potássio. (b) Suas curvas de nível. (c) Comparação das previsões com os valores observados.	37
Figura 4-3 Superfície de resposta (a) para o magnésio. (b) Suas curvas de nível. (c) Comparação das previsões com os valores observados.....	38
Figura 4-4 Superfície de resposta (a) para o fósforo. (b) Suas curvas de nível. (c) Comparação das previsões com os valores observados.	39
Figura 4-5 Superfície de resposta (a) para a absorção de água. (b) Suas curvas de nível. (c) Comparação das previsões com os valores observados.....	43
Figura 4-6 Imagens obtidas utilizando microscopia eletrônica de varredura das fraturas das amostras de mandioca com 2000x de magnificação.....	46
Figura 5-1 Imagens de 2 raízes utilizadas, com casca e após o descasque....	56
Figura 5-2 Chips de mandioca durante (a) e após (b) o cozimento.....	57

Figura 5-3 Ilustração de equipamento de micro-ondas adaptado a um sistema de ar quente (1) Entrada de ar e ventilador, (2) resistência elétrica, (3) controlador de temperatura, (4) sensor de temperatura do tipo K, (5) difusor de ar, (6) cavidade de micro-ondas, (7) prato giratório, (8) balança semianalítica, (9) saída de ar e (10) entrada de ar para resfriamento do gerador de micro-ondas.	58
Figura 5-4 Umidade adimensional em função do tempo de secagem de chips de mandioca à temperatura do ar fixa de 70 °C e potência de micro-ondas de 95 W com diferentes condições de pré-tratamento.	66
Figura 5-5 Ajustes das curvas de cinética de secagem ao modelo de Page, Henderson e Pabis, Lewis e Logarítmico.	68
Figura 5-6 Imagens obtidas da parte fraturada das amostras <i>in natura</i> e seca sem cozimento (A), amostra cozida a 70 °C por 6 minutos e posteriormente seca (B) e amostra cozida a 100 °C por 4 minutos e posteriormente seca (C).72	
Figura 5-7 Imagens obtidas da superfície das amostras <i>in natura</i> e seca sem cozimento (A), amostra cozida a 70 °C por 6 minutos e posteriormente seca (B) e amostra cozida a 100 °C por 4 minutos e posteriormente seca (C).	73
Figura 5-8 Histograma de frequência de notas para os atributos aparência, impressão global, sabor e textura.	76
Figura 6-1 Imagens das raízes de mandioca utilizadas antes e após o descasque, das variedades (A) IAC Espeto, (B) IAC 14 e (C) IAC Caapora....	87
Figura 6-3 Umidade adimensional em função do tempo de secagem de chips de mandioca à temperatura fixa de 70 °C com diferentes variedades.	95
Figura 6-4 Taxa de secagem em função da umidade adimensional dos chips de mandioca secos à temperatura fixa de 70 °C com diferentes variedades.....	95

Figura 6-5 Ajustes das curvas de cinética de secagem ao modelo de Page, Henderson e Pabis, Lewis, Logarítmico e Linear.	97
Figura 6-6 – Chips cozidos e secos das variedades IAC Espeto, IAC 14 e IAC Caapora.....	99
Figura 6-7 Imagens obtidas com microscopia eletrônica de varredura da parte fraturada dos chips <i>in natura</i> , cozidos e secos, das variedades IAC Espeto (A), IAC 14 (B) e IAC Caapora (C).	101
Figura 6-8 Imagens obtidas com microscopia eletrônica de varredura da superfície dos chips <i>in natura</i> , cozidos e secos, das variedades IAC Espeto (A), IAC 14 (B) e IAC Caapora (C).	102
Figura 6-9 Histogramas de frequência para os atributos (A) aparência, (B) impressão global, (C) sabor e (D) textura.....	105

APÊNDICES

Apêndice A– ANÁLISE ESTATÍSTICA DA RESPOSTA REDUÇÃO DE MINERAIS.....	121
Apêndice B– ANÁLISE ESTATÍSTICA DA RESPOSTA ABSORÇÃO DE ÁGUA	123
Apêndice C- FICHA ANÁLISE SENSORIAL	124
Apêndice D- QUESTIONÁRIO DE RECRUTAMENTO DE AVALIADORES PARA ANÁLISE SENSORIAL DE CHIPS DE MANDIOCA.....	125
Apêndice E- TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO PARA PARTICIPAÇÃO EM AVALIAÇÃO SENSORIAL DE CHIPS DE MANDIOCA	126

LISTA DE ABREVIações

%X	Umidade (%)
ANOVA	Análise de variância
AOAC	Official Methods of Analysis
CCTA	Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias
CO	Chips obtidos
CS	Concentração da solução mineral analisada (mg/l)
CV	Coeficiente de variação
DNS	Ácido dinitro-salicílico
DP	Desvio padrão
DRC	Doença renal crônica
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
F _{cal}	Valor de F calculado
F _{tab}	Valor de F tabelado
GL	Graus de liberdade
IAC	Instituto Agronômico de Campinas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LTA	Laboratório de Tecnologia de Alimentos
m ^{cz} _a	Massa de amostra cozida (g)

MET	Microscopia eletrônica de transmissão
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
m_a^{in}	Massa de amostra <i>in natura</i> (g)
MRCC	Massa de raiz com casca (g)
MRD	Massa de raiz descascada (g)
N	Número de repetições
p	Nível de significância do fator sobre a resposta
QM	Média Quadrática
R^2	Coeficiente de determinação
SQ	Soma dos quadrados
T	Temperatura
t	Tempo
T*t	Interação temperatura e tempo
TACO	Tabela Brasileira de Composição de Alimentos
UENF	Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro
UV-VIS	Ultravioleta-visível
V	Volume final da amostra
V_0	Volume inicial da amostra
Vap	Volume aparente
Xbs	Umidade em base seca
Xbs_0	Umidade em base seca inicial
XLStat	Statistical Software and Data Analysis

RESUMO

GONÇALVES, Leticia Tinoco, M. Sc. Produção Vegetal. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF). Março de 2016. Desenvolvimento de chips de mandioca por secagem com ar quente combinado com micro-ondas para dietas com fins especiais. Orientadora: Prof^a Dr^a Nádía Rosa Pereira

Originária do Brasil, a mandioca é considerada importante fonte de carboidratos. Como suas raízes são altamente perecíveis, o desenvolvimento de métodos e produtos para prolongar sua vida de prateleira é de relevância para produtores, industriais e consumidores. Além disso, há uma demanda por produtos prontos para consumo, especialmente se tiverem reduzido teor de minerais, o que beneficiaria os portadores de doença renal crônica (DRC). O presente trabalho teve por objetivo o desenvolvimento de tecnologia para obtenção de chips de mandioca desidratados por meio de secagem por ar quente combinado com micro-ondas, tendo em vista a obtenção de um produto com baixo teor de potássio. Considerando a possibilidade de consumo por portadores de DRC, utilizando a metodologia de superfície de resposta, foi avaliado o efeito da lixiviação de minerais durante o cozimento de fatias de mandioca (2 mm de espessura) com imersão em água (temperatura de 40 a

100 °C e tempo de imersão de 2 a 10 minutos). Para avaliar o efeito do cozimento na secagem por ar quente combinado com micro-ondas (70 °C e 95 W), foi avaliada a cinética de secagem, o encolhimento e a aceitação sensorial. Após definir as melhores condições de processo, foram avaliadas raízes de três variedades de mandioca na cinética de secagem, encolhimento e aceitação sensorial do produto seco. Foram quantificados os teores de amido, amilose, amilopectina, açúcares redutores nas amostras *in natura*, cozida e seca e absorção de água após o cozimento. As alterações estruturais promovidas pelo cozimento e secagem foram observadas por microscopia eletrônica de varredura. Os resultados mostraram que o cozimento em temperatura maior que 70 °C reduziu significativamente o teor de minerais: até 51% de potássio, 56% de magnésio e 67% de fósforo, sendo evidente a gelatinização do amido e o amaciamento do tecido vegetal, com formação de gel superficial. A condição de cozimento a 70 °C por 6 minutos manteve as amostras inteiras após o cozimento, com absorção de água entre 12% e 20%; a 100 °C, as amostras apresentaram maior desintegração das fatias e até 32% de absorção de água durante o cozimento. Chips de mandioca *in natura* da variedade IAC Espeto apresentaram 25 g/100g de amido, 8,6 g/100g de amilose, 15 g/100g de amilopectina, 1,9 g/100g de açúcares redutores, 4 g/100g de fibras e 0,64 g/100g de lipídios. A maior redução do teor de amido ocorreu nas amostras com o cozimento a 100°C por 4 minutos. Com relação às amostras de mandioca da variedade IAC Espeto secas (com e sem pré-cozimento), o modelo matemático de Page proporcionou melhor ajuste aos dados de cinética de secagem. O tempo máximo de secagem para as amostras cozidas foi de 80 minutos e, para as amostras *in natura*, de 60 minutos. A aceitação sensorial das amostras cozidas e posteriormente secas apresentou diferença estatística apenas no atributo textura em relação à amostra *in natura*, com menor aceitação das amostras com menor teor de amido (amostra cozida a 100°C por 4 minutos), as quais apresentaram maior encolhimento: 45%. No estudo das variedades de mandioca, maior rendimento por planta foi atribuído à variedade IAC 14, 4 kg/planta e menor perda no descasque, 25% ± 10%.

Amostras *in natura* das variedades IAC Caapora e IAC Espeto apresentaram em torno de 30 g/100g de amido, já a IAC 14, foi caracterizada com menor teor: 26,8 g/100g. Após o cozimento, a IAC Espeto apresentou o maior teor de

amido, 27,2 g/100g. Não houve diferença significativa com relação aos teores de umidade das amostras *in natura* (em torno de 62 g/100g), de absorção de água das cozidas (entre 13 e 16%) e de encolhimento das secas (40%). Não houve diferença entre as taxas de secagem das variedades, apesar das diferenças de composição das mesmas. Maior encolhimento na área superficial (26 a 28%) dos chips foi observado quando comparado à espessura (16 a 19%) para todas as amostras. As amostras *in natura* das três variedades apresentam grânulos de amido evidentes, arredondados, com tamanhos variando de 7 a 18 μm na variedade IAC Espeto, 8 a 24 μm na IAC 14 e 8 a 20 μm na variedade IAC Caapora. A única diferença observada na aceitação sensorial das amostras de mandioca secas foi com relação ao atributo aparência. A variedade IAC Caapora tem por característica apresentar polpa amarelada, o que pode ser relacionado à maior média de aceitação, indicando que os provadores gostaram moderadamente. A aparência das demais variedades agradou ligeiramente os provadores.

Palavras-chave: mandioca, secagem, micro-ondas, minerais, amido, gelatinização, chips.

ABSTRACT

GONÇALVES, Leticia Tinoco, M. Sc. Plant Production. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF). March 2016. Development of manioc chips by microwave-hot air drying for special diets. Advisor: Prof^a. Dr^a. Nádia Rosa Pereira.

Originating in Brazil, cassava is considered an important source of carbohydrates. As its roots are highly perishable, the development of methods and products to prolong their shelf life are relevant to producers, industry and consumers. In addition, there is a demand for products ready-to-eat, especially if they have low mineral content, which would benefit people with chronic kidney disease (CKD). This work aimed at the development of technology for obtaining dehydrated cassava chips by hot air drying combined with microwave, with a view to obtain a product with low potassium content. Considering the possibility of consumption by people with CKD using the response surface methodology, it was evaluated the effect of leaching of minerals during the cooking cassava slices (2 mm thick) with boiling water (temperature of 40 to 100 °C and immersion time 2 to 10 min). To evaluate the effect of cooking on the hot air drying combined with microwave (70 °C and 95 W), it was analysed the drying kinetics, the shrinkage and sensory acceptance of products. After defining the

best cooking conditions, the drying kinetics, shrinkage and sensory acceptance of the dried product of three cassava varieties were evaluated. We quantified the starch, amylose, amylopectin and reducing sugars content in the raw, cooked and dried samples and water absorption after cooking. The structural changes caused by cooking and drying were observed by scanning electron microscopy. The results showed that the cooking at temperatures higher than 70 °C reduced the mineral content of up to 51% for potassium, 56% for magnesium and 67% for phosphorus, with evident starch gelatinization and softening of vegetable tissue with gel formation on the surface. Cooking at 70 °C for 6 minutes maintained the samples as a whole after process with water absorption between 12% and 20%; at 100 °C, the samples showed slices disintegration and up to 32% of water absorption during cooking. Chips of raw IAC Espeto showed 25 g/100g of starch, 8.6 g/100g of amylose, 15 g/100g of amylopectin, 1.9 g/100g of reducing sugars, 4 g/100g of fibers and 0.64 g/100g of lipids. The greatest starch reduction occurred in the samples cooked at 100 °C for 4 minutes. Regarding dried IAC Espeto cassava (with and without pre-cooking), the Page model provided the best fit to the drying kinetics data. The maximum drying time for the cooked samples was 80 minutes and for raw samples, 60 minutes. The sensory acceptance of the dried pre-cooked samples showed statistical difference in the texture attribute in comparison to the dried raw ones, with lower acceptance score of samples with lower starch content (sample cooked at 100 °C for 4 minutes), which showed higher shrinkage: 45%. In the study of cassava varieties, IAC 14 showed the highest yield of roots per plant, 4 kg/plant and lower loss in the pelling step, 25% . Raw samples of the IAC Espeto and IAC Caapora showed around 30 g/100 g of starch, the IAC 14 was characterized with the lowest content: 26.8 g/100g. After cooking, the IAC Espeto had the highest starch content, 27.2 g/100g. There was no significant difference with respect to the moisture content of the raw samples (around 62 g/100 g), the water absorption of cooked ones (between 13 and 16%) and shrinkage of the dried ones (40%). There was no difference between the drying kinetics of the varieties despite their differences in composition. It was observed increased shrinkage in the surface area (26 to 28%) of the chips in comparison to the thickness (16 to 19%) for all samples. The fresh samples of three varieties showed evident starch granules in the tissue, which were round, with

sizes ranging from 7 to 18 μm in the IAC Espeto, 8 to 24 μm in the IAC 14 and 8 to 20 μm in the IAC Caapora. The only difference observed in sensory acceptance of dried cassava samples regards the appearance attribute. The IAC Caapora presents yellow pulp characteristically, which might be related to higher acceptance, indicating that the assessors liked it moderately. The appearance of the other dried varieties slightly pleased the assessors.

Keywords: cassava, drying, microwave, minerals, starch.

1. INTRODUÇÃO

A mandioca pertence ao gênero *Manihot* e à espécie *Manihot esculenta* Crantz. O Brasil é considerado o maior centro de diversidade e o segundo maior produtor do mundo de mandioca, e no Sudeste do Brasil a produtividade é superior às demais regiões (Ladeira & Pena, 2011). As regiões Norte e Noroeste Fluminense foram responsáveis pela metade da produção do Estado do Rio de Janeiro, segundo o IBGE (2016). No ano de 2015 a produção total de mandioca no Brasil foi de 22.756,807 toneladas e a previsão para 2016 é de 23.711,712 toneladas, aumento de 4,2% (IBGE, 2016). A mandioca apresenta alto valor energético, mas a alta perecibilidade das raízes na pós-colheita e a facilidade de contaminação microbiológica dificultam sua utilização na forma minimamente processada (Bezerra, 2002; Alves et al., 2005; Orsat et al., 2007; FAO, 2013), o que justifica o uso da secagem como método de obtenção de produtos derivados.

A doença renal crônica (DRC) é uma síndrome clínica causada pela perda lenta, progressiva e irreversível das funções renais, que consistem na capacidade de excreção e regulação de água, de minerais e de compostos orgânicos no organismo humano. Recomenda-se restrição dietética de potássio, magnésio e fósforo para pacientes com pouca ou nenhuma função

renal, pois estes estão propensos a desenvolver hiperpotassemia e hiperfosfatemia (Cuppari, 2005; Saxena, 2012; Riella e Martins, 2013). Estes pacientes apresentam o risco de terem sua ingestão dietética inadequada, sendo comum a desnutrição (Lopes e Cuppari, 2013).

Em alguns estudos já foi observada a diminuição da elevada concentração de minerais em vegetais pela cocção em água. Os resultados são relacionados com o efeito da lixiviação, que arrasta parte dos minerais solúveis para a água do cozimento. Dentre os minerais, o potássio pode ter seu conteúdo reduzido pela metade durante o processo de cocção. (Santos et al., 2003; Kawashima, 2005; Burrowes e Ramer, 2006; Copetti et al., 2010; Scheibler et al., 2010; Valduga et al. 2011; Pigoli, 2012).

Durante o cozimento uma das maiores alterações na textura de alimentos ricos em carboidratos que ocorre é causada pela gelatinização do amido. A gelatinização ocorre entre 45 e 80 °C em presença de água (Bobbio e Bobbio, 2001; Fellows, 2006; Nwokocha et al., 2009; Pereira, 2010). As alterações causadas pela gelatinização são: inchaço irreversível do grânulo, perda de birrefringência, absorção de água, perda da cristalinidade e a lixiviação de amilose, afetando os tecidos celulares e influenciando as características da massa apresentada após cocção (Fellows, 2006).

A utilização do método de secagem, após o processo de cozimento, pode ser uma alternativa para aumentar a vida útil da mandioca e para disponibilizar produtos prontos para consumo. Atualmente os produtos desidratados estão sendo altamente procurados e estudados. A secagem é uma operação na qual ocorre eliminação da água de um material por evaporação ou sublimação, através da aplicação de calor com condições controladas. É provavelmente o mais antigo método de conservação de alimentos e permite preservar a qualidade nutricional, gerar mais praticidade para o consumidor e aumentar o tempo de utilização com relação ao alimento *in natura* (Maskan, 2001; Park et al., 2001; Raghavan et al., 2005; Andrade et al., 2006; Orsat et al., 2007; Park et al., 2007). A aplicação de micro-ondas na secagem com ar quente pode reduzir o tempo de secagem quando comparado com a secagem somente com ar quente (Raghavan et al., 2005; Pereira, 2007; Vadivambal, 2007; Lopes, 2013).

Levando em consideração a necessidade dos portadores de doença renal crônica, a falta de informação sobre a relação do tempo e da temperatura de cozimento na lixiviação de minerais e o processo de obtenção de um produto desidratado do tipo chips sem fritura, o presente trabalho estudou as etapas de obtenção dos chips de mandioca utilizando secagem com ar quente combinado com micro-ondas. O desenvolvimento experimental incluiu a análise do comportamento de três variedades de mandioca, cultivadas na região Noroeste Fluminense, na secagem. Os resultados foram descritos em três capítulos:

No Capítulo 4 estão apresentados os efeitos de diferentes condições de tempo e de temperatura de cozimento na redução dos teores de minerais na raiz da mandioca IAC Espeto. Também foram observadas as alterações estruturais, quantificado o teor de amido, amilose e amilopectina e a determinação da absorção de água pelas amostras durante o cozimento.

No Capítulo 5 estão apresentados os efeitos das duas melhores condições de cozimento, na cinética de secagem, encolhimento e aceitação sensorial utilizando a variedade IAC Espeto. Nesta etapa também foram avaliados os teores de umidade, atividade de água, absorção de água durante o cozimento, alterações estruturais, teor de amido, amilose, amilopectina e açúcares redutores e a cinética de secagem.

No Capítulo 6 é descrita a influência das variedades de mandioca na cinética de secagem, encolhimento e aceitação sensorial do produto, definindo assim a variedade mais indicada para realizar o processo de obtenção dos chips. Também foi realizada a caracterização das variedades IAC Espeto, IAC 14 e IAC Caapora, com relação aos teores de umidade, absorção de água, alterações estruturais, teor de amido, amilose, amilopectina e açúcares redutores.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cultura da mandioca

A mandioca desempenha um importante papel na dieta dos brasileiros, por seu alto valor energético. É cultivada em mais de 100 países tropicais e subtropicais, sendo sua origem atribuída à região amazônica Brasileira, seu cultivo pode ser feito por pequenos agricultores, pois suporta solos pobres, e é bem tolerável à seca e ao ataque esporádico de pragas (FAO, 2013). Cultivada em todas as regiões, tem papel importante na alimentação humana e animal, como matéria-prima para inúmeros produtos industriais e na geração de emprego e de renda. Estima-se que, nas fases de produção primária e no processamento de farinha e fécula, são gerados um milhão de empregos diretos. O Brasil é considerado o maior centro de diversidade e o segundo maior produtor do mundo (Ladeira e Pena, 2011).

Segundo o Levantamento da Produção Agrícola (IBGE, 2016), no ano de 2015 a produção total no Brasil foi de 22.756,807 toneladas e a previsão para 2016 é de 23.711,712 toneladas, aumento de 4,2% com relação a 2015. A região Sudeste foi responsável pela produção de 2.477,465 toneladas em 2015, o Estado do Rio de Janeiro por 154.637 toneladas e as regiões Norte e Noroeste Fluminense foram responsáveis pela metade da produção desse

Estado (IBGE, 2016). A FAO (2013) determinou a colheita mundial de mandioca, no ano de 2012, em 280 milhões de toneladas, confirmando um aumento maior que 60% em relação ao ano de 2000.

A mandioca pertence ao gênero *Manihot* e à espécie *Manihot esculenta* Crantz, a planta é um arbusto e pode atingir a altura de 2,4 metros. Suas raízes tuberosas irradiam a partir da haste, logo abaixo da superfície do solo, podendo alcançar até 100 centímetros de profundidade. O número de raízes tuberosas e suas dimensões variam conforme a variedade, alguns registros citam comprimento de 30 a 120 centímetros, diâmetro entre 4 e 15 centímetros e massa de 1 a 8 kg ou até mais. A planta é bastante resistente à seca e sua raiz acumula grande quantidade de amido, sendo considerada uma importante fonte energética. A mandioca apresenta grande importância para a indústria farmacêutica, química, têxtil e de papel, e no Brasil já foram catalogadas mais de quatro mil variedades (Bezerra, 2002; FAO, 2013).

Glicosídeos cianogênicos estão presentes em todas as partes da planta da mandioca, incluindo suas raízes comestíveis. O teor de ácido cianídrico em raízes de mandioca varia, dependendo da variedade, tempo de colheita, condições ambientais de crescimento e de práticas agrônômicas (BeMiller, 2009). As cultivares de mandioca são classificadas em mansas ou bravas, conforme seu teor de ácido cianídrico (HCN). Quando indicadas para uso industrial na produção de fécula e farinha, as cultivares são denominadas bravas, amargas ou tóxicas, pois normalmente apresentam elevadas concentrações (>100 mg/kg) de HCN em suas raízes tuberosas (Embrapa, 2005). Por outro lado, os baixos conteúdos de HCN (<100 mg/kg) caracterizam as cultivares mansas, também chamadas de aipim, macaxeira ou mandioca de mesa, sendo essas recomendadas para o consumo humano imediato (Gomes e Leal, 2003). Durante o processamento, uma porção dos compostos cianogênicos é removida, mas alguns resíduos permanecem nos produtos acabados, o conteúdo depende das condições de processamento. Processos adequados, tais como cozimento em ebulição, secagem, fritura e fermentação são utilizados para desintoxicar eficazmente mandioca e produzir produtos com um nível seguro de ácido cianídrico (Borges, 2002; BeMiller, 2009).

O aproveitamento culinário de raízes de mandioca ocorre em todo o mundo, sendo utilizada na forma cozida, assada, frita, torrada, chips, integrando pratos mais complexos ou na forma de farinha, tapioca e fécula (Oliveira et al., 2005; Pandonou et al., 2005). No entanto, a alta perecibilidade das raízes na pós-colheita e a facilidade de contaminação microbiológica estabelecem barreiras para a maior utilização desse vegetal na forma minimamente processada. O teor de água de um alimento é o principal causador de deterioração por microrganismos e alterações por reações químicas e enzimáticas. Frutas e legumes frescos apresentam em média 80% de umidade, sendo classificados como alimentos altamente perecíveis (Bezerra, 2002; Alves et al., 2005; Orsat et al., 2007; FAO, 2013).

Dois tipos principais de degradação podem ocorrer durante a vida pós-colheita de raízes de mandioca. A deterioração primária, que implica em alterações fisiológicas no vegetal, inicia-se durante as primeiras 24 a 72 horas após a colheita. É comumente causada pela ação de agentes fisiológicos, como a enzima polifenoloxidase que provoca mudança na coloração interna da polpa. Já a deterioração secundária, de origem patológica, ocorre do quinto ao sétimo dia após a colheita e acontece pelo ataque de microrganismos que fermentam o tecido, provocando o apodrecimento do vegetal. Todos esses danos estão relacionados, principalmente, às colisões mecânicas e injúrias que facilitam a entrada do oxigênio, acelerando a atuação das enzimas e facilitando a entrada dos microrganismos (Bezerra et al., 2002; Borges et al., 2002; FAO, 2013).

O valor nutricional da mandioca crua difere da mandioca cozida (Tabela 2-1). Essa diferença pode ser relacionada com a lixiviação de minerais e outros componentes durante o cozimento. Dentre os minerais, o mais abundante é o potássio, sendo seu conteúdo reduzido pela metade durante o processo de cocção. Essa informação é de extrema relevância para o presente trabalho, visto que o interesse é desenvolver um produto para um grupo especial com patologias que precisam restringir esse e outros minerais na dieta.

Tabela 2-1 Composição química nutricional e valor energético por 100 gramas da parte comestível da raiz de mandioca crua e cozida

Componente	Crua^{1*}	Cozida^{1a*}	Cozida^{2b*}
Umidade (g)	61,8	68,7	-
Energia (kcal e kJ)	151 e 634	125 e 524	120
Proteína (g)	1,1	0,6	0,6
Lipídio (g)	0,3	0,3	0,2
Carboidrato (g)	36,2	30,1	28,9
Fibra Alimentar (g)	1,9	1,6	-
Cinzas (g)	0,6	0,4	-
Cálcio (mg)	15	19	28
Magnésio (mg)	44	27	-
Manganês (mg)	0,05	0,06	-
Fósforo (mg)	29	22	-
Ferro (mg)	0,3	0,1	0,9
Sódio (mg)	2	1	-
Potássio (mg)	208	100	-
Cobre (mg)	0,07	0,01	-
Zinco (mg)	0,2	0,2	-
Piridoxina (mg)	0,04	0,03	-
Vitamina C (mg)	16,5	11,1	31

Fonte: 1 - Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO), 2011; 2 – Pinheiro et al., 2008.

(a) Cozimento: foi realizado com pedaços de 5 x 8 cm na proporção 1:2 (amostra:água) em fogo médio por cerca de 40 minutos, os valores encontrados são apresentados na tabela 1.

(b) Não foram encontradas informações sobre o cozimento.

* Não foi evidenciada a variedade de mandioca utilizada.

Escolher uma entre as 4 mil variedades de mandiocas catalogadas, para ser utilizada em um processamento pode ser considerada uma tarefa difícil. A escolha deve levar em consideração diferentes aspectos, como: facilidade de plantio, resistência a pragas, tempo de colheita, rendimento por planta colhida, coloração da polpa, teor de amido, região de plantio, entre outros. A preferência dos consumidores a coloração da polpa pode variar de

acordo com a região do país, no Estado de São Paulo, por exemplo, a mandioca de uso culinário é de polpa amarela, que é sinônimo de bom cozimento. No restante do país, as mandiocas brancas são as preferidas. Poucas informações são encontradas na literatura caracterizando as diversas variedades de mandioca (Borges, 2002).

A variedade IAC Espeto apresenta porte ereto e poucas ramificações, não protege bem o solo contra erosão e ervas daninhas. Possui polpa branca e considerada de fácil colheita, porém apresenta baixa produtividade e raízes pequenas. A mandioca da variedade IAC 14 é altamente resistente à bacteriose, adaptada a solos pobres e de baixa fertilidade, sua arquitetura da parte aérea é favorável às práticas culturais e é mais indicada para a produção de fécula, porém apresenta película da raiz de cor marrom e polpa branca. Se cultivada em solos com alta fertilidade, apresenta altura elevada e é caracterizada pela alta produtividade. A variedade de mandioca IAC Caapora é classificada como resistente a bacteriose, possui polpa amarelada e é considerada de alta produtividade (Borges, 2002; Fukuda e Otsubo, 2003; EMBRAPA, 2005).

2.2 Doença Renal Crônica

A doença renal crônica (DRC) é atualmente um problema de saúde pública e o aumento da sua incidência decorre principalmente da maior expectativa de vida e do aumento na prevalência de diabetes mellitus e hipertensão arterial na população (Cuppari, 2013).

É portador de DRC qualquer adulto com idade maior ou igual a 18 anos que, por um período maior ou igual a três meses, apresenta filtração glomerular menor que $60 \text{ ml/min/1,73 m}^2$, assim como aqueles com filtração glomerular maior que $60 \text{ ml/min/1,73 m}^2$ com alguma evidência de lesão da estrutura renal (anormalidade urinária, hematúria glomerular e/ou microalbuminúria/proteinúria ou alteração em exame de imagem renal, como cálculo e cistos (Cuppari, 2013).

É uma síndrome clínica causada pela perda lenta, progressiva e irreversível das funções renais, as quais consistem na capacidade de excreção

e regulação de água, de minerais e de compostos orgânicos. Pacientes com pouca ou nenhuma função renal estão propensos a desenvolver hiperpotassemia e hiperfosfatemia, que, quando grave, podem precipitar arritmias fatais. Recomenda-se então restrição dietética de potássio e fósforo, além de outros minerais como magnésio. Essa doença é o resultado final de múltiplos sinais e sintomas gerados pela incapacidade renal de manter o controle interno do organismo, e, uma vez instalados, é necessário um tratamento contínuo para substituir a função renal. Os tratamentos disponíveis são a diálise peritoneal, a hemodiálise e o transplante renal (Cuppari, 2005; Saxena, 2012; Riella e Martins, 2013).

Pacientes com a doença avançada apresentam o risco de terem sua ingestão dietética inadequada, sendo comum a desnutrição. Alimentos ricos em fósforo, normalmente, também são fontes de proteínas, sendo ambos restritos na DRC. Embora sejam ricas nutricionalmente, estes pacientes necessitam restringir o consumo de frutas, leguminosas, oleaginosas, hortaliças e tubérculos, por apresentarem elevado teor mineral como potássio (Lopes e Cuppari, 2013).

Pacientes com DRC apresentam distúrbios relacionados à própria doença que levam a modificações parácrinas e endócrinas, como aumento do catabolismo proteico, resistência à ação da insulina e a alteração no metabolismo de lipoproteínas. A resistência à insulina é um fator de risco para eventos cardiovasculares e aumento da mortalidade, portanto, deve ser rastreada e tratada em pacientes com DRC (Cuppari, 2013).

Para atingir as necessidades diárias na DRC de carboidratos, um controle glicêmico é necessário. Alimentos com baixo índice glicêmico (< 55%) são os indicados em todas as fases da DRC (Riella e Martins 2013). O índice glicêmico é baseado na glicose como valor de referência, pois é a substância com maior índice, apresenta 100%. A mandioca cozida apresenta 73% (Lamounier, 2014).

A ingestão dietética recomendada (RDA – recommended dietary allowance) para uma população sadia adulta, com função renal normal, é de 4700 mg/dia de potássio e de 310 a 400 mg/dia de magnésio (Mahan, 2010; Cozzolino, 2013). 700 mg/dia de fósforo são recomendados para adultos

saudáveis, porém a média da população é maior, variando de 800 a 1500 mg/dia (Riella e Martins, 2013).

A recomendação diária de minerais na doença renal crônica varia de acordo com o estágio da doença. Para a fase não dialítica (tratamento conservador), é recomendado que a ingestão máxima não exceda 1200 mg/dia de fósforo, 2900 mg/dia de potássio e 300 mg/dia de magnésio. Durante a hemodiálise a recomendação varia, de 1000 a 3000 mg/dia de potássio e para fósforo é tolerado de 700 a 1200 mg/dia. Já na diálise peritoneal, o consumo de potássio recomendado é de 1500 a 2700 mg/dia e 1000 mg/dia de fósforo. Recomendações de magnésio são individualizadas durante a hemodiálise e a diálise peritoneal (Cuppari, 2010; Mahan, 2010; Cozzolino, 2013; Cuppari, et al., 2013; Riella e Martins, 2013).

2.3 Lixiviação de Minerais

Para que os vegetais não sejam excluídos da dieta dos portadores de DRC, alguns estudos já observaram o efeito do cozimento com imersão em água na redução destes. Os resultados estão sendo relacionados com o efeito da lixiviação, que arrasta parte dos minerais solúveis para a água do cozimento. Os minerais não podem ser destruídos pela exposição ao calor, luz, agentes oxidantes e pH extremos como ocorre com vitaminas e aminoácidos. Os sais minerais são indestrutíveis em sua essência, porém podem ser removidos dos alimentos por lixiviação ou separação física. Muitos minerais apresentam significativa solubilidade, e o efeito do processamento como o cozimento em água resulta na perda destes (Damodaran, 2010).

Kawashima (2005) concluiu que o nível de potássio é o mais alto entre os demais minerais nos vegetais. Copetti et al. (2010) observaram que após o cozimento por imersão em água deionizada em ebulição por 13 minutos, ocorreu redução de 32,82% de potássio na batata. Santos et al. (2003), reduziram 66,97% do potássio em folhas de brócolis, couve-flor e couve, durante 10 minutos de cozimento por imersão em água em ebulição. Burrowes e Ramer (2006) observaram na mandioca que o duplo cozimento reduziu

18,12% do potássio a mais do que o cozimento simples, que reduziu 44,83% deste mineral.

Scheibler et al. (2010) analisando métodos de cozimento e o teor inicial e final de Na, K e P na batata inglesa e na cenoura, constataram que o teor de P sofre maiores quedas a partir do aumento do tempo de fervura. Imersão em água em ebulição por 20 minutos reduziu 33,8% do K. Pigoli (2012) estudando quatro tipos de cozimentos (imersão, pressão, vapor, micro-ondas) na polpa da abóbora, concluiu que o método de imersão com água em ebulição, manteve apenas 20,51% do Fe, 48,8% do K, 38,33% do P, 98,03% do Ca e 60% do Mg.

Valduga et al.(2011) investigaram as características sensoriais e os teores de minerais (Ca, Cu, Fe, Mg, Mn, K, Na) de cinco cultivares de mandioca. Estas variedades foram submetidas à cocção por 20 minutos com imersão em água em ebulição. Os resultados, nas mandiocas cozidas, mostraram valores médios para potássio (471 a 704 mg/100g b.s) e cálcio (85 a 201 mg/100g b.s). A cultivar BRS Rosada destaca-se por apresentar elevado teor de magnésio (166 mg/100g b.s) e ferro (13 mg/100g b.s). As cultivares Casca Roxa e BRS Dourada apresentaram os maiores teores de potássio (955 e 704 mg/100g b.s) e cálcio (201 e 93 mg/100g b.s), respectivamente. Variações nos teores de minerais das diferentes raízes podem acontecer em função da idade da cultivar, do ambiente e de fatores genéticos associados.

2.4 Características e Estrutura do Amido

O amido constitui a mais importante reserva de energia de todas as plantas superiores e a maior fonte de carboidratos da dieta humana. As raízes comestíveis são órgãos de armazenamento que acumulam amido e água. Sua perecibilidade depende do fato de serem colhidas antes ou após o término do acúmulo de reservas de armazenamento e de estarem prontas para entrar no estágio de repouso. Ao lado da água, os carboidratos são os mais abundantes e mais bem distribuídos componentes dos alimentos de origem vegetal, cerca de, 75% da matéria seca de plantas são carboidratos. A rede estrutural, o sabor e o valor nutricional de alimentos vegetais estão relacionados aos carboidratos. Os polissacarídeos são os principais componentes estruturais das

paredes celulares, sendo importantes na textura e no amolecimento. Os polissacarídeos das células vegetais são altamente organizados em seu estado nativo e a integridade estrutural das células depende dessa ordem (Dumutriu, 2004; Feniman, 2004; Cui, 2005; Damodaran, 2010).

Os grânulos de amido são formados por uma mistura de dois polissacarídeos: um polissacarídeo linear, chamado amilose, e um polissacarídeo ramificado, chamado amilopectina. As proporções destes polissacarídeos variam conforme as diferentes espécies vegetais, e mesmo em uma única espécie essas proporções podem variar de acordo com o grau de maturação da planta. As proporções de amilose e amilopectina influenciam na viscosidade e no poder de gelificação do amido. A viscosidade da solução de amilose é muitas vezes maior do que a solução da amilopectina (Bobbio e Bobbio, 2001; Bobbio e Bobbio, 2003; Dumutriu, 2004; Cui, 2005).

Os polissacarídeos são os principais componentes estruturais das paredes celulares, sendo importantes na textura e no amolecimento. Os polissacarídeos das células vegetais são altamente organizados em seu estado nativo e a integridade estrutural das células depende dessa ordem. O aquecimento faz com que essas moléculas grandes absorvam água, inchem e tornem-se mais móveis e mais disponíveis para participar de reações químicas. O inchaço pode romper a estrutura o suficiente para causar alterações adjacentes (Feniman, 2004; Damodaran, 2010).

A proporção de amido na amostra, mesmo sendo proveniente da mesma espécie (mandioca) pode variar. Como o teor de amido determina o maior ou o menor valor pago pela indústria e está relacionado com o tempo de cozimento, Otsubo e Barreto (2001) utilizando 5 cultivares de mandioca determinaram que os teores próximos de 30% eram considerados bons. Sobressaíram-se as cultivares CPAC 766-96 (33,87%), PARANÁ (33,75%) e PIONEIRA (28,06%). Os menores teores foram observados nas cultivares CPAC 764-96 (26,94%) e CPAC 768-96 (25,62%).

De acordo com Jorge e colaboradores (2002) a mandioca é uma das plantas fotossintetizadoras mais eficientes que se conhece, sendo que, suas raízes apresentam teores que variam entre 20 e 45% de amido e 5% de açúcares redutores. Oliveira e colaboradores (2005) avaliaram o teor de amido

de 26 cultivares de mandiocas. O cozimento foi realizado com toletes de 3 cm de comprimento sob fervura por 30 minutos. Ao final da avaliação concluíram que as maiores formações de gel ocorreram na SRT – 1105 (Mico), Osso Duro, Milagrosa RG, Mantiqueira, IAC522-30 e IAC 576-70, este fato foi relacionado com a maior ruptura da parede celular durante o cozimento, favorecendo maior gelatinização. A faixa do teor de amido destas raízes variou de 23,26% a 33,09%. Assim sendo, o teor de amido é um fator a ser considerado para a seleção de uma mandioca de mesa.

Na natureza, o amido existe na forma de grânulos, que podem diferir de tamanho e forma. A origem dos grânulos de amido resulta em diferentes características, grânulos de amido de raízes e tubérculos, por exemplo, são geralmente volumosos e com formato oval. Os grânulos de amido provenientes da mandioca apresentam formato arredondado e truncado (Cui, 2005).

A estrutura submicroscópica dos grânulos de amido não pode ser explorada com microscopia de luz, porque a menor resolução possível é de cerca de 0,1 milímetros. Maiores detalhes sobre a estrutura dos grânulos podem ser obtidos por microscopia eletrônica, seja de microscopia eletrônica de transmissão (MET) ou microscopia eletrônica de varredura (MEV). Uma desvantagem de microscopia eletrônica é a preparação da amostra, por exemplo, tanto a secagem como revestimento de metal, podem limitar a visualização de amidos no seu ambiente original (Velde, 2002).

Fu et al. (2012) observaram utilizando imagens com MEV que a superfície dos grânulos de amido de milho secos por “spray drying” alterou notavelmente com o aumento da temperatura de gelatinização. O amido nativo apresentou uma forma truncada. Quando pré-gelatinizado a 64 °C, os grânulos apresentaram uma forma elíptica. A partir de 72 °C, as superfícies dos grânulos secos se tornaram mais côncavas e enrugadas, típicas de partículas secas.

Já Ratnayake e Jackson (2007), estudando o processo de gelatinização de vários tipos de amidos (milho, milho com alto teor de amilose, milho ceroso, batata, trigo, arroz e mandioca) relataram que a ruptura granular completa, inchaço irreversível e a formação de uma solução gelatinizada não ocorreram abaixo 70 °C. Eles sugeriram que a temperatura de gelatinização do amido depende da concentração de amido na solução e a fonte a partir da qual o

amido é derivado. Para o amido de mandioca eles observaram inchaço granular irreversível a 70 °C.

Atichokudomchai (2000) observou que os grânulos de amido de mandioca nativo apresentaram formato truncado e irregular, com superfície suave sem poros e com diâmetro entre 5 e 25 μm . Embora a obtenção da imagem de grânulos de amido nativo seja bastante simples, a imagem do amido gelatinizado ou de pastas de amido é muito mais complicada devido à perda da estrutura durante a gelatinização (Velde, 2002).

2.4.1 Gelatinização do amido

Uma das maiores alterações na textura de alimentos ricos em carboidratos que ocorre durante o cozimento é causada pela gelatinização do amido. A gelatinização ocorre entre 45 e 80 °C em presença de excesso de água (Bobbio e Bobbio, 2001; Fellows, 2006; Nwokocha et al., 2009; Pereira, 2010). A gelificação é descrita como uma transição a partir de uma ordem para um estado desordenado. Prosseguindo o aquecimento, os grânulos, eventualmente estouram (Velde, 2002).

Durante o cozimento, os grânulos de amido incham rapidamente, as moléculas de água penetram entre as cadeias, rompem as ligações de hidrogênio mais fracas e criam camadas de hidratação em torno das moléculas separadas. À medida que os grânulos de amido incham, as moléculas de amilose hidratadas difundem-se até a fase externa (água), chega-se então a um sistema em que toda a água estará ligada às cadeias de amilose e amilopectina, ou presa nos espaços entre os grãos, formando uma solução com a amilose. O amaciamento dos tecidos vegetais ocorre devido a alterações na parede celular com redução da força de adesão entre as células, que estão individualizadas e/ou rompidas (Bobbio e Bobbio, 2001; Butarelo, 2004; Dumutriu, 2004; Cui, 2005; Fellows, 2006).

As alterações causadas pela gelatinização são: inchaço irreversível do grânulo, perda de birrefringência, absorção de água, perda da cristalinidade e a lixiviação de amilose, afetando os tecidos celulares e influenciando as características da massa apresentada após cocção. O aquecimento faz com

que essas moléculas grandes absorvam água, inchem e tornem-se mais móveis e mais disponíveis para participar de reações químicas. O inchaço pode romper a estrutura o suficiente para causar alterações adjacentes (Bobbio e Bobbio, 2001; Fellows, 2006).

2.4.2 Retrogradação do amido

A retrogradação ocorre após o processo de gelatinização, com a solubilização dos grânulos de amido. Durante a gelatinização, as cadeias de amilose agregam-se formando duplas hélices cristalinas estabilizadas por pontes de hidrogênio. Durante o resfriamento, à temperatura ambiente ou mesmo temperaturas mais baixas, as cadeias de amido então perdem energia e as ligações de hidrogênio entre os grupos hidroxilas das moléculas de amilose ficam mais fortes. As duplas hélices formam estruturas cristalinas tridimensionais altamente estáveis, isto é, no grão de amido formam-se novamente partes cristalinas como aquelas destruídas na formação do gel (Bobbio e Bobbio, 2001).

As propriedades reológicas mudam, sendo evidenciadas pelo aumento da firmeza, opacidade e rigidez. Também ocorre perda da capacidade de retenção de água e de restauração da cristalinidade. A retrogradação também exerce uma influência nem sempre desejada na textura dos alimentos ricos em amido, provocando um endurecimento (Eliasson, 2006). No processo da retrogradação há sempre liberação de moléculas de água anteriormente ligadas às moléculas de amilose, com diminuição do volume, esse fenômeno é denominado sinérese (Bobbio e Bobbio, 2001; Bobbio e Bobbio, 2003).

A retrogradação dos amidos cozidos envolve os dois constituintes poliméricos, amilose e amilopectina. As proporções amilose:amilopectina afetam a cinética de retrogradação, e apresentam características diferentes para os polímeros. A amilose retrograda mais rapidamente, por outro lado, a amilopectina retrograda em uma velocidade muito menor durante um longo período de tempo (Cui, 2005; Damodaran, 2010). A retrogradação é mais rápida a temperaturas próximas de 0 °C (Bobbio e Bobbio, 2001).

2.5 Secagem

Uma alternativa para aumentar o tempo de vida útil da mandioca e desenvolver um produto do tipo chips sem fritura seria utilizar o método de secagem. Muitos alimentos do tipo chips são ricos em amido. O amido é usado nesse tipo de produto pela indústria alimentícia há muitos anos por conferir vários atributos relacionados a textura e benefícios funcionais como crocância e diferentes tipos de expansão (Cui, 2005).

A secagem é um método seguro e muito usado para conservar os alimentos, permite preservar a qualidade nutricional, gera mais praticidade para o consumidor e aumenta o tempo de utilização com relação ao alimento *in natura*. Além de diversificar a oferta de produtos por todo ano, reduzir custos de embalagem e transporte, pois durante a secagem, devido à remoção de água, pode ocorrer o encolhimento do produto (Maskan, 2001; Park et al., 2001; Raghavan et al., 2005; Andrade et al., 2006; Orsat et al., 2007; Park et al., 2007).

A secagem é uma operação onde ocorre eliminação da água de um material por evaporação ou sublimação, através da aplicação de calor com condições controladas e, é provavelmente o mais antigo método de conservação de alimentos. Trata-se de um processo com transporte simultâneo de calor e massa, acompanhado de mudança de fase. Essa transferência ocorre devido à diferença de pressão parcial de vapor d'água entre o ambiente quente do secador e a superfície do alimento, assim o vapor é removido do material (Park et al., 2001; Fellows, 2006).

A cinética de secagem está relacionada com as mudanças no teor médio de umidade do material e a temperatura média ao longo do tempo. É controlada pelas características da matriz do alimento e pelos parâmetros de processo como: temperatura, umidade relativa do ar e a velocidade do ar de secagem, teor de água inicial e quantidade do produto no secador (Strumillo e Kudra, 1986; Andrade et al., 2006).

É necessário o fornecimento de calor durante a secagem para que ocorra a evaporação da umidade do material e também deve haver um sorvedor de umidade para remover o vapor de água, que será formado na

superfície do material a ser seco, pois é na superfície que ocorre a evaporação da água, a qual será transportada do interior do sólido (Park et al., 2001; Park et al., 2007). São três os fatores inter-relacionados que controlam a capacidade do ar de remover água de um alimento: a quantidade de vapor d'água presente no ar, a temperatura do ar e a quantidade de ar que passa pelo alimento. A força motriz para a remoção de água do alimento é gerada pelo gradiente de pressão de vapor d'água estabelecido entre o interior úmido do alimento e o ar seco (Fellows, 2006).

A curva típica de secagem, segundo Park et al. (2007) e Fellows (2006), apresenta 3 períodos principais, são eles:

- O primeiro período, também chamado de indução, representa o início da secagem, até entrar em regime operacional. Neste período ocorre uma elevação gradual da temperatura do produto e da pressão do vapor de água. Essas elevações ocorrem até que a transferência de calor seja equivalente à transferência de massa (água). A duração desse período é insignificante em relação ao período total de secagem;

- O segundo período corresponde ao período de velocidade constante de secagem. Nesta fase a água está presente em abundância e evapora-se como água livre. Indica que as transferências de calor e massa se compensam com exatidão. Desta forma, a velocidade de secagem também é constante. Enquanto houver quantidade de água na superfície do produto suficiente para acompanhar a evaporação, a taxa de secagem será constante. Este período ocorre até que um teor de umidade crítico seja alcançado;

- O terceiro período é caracterizado pela taxa de velocidade decrescente. A quantidade de água presente na superfície do produto é menor, reduzindo-se então a transferência de massa. Nesta fase a troca de calor não é mais compensada, por isso a temperatura do produto aumenta. O fator que limita a secagem durante esse período é a migração interna da água, que vai ficando cada vez mais difícil. Quando o produto atinge o ponto de umidade de equilíbrio em relação ao ar de secagem, o processo é encerrado, pois a taxa de secagem será nula. Esta é a etapa com maior consumo de energia e tempo em um processo de secagem por convecção.

A composição e a estrutura do alimento influenciam no mecanismo de remoção de umidade. A ruptura de células pelo branqueamento ou pela redução de tamanho aumenta a taxa de secagem, mas pode afetar negativamente a textura do produto. Além disso, altas concentrações de solutos como, açúcares, sais, gomas, amidos, etc., aumentam a viscosidade e diminuem a atividade de água, reduzindo, assim, a taxa de movimento de umidade (Fellows, 2006).

O interessante na desidratação de frutas e legumes é reduzir o teor de umidade, e conseqüentemente, a atividade de água, a tal ponto onde não haja mais crescimento microbiano e ao mesmo tempo não altere a qualidade nutricional do produto final, este pode ser considerado o maior desafio na secagem. Secagem artificial é considerada um bom método de conservação de alimentos, porém todos os produtos sofrem mudanças durante a secagem e a estocagem, que reduzem a qualidade comparada à do produto fresco. As principais alterações observadas são mudanças físicas e bioquímicas, provocando encolhimento e alteração de cor, textura, aroma e sabor (Fellows, 2006).

Alterações na forma e no tamanho do produto durante a secagem modificam tanto as dimensões como as propriedades de transporte das partículas individuais do alimento. Mudanças de volume caracterizam o encolhimento, que é expresso pela relação do volume a qualquer tempo versus volume inicial. O encolhimento é dependente das condições de secagem e do conteúdo de água. Secagens rápidas em altas temperaturas causam maiores alterações na textura dos alimentos do que taxas moderadas de secagem e baixas temperaturas (Somogyi et al., 1996; Fellows, 2006).

Na secagem convencional com ar quente o calor necessário para a secagem é fornecido por convecção direta do produto com ar quente, porém é um processo lento. Para melhorar esse processo, minimizando as mudanças indesejáveis e maximizando a eficiência energética é fundamental escolher entre os mais de 400 tipos de secadores existentes, o mais adequado para o produto e a fonte de energia que será usada por este equipamento, visando um bom resultado e otimização do tempo de processo. Já foi relatado que o uso de energia de micro-ondas na secagem exige relativamente baixo consumo de

energia, pois aumenta a temperatura interna do produto e melhora o gradiente de pressão interna facilitando a evaporação de umidade pela superfície do produto (Somogyi et al., 1996; Mujumdar, 2000; Orsat et al., 2007; Vadivambal, 2007).

2.6 Micro-ondas

As micro-ondas são uma modalidade de radiação eletromagnética situada no intervalo de frequências compreendido entre 300 MHz e 300 GHz, sendo 950 e 2.450 MHz as mais utilizadas em forno de micro-ondas doméstico (Strumillo e Kudra, 1986; Barboza et al., 2001; Venkatesh e Raghavan, 2004; Raghavan et al., 2005; Regier e Schubert, 2005). O uso industrial e doméstico de micro-ondas aumentou dramaticamente nas últimas décadas, cada vez mais tem sido realizadas melhorias nos fornos de micro-ondas de alta potência, ocorrendo constante redução nos custos de equipamentos (Vadivambal, 2007).

A secagem utilizando micro-ondas apresenta algumas vantagens como: qualidade de penetração do calor que leva a uma secagem uniforme, absorção seletiva por água líquida gerando um perfil de umidade constante dentro da partícula e a facilidade de controle devido à rápida resposta ao aquecimento, aumenta a qualidade do produto final e proporciona maior capacidade de reidratação (Somogyi et al., 1996).

A maioria dos alimentos é constituída em maior parte por água. A estrutura molecular da água consiste de um átomo de oxigênio carregado negativamente separado de átomos de hidrogênio carregados positivamente, formando um dipolo elétrico. A interação entre as ondas e o material envolve dois mecanismos principais, são eles: a rotação dipolar e a condução iônica. Pela condução iônica, os íons são acelerados pelo campo elétrico oscilante, causando uma movimentação em direção oposta à sua polaridade, provocando colisões que convertem a energia cinética em energia térmica, gerando calor ao material. Já na rotação dipolar, que ocorre após o alinhamento das moléculas com o campo elétrico aplicado, esse campo é retirado e as moléculas se desalinham absorvendo energia em forma de calor dos dipolos. A

maior parte do aquecimento por micro-ondas vem do mecanismo de rotação dipolar, nessa forma o calor é gerado mais internamente e de maneira mais uniforme (Strumillo e Kudra, 1986; Venkatesh e Raghavan, 2004; Orsat et al., 2007; Fellows, 2006; Yildiz, 2010).

Frutas e vegetais são considerados materiais higroscópicos, isto é, a água que é contida à matriz sólida exerce pressão de vapor menor do que a da água pura à mesma temperatura. Para materiais higroscópicos, a proporção relativa de água ligada diminui à medida que ocorre o aumento da temperatura pela absorção da energia eletromagnética, assim com maior quantidade de água livre disponível ocorrerá diminuição do conteúdo de umidade (Strumillo e Kudra, 1986; Somogyi et al., 1996).

A aplicação de micro-ondas pode reduzir o tempo de secagem quando comparado com secagem com ar quente (Raghavan et al., 2005; Pereira, 2007; Vadivambal, 2007; Lopes, 2013). Silva e Marsaioli (2004) estudaram o efeito da energia de micro-ondas na secagem de amêndoas de castanha do Brasil. Confirmaram que esta energia, reduz o tempo de secagem quando comparado com a secagem com ar quente convencional. Silva et al., (2007), analisando sob o ponto de vista sensorial, concluíram que é possível secar noz de macadâmia por micro-ondas e obter um produto semelhante ao seco de forma convencional. Sendo que, a secagem com micro-ondas, proporcionou um menor impacto quanto à rancificação e menor tempo de secagem.

Lopes (2013), estudando secagem de abacaxi, observou que o aumento da potência de micro-ondas para a mesma temperatura do ar de secagem proporcionou redução no tempo de secagem e o maior aumento da temperatura do material ao longo do tempo. Pereira (2007) concluiu, por meio de estudo de secagem com micro-ondas com banana desidratada osmoticamente, que um aumento na potência de micro-ondas gerou um aumento na taxa de secagem e diminuição do tempo no período final da secagem. A energia de micro-ondas provocou mais efeito na remoção da umidade e redução do tempo durante a secagem quando comparado com secagem convectiva com ar quente. Porém, também foi observado, que potências elevadas provocaram uma quantidade maior de fatias de bananas queimadas.

2.7 Considerações Finais

A abordagem desse projeto considerou a necessidade dos portadores de doença renal crônica e sua dieta restrita, a falta de informação com respeito à relação do tempo e da temperatura de cozimento na lixiviação de minerais, além da possibilidade de obtenção de produto desidratado de mandioca com reduzido teor de minerais. Desta forma, o presente trabalho se propôs a estudar todas as etapas de obtenção dos chips de mandioca, utilizando secagem com ar quente combinado com micro-ondas, incluindo a avaliação do processo de cozimento prévio em três variedades de mandioca cultivadas na região Noroeste Fluminense. As análises incluíram os teores de amido, minerais, morfologia, encolhimento após secagem e aceitação sensorial dos produtos obtidos.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral:

Estudar o processo de obtenção dos chips de mandioca utilizando secagem com ar quente combinado com micro-ondas visando um produto para portadores de doença renal crônica.

3.2 Objetivos Específicos:

- Analisar o efeito de diferentes condições de tempo e de temperatura utilizados na etapa de cozimento na redução dos teores de minerais; observar as alterações estruturais, quantificar teor de amido, amilose e amilopectina; e determinar a absorção de água;

- Definir a condição de cozimento mais indicada para posterior secagem utilizando a análise de umidade, absorção de água, alterações estruturais, teor de amido, amilose, amilopectina e açúcares redutores, cinética de secagem, modelagem matemática e análise sensorial;

- Determinar a influência das variedades de mandioca na cinética de secagem e na aceitação sensorial, definindo assim a variedade ideal para realizar o processo de obtenção dos chips. Além de caracterizar e compará-las

com relação à umidade, absorção de água, alterações estruturais, teor de amido, amilose, amilopectina e açúcares redutores.

4. TRABALHO

RELAÇÃO ENTRE CONDIÇÕES DE COZIMENTO E ALTERAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS E ESTRUTURAIS DA MANDIOCA

RESUMO

Com o objetivo de determinar a condição ideal de cozimento de chips de mandioca com 2 mm de espessura e 25 mm de diâmetro, foi avaliado a redução de minerais em cada condição e as alterações físicas e químicas provocadas. Foram determinados os teores de minerais, amido, amilose, amilopectina, açúcares redutores, fibras, lipídios, umidade, absorção de água e análise de imagens obtidas por microscopia eletrônica de varredura em chips *in natura* e cozidos. Os resultados mostraram que com o cozimento a 70 °C por 6 minutos ocorreu redução de até 38,6% de K, 37,2% de Mg e 55,1% de P. Ocorreram alterações estruturais favoráveis para obter um produto final mais próximo ao desejado pelo consumidor, estas amostras apresentaram

gelatinização evidenciada pela formação de gel superficial e pela aparência translúcida, sem que quebrassem e o material fosse perdido, como ocorreu com o cozimento a 100 °C por 10 minutos.

4.1 INTRODUÇÃO

A mandioca é comumente consumida no Brasil, sendo o país considerado o maior centro de diversidade, com mais de 4 mil variedades de mandioca catalogadas, e o segundo maior produtor do mundo, (Ladeira e Pena, 2011). Apresenta alto valor energético por ser rica em carboidratos, sendo considerada fonte de subsistência em todo o mundo. Sua alta perecibilidade e a facilidade de contaminação microbiológica dificultam sua utilização e comercialização (Bezerra, 2002; Alves et al., 2005; Orsat et al., 2007; FAO, 2013).

A doença renal crônica (DRC) é uma síndrome clínica causada pela perda lenta, progressiva e irreversível das funções renais, que consistem na capacidade de excreção e regulação de água, de minerais e de compostos orgânicos. Recomenda-se restrição dietética de potássio, fósforo e magnésio. Estes pacientes apresentam o risco de terem sua ingestão dietética inadequada, sendo comum a desnutrição (Cuppari, 2005; Riella e Martins, 2013).

A ingestão diética recomendada (RDA – recommended dietary allowance) para uma população sadia adulta, com função renal normal, é de 4700 mg/dia de potássio e de 310 a 400 mg/dia de magnésio (Mahan, 2010; Cozzolino, 2013). 700 mg/dia de fósforo são recomendados para adultos saudáveis, porém a média da população é maior, variando de 800 a 1500 mg/dia (Riella e Martins, 2013).

A recomendação diária de minerais na doença renal crônica varia de acordo com o estágio da doença. Para a fase não dialítica (tratamento conservador), é recomendado que a ingestão máxima não exceda 1200 mg/dia

de fósforo, 2900 mg/dia de potássio e 300 mg/dia de magnésio. Durante a hemodiálise a recomendação varia, de 1000 a 3000 mg/dia de potássio e para fósforo é tolerado de 700 a 1200 mg/dia. Já na diálise peritoneal, o consumo de potássio recomendado é de 1500 a 2700 mg/dia e 1000 mg/dia de fósforo. Recomendações de magnésio são individualizadas durante a hemodiálise e a diálise peritoneal (Cuppari, 2010; Mahan, 2010; Cozzolino, 2013; Cuppari, et al., 2013; Riella e Martins, 2013).

Os minerais não podem ser destruídos pela exposição ao calor, luz, agentes oxidantes e pH extremos como ocorre com vitaminas e aminoácidos. Os sais minerais são indestrutíveis em sua essência, porém podem ser removidos dos alimentos por lixiviação ou separação física. Muitos minerais apresentam significativa solubilidade, e o efeito do processamento como o cozimento em água resulta na perda destes (Damodaran, 2010). Dentre os minerais, o potássio pode ter seu conteúdo reduzido pela metade durante o processo de cocção com água em ebulição, pois este está presente nos alimentos como íon livre. Em geral, a fervura proporciona maiores perdas do que o cozimento à vapor. No entanto, poucos trabalhos reportaram o efeito do tempo e da temperatura no processo de cocção (Santos et al., 2003; Kawashima, 2005; Burrowes e Ramer, 2006; Copetti et al., 2010; Scheibler et al., 2010; Valduga et al., 2011; Pigoli, 2012).

A redução destes minerais durante o cozimento pode estar relacionada com sua função e localização no vegetal. O potássio é responsável pelo crescimento das plantas e mantém a quantidade de água e com isso o turgor celular e é absorvido do solo por toda região radicular. O magnésio é um constituinte da molécula de clorofila. O fósforo é um componente no processo de conversão de energia, fotossíntese, metabolismo de açúcares, armazenamento e transferência de energia, divisão celular, alargamento das células e transferência de informação genética. Ele é componente também na formação inicial, desenvolvimento de raiz e o crescimento da planta (Taiz e Zeiger, 2004; Damodaran, 2010).

Durante o cozimento pode ocorrer outro fenômeno como a gelatinização do amido em alimentos ricos em carboidratos (mandioca). Esse processo afeta a integridade dos tecidos celulares e influencia as

características da massa apresentada após cocção (Fellows, 2006). A gelatinização ocorre entre 45 e 80 °C em presença de água. As alterações causadas são: inchaço irreversível do grânulo, perda de birrefringência, absorção de água, perda da cristalinidade e a lixiviação de amilose. (Bobbio e Bobbio, 2001; Fellows, 2006; Nwokocha et al., 2009; Pereira, 2010).

Levando em consideração a necessidade dos portadores de doença renal crônica (alimentos com reduzido teor mineral), a falta de informação sobre a relação do tempo e da temperatura de cozimento na lixiviação de minerais e as possíveis alterações estruturais ocasionadas pelo cozimento, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a influência da temperatura e tempo no processo de cocção de fatias de mandioca nos teores de minerais e nas alterações estruturais provocadas após a cocção.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Preparo da Matéria-Prima

Foi utilizada a variedade de raiz de mandioca de mesa IAC Espeto, proveniente de cultivo na Estação Experimental da UENF-RJ, na ilha Barra do Pomba, no município de Itaocara, Rio de Janeiro, localizado na região Noroeste Fluminense, 21°39'12" de latitude sul, 42°04'36" de longitude oeste e a 60 metros de altitude. O solo da área experimental foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo, região com temperatura média anual de 22,5°C e precipitação média anual de 1,041 mm. No plantio foi aplicado 50g do formulado (04-14-08) (NPK). A lavoura foi irrigada, porém a irrigação foi feita sem grande controle. O espaçamento utilizado foi de 1,0 m entre linhas e 0,6 m entre plantas (1,0x0,6). O experimento foi instalado em blocos causalizados com 3 repetições, cada unidade experimental era composta por 22 plantas (66 plantas de cada variedade).

As raízes colhidas em setembro de 2014 foram selecionadas de acordo com as condições estruturais, comprimento (30 ± 10 cm) e largura (42 ± 10

mm) e condições de cultivo (colhidas após 9 meses de plantio). Todas as raízes colhidas foram de plantas do mesmo local, sendo assim, todas receberam a mesma influência do solo e do clima.

24 horas após a colheita, as raízes foram lavadas em água corrente, sanitizadas por imersão em solução de hipoclorito de sódio com 100 mg/L de cloro ativo durante 15 minutos. Em seguida, foram descascadas manualmente, cortadas em lâminas de 2 mm de espessura com auxílio de um fatiador de frios elétrico (Gural, modelo GLP-330, Paraná, Brasil) e depois em fatias cilíndricas de 25 mm de diâmetro e 2 mm de espessura utilizando um cortador cilíndrico.

4.2.2 Cozimento

As amostras foram submetidas ao cozimento por imersão em água destilada na proporção de 1:5 (g amostra:g água) em um becker de 2000 L sobre chapa aquecedora (Fisatom, modelo 752^a, série 188033, Brasil) com agitação manual, seguido de resfriamento em água destilada à temperatura ambiente (para interromper o cozimento) e escoamento do excesso de água em papel toalha. Foi utilizada uma massa, em torno de 50 g de fatias de mandioca em cada cozimento.

O planejamento experimental fatorial 2^2 com oito repetições no ponto central foi realizado utilizando como variáveis independentes o tempo e a temperatura de cozimento, e como variáveis dependentes absorção de água e redução de minerais.

Para cada cozimento, foi utilizada uma raiz, sendo as respectivas análises realizadas com amostragem em triplicata. Os experimentos do planejamento fatorial (condições 1 a 4 – Tabela 4-1) foram realizados em duplicata e a condição do ponto central executado com 8 repetições, totalizando 16 raízes.

Tabela 4-1 - Planejamento experimental fatorial 2² proposto

Condição	Valores codificados		Valores Reais	
	T	t	T (°C)	t (min)
1 (n=2)	-1	-1	40	2
2 (n=2)	+1	-1	100	2
3 (n=2)	-1	+1	40	10
4 (n=2)	+1	+1	100	10
5 (n=8)	0	0	70	6

T = Temperatura (°C), t = tempo (min), n = número de repetições.

4.2.3 Análises Físicas e Químicas

O teor de minerais foi determinado pelo método 990.08 da AOAC (1998) nas amostras *in natura* e cozida. Foi realizada a leitura dos minerais (K, P e Mg) por espectrômetro de emissão atômica de plasma (Shimadzu, ICPE-9000, Japão). O teor de minerais em base úmida (mg/100g) foi calculado de acordo a Equação 4-1.

$$\text{Minerais (mg/100g)} = \frac{\left[\frac{(\text{Diluição utilizada})}{\text{Massa amostra}} \right] \times (CS - CB)}{10} \quad \text{Equação 4-1}$$

Onde: CS = concentração da solução mineral analisada (mg/l); CB = concentração do branco analisado; Massa de amostra (g).

A perda de minerais foi calculada em base úmida. Utilizando a concentração antes do cozimento e após o cozimento de cada mineral, foi calculada a perda mássica e sua porcentagem, como demonstrado na Equação 4-2.

$$\text{Redução (\%)} = \frac{(\text{Concentração inicial} - \text{Concentração final})}{\text{Concentração inicial}} \times 100 \quad \text{Equação 4-2}$$

Foi utilizado o método 925.23 da AOAC (1998) para determinar o conteúdo de umidade nas amostras *in natura* e cozida. As amostras permaneceram na estufa a 105 °C e 760 mmHg por 24 horas, pois foi observado em testes preliminares umidade de equilíbrio após este período.

Para a determinação do teor de amido, amilose, amilopectina, açúcares redutores foram selecionadas apenas três condições das amostras cozidas do planejamento experimental, por causa do grande número de amostras e análises, entre elas um ponto central, uma condição com maior tempo e maior temperatura e uma condição com menor tempo e menor temperatura.

A extração do amido foi feita por hidrólise ácida, conforme método 996.11 descrito pela AOAC (1998). Determinou-se o teor de amido pelo método do DNS (ácido dinitro-salicílico), seguindo à metodologia de Miller (1959). Realizou-se leitura em espectrofotômetro (Thermo Scientific, Genesys 10S UV-VIS) com comprimento de onda de 540 nm.

Determinaram-se os açúcares redutores pelo método do ácidodinitro-salicílico (DNS), obedecendo-se à metodologia de Miller (1959). Realizou-se leitura em espectrofotômetro (Thermo Scientific, Genesys 10S UV-VIS) com comprimento de onda de 540 nm.

A amilose aparente foi determinada pelo método colorimétrico, conforme descrito por Martinez e Cuevas (1989). A leitura foi realizada em espectrofotômetro (Thermo Scientific, Genesys 10S UV-VIS) com comprimento de onda de 610 nm.

Subentendendo-se que o amido é constituído por amilose e amilopectina, o teor de amilopectina (g/100g) foi obtido utilizando o teor de amilose total encontrado no amido, conforme na Equação 4-3:

$$\text{Amilopectina (g/100g)} = \text{amido (g/100g)} - \text{amilose (g/100g)} \quad \text{Equação 4-3}$$

O teor de fibras dietéticas nas amostras *in natura* foi determinado pelo método 985.29, enzimático-gravimétrico descrito pela AOAC (1998). O teor de lipídios das amostras *in natura* foi obtido utilizando o método de Bligh e Dyer (1959).

4.2.4 Absorção de água com o cozimento

As amostras foram pesadas antes e após o cozimento, à temperatura ambiente, e a absorção de água foi determinada de acordo com a Equação 4-4:

$$\text{Absorção de água (\%)} = \frac{m_a^{cz} - m_a^{in}}{m_a^{in}} \times 100 \quad \text{Equação 4-4}$$

Sendo que m_a^{cz} = massa de água da amostra cozida; m_a^{in} = massa de água da amostra *in natura*. As massas de água das amostras foram calculadas considerando-se a umidade e massa de amostra antes e após o cozimento.

4.2.5 Morfologia

Foi avaliada por imagens obtidas por microscopia eletrônica de varredura. As amostras *in natura* e cozidas foram imersas em nitrogênio líquido e em seguida criofraturadas (por aplicação de pancada com uma espátula) para possibilitar a observação do interior dos chips. Posteriormente, foram liofilizadas até umidade menor que 4%. Previamente à análise, as amostras fraturadas foram montadas em bases de alumínio, utilizando fita dupla face de cobre, e revestidas com uma camada de ouro com 40 mA por 60 segundos (BAL-TEC, SCD050, Sputter Coster, Oerlikon-Balzers, Balzers, Lichtenstein). Em seguida, foram observadas e fotografadas sob um microscópio eletrônico de varredura (FEI Quanta 650 FEG). Os experimentos foram realizados na gama de 10 a 20 kV de aceleração. Todas as medições foram realizadas no Laboratório Nacional de Nanotecnologia (LME/LNNano/CNPem-Campinas, Brasil).

4.2.6 Análise Estatística

Utilizou-se a superfície de resposta (Box, Hunter e Hunter, 1978) para as repostas absorção de água e redução de minerais. Foi verificada a variância da regressão e falta de ajuste ao nível de significância de 5%. O modelo foi considerado significativo estatisticamente, quando apresentava regressão significativa ($F_{cal} > F_{tab}$) e falta de ajuste não significativa ($F_{cal} < F_{tab}$). Demais análises foram avaliadas estatisticamente pelo teste de comparação entre médias, utilizando o programa estatístico STATISTICA 5.5.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1 Redução de Minerais

Na Tabela 4-2 estão apresentadas as concentrações de minerais nas raízes *in natura* e cozidas.

Pode-se observar a grande variabilidade no conteúdo inicial de minerais em todos os experimentos, ou seja, em diferentes raízes analisadas. Parte desta variação se deve ao erro analítico que foi menor que 6% para potássio, 7% para magnésio e 6% fósforo nas amostras *in natura*, considerando a análise de uma mesma amostra (uma raiz). Já os erros analíticos nas amostras cozidas foram inferiores a 7% para o potássio e magnésio e 9% para o fósforo.

As variações nos teores de minerais podem acontecer em função do solo, clima e fatores genéticos associados. Porém, todas as raízes utilizadas são provenientes de uma única variedade, plantadas no mesmo dia e em um único local e colhidas no mesmo dia (após 9 meses). Outra fonte de variação, que pode ter contribuído para a variação dos resultados, é a parte da raiz utilizada na produção dos chips, a qual pode contribuir para o erro analítico. Alguns chips foram obtidos do parênquima (parte da polpa, com células mais preenchidas de amido) e outros do parênquima com xilema (região central da raiz) (Taiz e Zeiger, 2004). Para o fósforo ocorreram menores variações.

Tabela 4-2 - Concentração dos minerais (mg/100g) na raiz *in natura* e na raiz cozida de acordo com a temperatura (T) e tempo (t) de cozimento

EXP	T (°C)	T (min)	K ^{<i>in natura</i>}	K ^{cozido}	Mg ^{<i>in natura</i>}	Mg ^{cozido}	P ^{<i>in natura</i>}	P ^{cozido}
1	40	2	457 ± 13	481 ± 4	16,5 ± 0,7	23,1 ± 0,2	46 ± 2	34 ± 1
2	40	2	463 ± 5	480 ± 18	16,4 ± 0,1	24 ± 1	45,7 ± 0,8	35 ± 1
3	100	2	161 ± 3	125 ± 3	18,2 ± 0,2	16,4 ± 0,4	33,9 ± 0,6	22,8 ± 0,2
4	100	2	201 ± 4	160 ± 3	25,9 ± 0,4	21,5 ± 0,2	45,9 ± 0,5	25,5 ± 0,3
5	40	10	477 ± 23	378 ± 17	18 ± 1	16,8 ± 0,4	38 ± 2	26,1 ± 0,5
6	40	10	472 ± 17	410 ± 15	17,6 ± 0,6	18,3 ± 0,9	37 ± 1	28 ± 1
7	100	10	188 ± 3	144 ± 5	61,6 ± 0,8	31 ± 1	62 ± 1	20 ± 2
8	100	10	353 ± 20	170 ± 5	30 ± 1	12,9 ± 0,5	43 ± 1	14,2 ± 0,5
9	70	6	186 ± 2	163 ± 3	26,1 ± 0,2	24,5 ± 0,2	40,1 ± 0,6	19,1 ± 0,1
10	70	6	184 ± 6	149 ± 6	29,1 ± 0,8	25,3 ± 0,8	41,5 ± 0,7	21,9 ± 0,4
11	70	6	382 ± 3	234 ± 8	20,1 ± 0,1	13,8 ± 0,2	50,2 ± 0,2	27,5 ± 0,3
12	70	6	213 ± 6	177 ± 3	29,3 ± 0,4	22,6 ± 0,3	46,1 ± 0,1	24,9 ± 0,2
13	70	6	412 ± 10	257,1 ± 0,5	25,1 ± 0,9	15,72 ± 0,7	53,5 ± 0,5	32 ± 2
14	70	6	312 ± 9	241 ± 16	22,7 ± 0,9	16 ± 1	41 ± 1	24 ± 0,8
15	70	6	190 ± 2	172 ± 2	38 ± 1	32,3 ± 0,7	34,5 ± 0,4	21,1 ± 0,1
16	70	6	254 ± 3	193 ± 4	25,2 ± 0,5	19,41 ± 0,08	40,6 ± 0,3	18,2 ± 0,3
Média e coeficiente de variação			306 ± 39		26 ± 42		44 ± 16	

A Figura 4-1, que ilustra a redução da concentração de potássio em função da concentração inicial nas amostras do ponto central, mostra a diminuição de potássio pelo cozimento dependente linearmente da sua concentração inicial ($R^2=0,88$). Quanto maior o teor do mineral na amostra, maior a redução observada. Esta redução parece acontecer até que se atinja uma determinada concentração, pois todas no final atingiram valores na faixa de 149 a 257 mg/100g. Este fenômeno não foi observado nos demais minerais. Este fato pode estar relacionado com a função e localização do potássio na mandioca. Este é considerado um elemento muito móvel nas plantas, tanto dentro da célula individual como dentro dos tecidos, pois está presente no alimento como íon livre. O potássio não é constituinte de nenhuma molécula orgânica no vegetal, entretanto, contribui para a ativação de mais de 40 enzimas, é um regulador da entrada e saída de água da célula e estabelece o turgor celular (Taiz e Zeiger, 2004).

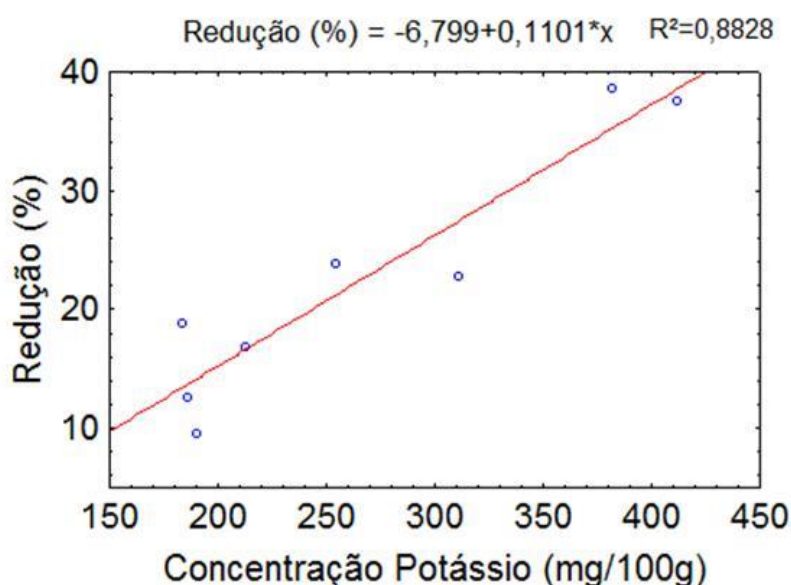


Figura 4-1 - A redução dos teores de potássio com a cocção ocorre em função de sua concentração inicial na amostra *in natura*.

Na Tabela 4-3 está apresentada a porcentagem de redução do teor de minerais (em base úmida – Equação 4-2) nas amostras cozidas.

Observa-se que as maiores porcentagens de redução ocorreram para o cozimento com maior tempo e maior temperatura (experimento 7 e 8). A redução média calculada utilizando os experimentos 7 e 8 foi de 41,8% para

potássio, 52,1% de magnésio e 67% de fósforo, porém também foi observada redução significativa nos experimentos do ponto central.

Tabela 4-3 - Redução (%) de minerais na mandioca de acordo com temperatura (T - °C) e tempo (t – min) de cozimento

EXP	T	t	K % redução	Mg % redução	P % redução
1	40	2	-5,38	-40,13	24,82
2	40	2	-3,65	-44,12	24,32
3	100	2	22,33	10,16	32,77
4	100	2	20,33	16,86	44,60
5	40	10	20,72	5,52	31,33
6	40	10	13,05	-4,09	23,67
7	100	10	23,28	50,08	66,96
8	100	10	51,67	56,48	67,22
9	70	6	12,50	5,98	52,43
10	70	6	38,60	31,20	45,19
11	70	6	37,55	37,25	39,67
12	70	6	9,47	14,55	39,13
13	70	6	18,80	12,88	47,08
14	70	6	16,78	22,79	46,03
15	70	6	22,74	28,15	39,76
16	70	6	23,87	22,88	55,13

T = Temperatura (°C); t = tempo (min).

Um alimento é considerado rico em potássio quando apresenta entre 201 a 350 mg/100g (Cozzolino, 2013; Riella e Martins, 2013). Analisando o ponto central (70 °C por 6 min), a mandioca *in natura* apresentou concentração de potássio, média, de 266 ± 90 mg/100g e quando cozida reduziu este conteúdo para 198 ± 39 mg/100g, sendo este considerado o mineral presente em maior concentração. O teor médio na amostra cozida de magnésio foi de 21 ± 6 mg/100g e de fósforo foi de 24 ± 4 mg/100g. Uma porção de 100g de chips contém, aproximadamente, 7% a 20% de potássio, 2% a 3% de fósforo e 7% de magnésio das recomendações médias da ingestão diária destes minerais

para portadores de doença renal crônica conforme a fase da doença. Para uma população sadia adulta, com função renal normal, 100g de chips de mandioca cozidos corresponderiam a, aproximadamente, 4% de potássio, 3% de fósforo e de 5% a 7% de magnésio, de acordo com ingestão dietética recomendada.

Pela análise estatística de efeito (Apêndice A) as variáveis temperatura e tempo apresentaram efeito significativo positivo ($p \leq 0,05$). Quanto maior a temperatura e o tempo utilizados no cozimento, maior a redução do teor de minerais nas amostras cozidas. Com relação ao potássio e magnésio as duas variáveis foram estatisticamente significativas. Mas, estas variáveis não apresentaram efeito de interação. Já para o mineral magnésio, todas as variáveis tiveram efeito significativo positivo inclusive o fator interação.

As Figuras 4-2, 4-3 e 4-4 apresentam a superfície de resposta, as curvas de nível e a comparação das previsões com os valores observados. Os modelos codificados, representados pelas equações 4-5 (potássio), 4-6 (magnésio) e 4-7 (fósforo) podem ser considerados preditivos, com coeficientes de determinação de 0,57, 0,84 e 0,82 respectivamente.

Especificamente, analisando a correlação entre os valores medidos para a redução dos minerais (K, Mg e P) e os valores preditos pelo modelo estatístico, verifica-se que os dados apresentaram dispersão em torno da reta de regressão do modelo.

$$K(\%) = 20,17 + 11,61xT + 9,39xt \quad (R^2=0,57) \quad \text{Equação 4-5}$$

$$Mg(\%) = 14,77 + 29,86xT + 22,11xt \quad (R^2=0,84) \quad \text{Equação 4-6}$$

$$P(\%) = 42,51 + 13,43xT + 7,83xt + 6,37x(Txt) \quad (R^2=0,82) \quad \text{Equação 4-7}$$

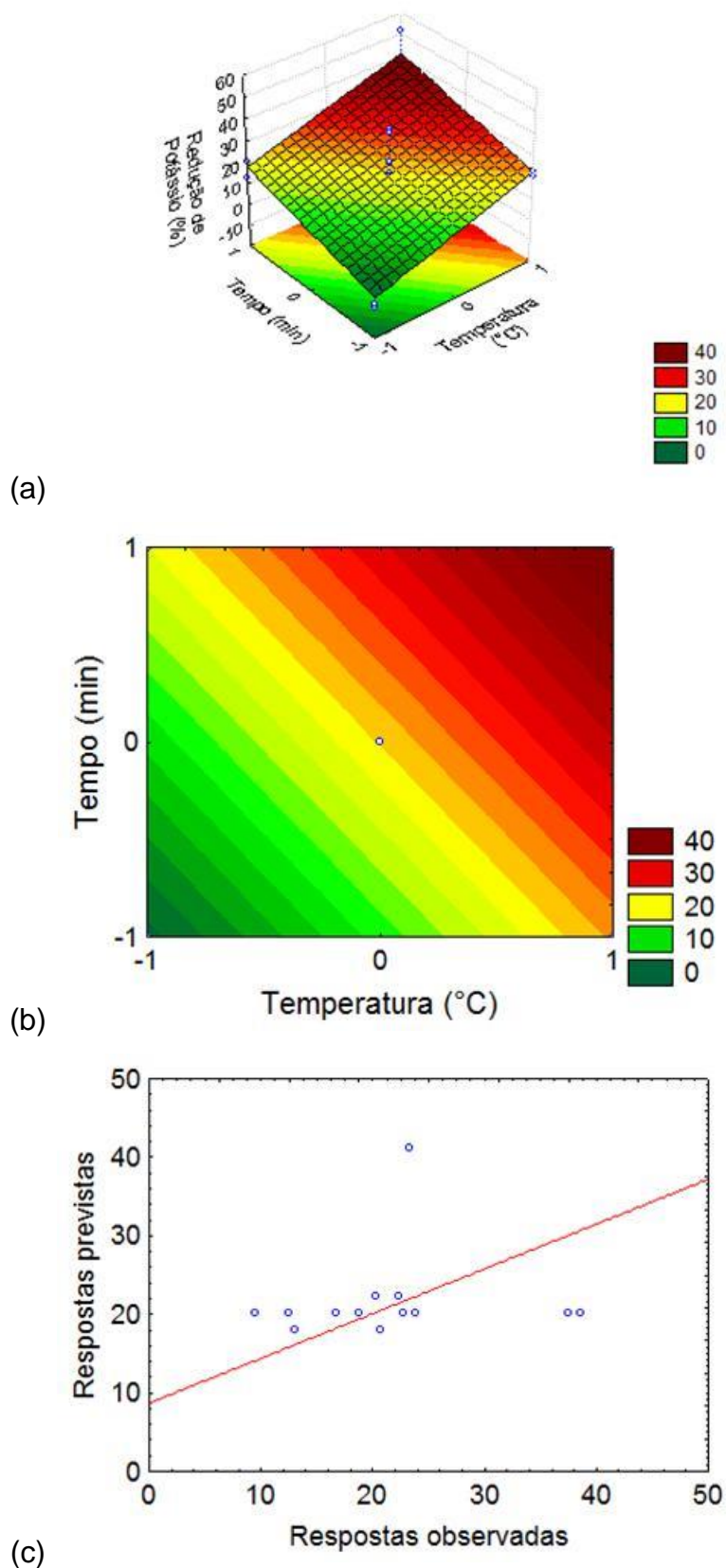


Figura 4-2 Superfície de resposta (a) para potássio. (b) Suas curvas de nível. (c) Comparação das previsões com os valores observados.

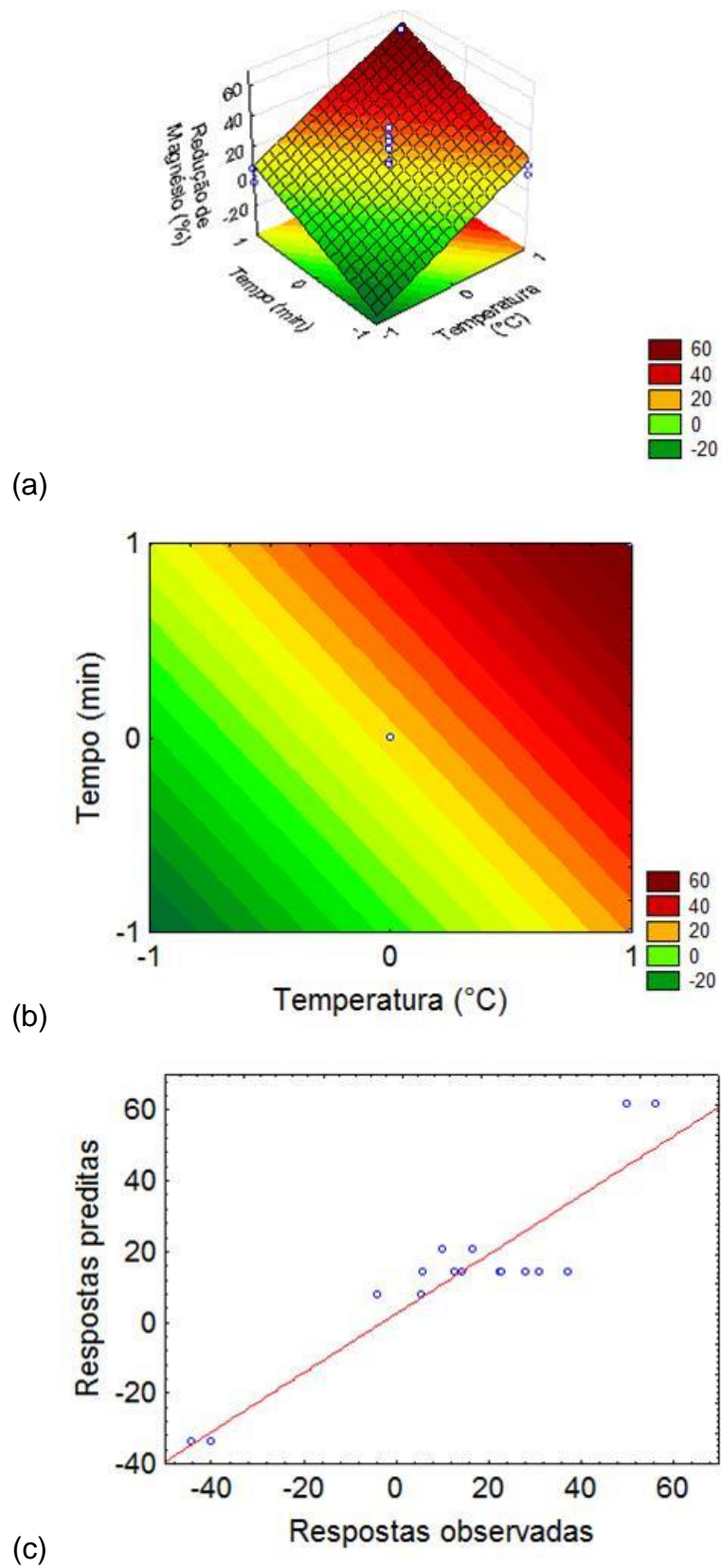


Figura 4-3 Superfície de resposta (a) para o magnésio. (b) Suas curvas de nível. (c) Comparação das previsões com os valores observados.

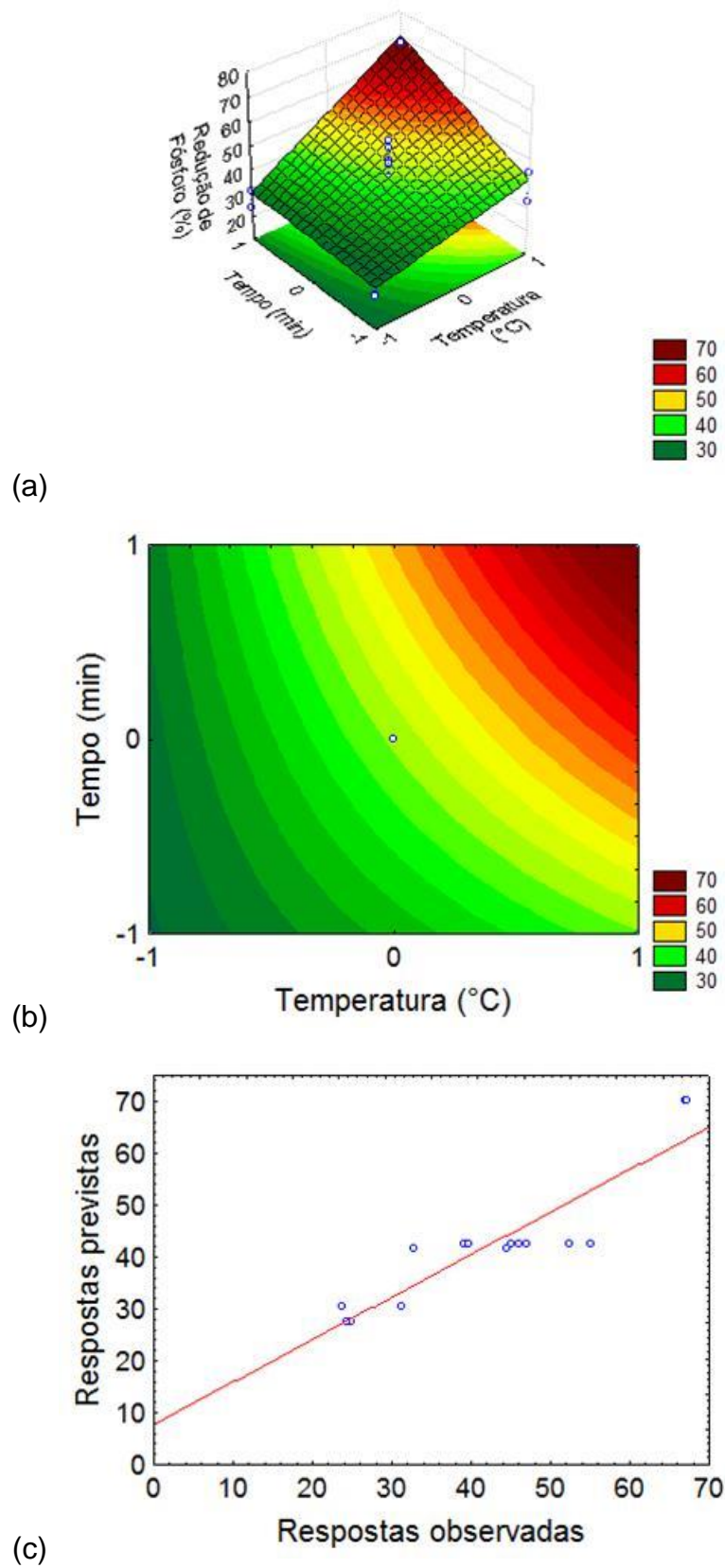


Figura 4-4 Superfície de resposta (a) para o fósforo. (b) Suas curvas de nível. (c) Comparação das previsões com os valores observados.

4.3.2 Umidade e Absorção de Água

Na Tabela 4-4 encontram-se os teores de umidade nas amostras *in natura* e cozida e a absorção de água, nas condições testadas.

Tabela 4-4 - Resultados de umidade (X) nas amostras *in natura* e cozidas e absorção de água (%) durante o cozimento

Exp	T	t	Umidade (%)	Umidade (%)	Absorção de
			<i>in natura</i>	cozida	água (%)
1	40	2	66,7±0,1	72,9±0,3	10,09
2	40	2	62,06±0,2	68,5±0,3	10,33
3	100	2	65,81±0,07	72,9±0,1	10,77
4	100	2	65±1	72,6±0,6	10,75
5	40	10	64,26±0,08	71,5±0,2	11,28
6	40	10	62,1±0,2	71,8±0,3	15,72
7	100	10	59±4	75,2±0,1	28,19
8	100	10	61,93±0,06	82,3±0,2	32,96
9	70	6	62,25±0,02	74,1±0,1	19,01
10	70	6	60,5±0,2	69,8±0,5	15,43
11	70	6	64,2±0,2	76,2±0,4	15,33
12	70	6	65,6±0,2	74,6±0,2	20,06
13	70	6	62,0±0,5	71,6±0,4	18,58
14	70	6	59,0±0,2	70,9±0,4	20,27
15	70	6	60,59±0,09	73±1	13,71
16	70	6	65,48±0,07	73,8±0,4	12,75
Média umidade amostras <i>in natura</i>			63±3		

T = Temperatura (°C); t = tempo (min).

A porcentagem de umidade das raízes de mandioca *in natura* variou entre 59% e 66,7%, estando semelhante à citada pela TACO (2011), 61,8%. As diferenças nos teores de umidade das raízes podem ser provenientes da variação da quantidade de água disponível no solo e pela variação por partes distintas da raiz. Já a mandioca cozida nas diferentes condições do

planejamento experimental apresentou umidade final entre 70,3% e 78,8%. Grizotto e Menezes (2003) avaliaram a composição centesimal das variedades de mandioca IAC Mantiqueira e IAC 576.70 in natura e observaram umidades de 57,6 a 58,2%.

Temperatura e tempo do cozimento mais elevados foram responsáveis por maior umidade nas raízes de mandioca, que pode ser observado quando se compara os experimentos 1, 2, 5 e 6 (40 °C) com os experimentos 3, 4, 7 e 8 (100 °C).

A absorção de água pelas amostras foi maior para cozimentos em temperaturas mais elevadas e tempos mais prolongados, indicando que o processo de cozimento provocou um aumento no ganho de água das raízes. No cozimento a 100 °C por 10 minutos foi obtido o maior resultado, absorção de 28,19 a 32,96% de água, estas mesmas amostras apresentaram os maiores teores de umidade após o cozimento, 75,2 e 82,3%, respectivamente.

A imersão em água quente pode ter promovido o amolecimento dos tecidos vegetais, e assim facilitou a entrada da água de cozimento para o interior do tecido vegetal. A gelatinização pode ter provocado uma alteração estrutural no amido, mudando a estrutura de seus grânulos, favorecendo a absorção de água (Damodaran et al., 2010; Sajeev et al., 2010; Varnalis et al., 2001).

A gelatinização do amido provoca alterações benéficas e desejadas como o amaciamento do tecido vegetal, porém provocou maior absorção de água quando utilizada a condição mais intensa de cozimento. Como o produto passará por um posterior processo de secagem, maior absorção de água (em torno de 30%) e maior teor de umidade, podem ocasionar maior tempo de secagem. Os experimentos do ponto central (70 °C por 6 minutos) apresentaram redução significativa do conteúdo de minerais e menor absorção de água quando comparado ao cozimento a 100 °C por 10 minutos. Além disso, as amostras com o cozimento a 100 °C por 10 minutos quebravam após o cozimento, provocando perdas de material.

A análise estatística (Apêndice B) mostra que todas as variáveis foram estatisticamente significativas ($p \leq 0,05$), ou seja, quanto maior tempo e maior

temperatura de cozimento, maior foi o resultado da absorção de água, corroborando com os resultados de umidade.

O modelo codificado, representado pela Equação 4-8 pode ser considerado preditivo, com coeficiente de determinação de 87%. A Figura 4-5 apresenta a superfície de resposta construída para a absorção de água. Suas curvas de nível e a comparação das previsões com os valores observados.

$$\text{Absorção de água}(\%) = 16,58 + 4,41xT + 5,78xt + 4,13x(Txt) \quad (R^2=0,87)$$

Equação 4-8

Analisando a correlação entre os valores medidos para a absorção de água e os valores preditos pelo modelo estatístico, verifica-se que os dados apresentaram baixa dispersão em torno da reta de regressão do modelo, com aceitável reprodutibilidade dos pontos centrais.

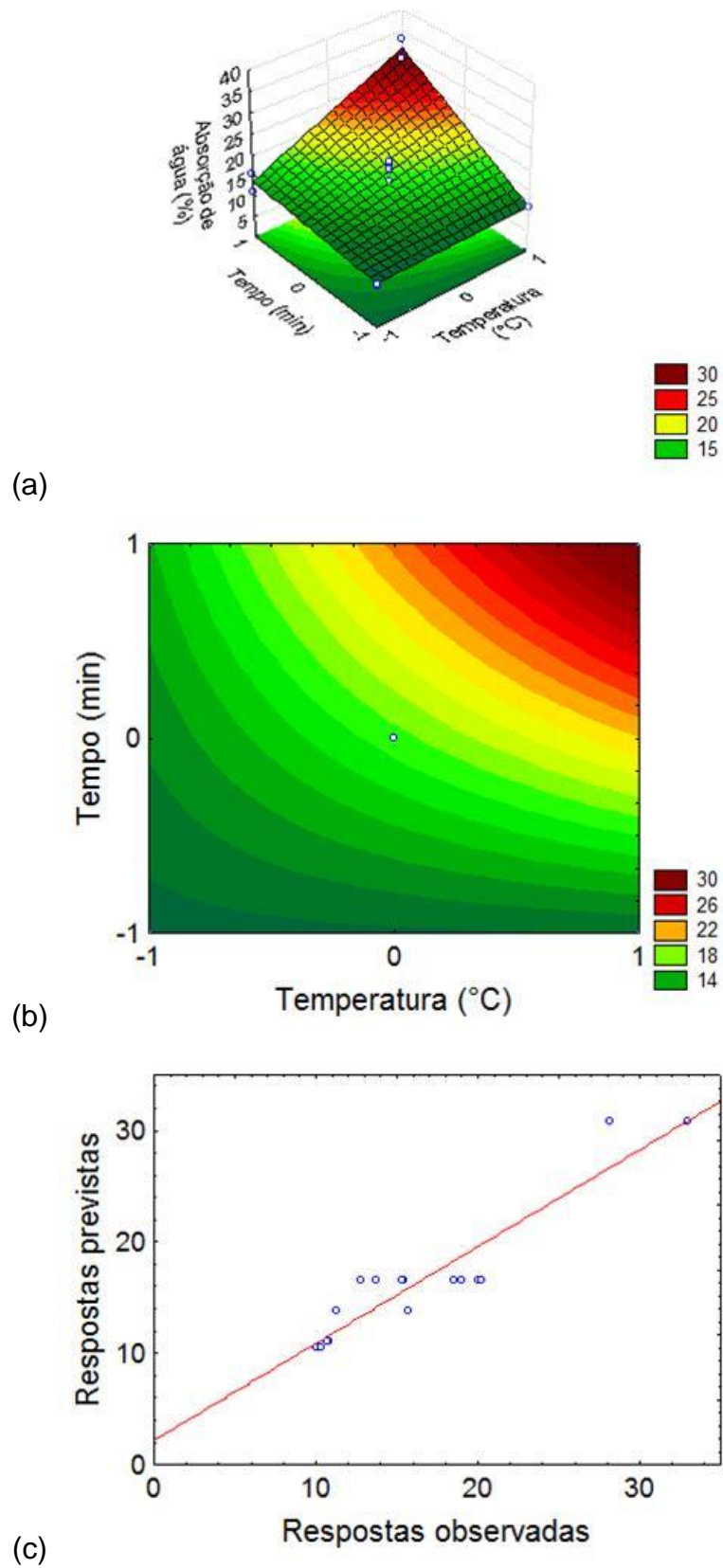


Figura 4-5 Superfície de resposta (a) para a absorção de água. (b) Suas curvas de nível. (c) Comparação das previsões com os valores observados.

4.3.3 Teores de amido, amilose, amilopectina, açúcares redutores, fibras, lipídios e morfologia

Na Tabela 4-5 estão apresentados os teores de amido, amilose, amilopectina, açúcares redutores, fibra dietética e lipídios encontrados na mandioca *in natura* e cozidas.

Chips de mandioca *in natura* da variedade IAC Espeto apresentaram 25 g/100g de amido, 8,6 g/100g de amilose, 15 g/100g de amilopectina, 1,9 g/100g de açúcares redutores, 4 g/100g de fibras e 0,64 g/100g de lipídios. A composição dos alimentos é comprovadamente variável. De acordo com os autores Hoover (2001), TACO (2006), Rimoldi (2006), Maieves (2010) e Sajeev (2010), a mandioca apresenta em média 16% a 36% de amido, 2% de fibras, amilose total entre 15,6% e 23,4% e teores de proteína e lipídios juntos abaixo de 4%. A composição do amido de mandioca foi analisada por alguns autores; Defloor (1998) relatou que o teor de amilose no amido variou de 18,6 a 23,6%, Gunaratne (2002) 22,4%, Nwokocha (2009) 29,29% e Freitas (2014) 24,2%.

Quando analisado os experimentos referentes aos cozimentos na Tabela 4-5, observa-se uma diferença significativa no conteúdo de amido e açúcares redutores nas diferentes condições de cozimento, os menores resultados foram relacionados com maior tempo e maior temperatura, confirmando que parte destes grânulos podem ter sido lixiviados. Na condição mais intensa de cozimento (100 °C por 10 minutos), ocorreram perdas de fragmentos e/ou de amostras possivelmente provenientes do intenso rompimento do tecido vegetal, essas perdas estruturais podem ser responsáveis pelas alterações na composição dos chips, resultando em menores teores de amido e açúcares redutores.

Tabela 4-5 - Teores de amido, amilose, amilopectina, açúcares redutores, fibra dietética e lipídios (g/100g de amostra em base úmida) de amostras de chips de mandioca *in natura* e cozidos e porcentagem de redução após cozimentos em relação aos teores da amostra *in natura*

g/100g de amostra em base úmida ± desvio padrão (porcentagem de redução)						
EXP	Amido	Amilose	Amilopectina	Açúcares Redutores	Fibra Dietética	Lipídios
<i>In natura</i>	25±2	8,6±0,6	17±2	1,9±0,4	4±1	0,64±0,02
40 °C por 2 minutos	19,4±0,5 ^a (19,8)	6,2±0,2 ^a (33,7)	NA	0,8±0,1 ^a (59,3)	NA	NA
70 °C por 6 minutos	17,7±0,4 ^b (28,8)	5,2±0,4 ^a (35,4)	NA	0,50±0,07 ^b (67,2)	NA	NA
100 °C por 10 minutos	15,7±0,4 ^c (43,0)	5,2±0,5 ^a (39,8)	NA	0,12±0,02 ^c (94,7)	NA	NA

*Letras iguais, na mesma coluna, não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 5% de significância.
NA= não analisado.

O conteúdo de amilose não apresentou diferença significativa, sendo os teores em torno de 5,2 e 6,18 g/100g de mandioca, com maior redução (39,82%) nas amostras cozidas a 100 °C por 10 minutos. A gelatinização do amido é responsável pelo rompimento da estrutura dos grânulos e pela lixiviação das cadeias de amilose para o meio de cozimento. Para amostras de mandioca cozidas, a TACO (2006) encontrou 30,1 g de carboidratos.

Açúcares redutores são solúveis em água, à medida que o tempo e a temperatura do cozimento aumentavam maior foi a redução observada. Com o cozimento a 100 °C por 10 minutos, ocorreu uma redução de 94,57% de açúcares redutores.

Na Figura 4-6, podem-se observar imagens obtidas com microscopia eletrônica de varredura das amostras de mandioca *in natura* e com diferentes condições de cozimento.

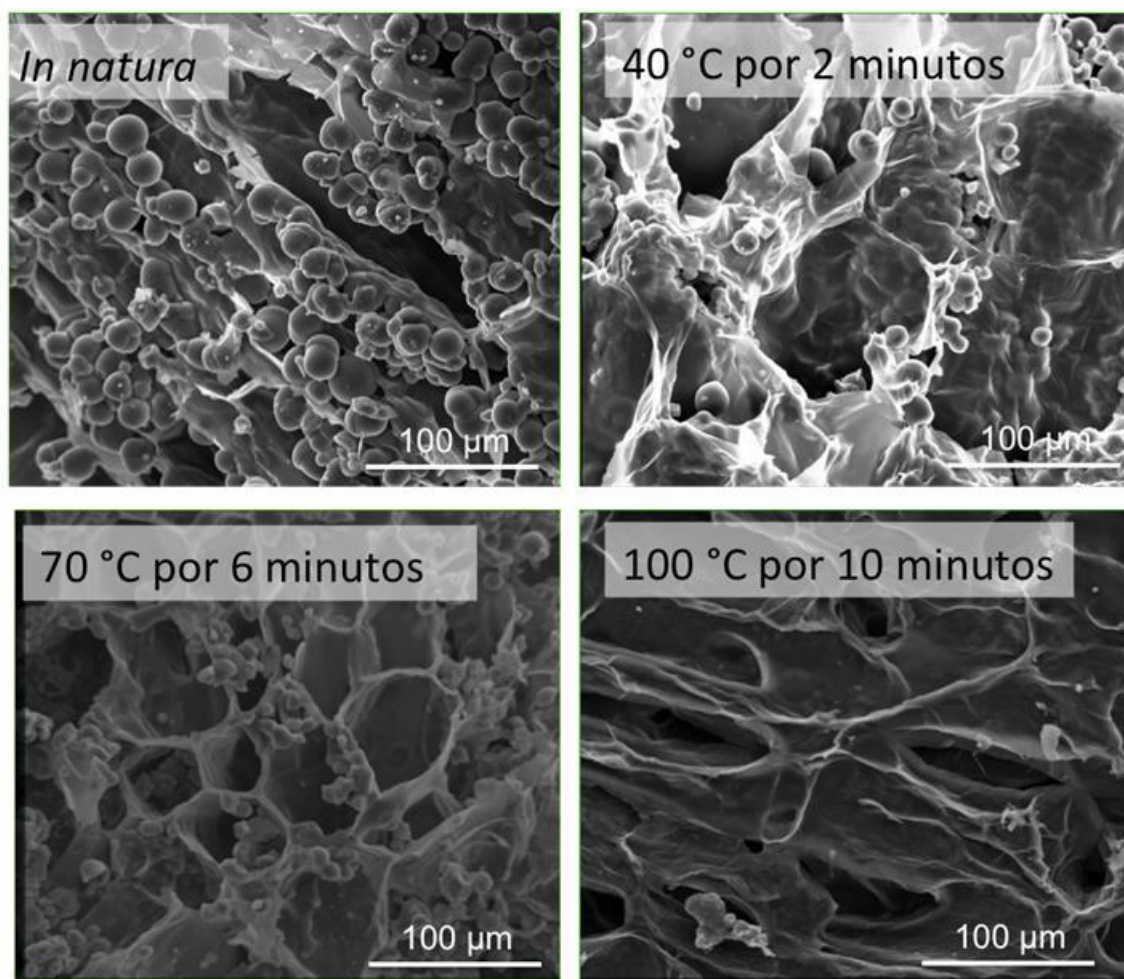


Figura 4-6 Imagens obtidas utilizando microscopia eletrônica de varredura das fraturas das amostras de mandioca com 2000x de magnificação.

Observa-se que com o aumento da temperatura de aquecimento durante o cozimento, os grânulos de amido começaram a absorver grandes quantidades de água e parte destes grânulos começou a ser lixiviado ou sofreu alterações estruturais, caracterizado pela formação do gel. Como resultado, a estrutura interna dos grânulos de amido foi desintegrada e menor quantidade de grânulos de amido foi encontrada nas amostras após o cozimento em condições de maior tempo e temperatura. Como podem ser observados na imagem referente à amostra in natura, os grânulos de amido são uniformes quanto ao formato e tamanho.

O cozimento a 70°C proporcionou redução da concentração de amido de 29% (Tabela 4-5). Nesta condição, nem todo amido restante foi gelatinizado, embora a temperatura esteja na faixa da temperatura de gelatinização do mesmo. O aumento da temperatura para 100 °C e maior tempo de exposição, além de proporcionar maior gelatinização, também proporcionaram total gelatinização do mesmo na superfície e interior do tecido. Todavia, nesta condição de cozimento, pela temperatura elevada e o tempo de exposição mais prolongado, ocorreram muitas perdas de chips durante o processo. Com a gelatinização do amido e o amolecimento do tecido vegetal mais intenso, mais de 50% dos chips após o cozimento sofreram quebra, com conseqüente redução do rendimento de chips íntegros.

4.4 RESUMO E CONCLUSÕES

Conclui-se que as condições com alterações desejadas foram de 70 °C por 6 minutos e 100 °C por 10 minutos, já que o cozimento por pouco tempo (2 minutos) e em baixas temperaturas (40 °C) não provocou as alterações físicas e químicas significativas. Com o cozimento a 70 °C por 6 minutos ocorreu redução significativa no conteúdo de minerais e alterações estruturais favoráveis para obter um produto final mais próximo ao desejado pelo consumidor, e as amostras permaneceram íntegras após o cozimento. Para

uma conclusão definitiva da condição mais indicada de cozimento previamente à secagem, outras análises precisam ser realizadas, como cinética de secagem e análise sensorial.

4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves, A., Cansian, R.L., Stuart, G., Valduga, E. (2005) Alterações na qualidade de raízes de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) minimamente processadas. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, 29 (2):330-337.
- AOAC- Official Methods of Analysis (1998) Washington: Association of Official Analytical Chemists.
- Bezerra, V.S., Pereira, R.G.F.A., Carvalho, V.D., Vilela, E.R. (2002) Raízes de mandioca minimamente processadas: efeito do branqueamento na qualidade e na conservação. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, 26 (3):564-575.
- Bligh, E.G., Dyer, W.J. (1959) A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology*, 37(8):911-917.
- Bobbio, F.O., Bobbio, P.A. (2001) Química do Processamento de Alimentos. São Paulo: Varela, 143p.
- Box, G.E.P., Hunter, W.C., Hunter, J.S. (1978) Statistics for Experimenters: an Introduction to Design, Data Analysis and Model Building. New York: John Wiley and Sons, 401p.
- Burrowes, J.D., Ramer, N.J. (2006) Removal of potassium from tuberous root vegetables by leaching. *Journal of Renal Nutrition*, 16(4):304-311.
- Copetti, C., Oliveira, V.R., Kirinus, P. (2010) Evaluation of potassium in vegetables submitted to different cooking methods and their possible use in renal diet. *Rev. Nutr.*, Campinas, 23(5):831-838.
- Cozzolino, S.M.F. (2013) Biodisponibilidade de nutrientes. Barueri/SP, Manole, 4. ed., 1334p.
- Cuppari L. (2005) Guias de medicina ambulatorial e hospitalar da UNIFESP-EPM: Nutrição clínica no adulto, 2. ed., Barueri/SP, Manole, 474p.

- Cuppari, L., Avesani, C.M., Kamimura, M.A. (2013) Nutrição na doença renal crônica. 1. ed., Barueri/SP, Manole, 460p.
- Damodaran, S., Parkin, K.L., Fennema, O.R. (2010) Química de Alimentos de Fennema, Porto Alegre: Artmed, 900p.
- Defloor, I., Dehing, I., Delcour, J. (1998) Physicochemical properties of cassava starch. *Starch*, 37:58-64.
- FAO. (2013) Organização das Nações Unidas para alimentação e agricultura. produzir mais com menos: mandioca, um guia para a intensificação sustentável da produção, 24p.
- Fellows, P.J. (2006) Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e práticas. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 602p.
- Freitas, R.A., Paula, R.C., Feitosa, J.P.A., Sierakowski, M.R. (2004) Amylose contents, rheological properties and gelatinization kinetics of yam (*Dioscorea alata*) and cassava (*Manihot utilíssima*) starches. *Carbohydrate Polymers*, 55:3-8.
- Grizotto, R.K., Menezes, H.C.(2003) Avaliação da aceitação de “chips de mandioca”. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*.23:79-86.
- Gunaratne, A., Hoover, R.(2002) Effect of heat – moisture treatment on the structure and physicochemical properties of tuber and root starches. *Carbohydrate Polymers*, 49:425-437.
- Hoover, R. (2001) Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: a review. *Carbohydrate Polymers*, 45:253-267.
- Huang, S., Jao, C., Hsu, K. (2009) Effects if hydrostatic pressure/heat combinations on water uptake and gelatinization characteristics of japonica rice grains: a kinetic study. *Journal Of Food Science*, 74:442-448.
- IBGE. (2015) Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Levantamento Sistemático Da Produção Agrícola. Pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil, 118p.
- Jorge, J.R.V., Zeoula, L.M., Prado, I.N. (2002) Substituição do milho pela farinha de varredura (*Manihot esculenta*, Crantz) na ração de bezerras holandeses. Digestibilidade e valor energético. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 31(1):205-212.
- Kawashima, L.M., Soares, V. (2005) Effect of blanching time on selective mineral elements extraction from the spinach substitute commonly used in Brazil (*tetragonia expansa*). *Ciênc. Technol. Aliment.*, Campinas, 25 (3):419-424.

- Ladeira, T.M.S., Pena, R.S. (2011) Propriedades físico-químicas e tecnológicas dos polvilhos azedos de três cultivares de mandioca. *Alim. Nutr. Araraquara*, 22 (4):631-640.
- Lopes, M.G.G., Cuppari, L. (2013) Distúrbios do metabolismo mineral. In Cuppari, L., Avesani, C.M., Kamimura, M.A. *Nutrição na doença renal crônica*. Manole, 480p.
- Mahan, K., Escott-Stump, S. (2010) *Krause, alimentos, nutrição e dietoterapia*. Rio de Janeiro, Elsevier, 12ed, 1354p.
- Maieves, H.A. (2010) Caracterização Física, Físico Química e Potencial Tecnológico de novas Cultivares de Mandioca Dissertação (mestrado) Programa de Pós Graduação em Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 114p.
- Martinez, C.Y., Cuevas, F. (1989) Evaluación de la calidad culinária y molinera del arroz. Guia del estudio. Cali: CIAT, 75p.
- Miller, G.L. (1959) Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugars. *Analytical Chemistry*, Washington, 31:426-8.
- Nwokocha, L.M., Aviara, N.A., Senan, C., Williams, P.A. (2000) A comparative study of some properties of cassava (*Manihot esculenta*, Crantz) and cocoyam (*Colocasia esculenta*, Linn) starches. *Carbohydrate Polymers*, 76:362-367.
- Orsat, V., Yang, W., Changrue, V., Raghavan G.S.V. (2007) Microwave-assisted drying of biomaterials. *Trans IChemE, Part C, Food and Bioproducts Processing*, 85(C3):255-263.
- Pereira, N.R., Godoi, F.C., Rocha, S.C.S. (2010) Drying of starch suspension in spouted bed with inert particles: physical and thermal analysis of product, *Drying Technology*, 28:11,1288-1296.
- Pigoli, D.R. (2012) Alterações nutricionais em hortaliças decorrentes de diferentes métodos de cozimento. Dissertação (mestrado), Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, SP, 76p.
- Ratnayake, W.S., Jackson, D.S. (2007) A new insight into the gelatinization processo f native starches. *Carbohydrate Polymers*, 67:511-529.
- Riella, M.C., Martins, C. (2013) *Nutrição e o rim*, 2. ed., Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 382p.
- Rimoldi, F., Vidigal, P.S., Vidigal, M.C.G., Clemente, E., Pequeno, M.G., Miranda, M., Kvitschal, M.V. (2006) Produtividade, composição química e tempo de cozimento de cultivares de mandioca-de-mesa coletadas no Estado do Paraná. *Acta Scientiarum Agronomy*, Maringá, 28:63-69.

- Santos, M.A.T., Abreu, C.M.P., Carvalho, V.D. (2003) Efeito de diferentes tempos de cozimento nos teores de minerais em folhas de brócolis, couve-flor e couve (*brassica oleraceai*.) *Ciênc. Agrotec.*, Lavras 27 (3):597-604.
- Sajeev, M.S., Sreekumar, J., Unnikrishnan, M., Moorthy, S.N., Shanavas, S. (2010) Kinetics of Thermal Softening of Cassava Tubers and Rheological Modeling of the Starch. *Journal of Food Science and Technology*, 47:507–518.
- Saxena, A. (2012) Nutricional problems in adult patients with chronic kidney disease. *Clinical Queries: Nephrology* 1:222-235.
- Scheibler, J., Ethur E.M.; Del Bosco S.M.; Marchi M.I. (2010) Quantificação de micronutrientes em vegetais submetidos a diferentes métodos de cocção para doente renal crônico. *ConScientiae Saúde*, 9(4):549-555.
- Valduga, E., Tomicki, L., Witschinski, F., Colet, R., Peruzzolo, M., Ceni, G.C. (2011) Acceptance evaluation of components of mineral in different cassava's varieties (*Manihot esculenta* Crantz) after cooking. *Alim. Nutr.*, Araraquara, 22(2)205-210.
- Varnalis, A.I., Brennan, J.G., Macdougall D.B.A. (2001) A proposed mechanism of high temperature puffing of potato. Part II. The influence of blanching and initial drying on the permeability of the partially dried layer to water vapour. *Journal of Food Engineering*, 48:369-378.
- Velde, F., Riel, J., Tromp, R.H. (2002) Visualisation of starch granule morphologies using confocal scanning laser microscopy (CSLM). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 82:1528-1536.
- TACO - Tabela Brasileira de Composição de Alimentos. Campinas, NEPA UNICAMP 2011, 161p.
- Taiz, L., Zeiger, E. (2004) *Fisiologia Vegetal*. Porto Alegre/RS, Artmed, 722p.

5. TRABALHO

OBTENÇÃO DE CHIPS DE MANDIOCA: EFEITO DO COZIMENTO NA SECAGEM POR AR QUENTE COMBINADA COM MICRO-ONDAS

RESUMO

Neste trabalho foi estudado o efeito de diferentes condições de cozimento na secagem com ar quente combinada com micro-ondas. Foi caracterizado o rendimento de obtenção de chips, a mandioca *in natura*, cozida e seca quanto aos teores de umidade, amido, amilose, amilopectina, açúcares redutores, atividade de água, absorção de água durante o cozimento, as alterações estruturais ocorridas em cada etapa, a modelagem matemática da cinética de secagem, o encolhimento e a aceitação sensorial das amostras secas, visando decidir a melhor condição de processo para obter os chips de mandioca. Os resultados mostraram não haver diferença significativa na secagem e no tempo de processo entre os cozimentos a 70 °C por 6 minutos e

a 100 °C por 4 minutos. Maior redução de amido, amilose e açúcares redutores ocorreram nas amostras cozidas a 100 °C por 4 minutos, além de maior absorção de água, maior teor de umidade e maior encolhimento. Na microscopia eletrônica de varredura foi evidenciada a gelatinização do amido nas duas condições de cozimento, pela diminuição dos grânulos de amido na superfície e na fratura dos chips. Somente o atributo aparência diferiu no teste de aceitação sensorial, e menores notas com relação a textura foram relacionadas para amostra cozida a 100 °C por 4 minutos. Sendo assim, a condição com temperatura de 70 °C e tempo de 6 minutos foi considerada a melhor, pois nesta condição não ocorreram perdas de amostra na cocção e por apresentar as alterações físicas e estruturais desejadas para desenvolver um produto do tipo chips com secagem com ar quente combinada com micro-ondas.

5.1 INTRODUÇÃO

A mandioca é considerada uma fonte importante de calorias por ter em suas raízes o acúmulo de amido, sendo assim considerada fonte de subsistência em todo o mundo. O Brasil é considerado o centro da diversidade, e à região Amazônica é atribuída sua origem. Apesar das várias formas de consumo, cozida, frita, assada ou fécula, apresenta alta perecibilidade das raízes na pós-colheita e facilidade de contaminação microbiológica, que dificultam sua maior utilização, necessitando então ser consumida rapidamente ou processada nos primeiros dias pós-colheita. (Bezerra, 2002; Alves et al., 2005; Orsat et al., 2007).

Utilizar um método para prolongar o tempo de vida útil da mandioca, como a secagem, pode ser uma alternativa eficiente. A secagem é uma operação na qual ocorre eliminação da água de um material por evaporação ou sublimação, através da aplicação de calor com condições controladas e, é provavelmente o mais antigo método de conservação de alimentos. A secagem

permite preservar a qualidade nutricional, gera mais praticidade para o consumidor e aumenta o tempo de utilização com relação ao alimento *in natura* (Maskan, 2001; Park et al., 2001; Raghavan et al., 2005; Andrade et al., 2006; Orsat et al., 2007; Park et al., 2007). A secagem reduz a atividade de água do produto, podendo inibir o crescimento microbiano, diminuindo a atividade enzimática, a velocidade das reações químicas e conseqüentemente, evita a deterioração dos mesmos (Mujumdar, 2000; Fellows, 2006).

Mesmo sendo um método de baixo custo, a secagem com ar quente possui baixa eficiência energética, taxas de secagem mais lentas com conseqüente longos tempos de secagem e pode gerar um produto com menor qualidade final. Combinar a secagem com ar quente com aplicação de micro-ondas pode reduzir o tempo de secagem. O aumento da taxa de secagem ocorre pela rápida absorção de micro-ondas pelas moléculas de água e outras moléculas polares, o que favorece a evaporação e difusão de umidade no interior do material (Raghavan et al., 2005; Pereira, 2007; Lopes, 2013).

A utilização do cozimento como um pré-tratamento, pode tornar o processo mais eficaz e gerar um produto final com melhores características sensoriais. Esta etapa de cozimento pode provocar a lixiviação de minerais, reduzindo o conteúdo destes, tornando este produto final ideal para um público específico como, pacientes com doença renal crônica (como mostrado no Capítulo 4). Na mandioca, por ser rica em amido, esta etapa pode melhorar a textura e também gerar um produto mais próximo do desejado pelo consumidor. As alterações estão relacionadas com a gelatinização do amido, com o rompimento da estrutura celular e a redução da permeabilidade da superfície que ocorrem durante o cozimento. A gelatinização do amido é responsável por outras diversas alterações como: inchaço irreversível do grânulo, perda de birrefringência, absorção de água, perda da cristalinidade e a lixiviação de amilose, essas alterações afetam os tecidos celulares e influenciam as características da massa apresentada após cocção. A gelatinização ocorre entre 45 e 80 °C em presença de água. Alimentos amiláceos são comumente utilizados para elaboração de produtos do tipo chips (Varnalis et al., 2001; Bobbio e Bobbio, 2001; Fellows, 2006; Nwokocho et al., 2009; Pereira, 2010).

Para determinar a condição mais indicada de cozimento, precisa-se avaliar o efeito nas demais etapas de elaboração dos chips de mandioca e a aceitação sensorial destes. Por esse motivo, o objetivo principal deste trabalho foi explorar o processo de obtenção de chips de mandioca, com enfoque no estudo da influência da etapa de cozimento na secagem com ar quente combinada com micro-ondas.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

5.2.1 Preparo da Matéria-Prima

Foi utilizada a variedade de raiz de mandioca de mesa IAC Espeto, proveniente de cultivo na Estação Experimental da UENF-RJ, na ilha Barra do Pomba, no município de Itaocara, Rio de Janeiro, localizado na região Noroeste Fluminense, 21°39'12" de latitude sul, 42°04'36" de longitude oeste e a 60 metros de altitude. O solo da área experimental foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo, região com temperatura média anual de 22,5 °C e precipitação média anual de 1,041 mm. No plantio foi aplicado 50g do formulado (04-14-08) (NPK). A lavoura foi irrigada, porém a irrigação foi feita sem grande controle. O espaçamento utilizado foi de 1,0 m entre linhas e 0,6 m entre plantas (1,0x0,6). O experimento foi instalado em blocos causalizados com 3 repetições, cada unidade experimental era composta por 22 plantas (66 plantas de cada variedade).

As raízes colhidas em julho de 2015, foram selecionadas de acordo com as condições estruturais, comprimento (30 ± 10 cm) e largura (42 ± 10 mm) e condições de cultivo (colhidas após 9 meses de plantio).

As raízes foram mantidas em caixas plásticas abertas em temperatura ambiente. 24 horas após a colheita, as raízes foram lavadas, sanitizadas por imersão durante 15 minutos em solução de hipoclorito de sódio com 100 mg/L de cloro ativo. Em seguida, foram descascadas manualmente, retirando-se a casca, a entrecasca e descartando as extremidades. Após esta etapa, as

raízes foram cortadas em lâminas de 2 mm de espessura com auxílio de um fatiador de frios elétrico (Gural, modelo GLP-330, Paraná, Brasil) e depois em pedaços cilíndricos de 25 mm de diâmetro e 2 mm de espessura utilizando um cortador cilíndrico. Pode-se observar na Figura 5-1, raízes de mandioca antes e após o descasque.

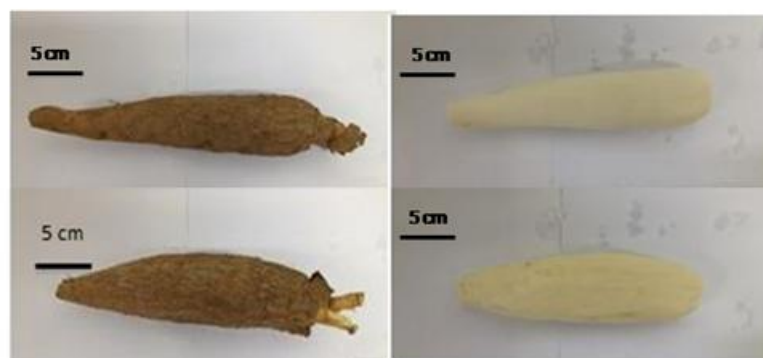


Figura 5-1 Imagens de 2 raízes utilizadas, com casca e após o descasque.

Todas as raízes utilizadas nos experimentos foram pesadas antes e após o descasque, e calculada a perda nesta etapa (g e %). O total de chips obtido de cada raiz também foi quantificado (g e %), caracterizando o rendimento.

5.2.2 Cozimento

As amostras foram submetidas ao pré-tratamento, que consistiu no cozimento por imersão em água destilada na proporção de 1:5 (amostra:água) em um becker sobre chapa aquecedora (Fisatom, modelo 752^a, série 188033, Brasil) com agitação manual, seguido de resfriamento em água destilada à temperatura ambiente (para interromper o cozimento) e escoamento do excesso de água em papel toalha.

Cada condição do pré-tratamento (Tabela 5-1) foi realizada em duplicata, sendo os ensaios realizados com mais de uma raiz (dependendo do rendimento de chips por raiz), totalizando 6 experimentos. O experimento 1 não recebeu nenhum tipo de pré-tratamento (amostra *in natura*). No experimento com o cozimento a 100 °C por 4 minutos, o tempo de cozimento foi reduzido

para evitar perdas de amostras. Conforme foi descrito no Capítulo 4 desta dissertação, os cozimentos a 40 °C por 2 ou 10 minutos apresentaram alterações pouco significativas nos chips de mandioca, por este motivo, esta condição não foi reproduzida nesta segunda etapa do trabalho. A Figura 5-2 ilustra os chips durante e após o cozimento.

Tabela 5-1 – Descrição das condições experimentais utilizadas no pré-tratamento

Experimento	Temperatura (°C)	Tempo (min)
<i>In natura</i>	-	-
70 °C por 6 min	70	6
100 °C por 4 min	100	4

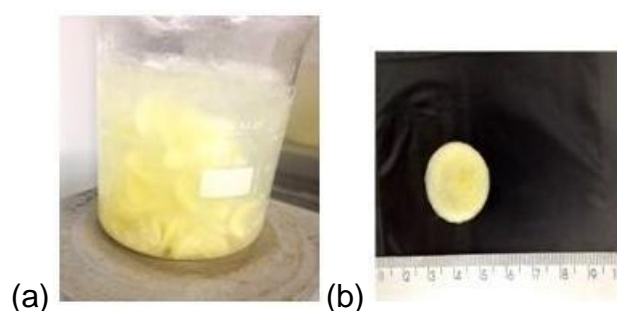


Figura 5-2 Chips de mandioca durante (a) e após (b) o cozimento.

5.2.3 Secagem

A secagem com ar quente combinado com micro-ondas foi conduzida em um forno de micro-ondas doméstico da marca Brastemp (modelo BMC38-A) com 760W de potência nominal máxima e cavidade com 38 litros de volume, adaptado a um sistema de ar quente instalado no Laboratório de Tecnologia de Alimentos (LTA/ CCTA/ UENF) e descrito em Lopes (2013). Os vidros interno e externo de proteção da porta do forno foram removidos, mantendo a tela metálica, que mantém as micro-ondas dentro da cavidade de aplicação, não permitindo que escapassem.

A Figura 5-3 representa o equipamento de micro-ondas adaptado a um sistema de ar quente.

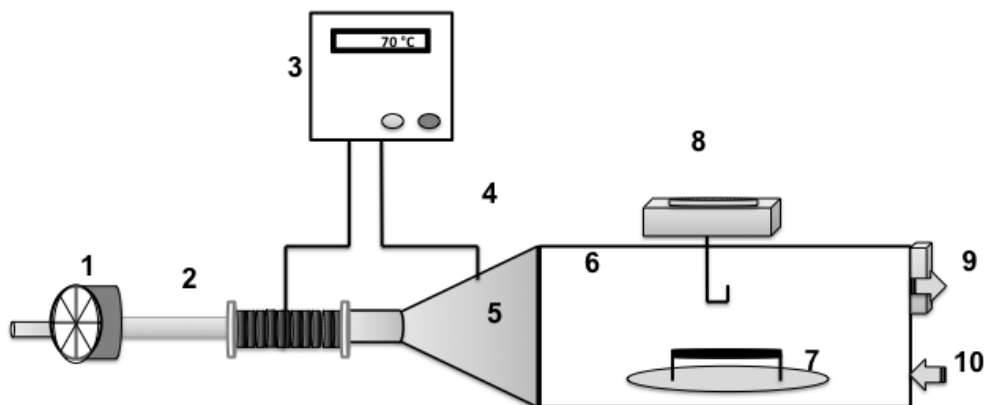


Figura 5-3 Ilustração de equipamento de micro-ondas adaptado a um sistema de ar quente (1) Entrada de ar e ventilador, (2) resistência elétrica, (3) controlador de temperatura, (4) sensor de temperatura do tipo K, (5) difusor de ar, (6) cavidade de micro-ondas, (7) prato giratório, (8) balança semianalítica, (9) saída de ar e (10) entrada de ar para resfriamento do gerador de micro-ondas.

Após realizar o pré-tratamento, as amostras foram distribuídas em bandeja de polipropileno com tela de fibra de vidro revestida com teflon (Saint-Gobain, CH 1590, Paris) e colocadas no equipamento de secagem, em seguida foram submetidas à secagem com temperatura do ar de 70 °C, vazão do ar de entrada fixa para todos os experimentos de 0,6 m³/min e densidade de potência¹ aplicada de 1,4 W/g de amostra (potência de micro-ondas de 95 W).

A cinética de secagem foi determinada pelo acompanhamento da massa das amostras com o auxílio de balança semianalítica (Shimadzu, modelo UX4200H, Filipinas) a cada 5 minutos. O processo foi finalizado quando o produto atingiu umidade próxima a 10%.

Com o intuito de determinar o final da secagem, a umidade da amostra imediatamente antes deste processo foi avaliada utilizando uma balança de infravermelho (GEHAKA, modelo IV2000 – Versão 4.21). Foi utilizado em torno de 3 g de amostra triturada, a 140°C por 15 minutos, seguindo metodologia descrita por LOPES (2013). Assim pôde-se obter a massa final de amostra correspondente a 10% de umidade, utilizando o balanço de massa descrito pela Equação 5-1:

¹em relação à massa inicial da amostra.

$$\text{Massa final de amostra} = \frac{(1-\%X) \times \text{massa de amostra}}{0,9} \quad \text{Equação 5-1}$$

Onde: %X = umidade determinada na balança de infravermelho imediatamente antes da secagem (g/g); massa de amostra = massa total de amostra na bandeja (g).

O estudo da cinética de secagem de chips de mandioca foi obtido por meio das curvas de umidade adimensional do material ao longo do tempo. Os valores de umidade foram convertidos em adimensional de umidade segundo a Equação 5-2:

$$\frac{X}{X_0} = \frac{Xbs}{Xbs_0} \quad \text{Equação 5-2}$$

Onde: X/X_0 é a umidade adimensional, Xbs é a umidade em base seca (g/g sólidos) em um tempo qualquer e Xbs_0 é a umidade em base seca inicial (g/g sólidos).

Os dados da curva de secagem foram ajustados por modelos matemáticos apresentados na Tabela 5-2. Os parâmetros destes modelos foram estimados pelo método dos mínimos quadrados (estimativa não-linear). O melhor ajuste foi determinado pela magnitude do coeficiente de determinação (R^2).

Tabela 5-2 Modelos matemáticos ajustados aos dados de secagem

Referência	Modelo
LEWIS (1921)	$y = \exp(-kt)$
PAGE (1949)	$y = \exp(-kt^n)$
LOGARÍTMICO	$y = a \cdot \exp(-k \cdot t) + c$
HENDERSON e PABIS (1961)	$y = a \cdot \exp(-k \cdot t)$

5.2.4 Análises Físicas e Químicas

Nas amostras *in natura*, *cozidas* e *secas*, foram determinados os teores de umidade, amido, amilose, amilopectina, açúcares redutores e atividade de água seguindo metodologias descritas no Capítulo 4, item 4.2.3. Todos os resultados das análises físicas e químicas foram expressos em base úmida.

5.2.5 Determinação da Absorção de Água

A determinação da absorção de água seguiu a descrição do Capítulo 4, item 4.2.4.

5.2.6 Volume aparente (Vap) e Encolhimento

O volume aparente das amostras foi medido por análise de imagem digital. Seis (6) amostras foram fotografadas antes e após a secagem. A análise das imagens foi realizada por meio do *software* livre (ImageJ) para obtenção da área superficial. A espessura das amostras foi determinada com o uso de um paquímetro em cinco pontos diferentes das amostras e em seguida obteve-se a média aritmética. Os dados de volume aparente foram obtidos multiplicando-se a área superficial fotografada pela espessura média do material em cada condição de secagem (Lopes, 2013).

O encolhimento volumétrico (E_V), o encolhimento na área projetada (E_A) e na espessura (E_E) foram calculados utilizando as Equações 5-3, 5-4 e 5-5:

$$E_V = 1 - \frac{V}{V_0} \quad \text{Equação 5-3}$$

$$E_A = 1 - \frac{A}{A_0} \quad \text{Equação 5-4}$$

$$E_E = 1 - \frac{E}{E_0} \quad \text{Equação 5-5}$$

Onde: V corresponde ao volume final da amostra e V_0 ao volume inicial da amostra. A corresponde a área final da amostra e A_0 a área inicial da amostra. E corresponde a espessura final da amostra e E_0 a espessura inicial da amostra.

5.2.7 Morfologia

Para observação das amostras *in natura*, cozidas e secas utilizando microscopia eletrônica de varredura, o preparo das amostras e a obtenção das imagens seguiram metodologia descrita no Capítulo 4, item 4.2.5.

5.2.8 Análise Sensorial

Foi utilizado um teste afetivo com escala hedônica de 9 pontos, no qual 9 = gostei muitíssimo; 8 = gostei muito; 7 = gostei moderadamente; 6 = gostei ligeiramente; 5 = nem gostei / nem desgostei; 4 = desgostei ligeiramente; 3 = desgostei moderadamente; 2 = desgostei muito; 1 = desgostei muitíssimo. Utilizando apresentação monádica em sessão única. Foram avaliados os atributos: aparência, impressão global, sabor, textura (MEILGAARD, 2006). No Apêndice C, D e E, encontram-se a ficha do teste sensorial, a ficha de recrutamento e o termo de consentimento livre esclarecido.

Foi realizado com 66 avaliadores não treinados, representativos do consumidor, dentre estes 43 (65,15%) avaliadores eram do sexo feminino e 23 (34,85%) do sexo masculino.

Entre esses avaliadores, as idades variaram, 31 deles (46,97%) tinham entre 18 e 25 anos, 26 avaliadores (39,39%) tinham entre 26 e 35 anos, 4 avaliadores (6,06%) com idade entre 36 e 45 anos e 5 avaliadores (7,58%) tinham entre 46 e 50 anos.

Previamente ao início do teste foi investigado o quanto eles normalmente gostam de mandioca e de produtos do tipo chips. Com relação à aceitação de mandioca, 24 (36,36%) relataram gostar extremamente, 31 (46,97%) gostam muito e 11 (16,67%) gostam moderadamente. Já para a aceitação de produtos chips, 15 (22,73%) disseram que gostam extremamente, 36 (54,55%) gostam muito, 12 (18,18%) gostam moderadamente e 3 (4,55%) gostam ligeiramente.

5.2.9 Análise Estatística

Os resultados da análise sensorial foram analisados por comparação entre médias pelo programa estatístico XLStat, empregando-se a análise de

variância (ANOVA), utilizando o teste de Tukey, com nível de 5% de significância ($p \leq 0,05$). Demais análises foram avaliadas estatisticamente pelo teste de comparação entre médias, utilizando o programa estatístico STATISTICA 5.5. Para as análises de caracterização, as amostras de cada experimento foram homogeneizadas e analisadas em triplicata.

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.3.1 Caracterização das raízes utilizadas

Na Tabela 5-3 estão apresentados os resultados de rendimento das raízes utilizadas: massa com e sem casca, perda no descasque, perda média em cada secagem e a quantidade de chips obtidos de cada raiz de mandioca.

Tabela 5-3 - Rendimento e perdas da mandioca da variedade IAC Espeto no processamento. Massa da raiz (g), perda no descasque (g), percentual de perda no descasque (%) e rendimento de chips obtidos (%) nos seis experimentos

	Massa raiz (g)	Perda descasque (g)	Perda descasque (%)	Rendimento chips (%)
IAC Espeto	287±118	89 ± 45	32±15	24 ± 10

Constatou-se grande variabilidade das raízes de mandioca. Mesmo todas sendo da mesma variedade, colhidas no mesmo dia, mesmo tempo de plantio, recebendo o mesmo tratamento (adubação) e mesmas condições climáticas, houve uma diferença significativa na massa inicial destas. Um dos critérios de seleção foi utilizar mandiocas com mesmas características físicas, comprimento e espessura semelhantes, porém a massa destas variou. A perda média no descasque calculada para as 20 raízes necessárias para a realização dos seis experimentos foi de 89 ± 45 g ($32 \pm 15\%$) e de cada raiz pode-se obter

em média 52 ± 22 g de chips com 2mm de espessura e 25 mm de diâmetro, caracterizando $24 \pm 10\%$ de rendimento.

5.3.2 Caracterização do produto *in natura*, cozido e seco

A Tabela 5-4 apresenta os teores de umidade, amido, amilose, amilopectina, açúcares redutores (g/100g de amostras em base úmida), absorção de água durante os cozimentos, atividade de água e tempo total de secagem obtidos das amostras *in natura*, cozidas e secas.

Segundo a TACO (2011), mandiocas *in natura* e cozidas apresentam 61,8% e 68,7%, respectivamente, de umidade. A mandioca utilizada apresentou teores médios semelhantes, tanto a *in natura* (59%) quanto a cozida (66,72 a 68,9%). Não houve diferença significativa nos teores de umidade e de absorção de água, porém maior absorção foi observada nas amostras cozidas a 100 °C por 4 minutos.

A imersão em água quente pode provocar o amolecimento dos tecidos vegetais, e facilitar a entrada da água de cozimento para o interior do chips de mandioca. Estas alterações estão relacionadas com a gelatinização de amido (Varnalis et al., 2001; Damodaran et al., 2010; Sajeev et al., 2010).

Teor de amido na amostra *in natura* foi de 28 g/100g. Após o cozimento a 70 °C por 6 minutos houve uma redução de 12% do amido, totalizando 25,5 g/100g. Com o aumento da temperatura para 100 °C por 4 minutos a redução foi ainda maior 24%, teor final de amido de 22,1 g/100g.

Redução de amilose e de açúcares redutores foi ainda mais significativa, 50% e 59%, respectivamente, no cozimento a 100 °C por 4 minutos. Essas alterações podem ter acontecido em consequência da gelatinização do amido no qual ocorre lixiviação de amilose e do próprio cozimento pela difusão de compostos hidrossolúveis como os açúcares redutores.

Tabela 5-4 - Teores de umidade, amido, amilose, amilopectina, açúcares redutores (g/100g de amostras em base úmida), absorção de água durante os cozimentos, atividade de água e tempo total de secagem obtidos das amostras *in natura*, cozidas e secas

Amostra <i>in natura</i>								
Composição*	Umidade	Amido	Amilose	Amilopectina	Açúcares redutores	Absorção de água (%)	Aw	Tempo de secagem (min)
<i>In natura</i>	60 ±4	29 ±1	7,6 ± 0,7	21,2± 0,8	2,4 ±0,2	NA	NA	NA
Amostra cozida								
70 °C por 6 min	67 ± 1 ^a	25,5±0,2 ^a	5,7 ± 0,1 ^a	NA	1,39±0,8 ^a	13± 2 ^a	NA	NA
100 °C por 4 min	69± 2 ^a	22,1±0,4 ^b	4 ± 0,2 ^b	NA	0,96±0,6 ^b	16,6±0,7 ^a	NA	NA
Amostra seca								
<i>In natura</i>	9 ± 1 ^b	83,9±0,3 ^b	21,1 ± 0,8 ^a	NA	5,61±0,08 ^a	NA	0,39 ±0,02 ^c	60
70 °C por 6 min	8,1±0,4 ^b	85,4±0,3 ^a	19,3 ±0,3 ^a	NA	4,5±0,2 ^b	NA	0,46 ±0,02 ^b	80
100 °C por 4 min	10±0,3 ^a	79,2±0,5 ^c	17 ±1 ^b	NA	3,6±0,6 ^b	NA	0,59±0,01 ^a	80

Médias com letras iguais em uma mesma linha não diferem significativamente ($p \leq 0,05$), pelo teste de Tukey. NA = não analisado.

Para os teores de amilose e açúcares redutores não houve diferença significativa entre as amostras secas após cozimento. Teores mais elevados de amilose e açúcares redutores foram encontrados na amostra seca sem cozimento, isso vai ao encontro dos efeitos da lixiviação e gelatinização do amido, podendo-se concluir que ocorreram perdas destes compostos no processo de cozimento por imersão em água.

Para o teor de amido, este processo de cozimento trouxe resultados ainda mais significativos, para as amostras secas com cozimento prévio e menor teor de amido foi encontrado na amostra com cozimento na maior temperatura (100 °C), como era de se esperar.

Com relação à umidade das amostras secas, observa-se que os experimentos sem cozimento e com cozimento a 70 °C por 6 minutos não diferiram entre si. Com o cozimento a 100 °C por 4 minutos o teor final de umidade foi maior. Visto que todas as secagens eram encerradas quando atingissem entre 10% \pm 2% de umidade, estes valores podem ser considerados aceitáveis dentro da margem de erro da análise. Resultado semelhante ocorreu com a atividade de água das amostras, menor teor foi encontrado para aquela amostra seca sem cozimento prévio e maior para a amostra cozida a 100 °C por 4 minutos. Todos os teores de atividade de água das amostras secas foram menores que 0,6, como são estabelecidos para alimentos secos e estáveis (Bobbio e Bobbio, 2001; Damodaran et al., 2010), sendo que a amostra *in natura* e seca apresentou o menor valor (0,387) e a cozida a 100°C por 10 min e seca, o maior (0,595).

De acordo com o estudo realizado no Capítulo 4, pode-se estimar o teor de minerais nos chips secos, tanto para pacientes renais crônicos como para a população adulta saudável.

Os chips cozidos a 70 °C por 6 min, apresentaram concentração de potássio, de 198 \pm 39 mg/100g, de magnésio foi de 21 \pm 6 mg/100g e de fósforo foi de 24 \pm 4 mg/100g. Uma porção de 100 g de chips secos com 10 g/100g de umidade final apresentaria 19% a 54% da recomendação diária de potássio, 5% a 8% de fósforo e 22% de magnésio para portadores de DRC.

Para uma população sadia adulta, com função renal normal, 100g de chips de mandioca secos com 10 g/100g de umidade corresponderiam a,

aproximadamente, 11% de potássio, 8% de fósforo e de 16% a 21% de magnésio, de acordo com ingestão dietética recomendada.

5.3.3 Avaliação da Cinética de Secagem

A construção da curva de cinética de secagem foi elaborada com os resultados obtidos de umidade a cada 5 minutos durante o processo de secagem com ar quente combinado com micro-ondas, realizado com temperatura do ar a 70 °C e 95 W de potência aplicada. A Figura 5-4 mostra as curvas de perda de umidade adimensional ao longo do tempo dos chips de mandioca.

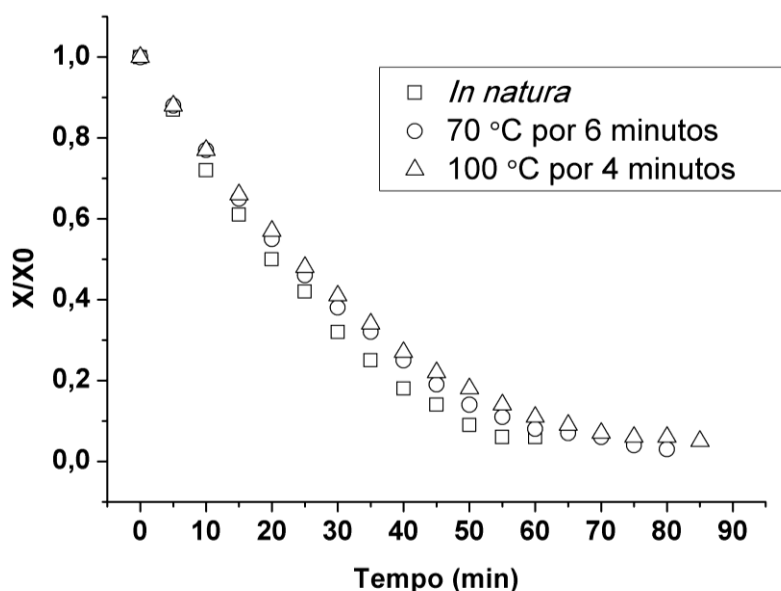


Figura 5-4 Umidade adimensional em função do tempo de secagem de chips de mandioca à temperatura do ar fixa de 70 °C e potência de micro-ondas de 95 W com diferentes condições de pré-tratamento.

Analisando a Figura 5-4 e a Tabela 5-5, observa-se que o tempo de secagem foi menor para a amostra *in natura* em comparação às amostras cozidas para atingir umidade final em torno de 10% \pm 2%. Isso pode ser em razão do maior conteúdo de umidade inicial e do fenômeno de gelatinização do amido.

Com o cozimento ocorreu a gelatinização do amido e consequente formação de um filme na superfície dos chips, diminuindo então a

permeabilidade e difusão de umidade. O cozimento a 100 °C por 4 minutos e a 70 °C por 6 min promoveu absorção de água (cujos valores não diferiram estatisticamente entre si para as duas condições) como consequência da gelatinização do amido, resultando em presença de água com maior força de ligação ao amido, além de maior conteúdo de umidade inicial. O teor de amido e o conteúdo de umidade estão fortemente relacionados com a velocidade de difusão de água, nas amostras com maior teor de amido e de água, maior tempo de secagem foi necessário.

Amostra seca sem cozimento apresentou uma vantagem entre as demais, pois a curva de secagem indica que a umidade difundiu mais rapidamente como consequência de não ter sofrido nenhuma alteração estrutural prévia à secagem.

Esse efeito do cozimento na secagem já está sendo estudado por alguns autores. Pereira et al. (2014), concluíram que a amostra de mandioca cozida apresenta menor taxa de secagem em relação à amostra *in natura* no processo com ar quente (60 °C) combinado com micro-ondas (densidade de potência de 0,7 e 2 W/g). Porém, o produto seco pré-cozido apresentou características, visualmente, melhores como: aparência, cor e textura. Gonçalves et al. (2015), concluíram que quanto mais elevada a temperatura de cozimento (40, 70 e 100 °C), maior a umidade e atividade de água final dos chips de mandioca seca com ar quente combinado com micro-ondas (60 °C, 2,5 W/g, por 60 min). Neste trabalho os autores estudaram o efeito de diferentes condições de temperatura e tempo de cozimento (2, 6 e 10 min) na cinética de secagem de fatias de mandioca e relacionaram este resultado com o processo de gelatinização do amido.

Os dados experimentais da curva de secagem foram ajustados aos modelos matemáticos descritos na Tabela 5-2.

Na Figura 5-5, podem ser observadas as curvas de cinética de secagem ajustadas com os diferentes modelos e na Tabela 5-5 os respectivos parâmetros dos modelos.

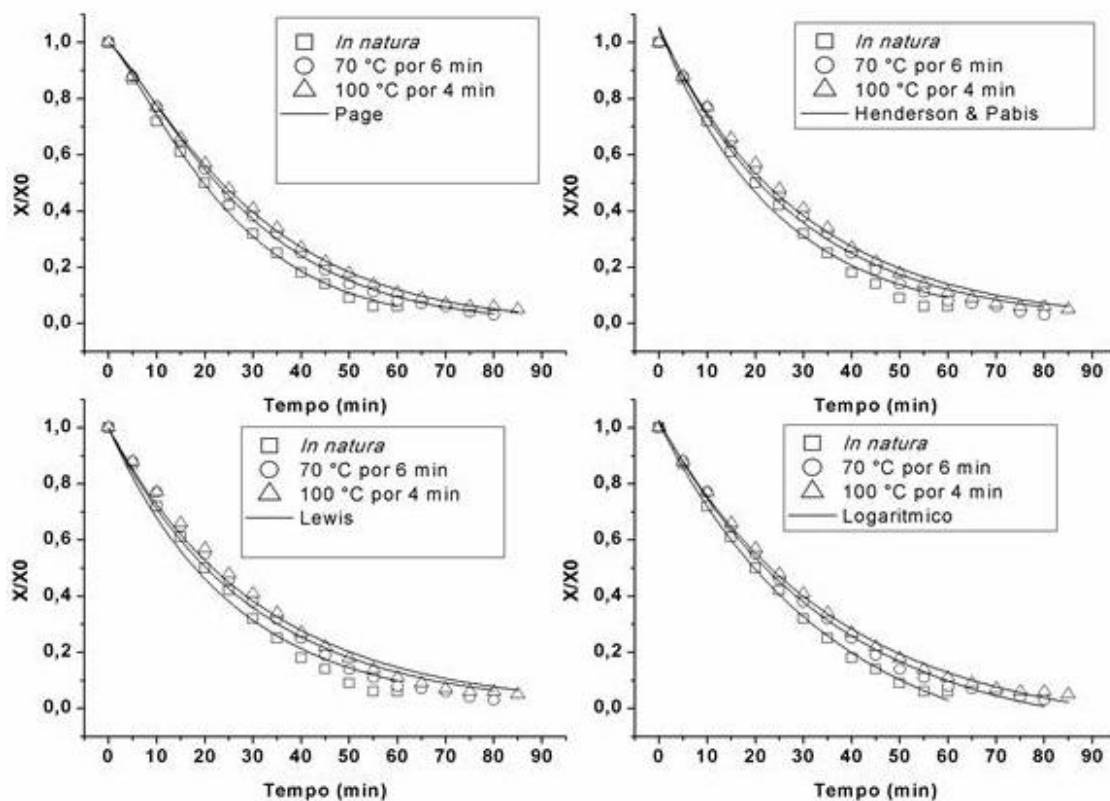


Figura 5-5 Ajustes das curvas de cinética de secagem ao modelo de Page, Henderson e Pabis, Lewis e Logarítmico.

De todos os modelos avaliados, o que melhor representou os dados de cinética de secagem dos chips de mandioca foi o modelo de Page, seguido pelos modelos Logarítmico, de Henderson e Pabis e Lewis, respectivamente. O modelo apresentou boa adequação aos valores da curva de secagem, sendo considerado eficiente para descrever o comportamento do material quando exposto ao ar quente combinado com micro-ondas, pois os coeficientes de determinação (R^2) do modelo foram maiores que 99,7%.

Tabela 5-5 Parâmetros dos modelos de Page, Henderson e Pabis, Lewis e Logarítmico, na secagem com ar quente combinada com micro-ondas de mandioca

Modelo	Condição	Constantes			R²
Page	Sem cozimento	k=0,016 ± 0,001		n=1,24 ± 0,03	0,9977
	70 °C por 6 minutos	k=0,014 ± 0,001		n=1,24 ± 0,02	0,9989
	100 °C por 4 minutos	k=0,0162 ± 0,0009		n=1,19 ± 0,01	0,9991
Henderson e Pabis	Sem cozimento	k=0,041 ± 0,001		a=1,05 ± 0,02	0,98644
	70 °C por 6 minutos	k=0,036 ± 0,001		a=1,06 ± 0,02	0,98891
	100 °C por 4 minutos	k=0,0334 ± 0,0009		a=1,05 ± 0,02	0,9928
Lewis	Sem cozimento	k=0,038 ± 0,001			0,98369
	70 °C por 6 minutos	k=0,034 ± 0,001			0,98552
	100 °C por 4 minutos	k=0,0319 ± 0,0008			0,99044
Logarítmico	Sem cozimento	k=0,028 ± 0,001	a=1,21 ± 0,03	c=-0,19 ± 0,04	0,99765
	70 °C por 6 minutos	k=0,027 ± 0,001	a=1,14 ± 0,02	c=-0,11 ± 0,02	0,99677
	100 °C por 4 minutos	k=0,027 ± 0,001	a=1,11 ± 0,01	c=-0,08 ± 0,02	0,99713

Diversos autores também concordam que o modelo de Page se ajusta melhor aos dados de secagem de produtos agrícolas. Dentre eles, Lopes (2013) encontrou R^2 maior que 99,8% secando abacaxi com aplicação de micro-ondas. Corrêa (2014) utilizando condições de secagem semelhantes ao presente trabalho, ajustou as curvas de secagem de abacaxi ao modelo de Page e encontrou R^2 maior que 99%. Utilizando quatro modelos matemáticos diferentes, Afonso Junior e Corrêa (1999) determinou que a equação de Page descreveu melhor os dados de cinética de secagem de grãos de feijão. Também estudando secagem de grãos de feijão Andrade et al, (2006), encontraram R^2 maior que 99% utilizando modelo de Page. Utilizando quatro modelos, Vega e colaboradores (2007) observaram melhor ajuste das curvas de secagem de pimentão vermelho a esse modelo.

5.3.4 Encolhimento

Na Tabela 5-6 estão descritos os valores médios de encolhimento volumétrico, na área e na espessura dos chips de mandioca, em cada secagem com diferentes pré-tratamentos.

Tabela 5-6 - Encolhimento volumétrico, na área e na espessura (%) nas secagens com diferentes condições de cozimento

Experimento	E_v (n=6)	E_A (n=6)	E_E (n=6)
<i>In natura</i>	31 ± 3^b	25 ± 2^a	7 ± 5^c
70 °C por 6 minutos	40 ± 7^a	28 ± 5^a	16 ± 5^b
100 °C por 4 minutos	45 ± 6^a	28 ± 5^a	24 ± 8^a

Médias com letras iguais em uma mesma coluna não diferem significativamente ($p \leq 0,05$), pelo teste de Tukey. n = número de amostras analisadas.

Na Tabela 5-6 pode-se observar pela média dos encolhimentos volumétricos que em amostras cozidas apresentaram maior porcentagem de encolhimento. As diferentes condições de cozimento não apresentaram diferença significativa, porém diferiram da amostra sem cozimento prévio.

A área superficial dos chips obtidos pelos três tratamentos não diferiu significativamente, embora as amostras cozidas apresentem maiores médias. Já com relação ao encolhimento na espessura dos chips, maior encolhimento ocorreu nas amostras cozidas com maior temperatura (100 °C por 4 minutos) e menor, na amostra seca *in natura*, todas diferiram estatisticamente.

O processo de secagem ocorreu até que todas as amostras atingissem, em torno de 10% \pm 2% de umidade, mas o teor inicial de umidade diferiu entre as amostras *in natura* e cozidas, pode-se concluir então que, amostras com maior conteúdo de umidade sofrem maior encolhimento do que as amostras com menor conteúdo de umidade inicial. Quanto maior o conteúdo de água eliminado do alimento maior será o encolhimento (Mayor e Sereno, 2004).

A gelatinização do amido pode influenciar no encolhimento, pois durante o processo de cozimento as amostras absorvem água, provocando inchaço do grânulo e alterações no tecido como rompimento da parede celular. A perda de água durante o processo de secagem provoca redução no tamanho do tecido celular caracterizando o fenômeno do encolhimento. Além disso, durante o cozimento, a água ocupa o lugar do amido lixiviado e após a secagem a estrutura colapsa pela perda de volume da água evaporada.

Borges (2008) estudando secagem com convecção forçada de abóbora determinou o encolhimento entre 73,9 e 90,1%. Ochoa (2007) definiu que o encolhimento de cerejas foi dependente do conteúdo de umidade, mas independente da velocidade e temperatura do ar de secagem. O encolhimento pode ser considerado linear com o conteúdo de umidade, ou seja, equivalente à redução do volume de água, sob condições ideais (Khraisheh, et al., 2004; Jangam et al., 2010).

5.3.5 Morfologia

As imagens obtidas utilizando microscopia eletrônica de varredura da variedade de mandioca IAC Espeto, *in natura*, após o cozimento com diferentes condições e após a secagem, podem ser observadas pelas Figura 5-7.

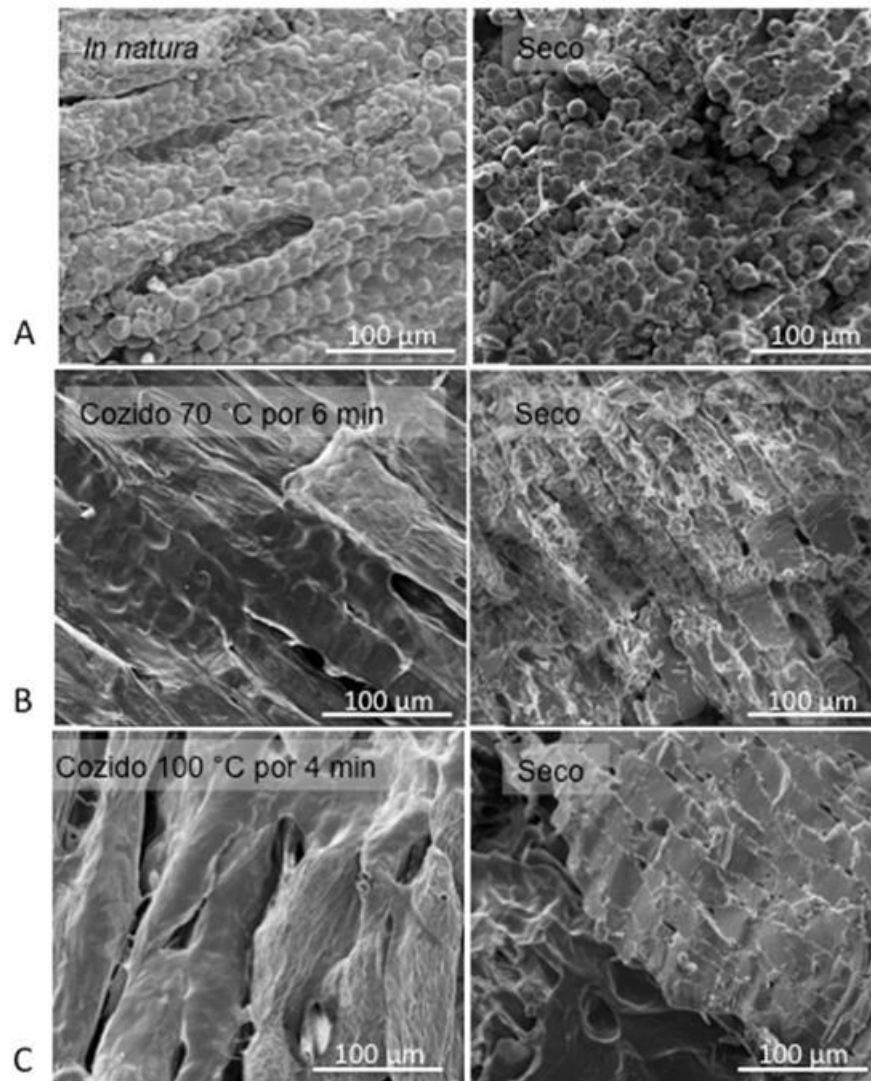


Figura 5-6 Imagens obtidas da parte fraturada das amostras *in natura* e seca sem cozimento (A), amostra cozida a 70 °C por 6 minutos e posteriormente seca (B) e amostra cozida a 100 °C por 4 minutos e posteriormente seca (C).

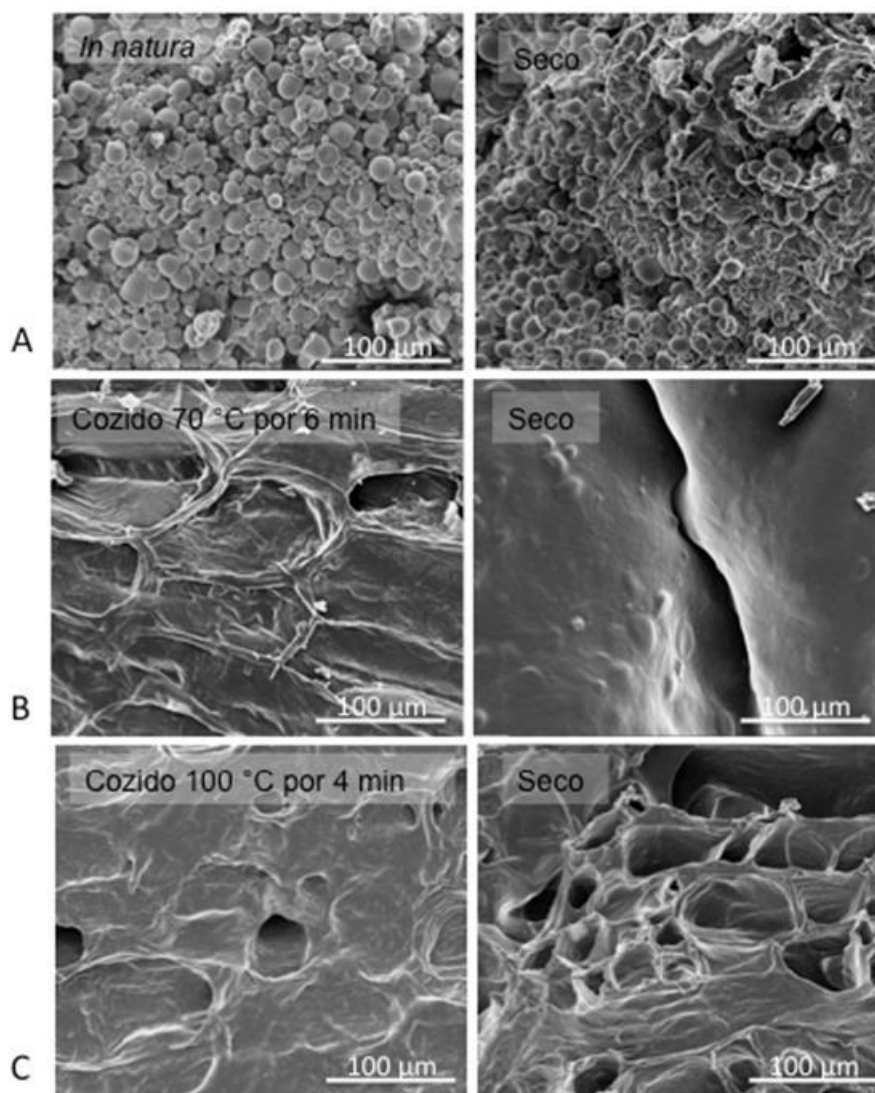


Figura 5-7 Imagens obtidas da superfície das amostras *in natura* e seca sem cozimento (A), amostra cozida a 70 °C por 6 minutos e posteriormente seca (B) e amostra cozida a 100 °C por 4 minutos e posteriormente seca (C).

Nas amostras sem cozimento (A), a parede celular é totalmente preenchida por grânulos de amido, em formato arredondado e com as superfícies lisas. Após a secagem destas amostras *in natura*, observa-se nos grânulos de amido uma superfície enrugada, com deformações e até mesmo uma aparência quebradiça, porém mesmo após a secagem ainda são totalmente perceptíveis e permanecem em toda a estrutura da mandioca.

Utilizando microscopia eletrônica de varredura vários autores já descreveram o formato dos grânulos de amidos de mandioca, sendo estes caracterizados por apresentarem tamanhos pequenos a intermediários, em

formato redondo, ovais ou esféricos, com superfícies lisas, e consistem de uma mistura de grânulos truncados e redondos, sendo os grânulos maiores redondos e os grânulos menores truncados. Estão localizados no interior do citoplasma e muito perto das finas paredes celulares (Alvarez, 2001; Velde et al., 2002; Nwokocha et al., 2009).

Ao aquecer suspensões de amido, ocorre o inchaço e a ruptura dos grânulos, essas alterações caracterizam o processo de gelatinização do amido. A expansão ou inchaço ocorre em todas as direções, mas parece que no amido de mandioca ocorre igualmente em comprimento e largura no grânulo (Velde et al., 2002).

Pode ser visto que com o cozimento a 70 °C por 6 minutos (B) e com o cozimento a 100 °C por 4 minutos (C) como não existem grânulos de amido visíveis no tecido da mandioca, pode-se dizer que ocorreu então a lixiviação e/ou completa gelatinização do amido.

Com o cozimento a 100 °C, a amostra apresentou um cozimento uniforme, confirmando os resultados de ganho de umidade das amostras após o cozimento em condições mais extremas de temperatura e tempo de imersão. Porém, nesta condição do planejamento experimental, devido ao intenso amolecimento do tecido vegetal algumas amostras quebraram, dificultando posteriores análises e gerando perdas de amostras. Com os resultados das imagens foi possível visualizar a ocorrência de gelatinização do amido nas amostras cozidas a partir de 70 °C. Essa gelatinização foi caracterizada pela formação de gel na superfície das amostras provocada pelo rompimento das membranas celulares nas fatias de mandioca.

5.4 Aceitação Sensorial

As médias de aceitação sensorial dos atributos aparência, impressão global, sabor e textura dos chips de mandioca pré-cozidos e secos e o resultado do teste de Tukey aplicado estão apresentadas na Tabela 5-7.

Tabela 5-7 - Média da aceitação dos atributos aparência, impressão global, sabor e textura dos chips de mandioca obtidos por 3 pré-tratamentos (n = 66)

Pré-tratamento	Aparência	Impressão Global	Sabor	Textura
Sem cozimento	5± 2 ^b	5± 2 ^b	4± 2 ^a	5± 2 ^a
70°C/6min	6± 2 ^a	5± 2 ^{ab}	5 ± 2 ^a	4± 3 ^{ab}
100°C/4min	7± 2 ^a	6± 2 ^a	5 ± 2 ^a	4 ± 2 ^b

Médias com letras iguais em uma mesma coluna não diferem significativamente ($p \leq 0,05$), pelo teste de Tukey.

Pela Tabela 5-7, observa-se que houve diferença significativa ao nível 5% para as duas condições de cozimento apenas para o atributo aparência, os demais não diferiram estatisticamente entre os cozimentos. A amostra sem cozimento diferiu com relação ao atributo aparência e textura das amostras cozidas, esta amostra apresentou um tom bem esbranquiçado característico da presença de amido não gelatinizado e textura suave, esfarelada. Foi relatado pelos avaliadores que as amostras cozidas estavam duras.

Com o cozimento a 100 °C por 4 minutos ocorreu completa gelatinização do amido, esta amostra pode então ter sofrido maiores alterações estruturais atribuídas à maior aceitação no parâmetro aparência, indicando que os avaliadores gostaram moderadamente. Foi observada ao realizar os experimentos uma variabilidade nas mandiocas mesmo estas sendo provenientes de uma mesma variedade e com mesma condição de cultivo. Esse parâmetro aparência pode ser influenciado pelas diferenças existentes na própria variedade, como a cor após o cozimento, por exemplo, em alguns chips foi realçado um tom mais amarelado e em outros os chips permaneceram mais esbranquiçados, isso aconteceu mesmo sofrendo o mesmo tipo de cozimento.

Analisando os histogramas de frequência (Figura 5-8), verifica-se a distribuição de notas atribuídas pelos avaliadores para cada atributo avaliado.

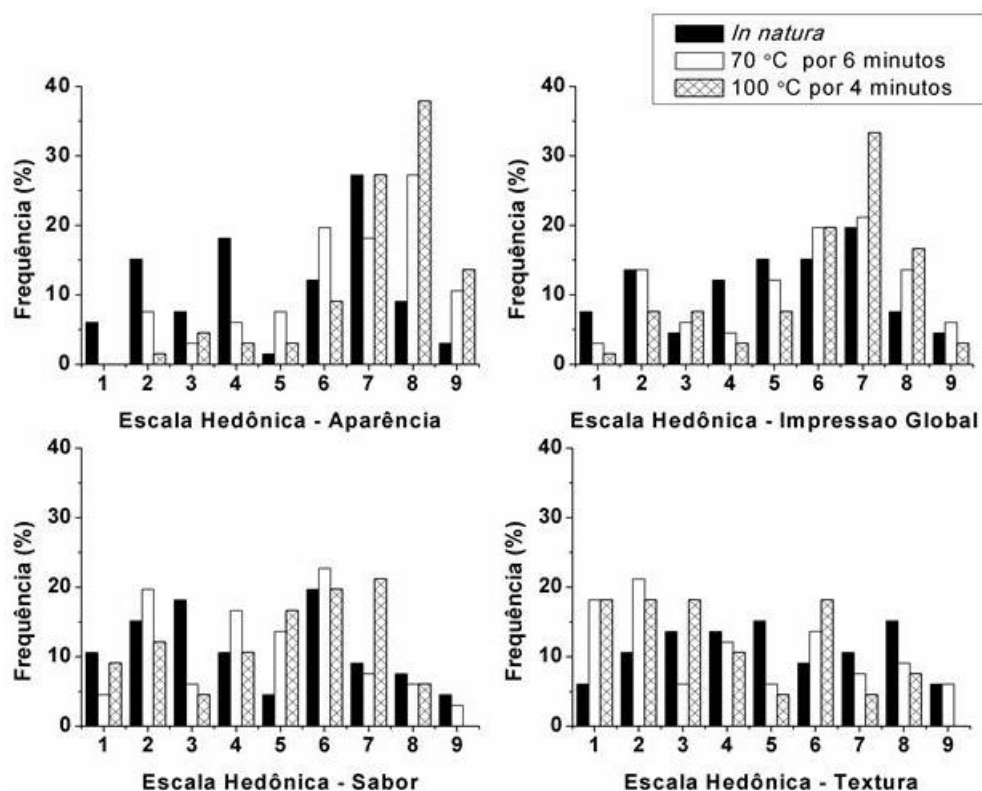


Figura 5-8 Histograma de frequência de notas para os atributos aparência, impressão global, sabor e textura.

Para o atributo aparência, com relação às notas superiores a 6, indicativas de gostam ligeiramente (nota 6) a gostam muitíssimo (nota 9), foram equivalentes a 51,5% dos avaliadores para a amostra seca sem cozimento, 75,8% para as amostras com o cozimento a 70 °C por 6 minutos e 87,97% para a amostra cozida a 100 °C por 4 minutos.

As amostras de mandioca utilizadas, mesmo sendo da mesma variedade e seguindo as mesmas condições de cultivo, apresentaram diferença com relação a massa da raiz, aproveitamento após descasque e até mesmo com relação a cor (observada visualmente), após o cozimento e secagem alguns chips permaneceram mais esbranquiçados e outros mais amarelados, estes fatores podem ter influenciado o teste de aceitação do atributo aparência. Para o atributo impressão global, 46,96% dos avaliadores atribuíram notas acima de 6 para amostras secas sem cozimento. 60,6% para as amostras com cozimento a 70 °C por 6 minutos e 72,7% para a amostra que recebeu o cozimento a 100 °C por 4 minutos. Com relação ao sabor, 41% dos avaliadores atribuíram notas acima de 6 para a amostra seca sem cozimento.

Para as amostras cozidas a 70 °C por 6 minutos e a 100 °C por 4 minutos, foram de 40% e 47%, respectivamente. É de se esperar que as notas atribuídas pelos provadores para sabor não sejam muito elevadas. Em geral, produtos deste tipo são formulados com gordura e sal, ingredientes não adicionados ao produto em questão, justamente pela funcionalidade que se busca para o mesmo.

Para o atributo textura, 41% dos avaliadores deram notas acima de 6 (gostei ligeiramente) para a mostra seca sem cozimento. 36% para amostra cozida a 70 °C por 6 minutos e 30% para a amostra cozida a 100 °C por 4 minutos.

A diferença entre raízes de mandiocas, quanto à textura após o cozimento, tanto pode estar associada à natureza péctica e celulósica, quanto à disponibilidade de espaços intracelulares para o inchaço dos grânulos de amido. Com o inchaço, ocorre tanto a mudança da aparência das raízes cozidas, quanto uma troca na gomosidade dos tecidos. Enquanto no tecido cru, não se manifesta o caráter de goma do amido, na matriz vegetal contendo amido gelatinizado, a maciez tende a aumentar, porém, a estrutura fica mais pegajosa. Essa maciez pode diminuir com a secagem e a retrogradação do amido, sendo então associada às maiores médias para a amostra seca sem cozimento (Feniman, 2004; Maieves, 2010). Além disso, as amostras cozidas apresentaram maior encolhimento em relação à não cozida. O encolhimento em geral, se relaciona à redução da porosidade, a qual interfere na textura dos produtos secos.

A estrutura celular e as propriedades de textura são diretamente afetadas pelas condições de tempo e temperatura de cozimento, a diminuição dos atributos de textura durante o cozimento é causada pela diminuição da rigidez celular pelo enfraquecimento da parede celular ocasionado pela gelatinização do amido (García-Segovia et al., 2008).

5.5 RESUMO E CONCLUSÕES

No cozimento a 100 °C por 4 minutos, mesmo com a diminuição do tempo (no Capítulo 4, foi utilizado 100 °C por 10 minutos) ainda ocorreram perdas de amostras. Os dois diferentes cozimentos não apresentaram diferenças significativas com relação ao tempo de secagem, amilose e açúcares redutores. Foram diferentes significativamente apenas os teores de amido, umidade e atividade de água. Na microscopia eletrônica de varredura foram observadas as mesmas alterações estruturais e no teste sensorial, somente a aceitação do atributo aparência diferiu entre as amostras, sendo que a amostra cozida a 100°C por 4 minutos recebeu média de aceitação entre “gostei moderadamente” e “gostei muito”, a maior média, seguida pela amostra cozida a 70 °C, média de aceitação de “gostei ligeiramente” a “gostei moderadamente”. O atributo textura das três amostras avaliadas recebeu média de aceitação inferior a “nem gostei nem desgostei”, justificada pela dureza das amostras.

Então, pode-se concluir, que a condição de cozimento realizada a 70 °C por 6 minutos pode ser mais indicada, com redução de minerais satisfatória, e aceitação sensorial dos chips satisfatória, sem perda de amostra no cozimento.

5.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Afonso Junior, P.C., Corrêa, P.C. (Comparação de modelos matemáticos para descrição da cinética de secagem em camada fina de sementes de feijão. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 3(3):349-353.
- Alvarez, M.D., Canet, W., Tortosa, M.E. (2001) Kinetics of thermal softening of potato tissue (cv. Monalisa) by water heating. *Eur Food Res Technol* 212:588–596.

- Alves, A., Cansian, R. L., Stuart, G., Valduga, E. (2005) Alterações na qualidade de raízes de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) minimamente processadas. *Ciência e Agrotecnologia*, 29:330-337.
- Andrade, E.T., Correa, P.C., Teixeira, L.P., Pereira, R.G., Calomeni, J.F. (2006) Cinética de secagem e qualidade de sementes de feijão. *Engvista*, Niterói, 8(2):83-95.
- AOAC - Official Methods of Analysis (1998) Washington: Association of Official Analytical Chemists.
- Bezerra, V.S., Pereira, R.G.F.A., Carvalho, V.D., Vilela, E.R. (2002) Raízes de mandioca minimamente processadas: efeito do branqueamento na qualidade e na conservação. *Ciência e Agrotecnologia*, 26:564-575.
- Bobbio, F.O., Bobbio, P.A. (2001) *Química do Processamento de Alimentos*. São Paulo: Varela, 143p.
- Borges, S.V., Mancini, M.C., Corrêa, J.L.G., Nascimento, D.A. (2008) Secagem de fatias de abóboras (*Cucurbita moschata*, L.) por convecção natural e forçada. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, 28:245-251.
- Corrêa, G.C. (2014) Secagem convectiva de abacaxi combinada com aplicação de potência de micro-ondas variável. Dissertação (mestrado) Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 109p.
- Damodaran, S., Parkin, K.L., Fennema, O.R. (2010) *Química de Alimentos de Fennema*, Porto Alegre: Artmed, 900p.
- Fellows, P.J. (2006) *Tecnologia do Processamento de Alimentos: Princípios e Práticas*. Porto Alegre: Artmed, 602p.
- Feniman, C.M. (2004) Caracterização de raízes de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) do cultivar IAC 576-70 quanto à cocção, composição química e propriedades do amido em duas épocas de colheita. Dissertação (mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, 99p.
- García-Segovia, P., Andrés-Bello, A., Martínez-Monzó, J. (2008) Textural properties of potatoes (*Solanum tuberosum* L., cv. Monalisa) as affected by different cooking processes. *Journal of Food Engineering*, 88:28-35.
- Gonçalves, L.T., Pereira, N.R., Caé, L.A., Freitas, S.J. (2015) Secagem com micro-ondas de “snacks” de mandioca utilizando o cozimento como pré-tratamento. *Anais do XXXVII Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados*, São Carlos, SP, v.2, p.1497-1504.

- Henderson, S. M., Pabis, S. (1961) Grain drying theory. I. Temperature effect on drying coefficient. *Journal of Agriculture Engineering Research*, 6(3):169-174.
- Khraisheh, M.A.M., McMinn, W.A.M., Magee, T.R.A. (2004) Quality and structural changes in starchy foods during microwave and convective drying. *Food Research International* 37:497–503.
- Jangam, S.V., Law, C.L., Mujumdar, A.S. (2010) Drying of foods, vegetables and fruits. Vol 1, 232p.
- Lewis, W.K. (1921). The rate of drying of solid materials. *J. Ind. Eng. Chem.* 13 (5):427-432.
- Lopes, F.J. (2013) Estudo do fenômeno de encolhimento na secagem convectiva de abacaxi com aplicação de micro-ondas. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, 147p.
- Maieves, H.A. (2010) Caracterização física, físico química e potencial tecnológico de novas cultivares de mandioca Dissertação (mestrado) Programa de Pós Graduação em Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 114p.
- Martinez, C.Y., Cuevas, F. (1989) Evaluación de la calidad culinária y molinera del arroz. Guia del estudio. Cali: CIAT, 75p.
- Maskan, M. (2001) Drying shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 48:177-182.
- Mayor, L., Sereno, A.M. (2004) Modelling shrinkage during convective drying of food materials: a review. *Journal of Food Engineering* 61:373–386.
- Meilgaard, M., Civille, G.V., Carr, B.T. (2006) *Sensory Evaluation Techniques*. 4^a ed. CRC Press, Boca Raton, 448p.
- Miller, G.L. (1959) Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugars. *Analytical Chemistry*, Washington, 31:426-8.
- Mujumdar, A.S. (2000) *Drying Technology in Agriculture and Food Sciences*. Science Publishers, Inc., USA, 313p.
- Nwokocha L.N., Aviara, N.A., Senan, C., Williams, P.A. (2009) A comparative study of some properties of cassava (*Manihot esculenta*, Crantz) and cocoyam (*Colocasia esculenta*, Linn) Starches. *Carbohydrate Polymers*, 76:362–367.

- Ochoa, M.R., Kessler, A.G., Pirone, B.N., Márquez, C.A., Michelis, A. (2007) Analysis of shrinkage phenomenon of whole sweet cherry fruits (*Prunus avium*) during convective dehydration with very simple models. *Journal of Food Engineering*, 79:657–661.
- Orsat, V., Yang, W., Changrue, V., Raghavan G.S.V.(2007) Microwave-Assisted Drying of Biomaterials. *Trans IChemE, Part C, Food and Bioproducts Processing*, 85:255-263.
- Page, C. (1949) Factors influencing the maximum rate of drying shelled corn in layers. West Lafayette,. MSc Thesis, Purdue University. Indiana.
- Park, K.J., Yado, M.K.M., Brod, F.P.R.(2001) Estudo de secagem de pêra Bartelett (*Pyrus sp.*) em fatias. *Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas*, 21(3):288-292.
- Park, K.J., Antonio, G.C., Oliveira, R.A.De., Park, K.J.B. (2007). *Conceitos de processo e equipamentos de secagem. Campinas. 67p.*
- Pereira, N.R.(2007) Estudo da aplicação de micro-ondas na secagem de bananas tratadas osmoticamente. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 188p.
- Pereira, N.R., Godoi, F.C., Rocha, S.C.S.(2010) Drying of starch suspension in spouted bed with inert particles: physical and thermal analysis of product. *Drying Technology*, 28:1288-1296.
- Pereira, N.R., Soares, T.S., Gonçalves, L.T., Mussi, L.P., Ferreira, K.S. (2014) Influence of cooking as a pre-treatment to microwave drying of manioc roots. In: 19th International Drying Symposium, Lyon, France.
- Raghavan, G.S.V., Rennie, T.J., Sunjka, P.S., Orsat, V., Phaphuangwittayakul, W., Terdtoon, P.(2005) Overview of new techniques for drying biological materials with emphasis on energy aspects. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 22:195-201.
- Sajeev, M.S., Sreekumar, J., Unnikrishnan, M., Moorthy, S.N., Shanavas, S.(2010) Kinetics of thermal softening of cassava tubers and rheological modeling of the starch. *Journal of Food Science and Technology*, 47:507–518.
- TACO - Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (2010) Campinas, NEPA UNICAMP, 161p.
- Varnalis, A.I., Brennan, J.G., Macdougall D.B. (2001) A proposed mechanism of high temperature puffing of potato. part II. influence of blanching and initial drying on the permeability of the partially dried layer to water vapour. *Journal of Food Engineering*, 48:369-378.

- Vega, A., Fito, P., Andrès, A., Lemus, R. (2007). Mathematical modeling of hot-air drying kinetics of red bell pepper (var. Lamuyo). *Journal of Food Engineering*, 79 (4):1460-1466.
- Velde, F., Riel, J., Tromp, R.H. (2002) Visualisation of starch granule morphologies using confocal scanning laser microscopy (CSLM). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 82:1528-1536

6. TRABALHO

EFEITO DA VARIEDADE DE MANDIOCA NA SECAGEM CONVECTIVA COMBINADA À APLICAÇÃO DE MICRO-ONDAS

RESUMO

Foi avaliado o efeito de três variedades de mandioca produzidas no Brasil (IAC Espeto, IAC 14 e IAC Caapora) na obtenção de chips utilizando cozimento seguido de secagem com ar quente combinada com micro-ondas (70°C e 95 W). O cozimento prévio foi realizado por imersão em água a 70 °C por 6 minutos. Foram determinados nas amostras *in natura*, cozidas e secas, o teor de amido, amilose, açúcares redutores, umidade, atividade de água e absorção de água. A secagem foi avaliada com relação a cinética de secagem, encolhimento, morfologia e aceitação sensorial do produto seco. Todas as análises foram realizadas com o intuito de observar as alterações estruturais provocadas pelo cozimento e pela secagem, além de caracterizar diferentes variedades de mandioca. Os resultados confirmaram não haver diferença

significativa entre as variedades, sendo as três consideradas aptas para utilização neste processo. Amostras apresentaram, após a secagem, 78 a 83 g/100g de amido, 40% de encolhimento, atividade de água menor que 0,6, tempo de secagem máximo de 75 min e boa aceitação sensorial com médias indicando que gostaram ligeiramente a moderadamente no atributo impressão global. O modelo de Page apresentou melhor ajuste aos dados de secagem. O rendimento após colheita foi melhor para a variedade IAC 14, a qual apresentou 25% de perda no descasque e 25% de aproveitamento para a produção dos chips.

6.1 INTRODUÇÃO

A raiz de mandioca é cultivada em todas as regiões do Brasil e desempenha um importante papel na dieta dos brasileiros, sendo também utilizada em todo o mundo (EMBRAPA, 2005). No ano de 2015 a produção total no Brasil foi de 22.756.807 toneladas e a previsão para 2016 é de 23.711.712 toneladas (IBGE, 2016). O Brasil é hoje considerado o maior centro de diversidade de mandioca e o segundo maior produtor do mundo. A raiz da mandioca é fonte de carboidratos e considerada um alimento de alto valor energético. No entanto, a alta perecibilidade das raízes na pós-colheita e a facilidade de contaminação microbiológica estabelecem barreiras para sua maior utilização (EMBRAPA, 2005).

Já foram catalogadas mais de quatro mil variedades e a escolha da variedade a ser utilizada em um processamento deve levar em consideração a facilidade de plantio, resistência a pragas, tempo de colheita, rendimento por planta colhida, coloração da polpa, teor de amido, teor de ácido cianídrico, entre outros (Borges, 2002). Apesar da diversidade e disponibilidade de produtos à base de mandioca, sua comercialização está limitada, principalmente por serem altamente perecíveis.

Dentre as diversas variedades, a IAC Espeto apresenta porte ereto e poucas ramificações, não protege bem o solo contra erosão e ervas daninhas. Possui polpa branca e é considerada de fácil colheita, porém apresenta baixa produtividade, raízes pequenas e baixo teor de matéria seca. A mandioca da variedade IAC 14 é altamente resistente à bacteriose, adaptada a solos pobres e de baixa fertilidade, é favorável às práticas culturais, mais indicadas para a produção de fécula, apresenta película da raiz de cor marrom e polpa branca. Se cultivada em solos com alta fertilidade, apresenta altura elevada e é caracterizada pela alta produtividade. A variedade de mandioca IAC Caapora é classificada como resistente a bacteriose, possui polpa amarelada e é considerada de alta produtividade (Vidigal Filho, et al., 2000; Fukuda e Otsubo, 2003; EMBRAPA, 2005; IAC, 2016).

As raízes comestíveis são órgãos de armazenamento que acumulam amido e água. Os dois maiores componentes do amido são: amilose e amilopectina. Amilose é o componente minoritário do amido (Damodaran, 2010). Quando o amido é aquecido em excesso de água, ocorre uma transição de fase, chamada gelatinização. A sua estrutura cristalina é quebrada, as moléculas de água se ligam aos grupos hidroxílicos expostos de amilose e amilopectina, provocando aumento de solubilidade e inchaço do grânulo. As principais alterações provocadas durante o cozimento são: difusão de água para o interior do grânulo (hidratação), perda da birrefringência, perda da cristalinidade, lixiviação de amilose e amaciamento do tecido vegetal (Atichokudomchai, 2000; Hoover, 2001; Feniman, 2004; Damodaran, 2010).

Umidade, ou teor de água, de um alimento é considerado o principal causador de deterioração por microrganismos, reações químicas e enzimáticas. Está relacionada com sua estabilidade, qualidade e composição, e pode afetar a estocagem, a embalagem e o processamento. Por isso, a utilização de um método de conservação como a secagem, pode ser eficaz para prolongar o tempo de vida útil da mandioca e obter um produto do tipo chips sem fritura (Fellows, 2006, Damodaran, 2010).

A secagem é uma operação na qual ocorre eliminação da água de um material por evaporação ou sublimação, por meio da aplicação de calor com condições controladas. Contudo, a secagem com ar quente apresenta alguns

inconvenientes, como baixa eficiência energética, taxas de secagem mais lentas com longos tempos de processamento e de exposição do produto ao calor diminuindo a qualidade do produto final (Mujumdar, 2000; Fellows, 2006). Com a aplicação de micro-ondas o tempo de secagem pode ser reduzido, pela rápida absorção de micro-ondas pelas moléculas de água que favorecem a evaporação e difusão de umidade, as quais resultam no aumento das taxas de secagem (Raghavan et al., 2005; Pereira, 2007; Lopes, 2013).

Dito isto, o objetivo do presente trabalho foi desenvolver um produto do tipo chips de mandioca sem fritura utilizando o cozimento como pré-tratamento e posterior secagem com ar quente combinada com micro-ondas, visando analisar a influência das variedades de mandioca neste processo.

6.2 MATERIAL E MÉTODOS

6.2.1 Preparo da Matéria-Prima

Foram utilizadas as variedades de raiz de mandioca de mesa IAC Espeto, IAC 14 e IAC Caapora provenientes de cultivo na Estação Experimental da UENF-RJ, na ilha Barra do Pomba, no município de Itaocara, Rio de Janeiro, localizado na região Noroeste Fluminense, 21°39'12" de latitude sul, 42°04'36" de longitude oeste e a 60 metros de altitude. O solo da área experimental foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo, região com temperatura média anual de 22,5 °C e precipitação média anual de 1,041 mm. No plantio foi aplicado 50 g do formulado (04-14-08) (NPK). A lavoura foi irrigada, porém a irrigação foi feita sem grande controle. O espaçamento utilizado foi de 1,0 m entre linhas e 0,6 m entre plantas (1,0x0,6). O experimento foi instalado em blocos causalizados com 3 repetições, cada unidade experimental era composta por 22 plantas (66 plantas de cada variedade).

As raízes colhidas em julho de 2015, foram selecionadas de acordo com as condições estruturais, comprimento (30 ± 10 cm) e largura (42 ± 10 mm) e condições de cultivo (colhidas após 9 meses de plantio).

24 horas após a colheita, as raízes foram lavadas, sanitizadas por imersão durante 15 minutos em solução de hipoclorito de sódio com 100 mg/L de cloro ativo. Em seguida, foram descascadas manualmente, retirando-se a casca, a entrecasca e descartando as extremidades. Após esta etapa, as raízes foram cortadas em lâminas de 2 mm de espessura com auxílio de um fatiador de frios elétrico (Gural, modelo GLP-330, Paraná, Brasil) e depois em pedaços cilíndricos de 25 mm de diâmetro e 2 mm de espessura utilizando um cortador cilíndrico. Na Figura 6-1 podem ser observadas as raízes de mandioca antes e após o descasque.



Figura 6-1 Imagens das raízes de mandioca utilizadas antes e após o descasque, das variedades (A) IAC Espeto, (B) IAC 14 e (C) IAC Caopora.

Todas as raízes utilizadas nos experimentos foram pesadas antes e após o descasque, e calculada a perda nesta etapa (g e %). O total de chips obtido de cada raiz também foi quantificado (g e %), caracterizando o rendimento de chips.

6.2.2 Cozimento

As amostras foram submetidas ao pré-tratamento, que consistiu no cozimento por imersão em água destilada a 70 °C por 6 minutos, na proporção de 1:5 (amostra:água) em um becker sobre chapa aquecedora (Fisatom, modelo 752^a, série 188033, Brasil) com agitação manual, seguido de resfriamento em água destilada à temperatura ambiente (para interromper o cozimento) e escoamento do excesso de água em papel toalha. Todos os cozimentos foram realizados em duplicata, sendo os ensaios realizados com mais de uma raiz (dependendo do rendimento de chips por raiz), totalizando 6 experimentos.

6.2.3 Secagem

A metodologia descrita no Capítulo 5, item 5.2.3. foi utilizada para a realização de todas as secagens e acompanhamento da cinética de secagem. Os dados de secagem do período de taxa de secagem decrescente foram ajustados pelos modelos matemáticos apresentados na Tabela 5-2. Os dados dos primeiros 20 minutos das secagens foram analisados por ajuste linear, onde foi observado período de taxa de secagem constante.

6.2.4 Análises Físicas e Químicas

Todas as análises realizadas para determinar o teor de umidade, amido, açúcares redutores, amilose e atividade de água, nas amostras *in natura*, cozidas e secas, seguiram metodologias descritas no Capítulo 4, item 4.2.3. Todos os resultados das análises físicas e químicas foram expressos em base úmida.

6.2.5 Determinação da Absorção de Água

A determinação da absorção de água no cozimento seguiu descrição do Capítulo 4, item 4.2.4.

6.2.6 Volume aparente (Vap) e Encolhimento

O volume aparente, o encolhimento volumétrico (E_v), o encolhimento na área projetada (E_A) e na espessura (E_E) foram calculados seguindo metodologia descrita no Capítulo 5, item 5.2.6.

6.2.7 Morfologia

A obtenção das imagens com microscopia eletrônica de varredura das amostras *in natura*, cozidas e secas foi realizada seguindo metodologia descrita no Capítulo 4, item 4.2.5.

Utilizando software ImageJ foi possível estimar o tamanho dos grânulos de amido nas imagens das amostras de mandioca *in natura* e analisar qualitativamente o número de poros formados nas imagens dos chips secos e estimar o diâmetro médio destes poros em cada variedade de mandioca.

6.2.8 Análise sensorial

Foi utilizado um teste afetivo com escala hedônica de 9 pontos, no qual 9 = gostei muitíssimo; 8 = gostei muito; 7 = gostei moderadamente; 6 = gostei ligeiramente; 5 = nem gostei / nem desgostei; 4 = desgostei ligeiramente; 3 = desgostei moderadamente; 2 = desgostei muito; 1 = desgostei muitíssimo.. Utilizando apresentação monádica em sessão única. Foram avaliados os atributos: aparência, impressão global, sabor, textura (MEILGAARD, 2006). No Apêndice C, D e E, encontram-se a ficha do teste sensorial, a ficha de recrutamento e o termo de consentimento livre esclarecido.

As 3 amostras foram avaliadas por 66 avaliadores não treinados, representativos do consumidor, dentre estes 42 (63,64%) eram do sexo feminino e 24 (36,36%) do sexo masculino. 38 dos avaliadores (57,58%) tinham entre 18 e 25 anos, 22 avaliadores (33,33%) tinham entre 26 e 35 anos, 4 avaliadores (6,06%) entre 36 e 45 anos e 2 avaliadores (3,03%) tinham entre 46 e 50 anos.

Previamente ao início do teste, foi questionado a estes avaliadores o quanto eles normalmente gostam de mandioca e de produtos do tipo chips. Com relação à aceitação de mandioca, 27% relataram gostar extremamente,

50% gostam muito e 23% gostam moderadamente. Já para a aceitação de produtos chips, 24% disseram que gostam extremamente, 48% gostam muito, 20% gostam moderadamente e 8% gostam ligeiramente.

6.2.9 Análise Estatística

Os resultados foram analisados por comparação entre médias pelo programa estatístico XLStat, empregando-se a análise de variância (ANOVA), utilizando o teste de Tukey, com nível de 5% de significância ($p \leq 0,05$). Para as análises de caracterização, as amostras em cada experimento foram homogeneizadas e analisadas em triplicata.

6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.3.1 Caracterização das raízes utilizadas

Na Tabela 6-1 encontram-se os resultados de rendimento das raízes utilizadas. Observa-se que a variedade IAC Caapora apresentou a maior variabilidade com relação à massa inicial das raízes, $476 \pm 215\text{g}$ e maior perda no descasque $51\% \pm 15\%$. Essa perda pode ser atribuída à dificuldade encontrada no momento do descasque, e por esta variedade ter apresentado raízes mais finas. A IAC 14 apresentou menor perda no descasque, $25\% \pm 10\%$, e apresentou diferença significativa das demais.

As perdas da casca, entrecasca e das pontas variam, em média, de 25 a 30% do peso total das raízes de mandioca e podem ultrapassar 40% para raízes mais finas (Oliveira e Godoy, 2011). A variedade IAC Espeto foi caracterizada com raízes menores, comparada às demais, sendo necessário maior número de raízes para atingir o total necessário para o cozimento. Esta característica já era esperada, pois a variedade IAC espeto é reportada por apresentar raízes pequenas em relação a outras variedades de mandioca,

apresenta menor teor de matéria seca e menor produtividade (Vidigal Filho, et al., 2000; Talma, 2012).

Tabela 6-1 - Rendimento e perdas de mandioca no processamento. Massa da raiz com casca, perda no descasque, rendimento de chips obtidos por raiz e massa de raiz colhida por planta (kg)

Variedade	Massa raiz (g)	Perda descasque (%)	Rendimento chips (%)	Massa colhida (kg/planta)
IAC Espeto	218 ± 70 ^b	45 ± 10 ^a	25 ± 7 ^a	1,3 ± 0,8 ^b
IAC 14	505 ± 126 ^a	25 ± 10 ^b	25 ± 7 ^a	4 ± 2 ^a
IAC Caapora	476 ± 215 ^a	51 ± 15 ^a	16 ± 5 ^a	3 ± 1 ^{ab}

O rendimento de chips não diferiu significativamente entre as variedades. Das variedades IAC 14 e IAC Espeto foi obtido, em torno de 25% de chips, com 2mm de espessura e 25 mm de diâmetro, por raiz. Já a variedade IAC Caapora apresentou rendimento, 16%.

No total, foram colhidas raízes de 12 plantas da variedade IAC Espeto, com massa média de 1,3 ± 0,8 kg por planta e massa total colhida de 14,9 kg. Para a variedade IAC 14, o número total de plantas colhidas foi reduzido para 4, com massa média de 4 ± 2 kg por planta e massa total colhida de 13,1 kg. Para a IAC Caapora, foram colhidas raízes de 4 plantas com massa média de 3 ± 1 kg por planta e massa total obtida de 10,9 kg. Com esses dados de colheita, pode-se dizer que a variedade IAC 14 foi caracterizada como de melhor rendimento, considerando o rendimento de colheita por planta e do total de chips obtidos, sendo necessária apenas três plantas para atingir massa semelhante a IAC Espeto.

6.3.2 Caracterização do produto *in natura*, cozido e seco

As diferenças significativas foram com relação ao teor de amido, menor concentração foi determinada na variedade IAC Caapora.

Tabela 6-2 apresenta os resultados obtidos na caracterização das três variedades de mandioca *in natura*. Médias com letras iguais em uma mesma coluna não diferem significativamente ($p \leq 0,05$), pelo teste de Tukey.

Pode-se observar na Tabela 6-3 que não houve diferença significativa com relação ao conteúdo de umidade nas amostras *in natura* das três variedades, estes variaram entre 61 e 62 g/100g. Alguns autores reportaram para diferentes variedades de mandioca teor de umidade entre 49 e 81 g/100g (Padonou, 2005; Maieves, 2010; Ferrarezzo, 2011). Com o cozimento, este teor de umidade aumentou nas três variedades, sendo mais elevado na IAC 14 e IAC Caapora em relação à IAC Espeto. A absorção de água entre 13% e 16%, corrobora com esse resultado, mas não diferiu significamente entre as amostras ($p \leq 0,05$). A gelatinização do amido pode ser responsável por essas alterações, provocando o amolecimento dos tecidos vegetais na mandioca e assim facilitando a entrada da água de cozimento para o interior do tecido vegetal (Varnalis et al., 2001; Damodaran et al., 2010; Sajeev et al., 2010).

Com relação ao teor de amido das amostras *in natura*, as variedades IAC Caapora e IAC Espeto apresentaram em torno de 30 g/100g, já a IAC 14 foi caracterizada com menor teor, 26,8 g/100g. A mandioca é conhecida por apresentar elevado teor de amido, seu teor é reportado na literatura entre 24 e 39 g/100g (Otsubo e Barreto, 2001; Borges, 2002; Feniman, 2004; Oliveira, 2005; Ceni, 2009; Ferrarezzo, 2011). Após o cozimento, a IAC Espeto permaneceu com o maior teor de amido, com isso, pode-se dizer que ocorreu menor perda de amido e amilose por lixiviação. Menor teor de amido foi encontrado na variedade IAC 14, que após o cozimento reduziu seu teor de 26,8 para 17,2 g/100g. A variedade IAC Caapora apresentou 19,02 g/100g de amido após o cozimento.

Maior teor de amilose, nas amostras *in natura*, foi encontrado nas variedades IAC Espeto (6,7 g/100g) e IAC 14 (6,69 g/100g), estas variedades apresentavam o maior e o menor teor de amido, respectivamente. Menor teor de amilose foi observado na IAC Caapora (5,7 g/100g). O inverso aconteceu com a amilopectina, maior teor para a variedade IAC Caapora, IAC Espeto e menor para a IAC 14. Quando analisado o amido em diferentes variedades de mandioca, teores de amilose entre 10 e 23 g/100g e de amilopectina entre 77 e

89 g/100g são descritos por pesquisadores (Srirot, 1999; Padonou, 2005; Anggraini, 2009; Moreira, 2013). Após o cozimento, foi determinado maior teor de amilose na variedade IAC Espeto, 4,18 g/100g, e nas demais variedades em torno de, 3 g/100g de amilose.

As quantidades relativas de amilose e amilopectina são conhecidas por influenciar as propriedades tecnológicas e nutricionais da pasta de amido. Amidos com elevado conteúdo de amilose apresentam menor intumescimento, solubilidade e suscetibilidade à ação enzimática, sendo utilizados como espessante e agentes fortificantes, porém podem apresentar o problema da retrogradação. Maior teor de amilopectina favorece o inchaço do grânulo e melhora a uniformidade, a estabilidade e a textura dos amidos, além de melhorar a estabilidade ao descongelamento. O conteúdo de amilose pode ser influenciado pelas condições climáticas, pelo tipo de solo e pela variedade do tubérculo (Yamani, 2010).

Analisando os chips secos, pode-se concluir que o uso de diferentes variedades na secagem não trouxe diferenças significativas. O tempo de processo variou entre 70 e 80 minutos para atingir mesmo teor de umidade. A atividade de água não apresentou diferença significativa entre as variedades, sendo todos menores que 0,6, como são estabelecidos para alimentos secos e estáveis (Bobbio e Bobbio, 2001; Damodaran et al., 2010). As diferenças significativas foram com relação ao teor de amido, menor concentração foi determinada na variedade IAC Caapora.

Tabela 6-2 - Teor de umidade, amido, amilose, amilopectina, açúcares redutores (g/100g de amostra em base úmida), absorção de água (%), atividade de água (Aw) e tempo de secagem (min) das variedades de mandioca *in natura*, cozidas e secas

Amostra <i>in natura</i>								
Composição*	Umidade	Amido	Amilose	Amilopectina	Açúcares redutores	Absorção de água	Aw	Tempo de secagem
IAC Espeto	62±2 ^a	30,2±0,3 ^a	6,7 ±0,3 ^a	23,5±0,2 ^a	1,56±0,06 ^b	NA	NA	NA
IAC 14	61 ±2 ^a	26,8±0,3 ^b	6,69±0,07 ^a	20,13±0,07 ^b	1,29±0,07 ^c	NA	NA	NA
IAC Caapora	62±1 ^a	29,7±0,6 ^a	5,7±0,2 ^b	23,9±0,2 ^a	1,75±0,02 ^a	NA	NA	NA
Amostra cozida								
IAC Espeto	68±1 ^b	27,2±0,3 ^a (8%)	4,18±0,02 ^a (38%)	NA	0,79±0,03 ^b (49%)	13±5 ^a	NA	NA
IAC 14	73±1 ^a	17,2±0,2 ^c (36%)	3,02±0,02 ^b (55%)	NA	0,82±0,03 ^b (36%)	15±3 ^a	NA	NA
IAC Caapora	71 ±1 ^a	19,02±0,10 ^b (36%)	3,06±0,09 ^b (46%)	NA	1,08±0,06 ^a (38%)	16±3 ^a	NA	NA
Amostra seca								
IAC Espeto	10,1±0,7 ^a	82,2±0,3 ^a	15,1±0,2 ^a	NA	3,54±0,09 ^b	NA	0,46±0,02 ^a	80
IAC 14	9±1 ^a	83±2 ^a	17±1 ^a	NA	4,1±0,2 ^a	NA	0,5±0,1 ^a	70
IAC Caapora	10,4±0,6 ^a	78,2±0,4 ^b	16,1±0,3 ^a	NA	3,8±0,1 ^{ab}	NA	0,58±0,01 ^a	70

6.3.3 Avaliação da cinética de secagem

As Figuras 6-2 e 6-3 mostram as curvas de perda de umidade ao longo do tempo e a taxa de secagem em função do adimensional de umidade dos chips de mandioca, das três variedades utilizadas.

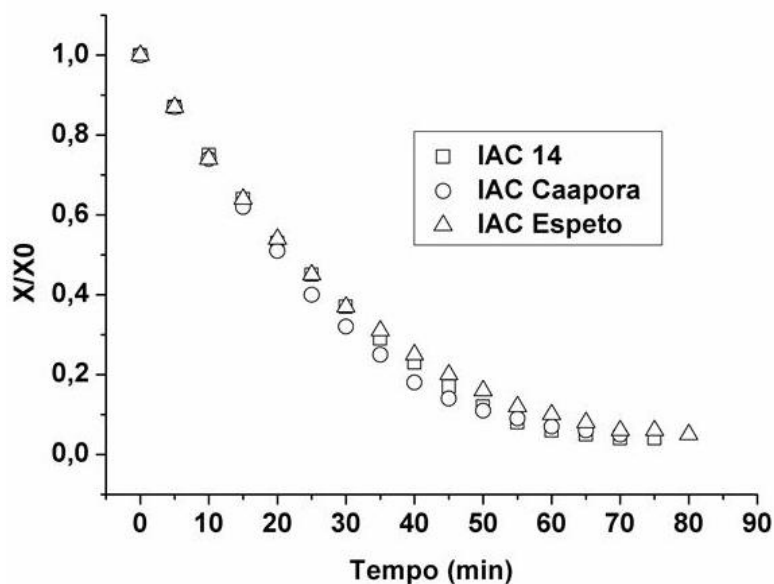


Figura 6-2 Umidade adimensional em função do tempo de secagem de chips de mandioca à temperatura fixa de 70 °C com diferentes variedades.

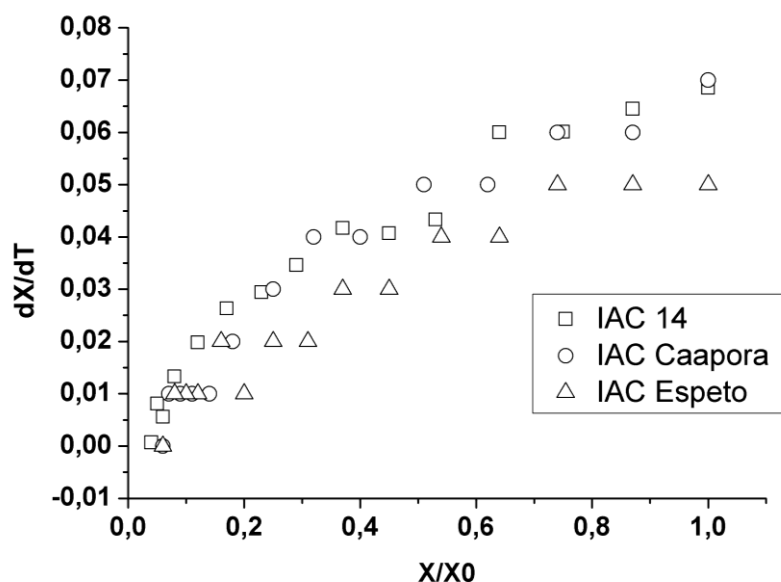


Figura 6-3 Taxa de secagem em função da umidade adimensional dos chips de mandioca secos à temperatura fixa de 70 °C com diferentes variedades.

Analisando a Figura 6-2, observa-se que o tempo de processo foi semelhante para as variedades, no total foi necessário de 70 a 80 minutos de secagem. Sendo assim, as diferentes variedades não apresentaram diferença significativa no processo de secagem.

A variedade IAC Espeto apresentava menor teor de umidade antes da secagem, no entanto foi necessário maior tempo de secagem para alcançar 10% de umidade. A curva de taxa de secagem (Figura 6-3) sugere uma pequena redução da taxa de secagem desta variedade. Como a IAC Espeto apresentava em torno de 27 g/100g de amido na amostra cozida, e as demais variedades entre 17 e 19 g/100g, este fato pode ter afetado negativamente sua taxa de secagem. A presença de amido aumenta a viscosidade do produto, diminuindo a atividade de água, reduzindo assim, a taxa de movimento de umidade (Fellows, 2006). As variedades IAC 14 e IAC Caapora apresentavam menores teores de amido e amilose, porém maiores teores de umidade. Estes são aspectos favoráveis à difusão de água pela menor formação de gel superficial e cadeias mais distanciadas.

As curvas de secagem apresentaram um período de taxa de secagem constante, provavelmente devido à absorção de água durante o cozimento proporcionando maior facilidade de difusão de água, por isso os primeiros 20 minutos foram analisados por ajuste linear. O restante da curva de secagem foi avaliado por diferentes modelos (Tabela 6-3).

Na Figura 6-4 podem ser observadas as curvas de cinética de secagem ajustadas aos modelos empíricos e na Tabela 6-3 os respectivos parâmetros dos modelos. Todos os modelos apresentaram bons ajustes aos dados de secagem. A taxa de secagem do período constante não variou entre as amostras, como observado nos resultados do parâmetro N_c . Na região de taxa decrescente, o modelo de Page apresentou o melhor ajuste em relação aos demais, tanto pela análise gráfica quanto pelo coeficiente de determinação maior que 99,5% nas diferentes variedades.

O modelo de Page tem sua eficiência fundamentada em toda literatura, diversos autores já o utilizam com sucesso para descrever dados de secagem com ar quente e ar quente combinado com micro-ondas, como maracujá

amarelo (Menezes e colaboradores, 2013), grão de feijão (Afonso Júnior, 1999) e abacaxi (Lopes, 2013; Corrêa, 2014).

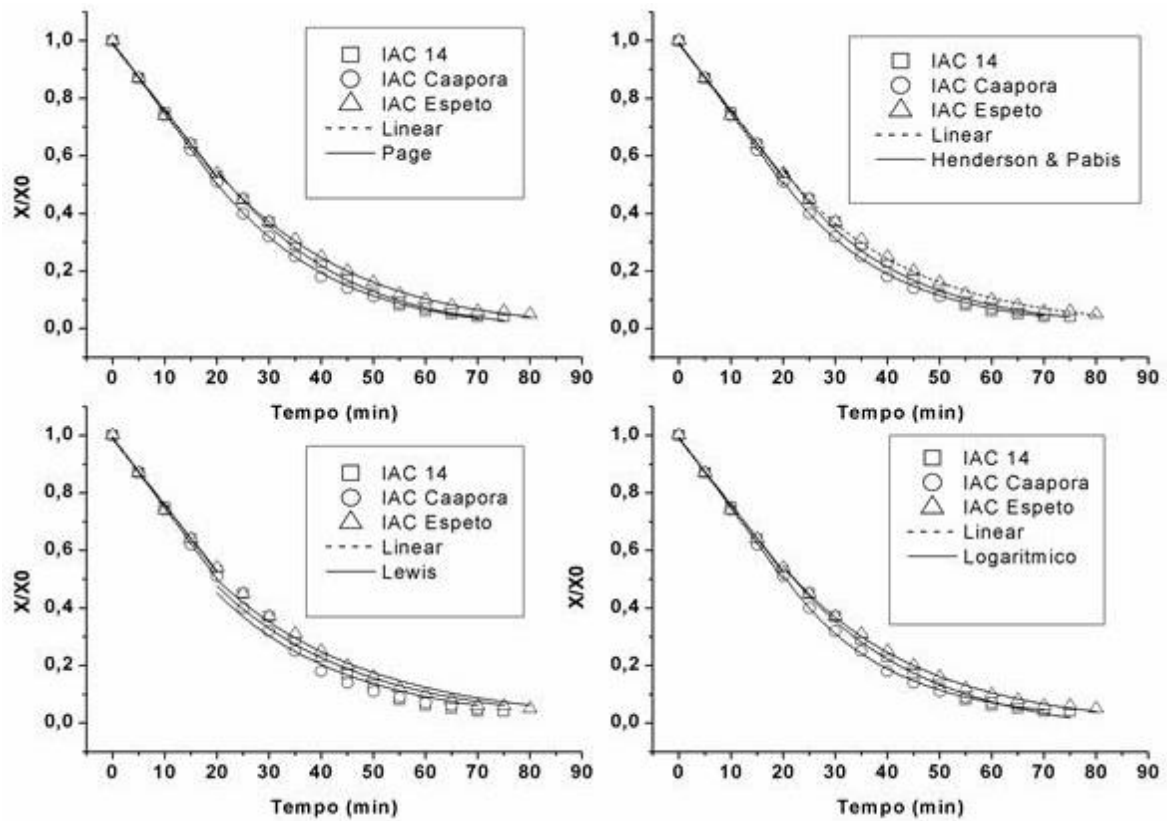


Figura 6-4 Ajustes das curvas de cinética de secagem ao modelo de Page, Henderson e Pabis, Lewis, Logaritmico e Linear.

Tabela 6-3 Parâmetros dos modelos de Page, Henderson e Pabis, Lewis, Logarítmico e Linear, na secagem com ar quente combinada com micro-ondas de mandioca

Modelo	Condição	Constantes			R ²
Page	IAC 14	k=0,010 ± 0,001		n=1,34 ± 0,03	0,9950
	IAC Caapora	k=0,016 ± 0,001		n=1,25 ± 0,02	0,9967
	IAC Espeto	k=0,0171 ± 0,0009		n=1,19 ± 0,01	0,9988
Henderson e Pabis	IAC 14	k=0,048 ± 0,002		a=1,45 ± 0,09	0,9876
	IAC Caapora	k=0,049 ± 0,0008		a=1,38 ± 0,03	0,9981
	IAC Espeto	k=0,0410 ± 0,0007		a=1,03 ± 0,04	0,9975
Lewis	IAC 14	k=0,037 ± 0,001			0,9457
	IAC Caapora	k=0,039 ± 0,001			0,9661
	IAC Espeto	k=0,0347 ± 0,0007			0,9792
Logarítmico	IAC 14	k=0,039 ± 0,004	a=1,30 ± 0,07	c=-0,05 ± 0,02	0,9919
	IAC Caapora	k=0,051 ± 0,002	a=1,41 ± 0,05	c=0,005 ± 0,008	0,9980
	IAC Espeto	k=0,038 ± 0,001	a=1,20 ± 0,03	c=-0,01 ± 0,01	0,9979
Linear	IAC 14	Nc= -0,023 ± 0,0005			0,9981
	IAC Caapora	Nc= -0,0246 ± 0,0005			0,9983
	IAC Espeto	Nc= -0,023 ± 0,0005			0,9936

6.3.4 Encolhimento

Na Tabela 6-4, podem-se observar imagens dos chips após o cozimento e secagem.

Tabela 6-4 - Encolhimento volumétrico, encolhimento da área e encolhimento na espessura (%) nas secagens das diferentes variedades

Experimento	E_v (n=6)	E_A (n=6)	E_E (n=6)
IAC ESPETO	40±4 ^a	28 ±5 ^a	16 ±5 ^a
IAC 14	40±6 ^a	26±2 ^a	19 ±5 ^a
IAC CAAPORA	40±6 ^a	27±5 ^a	19±5 ^a

Médias com letras iguais em uma mesma coluna não diferem significativamente ($p \leq 0,05$), pelo teste de Tukey.

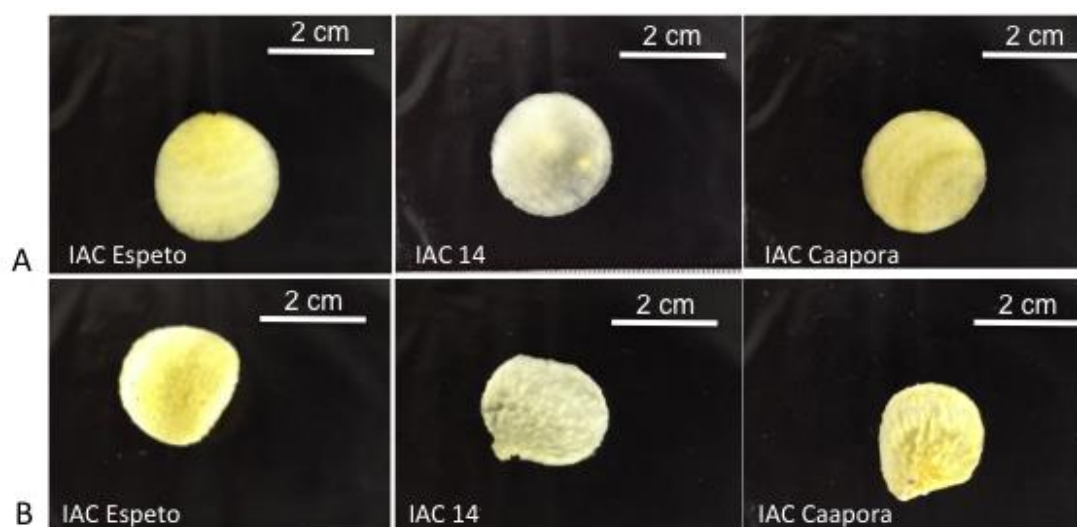


Figura 6-5 – Chips cozidos e secos das variedades IAC Espeto, IAC 14 e IAC Caapora.

A redução da área superficial dos chips foi mais responsável pelo encolhimento volumétrico.

Quando a umidade é removida do produto alimentar, um desequilíbrio de pressão é produzido entre a parte interna e externa do alimento, gerando tensões que levam ao encolhimento do alimento. Isso promove mudanças na

forma e às vezes quebra do produto. Colapso estrutural provocado em alimentos devido à remoção de umidade provoca mudanças significativas na textura. Na secagem com ar quente, em geral, a redução no volume é equivalente à redução do volume de água. Às vezes, não acontece essa equivalência especialmente quando o produto atinge baixo teor de água, nesta fase a transição do estado borrachudo para o estado vítreo ocorre e, assim, o encolhimento diminui significativamente (Jangam et al., 2010).

Wang e Brennan (1995) observaram que o encolhimento de batata durante a secagem foi linearmente proporcional à diminuição de umidade, afetando a densidade e a porosidade do produto. Khraisheh e colaboradores (2004) utilizando secagem de batata com micro-ondas obtiveram resultados semelhantes, sugerindo relação do encolhimento com o conteúdo de umidade. Temperatura do ar mais elevada pode provocar o endurecimento da superfície. Borges et al. (2008) utilizando um secador de convecção forçada a 70 °C em fatias de abóbora, quantificaram o encolhimento das amostras entre 73,9 e 90,1%.

6.3.5 Morfologia

Micrografias da fratura dos chips das três variedades de mandioca podem ser observadas na Figura 6-6. E as micrografias da parte da superfície dos chips, na Figura 6-7. Em todas as imagens foi utilizada magnificação igual a 1000.

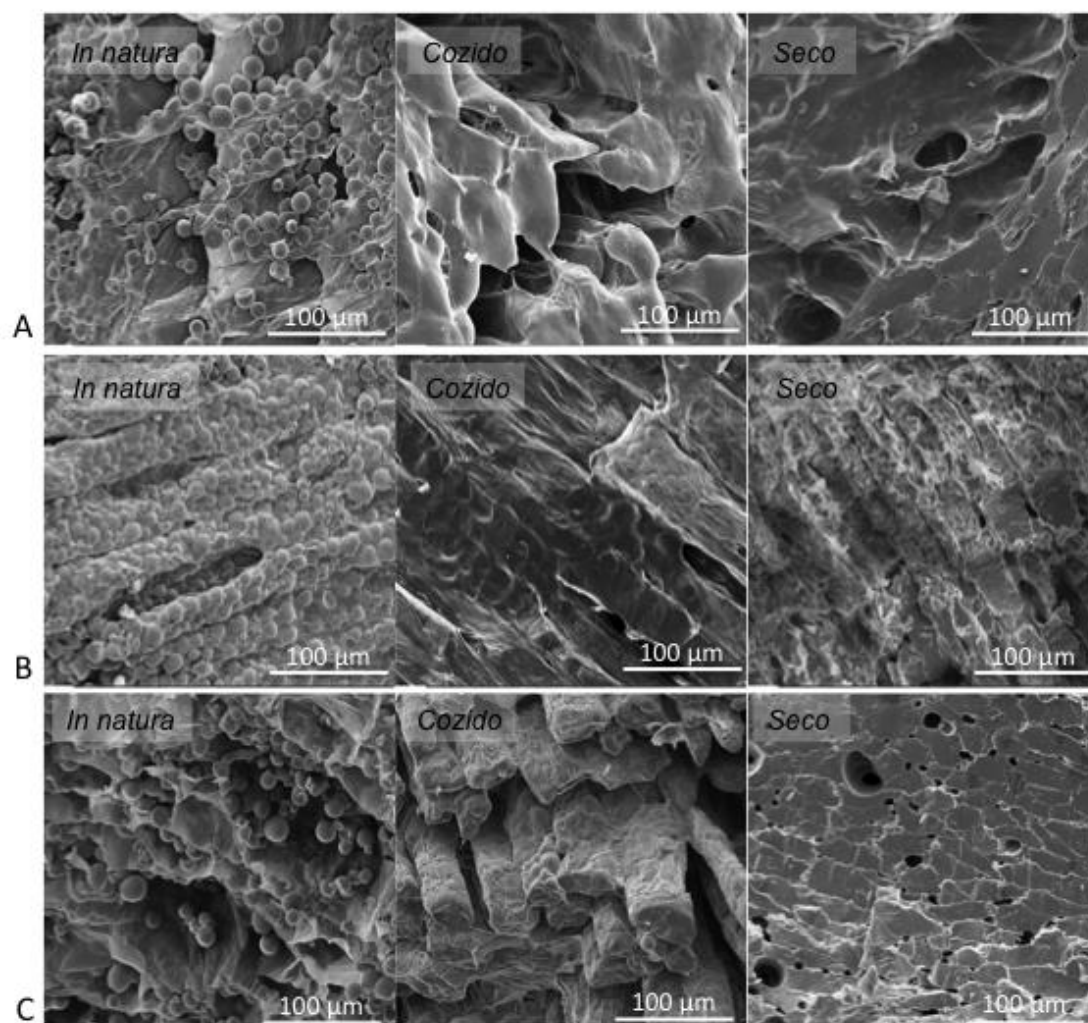


Figura 6-6 Imagens obtidas com microscopia eletrônica de varredura da parte fraturada dos chips *in natura*, cozidos e secos, das variedades IAC Espeto (A), IAC 14 (B) e IAC Caapora (C).

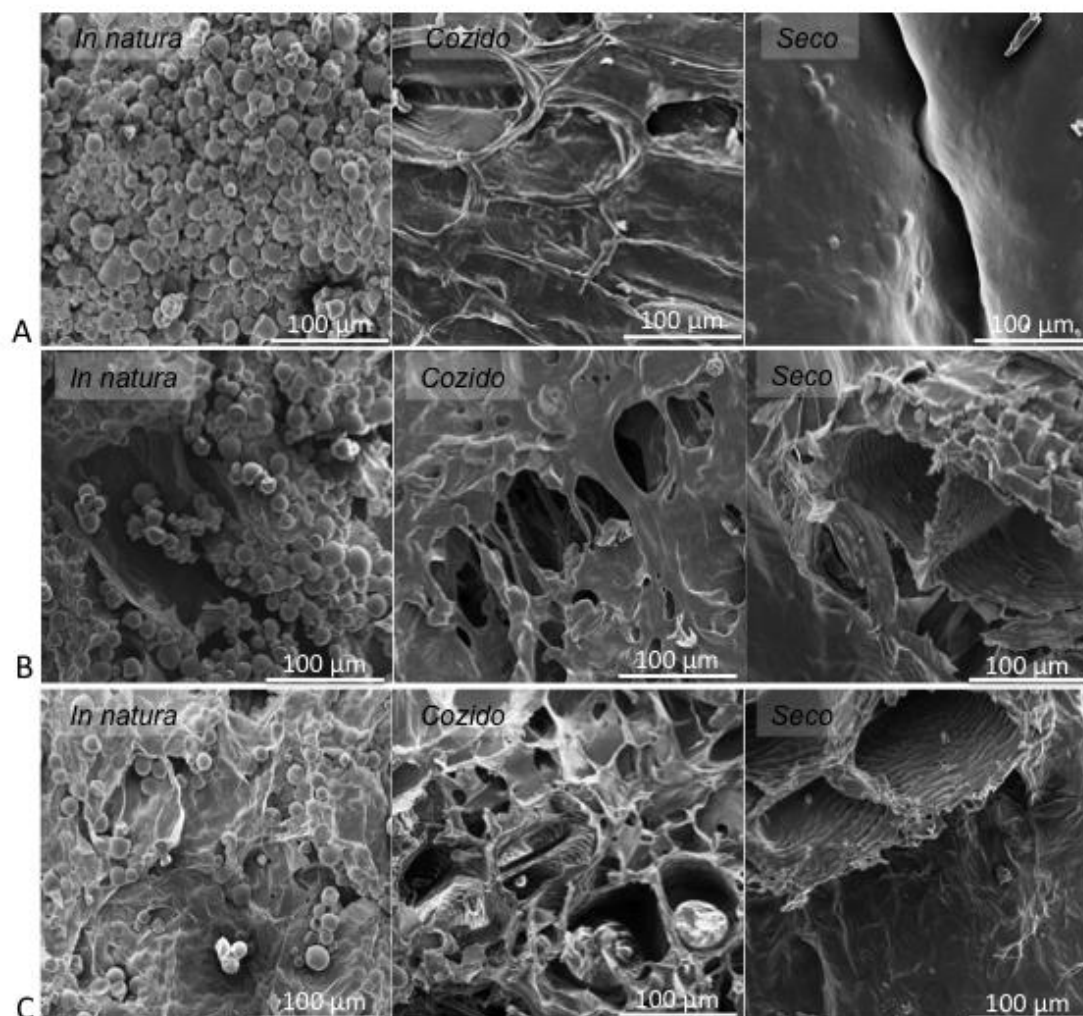


Figura 6-7 Imagens obtidas com microscopia eletrônica de varredura da superfície dos chips *in natura*, cozidos e secos, das variedades IAC Espeto (A), IAC 14 (B) e IAC Caapora (C).

Pode-se observar pelas imagens, que as amostras das três variedades *in natura* apresentam grânulos de amido evidentes, arredondados mas com tamanhos variando de 7 a 18 μm na variedade IAC Espeto, 8 a 24 na IAC 14 e 8 a 20 μm na variedade IAC Caapora. As imagens dos chips *in natura* obtidos na parte fraturada tornam evidente o tecido celular envolvendo os grânulos de amido, sem apresentar diferenças significativas entre as variedades. Atichokudomchai (2000) observou que os grânulos de amido de mandioca nativo apresentam formato truncado e irregular, com superfície suave sem poros e com diâmetro entre 5 e 25 μm .

Em todas as variedades após o cozimento ocorre uma diminuição quase que completa dos grânulos de amido, estes parecem formar uma

espécie de filme nos chips, com uma aparência de tecido mais plástico. Na variedade IAC Caapora, a amostra após o cozimento apresenta grânulos de amido, porém estes parecem estar presos no tecido vegetal, envoltos em uma espécie de rede.

Para obter os chips, primeiro são cortadas lâminas de mandioca no sentido transversal da raiz. Essas lâminas são posicionadas horizontalmente e delas obtidas os pequenos chips. Com isso, nas imagens da superfície conseguimos visualizar uma maior profundidade na mandioca (visão perpendicular ao eixo), já na parte fraturada observamos as paredes celulares. Tanto na variedade IAC 14 como na IAC Caapora foram observadas estruturas semelhantes após a secagem na parte superficial dos chips, estruturas profundas, formando canais sem nenhum grânulo de amido evidente. Após a secagem são observadas estruturas com aspecto quebradiço semelhantes em todas as variedades.

Formação de poros na parte fraturada dos chips é evidenciada pelas imagens obtidas das três variedades. Foram quantificados em cada imagem gerada pela microscopia eletrônica de varredura, em torno de, 370 poros na variedade IAC 14, 395 poros na IAC Espeto e 418 na IAC Caapora. O diâmetro médio destes poros foi de $2 \pm 4 \mu\text{m}$ na IAC Espeto, $7 \pm 10 \mu\text{m}$ na IAC 14 e $3 \pm 8 \mu\text{m}$ na IAC Caapora, pode-se dizer que maiores poros foram observados na variedade IAC 14.

Frequentemente, durante os processos de secagem rápida, como é o caso das micro-ondas, a superfície do produto seca muito mais rápido do que o seu núcleo, originando tensões internas que podem resultar em rachaduras e em um produto com interior poroso, estas alterações foram observadas por Wang e Brennan (1995) por meio de microscopia em experiências de secagem de batata.

Esta análise morfológica permitiu observar o efeito dos processos aplicados na mandioca, como o cozimento e a secagem, e destas imagens foi confirmado o efeito da gelatinização do amido, a diminuição evidente dos grânulos provocada pela lixiviação e/ou pela formação de uma estrutura gelatinizada.

6.3.6 Avaliação da aceitação sensorial

As médias de aceitação sensorial dos atributos aparência, impressão global, sabor e textura dos chips de mandioca pré-cozidos e secos e o resultado do teste de Tukey aplicado estão apresentadas na Tabela 6-5.

Tabela 6-5 Média da aceitação dos atributos aparência, impressão global, sabor e textura dos chips de mandioca obtidos por 3 pré-tratamentos (n = 66)

Variedade	Aparência	Impressão Global	Sabor	Textura
IAC Espeto	6 ± 1 ^b	6 ± 1 ^a	5 ± 2 ^a	5 ± 2 ^a
IAC 14	6 ± 1 ^b	6 ± 2 ^a	5 ± 2 ^a	5 ± 2 ^a
IAC Caapora	7 ± 1 ^a	6 ± 2 ^a	5 ± 2 ^a	5 ± 2 ^a

Médias com letras iguais em uma mesma coluna não diferem significativamente ($p \leq 0.05$), pelo teste de Tukey. Escala hedônica de aceitação sensorial: 9 = gostei muitíssimo; 8 = gostei muito; 7 = gostei moderadamente; 6 = gostei ligeiramente; 5 = nem gostei / nem desgostei; 4 = desgostei ligeiramente; 3 = desgostei moderadamente; 2 = desgostei muito; 1 = desgostei muitíssimo.

Pela Tabela 6-5, observa-se que a única diferença observada neste teste sensorial foi com relação ao atributo aparência, porém usando três diferentes variedades de mandioca este dado era esperado. A variedade IAC Caapora tem por característica apresentar polpa amarelada, este fato pode ser relacionado com maior média de aceitação. Com relação aos demais atributos não houve diferença significativa entre as variedades. Podem existir diferenças com relação à textura e aparência para diferentes variedades de mandioca (Padonou, et al., 2005).

Analisando os histogramas de frequência (Figura 6-8) verifica-se a distribuição de notas atribuídas pelos avaliadores para cada atributo avaliado.

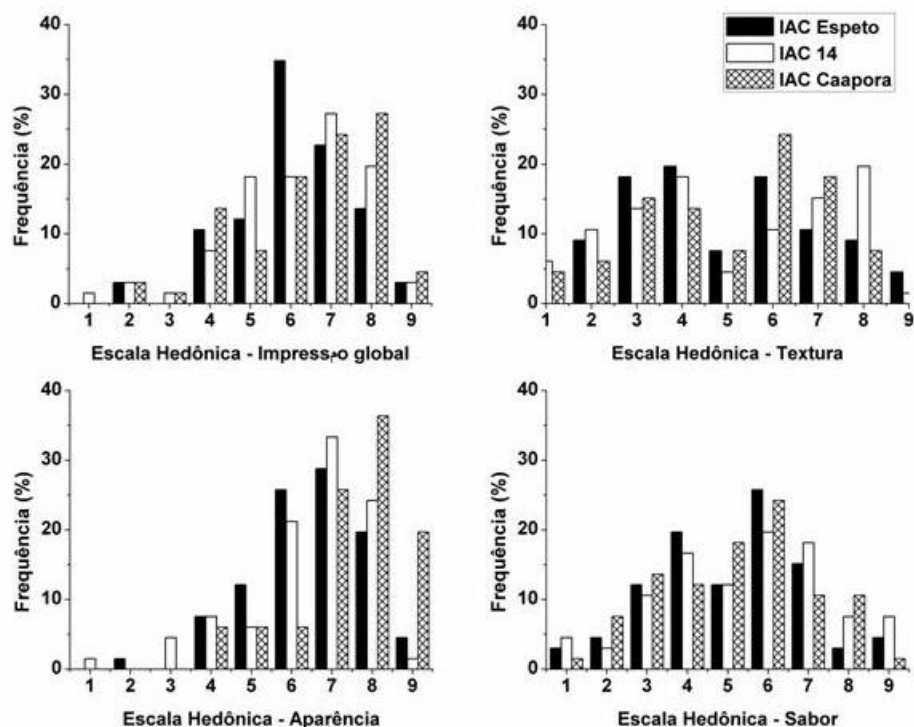


Figura 6-8 Histogramas de frequência para os atributos aparência, impressão global, sabor e textura.

Quando analisado o intervalo da aceitação da escala hedônica, que corresponde às respostas gosto ligeiramente (nota 6) a gosto muitíssimo (nota 9), 78,8% dos avaliadores classificaram a amostra da variedade IAC Espeto, nessa faixa de notas para o atributo aparência. Para a variedade IAC 14, foram contabilizados 80,3% dos avaliadores e para a variedade IAC Caapora 87,9%, esta maior frequência pode estar relacionada com o fato da variedade IAC Caapora apresentar polpa mais amarelada que as demais.

Para o atributo impressão global, 74,2% dos avaliadores nessa mesma faixa de aceitação para a variedade IAC Espeto. Para IAC 14, foram concedidos 68,2% da notas acima de 6 e 74,2% para a variedade IAC Caapora. Com relação ao sabor, 48,5% dos avaliadores atribuíram notas acima de 6 para a variedade IAC Espeto, para IAC 14 e IAC Caapora, 53,0% e 47,0% das frequências, respectivamente. Para o atributo textura, 42,2% dos avaliadores permaneceram na faixa de aceitação da escala hedônica para a variedade IAC Espeto, para a variedade IAC 14 47,0% e para a IAC Caapora 53,0%

Menores notas para o atributo textura podem estar relacionadas com o maior teor de amido e de amilose nas amostras cozidas da variedade IAC Espeto. A amilose está relacionada com maior tendência à retrogradação pela aproximação das cadeias lineares, este fenômeno pode resultar em dureza. As três variedades receberam notas baixas referente ao parâmetro textura, alguns avaliadores relataram, na ficha utilizada na análise sensorial, que as amostras estavam duras e difíceis de mastigar. A textura de frutas e legumes é afetada pelos processos de secagem, e está fortemente relacionada com a composição e a estrutura das paredes celulares. Utilizando um tipo de secagem rápida, como as micro-ondas, pode ocorrer deformação ou rachaduras e superfície do produto mais dura (Fellows, 2006).

Talma (2012) em um estudo com variedades de mandioca observou que as variedades IAC Caapora e IAC Espeto, as mais claras e amarelas, foram consideradas adequadas para o consumo de mesa, devido à opinião dos avaliadores em um teste de aceitação sensorial.

6.4 RESUMO E CONCLUSÕES

Todas as variedades foram consideradas aptas para o processo, uma vez que, não diferiram significativamente com relação ao teor de umidade, amido, amilose, amilopectina. A cinética de secagem das variedades foram semelhantes e o tempo de processo variou de 70 a 80 minutos, ocorreram as mesmas taxas de encolhimento para os produtos das três variedades e os produtos finais não apresentaram diferença significativa com relação aos atributos hedônicos avaliados na aceitação sensorial. No descasque, foi observada maior perda para a variedade IAC Caapora e menor para a IAC 14, e o rendimento de raiz por planta colhida foi maior para a IAC 14. Portanto, a variedade IAC 14 pode ser considerada uma boa alternativa para ser utilizada no processo de obtenção de chips de mandioca por meio de secagem com ar quente combinada com micro-ondas.

6.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Afonso Júnior, P.C., Corrêa, P.C. (1999) Comparação de modelos matemáticos para descrição da cinética de secagem em camada fina de sementes de feijão. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, PB, DEAg/UFPB, 3 (3):349-353
- Aguilera, J.M. (2005) Why food microstructure? *Journal of Food Engineering*, 67:3-11.
- Anggraini, V., Sudarmonowati, E., Hartati, N.S., Suurs, L., Visser, R.G.F. Characterization of cassava starch attributes of diferente genotypes. *Starch/Starke*, 61(8):472-481.
- AOAC - Official Methods of Analysis (1998) Washington: Association of Official Analytical Chemists.
- Atichokudomchai, N., Shobsngob, S., Varavinit, S. (2000) Morphological properties of acid-modified tapioca starch. *Starch*, 52:283–289.
- Bobbio, F.O.; Bobbio, P.A. (2001) *Química do Processamento de Alimentos*. São Paulo: Varela, 143p.
- Borges, M.F., Fukuda, W.M.G., Rossetti, A.G. (2002) Avaliação de variedades de mandioca para consumo humano. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 37(11):1559-1565.
- Borges, S.V., Mancini, M.C., Corrêa, J.L.G., Nascimento, D.A. (2008) Secagem de fatias de aboboras (*Cucurbita moschat*, L.) por convecção natural e forçada. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, 28:245-251.
- Ceni, G.C. (2009) Avaliação de componentes nutricionais de cultivares de mandioca (*Manihot esculenta Crantz*) *Alimentos e Nutrição*, Araraquara, 20(1):107-111.
- Charles, A.L., Sriroth, K., Huang, T. (2005) Proximate composition, mineral contents, hydrogen cyanide and phytic acid of 5 cassava genotypes. *Food Chemistry* 92:615–620.
- Corrêa, G.C. (2014) Secagem convectiva de abacaxi combinada com aplicação de potência de micro-ondas variável. *Dissertação (mestrado)* Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 109p.

- Damodaran, S., Parkin, K.L., Fennema, O.R. (2010) *Química de Alimentos de Fennema*, Porto Alegre: Artmed, 900p.
- EMBRAPA. (2005) *Mandioca e Fruticultura Tropical*. FARIAS, A.R.N. *Processamento e utilização da mandioca*, Brasília/DF, 547p.
- Fellows, P.J. (2006) *Tecnologia do Processamento de Alimentos: Princípios e Práticas*. Porto Alegre: Artmed, 602p.
- Feniman, C.M. (2004) *Caracterização de raízes de mandioca (Manihot esculenta Crantz) do cultivar IAC 576-70 quanto à cocção, composição química e propriedades do amido em duas épocas de colheita*. Dissertação (mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, 99p.
- Ferrarezzo, E.M. (2011) *Desenvolvimento de mandioca chips, moldada e frita*. Tese (Doutorado) Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos – Universidade de São Paulo, Pirassununga, 192p.
- Fukuda, C., Otsubo, A.A. (2003) *Cultivo da mandioca na região centro sul do Brasil. Sistemas de Produção*. https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mandioca/mandioca_centrosul/cultivares.htm em 03/03/2016, página mantida pela Embrapa Mandioca e Fruticultura.
- García-Segovia, P., Andrés-Bello, A., Martínez-Monzó, J. (2008) Textural properties of potatoes (*Solanum tuberosum* L., cv. Monalisa) as affected by different cooking processes. *Journal of Food Engineering*, 88:28-35.
- Henderson, S. M., Pabis, S. (1961) Grain drying theory. I. Temperature effect on drying coefficient. *Journal of Agriculture Engineering Research*, 6(3):169-174.
- Hoover, R. (2001) Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: a review. *Carbohydrate Polymers*, 45:253-267.
- IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2015) *Levantamento Sistemático Da Produção Agrícola*. Pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil, 118p.
- IAC – Instituto Agrônomo de Campinas (2016) *Cultivares de mandioca*: <http://www.iac.sp.gov.br/cultivares/inicio/Folders/Mandioca/IAC14.htm>.
- Jangam, S.V., Law, C.L., Mujumdar, A.S. (2010) *Drying of foods, vegetables and fruits*. Vol 1, 232p.

- Khraisheh, M.A.M., McMinn, W.A.M., Magee, T.R.A. (2004) Quality and structural changes in starchy foods during microwave and convective drying. *Food Research International* 37:497–503.
- Lewis, W.K. (1921). The rate of drying of solid materials. *J. Ind. Eng. Chem.* 13 (5):427-432.
- Lopes, F.J. (2013) Estudo do fenômeno de encolhimento na secagem convectiva de abacaxi com aplicação de micro-ondas. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, 147p.
- Maieves, H.A. (2010) Caracterização física, físico química e potencial tecnológico de novas cultivares de mandioca Dissertação (mestrado) Programa de Pós Graduação em Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 114p.
- Martinez, C.Y., Cuevas, F. (1989) Evaluación de la calidad culinária y molinera del arroz. Guia del estudio. Cali: CIAT, 75p.
- Meilgaard, M., Civille, G.V., Carr, B.T. (2006) *Sensory Evaluation Techniques*. 4ª ed. CRC Press, Boca Raton, 448 p.
- Menezes, M.L., Stroher, A.P., Pereira, N.C., Barros, S.T.D. (2013) Análise da cinética e ajustes de modelos matemáticos aos dados de secagem do bagaço do maracujá-amarelo. *Engevista*, 15(2):1760186.
- Miller, G.L. (1959) Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugars. *Analytical Chemistry*, Washington, 31:426-8.
- Moreira, G.L.P., Viana, A.E.S., Andrade, A.C.B., Cardoso, A.D., Santos, V.S., Lopes, S.C. (2009) Teores de amilose e amilopectina em genótipos de mandioca (*Manihot esculenta Crantz*). Trabalho apresentado no XV Congresso Brasileiro de Mandioca, Bahia.
- Mujumdar, A.S. (2000) *Drying Technology in Agriculture and Food Sciences*. Science Publishers, Inc., USA, 313p.
- Padonou, W., Mestres, C., & Nago, M. C. (2005). The quality of boiled cassava roots: Instrumental characterization and relationship with physicochemical properties and sensorial properties. *Food Chemistry*, 89(2), 261–270.
- Oliveira M.A., Leonel M., Cabello C., Cereda M.P., Janes D.A. (2005) Metodologia para avaliação do tempo de cozimento e características tecnológicas associadas em diferentes cultivares de mandioca. *Ciênc. agrotec.*, Lavras, 29 (1):126-133.
- Oliveira, L.A., Godoy, R.C.B. (2011) Mandioca chips: Circular Técnico. EMBRAPA, Cruz das Almas/BA, 6p.

- Otsubo A.A., Barreto E.A. (2001) Avaliação da produtividade, tempo de cozimento e padrão de massa cozida de cinco cultivares de mandioca de mesa, em Dourados-MS. *Ensaios e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde*, Universidade Anhanguera, Brasil, 5 (2):11-26.
- Page, C. (1949) Factors influencing the maximum rate of drying shelled corn in layers. West Lafayette,. MSc Thesis, Purdue University. Indiana.
- Padonou, W., Mestres, C., Nago, M.C. (2005) The quality of boiled cassava roots: instrumental characterization and relationship with physicochemical properties and sensorial properties. *Food Chemistry* 89:261-270.
- Pereira, N.R. (2007) Estudo da aplicação de micro-ondas na secagem de bananas tratadas osmoticamente. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 188p.
- Raghavan, G.S.V., Rennie, T.J., Sunjka, P.S., Orsat, V., Phaphuangwittayakul, W., Terdtoon, P.(2005) Overview of new techniques for drying biological materials with emphasis on energy aspects. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 22:195-201.
- Sajeev, M.S., Sreekumar, J., Unnikrishnan, M., Moorthy, S.N., Shanavas, S. (2010) Kinetics of thermal softening of cassava tubers and rheological modeling of the starch. *Journal of Food Science and Technology*, 47:507–518.
- Sriroth, K. (1999) Cassava starch granules structure-function properties: influence of time and conditions at harvest on four cultivars of cassava starch. *Carbohydrate Polymers*, 38:161-170.
- TACO - Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (2011). Campinas, NEPA UNICAMP, 161p.
- Talma, S.V. (2012) Avaliação da qualidade de raízes de mandioca (*Manihot esculenta Crantz*) de diferentes variedades de interesse para as regiões Norte e Noroeste Fluminense. Dissertação (mestrado), Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 110p.
- Varnalis, A.I. Brennan, J.G. Macdougall D.B. (2001) A proposed mechanism of high temperature puffing of potato. part II. influence of blanching and initial drying on the permeability of the partially dried layer to water vapour. *Journal of Food Engineering*, 48:369-378.
- Vidigal Filho, P.S., Pequeno, M.G., Scapim, C.A., Vidigal, M.C.G., Maia, R.R., Sagrilo, E., Simon, G.A., Lima, R.S. (2000) Avaliação de cultivares de mandioca na Região Noroeste do Paraná. *Bragantia*, Campinas, 59(1): 69-75.

- Wang N. and Brennan J.G. (1995). Changes in structure, density and porosity of potato during dehydration. *Journal of Food Engineering* 24:61–76.
- Yamani, B.V. (2010) Caracterização físico-química e funcional de amido de tuberosas originárias da América do Sul: oca (*Oxalis tuberosa* Molina), olluco (*Ullucus tuberosus* Caldas) e mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz e Pavón). Dissertação (mestrado) Universidade de São Paulo, São Paulo, 120p

7. RESUMOS E CONCLUSÕES

No cozimento a 70 °C por 6 minutos ocorreu redução significativa no conteúdo de minerais e alterações estruturais favoráveis para obter um produto final mais próximo ao desejado pelo consumidor. Esta foi a melhor condição de cozimento estudada, visto que as amostras apresentaram gelatinização evidente e aproveitamento total dos chips cozidos. Com o cozimento a 100 °C por 10 minutos as amostras quebravam e o material era perdido, além disso, maior absorção de água (em torno de 30%) e umidade foram observadas nessas amostras. Como o produto cozido posteriormente passou por um processo de secagem, estes resultados podem implicar em maior tempo de processo.

Para melhor definir a condição de cozimento ideal, no segundo trabalho foi avaliado o efeito do cozimento a 100 °C por 4 minutos, a 70 °C por 6 minutos e uma amostra sem cozimento, na secagem com ar quente combinada com micro-ondas. O objetivo foi obter um produto do tipo chips mais próximo do desejado pelo consumidor. Os resultados mostraram que os dois diferentes cozimentos não apresentaram diferenças significativas com relação ao tempo de secagem, umidade, atividade de água, amilose, amilopectina, açúcares redutores e encolhimento. Foram diferentes significativamente apenas nos teores de amido. Com a microscopia eletrônica de varredura foram observadas

as mesmas alterações estruturais e no teste sensorial, somente o parâmetro aparência diferiu entre eles. Foi então concluído, que a condição de cozimento realizada a 70 °C por 6 minutos foi a melhor estudada. Pois, nesta condição, foi alcançada uma redução de minerais satisfatória (quantificado no primeiro trabalho), já apresenta as alterações estruturais desejadas, no teste de aceitação dos chips apresentou bons resultados e durante o processo não ocorrem perdas de amostras.

No terceiro trabalho, todas as três variedades de mandioca estudadas (IAC 14, IAC Caapora e IAC Espeto) foram consideradas aptas para o processo, uma vez que, não diferiram significativamente com relação ao teor de umidade, amido, amilose, amilopectina. O tempo de processo pode ser considerado o mesmo, ocorreram as mesmas taxas de encolhimento e o produto final não apresentou diferença significativa com relação aos atributos avaliados na aceitação sensorial. No descasque foi observado maior perda para a variedade IAC Caapora e menor para a IAC 14, e o rendimento de raiz por planta colhida foi maior para a IAC 14. A variedade IAC 14 foi considerada uma boa alternativa para ser utilizada no processo de obtenção de chips de mandioca por meio de secagem com ar quente combinada com micro-ondas.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves, A., Cansian, R.L., Stuart, G., Valduga, E. (2005) Alterações na qualidade de raízes de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) minimamente processadas. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, 29 (2):330-337.
- Andrade, E.T., Correa, P.C., Teixeira, L.P., Pereira, R.G., Calomeni, J.F. (2006) Cinética de secagem e qualidade de sementes de feijão. *Engvista*, Niterói, 8 (2):83- 95.
- AOAC - Association of official Analytical Chemists. (1998). Philadelphia. Pennsylvania. USA.
- Atichokudomchai, N., Shobsngob, S., Varavinit, S. (2000) Morphological properties of acid-modified tapioca starch. *Starch*, 52:283–289.
- Barboza, A.C.R.N., Cruz, C.V.M.S., Graziani, M.B., Lorenzetti, M.C.F., Sabadini, E. (2001) Aquecimento em forno de micro-ondas/ desenvolvimento de alguns conceitos fundamentais. *Química Nova*, 24 (6):901-904.
- BeMiller, J., Whistler, R. (2009) *Starch Chemistry and Technology*. Elsevier, 3ed, 900p.
- Bezerra, V.S., Pereira, R.G.F.A., Carvalho, V.D., Vilela, E.R. (2002) Raízes de mandioca minimamente processadas: efeito do branqueamento na qualidade e na conservação. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, 26 (3):564-575.

- Bobbio, F.O.; Bobbio, P.A. (2001) Química do Processamento de Alimentos. São Paulo: Varela, 143p.
- Bobbio, F.O., Bobbio, P.A. (2003) Introdução à Química de Alimentos. 3. ed. São Paulo: Varela, 238p.
- Borges, M.F., Fukuda, W.M.G., Rossetti, A.G. (2002) Avaliação de variedades de mandioca para consumo humano. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 37 (11):1559-1565.
- Box, G.E.P., Hunter, W.C., Hunter, J.S. (1987) Statistics for experimenters: An introduction to design, data analysis and model building. New York: John Wiley and Sons, 653p.
- Burrowes, J.D., Ramer, N.J. (2006) Removal of potassium from tuberous root vegetables by leaching. *Journal of Renal Nutrition*, 16(4):304-311.
- Butarelo, B.B., Beleia, A, Fonseca, I.C.B., Ito, K.C. (2004) Hidratação de tecidos de raízes de mandioca (*manihot esculenta crantz.*) e gelatinização do amido durante a cocção. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, 24 (3):311-315.
- Copetti, C., Oliveira, V.R., Kirinus, P. (2010) Evaluation of potassium in vegetables submitted to different cooking methods and their possible use in renal diet. *Rev. Nutr.*, Campinas, 23(5):831-838.
- Cozzolino, S.M.F. (2013) Biodisponibilidade de nutrientes. Barueri/SP, Manole, 4. ed., 1334p.
- Cui, S. W. (2005) Food Carbohydrates. Chemistry, Physical Properties and Applications. Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL, 432p.
- Cuppari, L. (2005) Guias de medicina ambulatorial e hospitalar da UNIFESP-EPM: Nutrição clínica no adulto, 2. ed., Barueri/SP, Manole, 474p.
- Cuppari, L., Avesani, C.M., Kamimura, M.A. (2013) Nutrição na doença renal crônica. 1. ed., Barueri/SP, Manole, 460p.
- Damodaran, S.; Parkin, K. L.; Fennema, O. R. Química de Alimentos de Fennema, Porto Alegre: Artmed, 2010.
- Dumutriu, S. (2004) Polysaccharides: Structural Diversity and Functional Versatility, 2 ed., 1224p.
- Eliasson, A-C (2006) Carbohydrate in Foods. Taylor e Francis Group, Boca Raton, FL. 2 ed., 546p.
- EMBRAPA. (2005) Mandioca e Fruticultura Tropical. FARIAS, A.R.N. Processamento e utilização da mandioca, Brasília/DF, 547p.

- FAO. (2013) Organização Das Nações Unidas Para Alimentação E Agricultura. Produzir mais com menos: Mandioca, um guia para a intensificação sustentável da produção, 24p.
- Fellows, P.J. (2006) Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e práticas. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 602p.
- Feniman, C.M. (2004) Caracterização de raízes de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) do cultivar IAC 576-70 quanto à cocção, composição química e propriedades do amido em duas épocas de colheita. Dissertação (mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, 99p.
- Fu, Z., Wang, L., Zou, H., Li, D., Adhikari, B. (2012) Effects of partial gelatinization on structure and thermal properties of corn starch after spray drying. *Carbohydrate Polymers*, 88:1319-1325.
- Fukuda, C., Otsubo, A.A. (2003) Cultivo da mandioca na região centro sul do Brasil. *Sistemas de Produção*. https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mandioca/mandioca_centrosul/cultivares.htm em 03/03/2016, página mantida pela Embrapa Mandioca e Fruticultura.
- Gomes, J.C., Leal, E.C. (2003) Cultivo de mandioca para a região dos tabuleiros costeiros. Embrapa Mandioca e Fruticultura. *Sistemas de Produção*, ISSN 16788796. Versão eletrônica disponível em: https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mandioca/mandioca_tabcosteiros/
- IBGE. (2015) Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Levantamento Sistemático Da Produção Agrícola. Pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil, 118p.
- Kawashima, L.M., Soareas, V.(2005) Effect of blanching time on selective mineral elements extraction from the spinach substitute commonly used in Brazil (*tetragonia expansa*). *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, 25 (3):419-424.
- Jorge, J.R.V., Zeoula, L.M., Prado, I.N. (2002) Substituição do milho pela farinha de varredura (*Manihot esculenta*, Crantz) na ração de bezerros holandeses. Digestibilidade e valor energético. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 31(1):205-212.
- Ladeira, T.M.S., Pena, R.S. (2011) Propriedades físico-químicas e tecnológicas dos polvilhos azedos de três cultivares de mandioca. *Alim. Nutr.* Araraquara, 22 (4):631-640.
- Lopes, F.J. (2013) Estudo do fenômeno de encolhimento na secagem convectiva de abacaxi com aplicação de micro-ondas. Dissertação (mestrado), Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro,

Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. Campos dos Goytacazes, RJ, 147p.

- Lopes, M.G.G., Cuppari, L.(2013) Distúrbios do metabolismo mineral. *In* Cuppari, L., Avesani, C.M., Kamimura, M.A. Nutrição na doença renal crônica. Manole, 480p.
- Mahan, K., Escott-Stump, S. (2010) Krause, alimentos, nutrição e dietoterapia. Rio de Janeiro, Elsevier, 12ed, 1354p.
- Martinez, C.Y., Cuevas, F. (1989) Evaluación de la calidad culinária y molinera del arroz. *Guia del estudio*. Cali: CIAT, 75p.
- 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. (2006) Sensory Evaluation Techniques.4.ed. CRC Press, Boca Raton, 448 p.
- Mujumdar, A.S. (2000) Drying technology in agriculture and food sciences. Science Publishers, Inc. Enfield (NH), USA, 313 p.
- Nwokocha L.N., Aviara, N.A., Senan, C., Williams, P.A.(2009) A comparative study of some properties of cassava (*Manihot esculenta*, Crantz) and cocoyam (*Colocasia esculenta*, Linn) starches. *Carbohydrate Polymers*, 76:362–367.
- Oliveira M.A., Leonel M., Cabello C., Cereda M.P., Janes D.A. (2005) Metodologia para avaliação do tempo de cozimento e características tecnológicas associadas em diferentes cultivares de mandioca. *Ciênc. agrotec.*, Lavras, 29 (1):126-133.
- Orsat, V., Yang, W., Changrue, V., Raghavan G.S.V. (2007) Microwave-assisted drying of biomaterials. *Trans IChemE*, Part C, Food and Bioproducts Processing, 85(C3):255-263.
- Otsubo A.A., Barreto E.A. (2001) Avaliação da produtividade, tempo de cozimento e padrão de massa cozida de cinco cultivares de mandioca de mesa, em Dourados-MS. *Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde*, Universidade Anhanguera, Brasil, 5 (2):11-26.
- Padonou, W., Mestres, C., Nago, M.C. (2005) The quality of boiled cassava roots: instrumental characterization and relationship with physicochemical properties and sensorial properties. *Food Chemistry* 89:261-270.
- Park, K.J., Yado, M.K.M., Brod, F.P.R.(2001) Estudo de secagem de pêra Bartelett (*Pyrus sp.*) em fatias. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, 21(3):288-292.

- Park, K.J., Antonio, G.C., Oliveira, R.A.De., Park, K.J.B. (2007). Conceitos de processo e equipamentos de secagem. Campinas. 67p.
- Pereira, N.R. (2007) Estudo da aplicação de micro ondas na secagem de bananas tratadas osmoticamente. Tese (doutorado) Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, 188p.
- Pereira, N.R., Godoi, F.C., Rocha, S.C.S. (2010) Drying of starch suspension in spouted bed with inert particles: physical and thermal analysis of product, *Drying Technology*, 28:11,1288-1296.
- Pigoli, D.R. (2012) Alterações nutricionais em hortaliças decorrentes de diferentes métodos de cozimento. Dissertação (mestrado), Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, SP, 76p.
- Pinheiro, A.B.V., Lacerda, E.M.A., Benzecry, E.H., Gomes, M.C.S., Costa, V.M. (2008) Tabela para avaliação de consumo alimentar em medidas caseiras. São Paulo: Editora Atheneu, 75p.
- Raghavan, G.S.V., Rennie, T.J., Sunjka, P.S., Orsat, V., Phaphuangwittayakul, W., Terdtoon, P.(2005) Overview of new techniques for drying biological materials with emphasis on energy aspects. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 22(2)195-201.
- Ratnayake, W.S., Jackson, D.S. (2007) A new insight into the gelatinization processo f native starches. *Carbohydrate Polymers*, 67:511-529.
- Regier, M., Schubert, H. (2005). Introducing microwave processing of food: principles and technologies. In: Schubert, H., Regier, M., The microwave processing of foods. Cambridge, Inglaterra, p. 360.
- Riella, M.C., Martins, C. (2013) Nutrição e o rim, 2. ed., Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 382p.
- Santos, M.A.T., Abreu, C.M.P., Carvalho, V.D. (2003) Efeito de diferentes tempos de cozimento nos teores de minerais em folhas de brócolis, couve-flor e couve (*brassica oleraceai*). *Ciênc. Agrotec.*, Lavras 27 (3):597-604.
- Saxena, A. (2012) Nutricional problems in adult patients with chronic kidney disease. *Clinical Queries: Nephrology* 1:222-235.
- Scheibler J., Ethur E.M., Del Bosco S.M., Marchi M.I. (2010) Quantificação de micronutrientes em vegetais submetidos a diferentes métodos de cocção para doente renal crônico. *ConScientiae Saúde*, 9 (4):549-555.
- Silva, F.A., Marsaioli, A. (2004) Estudo comparativo da conservação de castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa*) seca por micro-ondas e convencionalmente. *B. CEPPA, CURITIBA*, 22 (2):387-404.

- Silva, F.A., Maximo, G.J., Marsaioli, A., Silva, M.A.A.P. (2007) Impact of microwave drying on the sensory of macadamia nuts. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, 27 (3):553-561.
- Somogyi, L.P.; Ramaswamy, H.S., Hui, Y.H. (1996). Biology, principles and applications processing fruits: science and technology. Vol. I. Technomic Pub. Co. Inc. Lancaster. Pensilvania. 501p.
- Strumillo, C., Kudra, T. (1986) Topics in Chemical Engineering; Drying: principles, applications and desing. Gordon and Breach Science Publishers S.A.
- TACO, Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (2011) 4.ed., revisada e ampliada. NEPA UNICAMP, Campinas, SP. Book Editora. 161p.
- Talma, S.V. (2012) Avaliação da qualidade de raízes de mandioca (*Manihot esculenta Crantz*) de diferentes variedades de interesse para as regiões Norte e Noroeste Fluminense. Dissertação (mestrado), Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 110p.
- Valduga, E., Tomicki, L, Witschinski, F., Colet, R., Peruzzolo, M., Ceni, G.C.(2011) Acceptance evaluation of components of mineral in different cassava's varieties (*Manihot esculenta Crantz*) after cooking. *Alim.Nutr.* , Araraquara, 22 (2):205-210.
- Vadivambal, R., Jayas, D.S.(2007) Changes in quality of microwave-treated agricultural products – a review. *Biosystems Engineering*, 98:1-16.
- Velde, F., Riel, J., Tromp, R.H. (2002) Visualisation of starch granule morphologies using confocal scanning laser microscopy (CSLM). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 82:1528-1536.
- Venkatesh, M.S., Raghavan, G.S.V. (2004) An Overview of Microwave Processing and Dielectric Properties of Agri-food Materials. *Biosystems Engineering*, 88 (1):1–18.
- Yildiz, F. (2010) *Advances in Food Biochemistry*, Boca Raton, Flórida, Handbook, 525p.

9. APÊNDICES

Apêndice A- ANÁLISE ESTATÍSTICA DA RESPOSTA REDUÇÃO DE MINERAIS

Tabela de efeito e ANOVA para a resposta redução de minerais (potássio, cálcio, magnésio e fósforo) durante o cozimento, analisado pela metodologia de superfície de resposta.

Tabela 9-1 - Estimativa dos efeitos sobre os teores de minerais das amostras de mandioca cozidas

		Efeito	DP	P
Potássio	Média	20,17	2,63	0,00
	T (°C)	23,22	7,44	0,01
	t (min)	18,77	7,44	0,03
	T*t	-2,63	7,44	0,73*
Magnésio	Média	14,77	5,66	0,06
	T (°C)	59,74	16,02	0,02
	t (min)	44,24	16,02	0,05
	T*t	-5,02	16,02	0,77*
Fósforo	Média	42,51	1,61	0,00
	T (°C)	26,85	4,56	0,00
	t (min)	15,67	4,56	0,00
	T*t	12,74	4,56	0,02

T = Temperatura (°C); t = tempo (min); DP = desvio padrão; * = não significativo.

Tabela 9-2 - Análise da variância para as respostas de redução dos teores de minerais, $p \leq 0,05$

Fonte de variação	Potássio					
	SQ	GL	QM	Fcal	Ftab	R ²
Regressão	1782,89	2	891,44	8,62	5,79	0,57
Resíduo	1343,98	13	103,38			
Falta de ajuste	103,91	2	51,95	0,46	9,55	
Erro puro	1240,07	11	112,73			
Total	3126,86	15				
Fonte de variação	Magnésio					
	SQ	GL	QM	Fcal	Ftab	R ²
Regressão	9264,91	2	4632,46	32,94	5,79	0,84
Resíduo	1828,46	13	140,65			
Falta de ajuste	980,06	2	490,03	6,35	9,55	
Erro puro	848,40	11	77,13			
Total	11093,38	15				
Fonte de variação	Fósforo					
	SQ	GL	QM	Fcal	Ftab	R ²
Regressão	2257,77	3	752,59	18,10	3,49	0,82
Resíduo	499,07	12	41,59			
Falta de ajuste	148,49	1	148,49	4,66	4,84	
Erro puro	350,58	11	31,87			
Total	2756,85	15				

SQ= soma dos quadrados, GL= graus de liberdade, QM=média quadrática, Fcal e Ftab = valor de F calculado e tabelado, respectivamente e R² = coeficiente de determinação.

Apêndice B– ANÁLISE ESTATÍSTICA DA RESPOSTA ABSORÇÃO DE ÁGUA

Tabela de efeito e ANOVA para a resposta absorção de água, analisado pela metodologia de superfície de resposta.

Tabela 9-3 - Estimativa dos efeitos sobre a absorção água durante o cozimento.

		Efeito	DP	P
	Média	16,58	0,66	0,00
Absorção de água (%)	T	8,81	1,87	0,00
	t	11,55	1,87	0,00
	T*t	8,26	1,87	0,00

T = Temperatura (°C); t = tempo (min); DP = desvio padrão; * = não significativo.

Tabela 9-4 - Análise da variância para a resposta absorção de água $p \leq 0,05$.

Fonte de variação	% Absorção de água					
	SQ	GL	QM	Fcal	Ftab	R ²
Regressão	558,81	3	186,27	26,77	3,49	0,87
Resíduo	83,48	12	6,96			
Falta de ajuste	1,60	1	1,60	0,22	4,84	
Erro puro	81,88	11	7,44			
Total	642,29	15				

SQ= soma dos quadrados, GL= graus de liberdade, QM=média quadrática, Fcal e Ftab = valor de F calculado e tabelado, respectivamente e R² = coeficiente de determinação.

Apêndice C- FICHA DE ANÁLISE SENSORIAL

Nome: _____ Idade: _____ Data: _____

Você receberá 3 amostras codificadas de CHIPS DE MANDIOCA. Por favor, avalie cada amostra, e, utilizando a escala abaixo, indique a resposta que expresse o quanto você gostou ou desgostou da APARÊNCIA, da IMPRESSÃO GLOBAL, do SABOR e da TEXTURA.

- 9- Gostei muitíssimo
- 8- Gostei muito
- 7- Gostei moderadamente
- 6- Gostei ligeiramente
- 5- Nem gostei / nem desgostei
- 4- Desgostei ligeiramente
- 3- Desgostei moderadamente
- 2- Desgostei muito
- 1- Desgostei muitíssimo

Amostra: _____

APARÊNCIA	IMPRESSÃO GLOBAL	SABOR	TEXTURA
_____	_____	_____	_____

Amostra: _____

APARÊNCIA	IMPRESSÃO GLOBAL	SABOR	TEXTURA
_____	_____	_____	_____

Amostra: _____

APARÊNCIA	IMPRESSÃO GLOBAL	SABOR	TEXTURA
_____	_____	_____	_____

Agora, por favor, indique abaixo o que você MAIS GOSTOU e MENOS GOSTOU em cada amostra.

AMOSTRA

MAIS GOSTOU

MENOS GOSTOU

**Apêndice D- QUESTIONÁRIO DE RECRUTAMENTO DE AVALIADORES
PARA ANÁLISE SENSORIAL DE CHIPS DE MANDIOCA**

Se você preencheu o Termo de Consentimento Livre Esclarecido para participação nesta avaliação sensorial (degustação) de **CHIPS DE MANDIOCA**, por gentileza, preencha o questionário abaixo.

NOME:

SEXO: () Masculino () Feminino

FAIXA ETÁRIA: () <18 anos () 18 a 25 anos () 26 a 35 anos
() 36 a 45 anos () 46 a 50 anos () >50 anos

CONTATOS:

LABORATÓRIO: _____ Prédio: _____

RAMAL: _____ FONES: CELULAR: () _____

RESIDENCIAL: () _____

EMAIL: _____

Você tem ou já teve alergia a algum alimento.

() Sim () Não Qual(is)? _____

Por favor, indique, utilizando as escalas abaixo, o quanto você **NORMALMENTE** gosta ou desgosta dos seguintes produtos:

Mandioca

Produtos do tipo Chips (ex: batata)

- | | |
|-----------------------------------|-----------------------------------|
| () Gosto extremamente/ adoro | () Gosto extremamente/ adoro |
| () Gosto muito | () Gosto muito |
| () Gosto moderadamente | () Gosto moderadamente |
| () Gosto ligeiramente | () Gosto ligeiramente |
| () Nem gosto/ nem desgosto | () Nem gosto/ nem desgosto |
| () Desgosto ligeiramente | () Desgosto ligeiramente |
| () Desgosto moderadamente | () Desgosto moderadamente |
| () Desgosto muito | () Desgosto muito |
| () Desgosto extremamente/detesta | () Desgosto extremamente/detesta |

Apêndice E- TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO PARA PARTICIPAÇÃO EM AVALIAÇÃO SENSORIAL DE CHIPS DE MANDIOCA

Título do trabalho: Desenvolvimento de chips de mandioca utilizando secagem com ar quente combinada com micro-ondas

Nome do(s) responsáveis: Prof^a Nádia Rosa Pereira, Prof^a Selma Bergara Almeida e Leticia Tinoco Gonçalves

Laboratório de Tecnologia de Alimentos - CCTA

Você está sendo convidado a participar como voluntário de um estudo. Este documento, chamado Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, visa assegurar seus direitos como participante e é elaborado em duas vias, uma que deverá ficar com você e outra com o pesquisador.

Por favor, leia com atenção e calma, aproveitando para esclarecer suas dúvidas. Se houver perguntas antes ou mesmo depois de assiná-lo, você poderá esclarecê-las com o pesquisador. Se preferir, pode levar para casa e consultar seus familiares ou outras pessoas antes de decidir participar. Se você não quiser participar ou retirar sua autorização, a qualquer momento, não haverá nenhum tipo de penalização ou prejuízo.

Justificativa e objetivos:

Esta é uma avaliação sensorial de amostras de CHIPS DE MANDIOCA (aipim, macaxeira) e as raízes utilizadas são provenientes do cultivo tradicional realizado na Estação Experimental da Universidade Estadual Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UNF), localizada no município de Itaocara, RJ. Esta avaliação corresponde a uma das etapas experimentais de uma pesquisa de Mestrado em Produção Vegetal da UNF, do Laboratório de Tecnologia de Alimentos e Constituintes Químicos Vegetais. A produção dos pedaços de mandioca secos envolveu aplicação de secagem com micro-ondas, sem adição de nenhum outro ingrediente. Os princípios de Boas Práticas de Fabricação e Manipulação de Alimentos estão sendo obedecidos em todas as etapas experimentais, garantindo a segurança dos avaliadores.

Procedimentos:

Participando, do estudo você está sendo convidado a preencher um questionário de recrutamento de avaliadores com informações pessoais e sobre seu consumo de mandioca e alimentos do tipo chips. Em seguida, você responderá questões sobre alguns aspectos de três amostras dos chips de mandioca após degustá-las.

Observações:

- Cada sessão terá duração máxima de 15 minutos.
- O preenchimento dos questionários tem como tempo estimado total de 15 minutos, incluindo este termo.
- A participação no estudo é voluntária, tornando o participante totalmente livre para recusar ou abandonar a pesquisa em qualquer etapa.

Desconfortos e riscos:

Você **não** deve participar deste estudo se possuir algum tipo de alergia provocada pela ingestão de mandioca. Nenhum ingrediente foi adicionado à mandioca. O produto foi seco até atingir características que garantissem segurança ao consumo.

Benefícios:

Por meio das informações fornecidas na degustação, os pesquisadores conhecerão a aceitabilidade dos avaliadores com relação às características sensoriais dos chips de mandioca.

Acompanhamento e assistência:

Caso alguma reação alérgica seja observada durante o período de experimento em função do consumo dos chips de mandioca, o participante será assistido e acompanhado pelos pesquisadores, inclusive com consulta médica, se necessário.

Sigilo e privacidade:

Você tem a garantia de que sua identidade será mantida em sigilo e nenhuma informação será dada a outras pessoas que não façam parte da equipe de pesquisadores. Na divulgação dos resultados desse estudo, seu nome não será citado.

Ressarcimento:

A participação como degustador será gratuita e voluntária não incumbindo nenhum tipo de remuneração ou ressarcimento de despesas.

Contato:

Em caso de dúvidas sobre o estudo, você poderá entrar em contato com os pesquisadores: **Prof^a Nádia Rosa Pereira, Prof^a Selma Bergara Almeida e Letícia Tinoco Gonçalves**, Avenida Alberto Lamego, 2000, Parque Califórnia, Campos dos Goytacazes, CCTA - Sala 107, P4. Tel.:(22) 2748-6515 e (22) 99958-2401.

Em caso de denúncias ou reclamações sobre sua participação e sobre questões éticas do estudo, você pode entrar em contato com a secretaria da Comissão Central de Bioética e Biossegurança – CCBB - UENF/E1/SALA 200, Tel: (22) 2739-7148.

Consentimento livre e esclarecido:

Após ter sido esclarecido sobre a natureza da pesquisa, seus objetivos, métodos e benefícios previstos, aceito participar da avaliação sensorial de chips de mandioca:

Nome do(a) participante: _____

_____ Data: ____/____/____

(Assinatura do participante ou nome e assinatura do seu responsável LEGAL)

Responsabilidade do Pesquisador:

Asseguro ter cumprido as exigências da resolução 466/2012 CNS/MS e complementares na elaboração do protocolo e na obtenção deste Termo de

Consentimento Livre e Esclarecido. Asseguro, também, ter explicado e fornecido uma cópia deste documento ao participante. Informo que o estudo foi aprovado pelo CEP designado pelo CONEP, o cadastramento do projeto no SISNEP. Comprometo-me a utilizar o material e os dados obtidos nesta pesquisa exclusivamente para as finalidades previstas neste documento ou conforme o consentimento dado pelo participante.

_____ Data: ____/____/____.
(Assinatura do pesquisador)