

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE AGRONOMIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS

FERNANDA ASSUMPÇÃO FIORDA

**BAGAÇO E FÉCULA DE MANDIOCA NA ELABORAÇÃO DE
FARINHAS CRUAS E PRÉ-GELATINIZADAS, SNACKS E
MACARRÕES INSTANTÂNEOS COM AMARANTO**

Goiânia
2011

FERNANDA ASSUMPCÃO FIORDA

**BAGAÇO E FÉCULA DE MANDIOCA NA ELABORAÇÃO DE
FARINHAS CRUAS E PRÉ-GELATINIZADAS, SNACKS E
MACARRÕES INSTANTÂNEOS COM AMARANTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Goiás, como exigência para a obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Manoel Soares Soares Júnior.

Co-Orientadores: Prof. Dr. Flávio Alves da Silva e Prof^ª. Dra. Maria Victória Eiras Grossman

Goiânia
2011

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

FERNANDA ASSUMPÇÃO FIORDA

**BAGAÇO E FÉCULA DE MANDIOCA NA ELABORAÇÃO DE
FARINHAS CRUAS E PRÉ-GELATINIZADAS, SNACKS E
MACARRÕES INSTANTÂNEOS COM AMARANTO**

Dissertação DEFENDIDA e APROVADA em 20 de maio de 2011, pela
Banca Examinadora constituída pelos membros:

Prof. Dr. Franciello Vendruscolo
EA/UFG

Prof. Dr. Márcio Caliarí
EA/UFG

Prof. Dr. Manoel Soares Soares Júnior
Orientador - EA/UFG

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais Elpídio e Amélia, aos meus irmãos Florence e Rafael, ao querido Yuri e aos meus amigos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, a minha família, meus pais e irmãos pelo incentivo e pela força nos momentos difíceis.

Aos meus pais, Elpídio e Amélia, pelo carinho, pelas sugestões, pelo apoio, pela compreensão nas minhas ausências, pela força transmitida e pela confiança que foi em mim depositada.

Aos meus irmãos, Florence e Rafael, que mesmo não estando diretamente presentes contribuíram para a realização deste trabalho.

Ao Yuri, pelo carinho, pela grande ajuda e colaboração efetiva que foram de grande valia.

Ao meu querido orientador Professor Manoel Soares Soares Júnior, pela amizade, pela paciência e pela confiança, pela orientação, pelo esforço e pela dedicação durante todo o trabalho.

A toda a equipe da Universidade Federal de Goiás e da Universidade Estadual de Londrina pela disponibilidade do uso dos laboratórios, ao Alisson, a Camila, Cleusa, ao Denis, a Karina, Luciana, Michelle, Neide, Tatiana e ao Thiago pelo carinho, amizade e apoio na realização das análises laboratoriais.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão da bolsa de estudos.

A Professora Maria Victória Eiras Grossmann e ao Professor Flávio Alves da Silva pelas orientações, pelos esclarecimentos e pela grande ajuda, contribuindo, satisfatoriamente, para a realização deste trabalho.

A todos os colegas da pós-graduação e aos amigos que direta e indiretamente acompanharam meu crescimento no desenvolvimento deste trabalho.

A todos vocês, muito obrigada!

RESUMO

A mandioca é uma tuberosa amilácea de grande potencial energético, podendo ser utilizada tanto para o consumo *in natura* como para industrialização, gerando quantidades significativas de bagaço, que apresenta potencialidade de uso como fonte de fibra alimentar. A tecnologia de extrusão vem sendo explorada nos últimos anos para o desenvolvimento de novos produtos alimentícios como massas alimentícias que estão incorporadas à cozinha brasileira, servindo como prato principal ou complemento, em muitas combinações, por exemplo com o amaranto. Devido às vantagens nutricionais do amaranto, diversas pesquisas têm avaliado a incorporação do grão, sob a forma de farinha, em preparações culinárias como substituto da tradicional farinha de trigo, objetivando uma melhor qualidade nutritiva do produto final. Neste trabalho objetivou-se determinar o efeito da temperatura de extrusão e da umidade sobre as propriedades físicas e tecnológicas de produtos extrusados obtidos a partir de misturas de fécula e farinha de bagaço de mandioca (70:30). O processo de extrusão foi realizado em extrusor mono rosca e seguiu o delineamento “central composto rotacional” para duas variáveis independentes umidade das misturas e temperatura de extrusão, totalizando 12 tratamentos. Objetivou-se também analisar o efeito dos componentes farinha pré-gelatinizada de fécula e bagaço de mandioca (70:30), fécula de mandioca e farinha de amaranto nas propriedades de cozimento de macarrões pré-cozidos, por meio de delineamento de misturas e avaliar as características: índice de expansão, volume específico, índice de absorção de água, índice de solubilidade em água, índice de absorção de óleo, atividade de água e cor. Realizaram-se nos macarrões análises de textura, cor e microscopia eletrônica de varredura. Foi determinada uma formulação desejável e esta foi caracterizada quanto a composição centesimal e parâmetros de qualidade, sendo comparada com macarrões comerciais de trigo comum e de trigo integral. Produtos claros, com elevada expansão e volume específico intermediário, foram obtidos nas condições intermediárias de temperatura de extrusão (104,10 °C), e de umidade das misturas [16 g(100g)⁻¹]. O teste de aceitação indicou que o macarrão avaliado obteve score de 7,2 e intenção de compra de 42%. Os resultados obtidos demonstraram que o uso combinado de farinha pré-gelatinizada de fécula e bagaço de mandioca (70:30), fécula de mandioca e farinha de amaranto na proporção 10:60:30, permitiu desenvolver uma formulação de macarrão instantâneo com tempo de cozimento de 3 min, aumento de massa de 101,46% e 0,6% de perdas de sólidos na água de cozimento, além de boas características físicas, químicas e tecnológicas de textura, com teores de fibra de 9,37 g (100g)⁻¹ e proteína de 10,41 g (100g)⁻¹, 4449,09 gf de firmeza e pegajosidade baixa de 324,19 gf, possibilitando a aplicação de resíduos industriais na alimentação humana aliado a uma maior disponibilidade de produtos mais saudáveis e isentos de glúten.

Palavras-chave: *Manihot esculenta* Cranz, fibras, *Amaranthus Cruentus* L, extrusão, massas alimentícias instantâneas, glúten.

ABSTRACT

Cassava is a starchy tuberous root of great energetic potential, and can be used for both in natura consumption and for industrial processing, which generates significant amounts of bagasse that is potentially useful as a source of dietary fiber. Studies have shown the benefits of functional food, and that has led to an increase in consumer interest. Extrusion technology had been used lately for the development of new food products. Pasta has been incorporated as part of Brazilian cuisine, being served as a main course or a side dish, in many different combinations. Due to the nutritional advantages of the amaranth, much research has been made on the use of its flour as a substitute for wheat flour in cooking with the final goal of a more nutritious product. This work focused on evaluating the effect of temperature of extrusion and moisture on the physical and technological properties of extruded products made through mixtures of starch and flour from the cassava (70:30) bagasse. Extrusion was made with a single screw extruder and followed the “central rotational composite design” with two factors or independent variables for mixture moisture and extrusion temperature, on a total of 12 treatments. It was also intended to analyze the effect of the components on the boiling properties of pre-boiled pasta made of cassava (70:30) bagasse and pre-gelatinized starch flour, cassava starch and amaranth flour through mixture design, and to assess the physical, technological and nutritional properties of this pasta. The properties of the extruded products that were analyzed were: expansion index, specific volume, water-absorption index, solubility in water index, oil-absorption index, activity of water and color. Analysis of texture and scanning electron microscopy were performed on the pasta. An ideal formulation was set and its centesimal composition and quality parameters determined and compared to commercial pasta of both standard and wholemeal flour. Clear products with high expansion and intermediate specific volume were obtained at intermediate extrusion temperature conditions (104,10 °C) and mixture moisture [16 g (100 g)⁻¹]. Acceptance tests indicated consumers rated it very good (7,2 score) with a 42% purchase intention. The results obtained showed that the combined use of pre-gelatinized starch and cassava (70:30) bagasse flour, cassava starch and amaranth flour, in the proportion of 10:60:30, allowed the creation of instant pasta with a 3min boiling time, 101,46% mass increase and 0,6% loss of solids in boiling water, besides good physical, chemical and technological texture conditions, with 9,37 g (100 g)⁻¹ of fibers, 10,41 g (100 g)⁻¹ of proteins, 4449,09 gf of firmness and a low stickiness of 324,19 gf, allowing the use of industrial waste on human food and a bigger range of healthy gluten-free products.

Keywords: *Manihot esculenta* Cranz, fibers, extrusion, instant pasta, gluten

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1	Balanço de massa durante a secagem do bagaço de mandioca	40
Equação 2	Quantidade de água a ser adicionada nas amostras.....	42
Equação 3	Índice de expansão	44
Equação 4	Volume específico.....	44
Equação 5	Diferença de cor entre a amostra crua e a amostra extrusada	45
Equação 6	Índice de absorção de água	46
Equação 7	Índice de solubilidade em água	46
Equação 8	Índice de absorção de óleo	46
Equação 9	Cálculo dos pseudocomponentes	48
Equação 10	Pseudocomponentes de farinha pré-gelatinizada	49
Equação 11	Pseudocomponentes de fécula de mandioca	49
Equação 12	Pseudocomponentes de farinha de amaranto	49
Equação 13	Aumento de massa	52
Equação 2.1	Diferença de cor entre amostra crua e amostra extrusada	76
Equação 4.1	Aumento de massa	116

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Extrusor de parafuso único	24
Figura 2	Processamento da mandioca para a produção de fécula	28
Figura 3	Fluxograma das etapas do experimento. A) Produção das farinhas de bagaço de mandioca, mista e pré-gelatinizadas B) Produção de macarrão com misturas de fécula de mandioca (FM), farinha pré-gelatinizada (FPG) e farinha de amaranto (FA)	39
Figura 4	A) Estufa de bandejas com circulação de ar. B) Moinho de rotor. C) Homogeneizador tipo Y	40
Figura 5	Extrusora (Imbramaq, PQ30, Ribeirão Preto, Brasil), utilizada na extrusão das farinhas pré-gelatinizadas de fécula e bagaço de mandioca ...	43
Figura 6	Pastaia para modelagem dos macarrões instantâneos tipo <i>talharim</i>	51
Figura 7	Aspecto dos macarrões experimentais tipo <i>talharim</i>	51
Figura 8	Esquema do sistema para fotografar as amostras.....	53
Figura 9	Cozimento do macarrão para análise de textura.....	55
Figura 10	A) Análise de firmeza dos macarrões no texturômetro. B) Detalhe da lamina cortando a amostra.....	55
Figura 11	A) Análise de pegajosidade dos macarrões no texturômetro. B) Detalhe do probe HDP/PFS	56
Figura 12	Cabine, ficha, questionário e amostra de macarrão durante o teste de aceitabilidade.....	57
Figura 1.1	A) Amostras de fécula de mandioca. B) Farinha de bagaço de mandioca.....	61
Figura 2.1	A- Índice de expansão (IE), B - volume específico (VE) e C - Luminosidade dos <i>snacks</i> constituídos da mistura de fécula e farinha de bagaço de mandioca (70:30) em função da umidade [g (100 g)^{-1}] e da temperatura de extrusão ($^{\circ}\text{C}$)	81
Figura 2.2	A) Coordenada de cromaticidade a^* . B) Coordenada de cromaticidade b^* . C) Diferença de cor ΔE^* dos <i>snacks</i> constituídos da mistura de fécula e farinha de bagaço de mandioca (70:30) em função da umidade [g (100 g)^{-1}] e da temperatura de extrusão ($^{\circ}\text{C}$)	85
Figura 2.3	Teste de desejabilidade utilizando parâmetros de índice de expansão, volume específico e parâmetros instrumentais de cor (L^* , b^* e ΔE^*).....	89
Figura 2.4	Índice de expansão de <i>snacks</i> de fécula e farinha de bagaço de mandioca em função do teor de umidade e da temperatura de extrusão.....	89
Figura 3.1	Índice de solubilidade em água – ISA (A), índice de absorção de água – IAA (B), índice de absorção de óleo –IAO (C) e atividade de água – A_w (D) da mistura de fécula e farinha de bagaço de mandioca extrusada (70:30) em função da umidade [g (100 g)^{-1}] e da temperatura de extrusão ($^{\circ}\text{C}$)	101
Figura 3.2	Micrografias da mistura da: A) fécula e bagaço de mandioca - MFBM e B) Farinha pré-gelatinizada do experimento central, nas magnitudes de 100, 400 e 1600 nm.	106
Figura 4.1	Macarrão experimental A) fresco e B) seco	118
Figura 4.2	A) tempo de cozimento (TOC), B) aumento de massa (AM), C) perda de sólidos (PS) e D) atividade de água (A_w) em função das proporções em pseudocomponentes de farinha pré-gelatinizada (FPG), fécula de	121

mandioca (FM) e farinha de amaranto (FA). Área demarcada entre os pontos experimentais demonstra a área do gráfico possível de ser analisada. Os vértices de cada extremidade da área demarcada representam o valor máximo do pseudocomponente de cada componente da mistura.....

Figura 4.3	Micrografias referentes à superfície dos macarrões dos ensaios: a) M1, b) M2, c) M4 e d) M5, nas magnitudes de ampliação de 200x e 1600x.....	126
Figura 4.4	Teste de desejabilidade utilizando parâmetros de tempo ótimo de cozimento, aumento de massa e perda de sólidos na água.....	127
Figura 5.1	Cores dos macarrões tipo <i>talharim</i> elaborados com farinha pré-gelatinizada de fécula de mandioca e farinha de bagaço de mandioca (70:30), fécula de mandioca e farinha de amaranto, conforme delineamento experimental de misturas.	142
Figura 5.2	A) Luminosidade. B) Cromo a*. C) Cromo b* em função das proporções de farinha pré-gelatinizada, fécula de mandioca e farinha de amaranto, em pseudocomponentes. A área demarcada entre os pontos experimentais demonstra a área do gráfico possível de ser analisada.....	144
Figura 5.3	Micrografias referentes à superfície dos macarrões dos ensaios: a) M1, b) M2, c) M4 e d) M5, nas magnitudes de 200x e 800x.....	148

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Níveis codificados e reais de temperatura (T) e umidade (U) utilizadas no ensaio de extrusão	41
Tabela 2	Delineamento experimental utilizado para o estudo do efeito da temperatura de extrusão e da umidade das misturas (70:30) de fécula e farinha de bagaço de mandioca sobre a qualidade dos <i>snacks</i> e farinhas pré-gelatinizadas	41
Tabela 3	Concentrações máximas e mínimas estabelecidas para farinha pré-gelatinizada (FPG), fécula de mandioca (FM) e farinha de amaranto (FA) nas formulações dos macarrões.....	48
Tabela 4	Planejamento experimental para estudo do efeito da farinha pré-gelatinizada (FPG), fécula de mandioca (FM) e farinha de amaranto (FA) nas propriedades de cozimento dos macarrões experimentais. Valores em concentrações reais (g do componente por 100 g de mistura) e pseudocomponentes	50
Tabela 1.1	Percentual de amostra retida nas peneiras durante a análise granulométrica da fécula de mandioca (FM) e da farinha de bagaço de mandioca (FBM)	63
Tabela 1.2	Umidade, cinzas, lipídeos, proteína, fibra alimentar total, solúvel e insolúvel e carboidratos (b.s) e valor energético total de fécula de mandioca (FM) e farinha de bagaço de mandioca (FBM)	63
Tabela 1.3	Atividade de água (Aw), índice de solubilidade em água (ISA), índice de absorção de água (IAA), índice de absorção de óleo (IAO) e parâmetros instrumentais de cor (L*, a* e b*) da fécula de mandioca (FM) e da farinha de bagaço de mandioca (FBM)	66
Tabela 2.1	Níveis codificados e reais de temperatura (T) e umidade (U) utilizadas no ensaio de extrusão.....	75
Tabela 2.2	Umidade, cinzas, lipídeos, proteína, fibra alimentar total, solúvel e insolúvel e outros, carboidratos (b.s.) e valor energético total e parâmetros instrumentais de cor da mistura (70:30) de fécula e farinha de bagaço de mandioca (MFBM)	77
Tabela 2.3	Modelos de regressão múltipla ajustado e coeficiente de determinação (R ²) para índice de expansão (IE), volume específico (VE) e parâmetros instrumentais de cor (L*, a*, b*, c* e ΔE*) dos <i>snacks</i> constituídos de mistura de fécula e farinha de bagaço de mandioca em função dos níveis codificados de temperatura de extrusão (x ₁) e da umidade (x ₂)	79
Tabela 3.1	Níveis codificados e reais de temperatura (T) e umidade (U) utilizadas no ensaio de extrusão	97
Tabela 3.2	Índice de solubilidade em água (ISA), índice de absorção de água (IAA) índice de absorção de óleo (IAO) e atividade de água (Aw) de mistura (70:30) de fécula e farinha de bagaço de mandioca (MFBM),	98
Tabela 3.3	Modelos de regressão múltipla e coeficiente de determinação (R ²), para o índice de solubilidade em água – ISA [g de água (g de matéria seca) ⁻¹], índice de absorção de água – IAA [g de gel (g de matéria seca) ⁻¹], índice de absorção de óleo – IAO [g de gel (g de matéria seca) ⁻¹] e atividade de água - Aw, das farinhas extrusadas em função da temperatura de extrusão (x ₁) e da umidade (x ₂).....	100

Tabela 4.1	Planejamento experimental para estudo do efeito da farinha pré-gelatinizada (FPG), fécula de mandioca (FM) e farinha de amaranto (FA) nas propriedades de cozimento dos macarrões experimentais. Valores em concentrações reais (g do componente por 100 g de mistura) e pseudocomponentes.....	116
Tabela 4.2	Modelos de regressão múltipla, nível de significância (p), falta de ajuste (FA) e coeficiente de determinação (R^2) para tempo ótimo de cozimento (TOC), aumento de massa (AM), perda de sólidos (PS) na água de cozimento e atividade de água (A_w) dos macarrões em função dos níveis codificados de farinha pré-gelatinizada (x_1), fécula de mandioca (x_2) e farinha de amaranto (x_3).....	119
Tabela 4.3	Características de qualidade de macarrão experimental selecionado (ME) formulado com 10% de FPG, 70% de FM e 20% de FA, macarrão de trigo convencional (MT) e macarrão de trigo integral (MI)	128
Tabela 5.1	Planejamento experimental para estudo do efeito da farinha pré-gelatinizada (FPG), fécula de mandioca (FM) e farinha de amaranto (FA) nas propriedades de cozimento dos macarrões experimentais. Valores em concentrações reais (g do componente por 100 g de mistura) e pseudocomponentes.....	137
Tabela 5.2	Umidade (b.s), cinzas, lipídeos, proteína, fibra alimentar total, solúvel e insolúvel e carboidratos (b.s), valor energético total e parâmetros instrumentais de cor L^* , a^* e b^* de fécula de mandioca (FM), farinha de amaranto (FA) e farinha pré-gelatinizada (FPG).....	139
Tabela 5.3	Modelo de regressão múltipla, nível de significância (p), falta de ajuste (FA) e coeficiente de determinação (R^2) para os parâmetros de cor L^* , a^* e b^* dos macarrões em função dos níveis de farinha pré-gelatinizada (x_1), fécula de mandioca (x_2) e farinha de amaranto (x_3).....	142
Tabela 5.4	Firmeza e pegajosidade de macarrões formulados com diferentes concentrações de farinha pré-gelatinizada, fécula de mandioca e farinha de amaranto.	146
Tabela 5.5	Composição centesimal de macarrão experimental (ME), macarrão de trigo convencional (MT) e macarrão de trigo integral (MI)	150

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A	Ficha para análise sensorial de aceitação e intensão de compra	176
Apêndice B	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.....	177
Apêndice C	Questionário de Recrutamento de Provadores	179

LISTA DE ANEXOS

Anexo A.1	Índice expansão (IE), volume específico (VE) e parâmetros instrumentais de cor (L^* , a^* , b^* e ΔE^*) dos <i>snacks</i> * em função da temperatura de extrusão e umidade da mistura	181
Anexo A.2	Modelos de regressão múltipla, coeficiente de determinação (R^2), coeficiente de variação (CV), falta de ajuste (FA) e nível de significância (p) para o índice de expansão – IE (mm) e volume específico – VE (mL g^{-1}) das farinhas extrusadas em função da temperatura de extrusão (x_1) e da umidade (x_2).....	182
Anexo A.3	Modelos de regressão múltipla, coeficiente de determinação (R^2), coeficiente de variação (CV), falta de ajuste (FA) e nível de significância (p) para o parâmetros instrumentais de cor L^* , a^* , b^* e ΔE^* das farinhas extrusadas em função da umidade (x_1) e da temperatura de extrusão (x_2).....	182
Anexo B.1	Índice de solubilidade em água (ISA), índice de absorção de água (IAA), índice de absorção de óleo (IAO) e atividade de água (A_w) da mistura de fécula e farinha de bagaço de mandioca extrusada (70:30) em função dos níveis codificados de temperatura de extrusão e de umidade.....	183
Anexo B.2	Modelos de regressão múltipla, coeficiente de determinação (R^2), coeficiente de variação (CV), falta de ajuste (FA) e nível de significância (p) para o índice de solubilidade em água – ISA [$\text{g de água (g de matéria seca)}^{-1}$], índice de absorção de água – IAA [$\text{g de gel (g de matéria seca)}^{-1}$] e índice de absorção de óleo – IAO [$\text{g de gel (g de matéria seca)}^{-1}$] e atividade de água - A_w , das farinhas extrusadas em função da temperatura de extrusão (x_1) e da umidade (x_2).....	184
Anexo B.3	Teste de desejabilidade para aplicação de FPG como espessante em bebidas frias.....	184
Anexo B.4	Teste de desejabilidade para aplicação de FPG em produtos empanados.....	185
Anexo B.5	Teste de desejabilidade para aplicação de FPG em formulações de macarrão instantâneo	185
Anexo C	Tempo ótimo de cozimento (TOC), aumento de massa (AM), perda de sólidos (PS) e atividade de água (A_w) em função da proporção dos componentes farinha pré-gelatinizada (FPG), fécula de mandioca (FM) e farinha de amaranto (FA) da mistura ternária em valores reais e em pseudocomponentes.	186
Anexo D	Parâmetros instrumentais de cor (L^* , a^* e b^*) dos macarrões experimentais em função do teor de farinha pré-gelatinizada (FPG), fécula de mandioca (FM) e farinha de amaranto (FA) no delineamento de misturas, dados em valores reais e em pseudocomponentes*.....	187

LISTA DE ABREVEATURAS E UNIDADES

AM	Aumento de massa
Aw	Atividade de água
b.s.	Base seca
BM	Bagaço de mandioca
cm	Centímetros
FA	Farinha de amaranto
FBM	Farinha de bagaço de mandioca
FM	Fécula de mandioca
FPG	Farinha pré-gelatinizada
g	Gramas
gf	Gramas força
h	Hora
IAA	Índice de absorção de água
IAO	Índice de absorção de óleo
IE	Índice de expansão
ISA	Índice de solubilidade em água
kg	quilograma
MFBM	Mistura de fécula e farinha de bagaço de mandioca
min	Minutos
mL	Mililitros
mm	Milímetros
nm	Nanômetros
PS	Perda de sólidos
rpm	Rotações por minuto
seg	Segundos
T	Temperatura
t	Toneladas
TOC	Tempo ótimo de cozimento
U	Umidade
UFC	Unidades formadoras de colônia
VE	Volume específico

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
2.1	FÉCULA DE MANDIOCA.....	22
2.2	EXTRUSÃO TERMOPLÁSTICA.....	23
2.3	BAGAÇO DE MANDIOCA.....	28
2.4	FIBRA ALIMENTAR.....	30
2.5	AMARANTO.....	32
2.6	MASSAS ALIMENTÍCIAS.....	33
2.7	DESENVOLVIMENTO DE NOVOS PRODUTOS.....	35
3	OBJETIVOS	37
3.1	OBJETIVO GERAL.....	37
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	37
4	MATERIAIS E MÉTODOS	38
4.1	MATERIAIS.....	38
4.2	MÉTODOS.....	38
4.2.1	Processamento de farinha de bagaço de mandioca e da mistura (70:30) de fécula e farinha de bagaço de mandioca	38
4.2.2	Processamento dos snacks e das farinhas pré-gelatinizadas	41
4.2.2.1	Planejamento experimental do ensaio de extrusão.....	41
4.2.2.2	Acondicionamento da umidade.....	42
4.2.2.3	Extrusão.....	42
4.2.3	Análises dos snacks	43
4.2.3.1	Índice de expansão.....	44
4.2.3.2	Volume específico.....	44
4.2.3.3	Cor	45
4.2.4	Análises das farinhas e mistura cruas e farinhas pré-gelatinizadas	45
4.2.4.1	Índice de absorção de água (IAA) e índice de solubilidade em água (ISA)	45
4.2.4.2	Índice de absorção de óleo (IAO)	46
4.2.4.3	Atividade de água.....	47
4.2.4.4	Microscopia Eletrônica de Varredura	47
4.2.4.5	Composição centesimal	47
4.2.4.6	Valor energético total	48
4.2.5	Produção dos macarrões instantâneos	48
4.2.5.1	Delineamento experimental do ensaio de misturas	48
4.2.5.2	Processamento dos macarrões instantâneos experimentais	50
4.2.6	Análises tecnológicas dos macarrões	51
4.2.6.1	Tempo ótimo de cozimento	52
4.2.6.2	Aumento de massa.....	52
4.2.6.3	Perda de sólidos na água.....	52
4.2.6.4	Cor.....	53
4.2.6.5	Atividade de água.....	53
4.2.6.6	Microscopia Eletrônica de Varredura.....	54
4.2.6.7	Textura.....	54

4.2.7	Desejabilidade dos macarrões	56
4.2.8	Análise química e valor energético total do macarrão com maior desejabilidade	56
4.2.9	Análise sensorial	57
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	58
5.1	DESENVOLVIMENTO DE FARINHA DE BAGAÇO DE MANDIOCA E COMPARAÇÃO DE SUAS PROPRIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS E TECNOLÓGICAS COM AS DE FÉCULA DE MANDIOCA	59
5.1.1	Introdução	59
5.1.2	Materiais e Métodos	61
5.1.3	Resultados e Discussões	62
5.1.4	Conclusão	68
5.1.5	Agradecimentos	68
5.1.6	Referências	69
5.2	EFEITO DO TEOR DE UMIDADE E DA TEMPERATURA DE EXTRUSÃO SOBRE AS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DOS SNACKS OBTIDOS A PARTIR DA MISTURA (70:30) DE FÉCULA DE MANDIOCA E FARINHA DE BAGAÇO DE MANDIOCA	73
5.2.1	Introdução	73
5.2.2	Materiais e Métodos	74
5.2.3	Resultados e Discussões	77
5.2.4	Conclusão	90
5.2.5	Agradecimentos	90
5.2.6	Referências	90
5.3	EFEITO DO TEOR DE UMIDADE E DA TEMPERATURA DE EXTRUSÃO NAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DAS FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS OBTIDAS A PARTIR DA MISTURA (70:30) DE FÉCULA E FARINHA DE BAGAÇO DE MANDIOCA	94
5.3.1	Introdução	94
5.3.2	Materiais e Métodos	96
5.3.3	Resultados e Discussões	98
5.3.4	Conclusão	108
5.3.5	Agradecimentos	108
5.3.6	Referências	108
5.4	INFLUÊNCIA DAS FARINHAS DE AMARANTO E PRÉ-GELATINIZADA E DA FÉCULA DE MANDIOCA SOBRE A QUALIDADE TECNOLÓGICA E SENSORIAL DE MACARRÕES SEM GLÚTEN.....	113
5.4.1	Introdução	113
5.4.2	Materiais e Métodos	115
5.4.3	Resultados e Discussões	118
5.4.4	Conclusão	129
5.4.5	Agradecimentos	130
5.4.6	Referências	130
5.5	PROPRIEDADES FÍSICAS, TEXTURAIS E NUTRICIONAIS DE MACARRÕES INSTANTÂNEOS FORMULADOS COM BAGAÇO, FÉCULA DE MANDIOCA E AMARANTO	134
5.5.1	Introdução	134
5.5.2	Materiais e Métodos	136

5.5.3	Resultados e Discussões	139
5.5.4	Conclusão	152
5.5.5	Agradecimentos	153
5.5.6	Referências	153
6	CONCLUSÕES	158
	REFERÊNCIAS	159
	APÊNDICES	175
	ANEXOS	180

1 INTRODUÇÃO

A mandioca (*Manihot esculenta* Cranz) é considerada um alimento de subsistência entre as culturas da América do Sul, devido a sua grande produtividade, eficiência biológica no campo, elevado teor calórico e disponibilidade durante o ano todo. Além disso, tem capacidade de tolerar às condições adversas, se adaptando a uma ampla gama de condições ecológicas, desempenhando papel importante para aliviar o problema de abastecimento alimentar (NASSAR, 2006).

Devido à mandioca apresentar uma série de vantagens em relação a outras culturas e ser um alimento de extrema importância para a população, principalmente de países tropicais, onde sua produção é mais elevada, sua industrialização vem ganhando destaque na economia, sendo utilizada como matéria-prima para diversos produtos, como a fécula e seus subseqüentes (FREITAS; LEONEL, 2008).

O farelo, massa ou bagaço, é o resíduo sólido da etapa de extração da fécula de mandioca, caracterizado como material fibroso da raiz e contém parte do amido que não foi possível extrair no processamento (LEONEL; CEREDA, 1999). Apresenta 85% de umidade, composição média em base seca de 75% de amido e 16% de fibras (CEREDA, 2001) e tem se apresentado como um grande problema para os industriais, que doam ou vendem o resíduo a preços muito baixos a fazendeiros para a alimentação animal (LEONEL; CEREDA, 2000). Além disso, o alto teor de umidade dificulta o transporte e armazenamento deste resíduo (LEONEL, 2001).

O elevado teor de umidade dificulta a industrialização do bagaço pelas fecularias, pois há grande possibilidade de contaminação do produto, proporcionando fermentação indesejada, além disso, o custo desta secagem também dificulta a sua industrialização. Neste sentido, é necessária a aplicação de processos tecnológicos, como por exemplo, a secagem de forma simultânea à produção do resíduo. Porém, para que o emprego da secagem se torne um processo interessante para os empresários, é necessário o desenvolvimento de alternativas para o emprego deste resíduo, destinando-o a alimentação humana.

A preocupação com o meio ambiente tem levado à viabilização de projetos que permitam a sustentabilidade do sistema de produção industrial. A indústria de alimentos produz uma série de resíduos com alto valor de utilização. Inúmeros estudos utilizando resíduos industriais do processamento de alimentos têm sido realizados com objetivo de desenvolver novos produtos. Com isso, minimiza-se o impacto ambiental destes tipos de

indústrias nas regiões onde estão situadas e ainda agrega-se valor aos resíduos (PELIZER; PONTINERI; MORAES, 2007).

Estudos realizados por Nabeshima, Hashimoto e El-Dash (2003), confirmaram que a maior mudança estrutural das massas alimentícias sem glúten ocorre a partir da gelatinização do amido, que contribui para a viscoelasticidade, sendo também identificado como o componente envolvido na adesividade e na desintegração das massas.

A possibilidade de produzir industrialmente novos tipos de massas a partir de farinhas diferentes do trigo tem despertado interesse, não apenas pelo custo da matéria-prima, mas por permitir o uso de outros materiais largamente disponíveis. Uma das razões para a produção de massas alimentícias não-convencionais, além do fator econômico e ambiental, seria uma alternativa de produtos isentos de glúten (SILVA et al., 2008).

O amido nativo não absorve água em temperatura ambiente, entretanto o amido extrusado absorve água rapidamente e forma pasta ou gel (temperatura ambiente), a qual é composta por macromoléculas solubilizadas, incluindo partículas intumescidas pela água (SILVA et al., 2008).

A farinha pré-gelatinizada de mandioca diferente da farinha de trigo, apesar de ser isenta de glúten, possui capacidade de formar estrutura que proporciona firmeza ao macarrão, pois durante a extrusão, o grânulo de amido perde a integridade provocando aumento da tendência a absorver água à temperatura ambiente, aumentando, conseqüentemente, a viscosidade a frio (25 °C) (EL-DASH; GONZALES; CIOL, 1984).

As modificações nos amidos podem ser divididas em físicas, químicas, enzimáticas e combinadas. As modificações do amido por processo físico incluem o uso do calor, radiações e cisalhamento; sendo que um dos produtos obtidos por calor são os amidos pré-gelatinizados. Um dos processos físicos mais vantajosos é a extrusão (FREITAS; LEONEL, 2007).

O princípio básico da extrusão é converter um material sólido em fluido pela aplicação de calor e trabalho mecânico; e forçar sua passagem através de uma matriz para formar um produto com características físicas e geométricas pré-determinadas. O processo promove a gelatinização do amido, a desnaturação e a re-ordenação das proteínas, a inativação enzimática, a destruição de algumas substâncias tóxicas e a diminuição da contagem microbiana (BORBA; SARMENTO; LEONEL, 2005).

Segundo Capriles et al. (2006), o grão de amaranto (*Amaranthus Cruentus*) apresenta cerca de 60% de amido, 15% de proteína, 13% de fibra, 8% de lipídios e 4% de cinzas. Observa-se que o grão apresenta maiores quantidades de proteína do que o arroz (7,5%), milho (8,9%), sorgo (11%), cevada (11,6%), centeio (12,1%) e trigo (12,3%), sendo similar

ao da aveia (16,2%). O seu perfil de aminoácidos faz com que seja uma atrativa fonte protéica, devido ao seu conteúdo de lisina (5%), que é limitante na maioria dos cereais; e de aminoácidos sulfurados (4,4%), que são limitantes nas leguminosas.

Este estudo teve como objetivo determinar a viabilidade tecnológica e nutricional do bagaço e da fécula de mandioca na produção de farinhas e misturas cruas e pré-gelatinizadas, *snacks*, além de utilizar estes ingredientes na elaboração de macarrão com amaranto, atenuar alguns problemas econômicos, sociais, ambientais e de saúde pública, além de agregar valor ao bagaço de mandioca a fim de gerar alternativas para a reduzir os gastos com a importação do trigo, obter alimentos mais acessíveis à população, diminuir a geração de resíduos, desenvolver alimentos com maior teor de fibras e consequentemente prevenir doenças cardiovasculares e do trato digestivo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 FÉCULA DE MANDIOCA

Mandioca (*Manihot esculenta* Cranz), também chamada de tapioca, aipim ou yuca, é uma das mais importantes culturas alimentares nos trópicos úmidos, e adapta-se particularmente em condições de baixa disponibilidade de nutrientes e água (BURRELL, 2003).

A produção de mandioca continua crescendo na maioria dos países que a cultivam e, principalmente naqueles considerados em desenvolvimento. A produção mundial de mandioca continua com um ritmo de crescimento bastante expressivo, passando de 98,6 milhões de toneladas em 1970 para 232,9 milhões de toneladas em 2008. Este comportamento significou um aumento médio anual de 3,8% ao longo destes 38 anos, porém, vale a pena ressaltar a maior aceleração deste crescimento nos últimos 5 anos, em que este valor se elevou para uma taxa média de 4,5%. A maior participação na produção de mandioca é do continente africano, tendo alcançado no ano de 2008, 118 milhões de toneladas ou 49,1% da produção mundial. Na sequência, a Ásia, com uma participação de 33,8% e a América do Sul, com 14,6%. Com relação à América do Sul, a produção de mandioca está estabilizada na média das 35 milhões de toneladas de raiz, no qual o Brasil tem contribuído com 70 a 75% desta produção (FAO, 2011).

A mandioca tradicionalmente é cultivada em praticamente todo o território nacional (ALPEVICZ; DEMIANTE, 2007). Dentre os principais estados produtores de mandioca destacam-se: Pará com participação de 16,9%, Paraná com 16,2% e Bahia com 15,7%. A produtividade média em 2010/2011 foi da ordem de 141.310 kg ha⁻¹ e estimativas indicam um crescimento da área de mandioca em torno de 9%, passando de 187.089 ha para 203.347 ha. Caso essa estimativa se concretize, a produção da safra de 2011 poderá alcançar cerca de 28.734.965 toneladas de mandioca em raiz. No Brasil, a mandioca é o produto agrícola que apresenta a terceira maior produtividade, contribuindo satisfatoriamente para a economia do país (IBGE, 2011).

As empresas de fécula são as indústrias mais modernas entre as processadoras de raízes de mandioca no Brasil. Essas extraem a fécula que pode ser usada no preparo de inúmeros produtos. O destino da fécula varia em cada região de produção e as indústrias

alimentícias representam o maior mercado com 69% do consumo, seguidas pelas indústrias farmacêutica, de papel e celulose, química e têxtil (LEONEL; JACKEY; CEREDA, 1998).

As fecularias concentram-se nos estados de São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Mato Grosso do Sul. Segundo o Instituto de Economia Agrícola (IEA), processam cerca de 565.11 t ano⁻¹ de fécula de mandioca em peso seco, correspondendo a 22% do total da produção brasileira de todos os tipos de amido (IEA, 2011). O rendimento industrial na obtenção de fécula ou polvilho, em peso úmido, utilizando-se o processo de trituração e lavagem com água corrente é cerca de 25% (LEONEL, 2001).

A fécula de mandioca possui teor de carboidratos em sua composição ao redor de 40% superior ao arroz e 25% a mais que o milho, o que torna a mandioca a mais barata fonte de calorias para a nutrição humana. A composição típica da raiz de mandioca é 70% de umidade, 24% de amido, 2% de fibras, 1% de proteína, 3% de minerais e outras substâncias (TONUKARI, 2004).

A fécula de mandioca apresenta características físico-químicas de grande interesse industrial, por isso é empregado na sua forma nativa diretamente na formulação de alimentos como, pães, bolos, biscoitos e massas alimentícias (EL-DASH; MAZZARI; GERMIANI, 1994; MENEGASSI; LEONEL, 2005; RODRIQUES, 2010; SHITTU et al., 2008), ou é modificada por processos físicos, químicos e enzimáticos para ampliar suas aplicações devido a mudanças decorrentes em suas propriedades tecnológicas. Por exemplo quando fermentado (ALPEVICZ; DEMIANTE, 2007; FERREIRA et al., 2005) e quando extrusado, promovendo a gelatinização do amido (CHILLO et al., 2008; LUSTOSA; LEONEL; MISCHAN, 2009; NABESHIMA; HASHIMOTO; EL-DASH, 2003; ONYANGO; UNDEHEND; LINDHAUER, 2009; SANNIL et al., 2007).

2.2 EXTRUSÃO TERMOPLÁSTICA

A extrusão termoplástica é um processo contínuo, no qual a matéria-prima é forçada e flui através de uma matriz ou molde, em condições de aquecimento, pressão e fricção molecular, que levam à gelatinização do amido, à desnaturação de proteínas e à ruptura de pontes de hidrogênio, provocando o cozimento, a mistura, a esterilização, a secagem, a reestruturação da matéria-prima e a criação de novas texturas e formatos (SEBIO, 1996; THAKUR; SAXENA, 2000).

Esta técnica é empregada para a produção de uma série de diferentes produtos baseados em matérias-primas protéicas, como a soja, ou ricas em amido, como os cereais em

geral (ARÊAS, 1996). Os produtos extrusados servem tanto para consumo direto ou como matéria-prima a ser incorporada a produtos formulados (HARPER, 1981).

A máquina extrusora é constituída basicamente por alimentador, parafuso ou rosca, cilindro encamisado, matriz e mecanismo de corte (EL-DASH, 1982). Existe certa variedade de extrusores na indústria alimentícia para diferentes fins, embora seu funcionamento e seus componentes sejam similares (Figura 1).

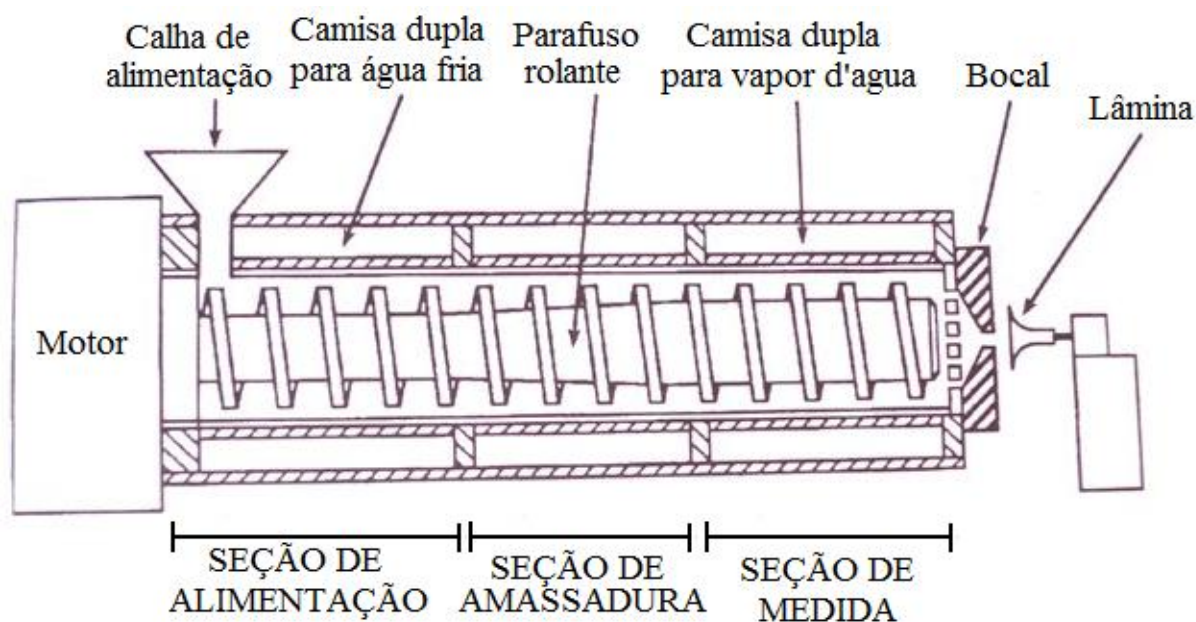


Figura 1. Extrusor de parafuso único

Fonte: Fellows (2002)

A calha de alimentação recebe os ingredientes e os introduz no corpo do extrusor (cilindro ou cônico), em cujo interior encontra-se um parafuso conectado a um motor que faz com que este gire. O parafuso pode ter configurações distintas. Este arrasta, comprime, dilacera e amassa a matéria-prima para formar uma massa semi-sólida e plástica, que é forçada a sair através dos orifícios do bocal. Na saída, uma guilhotina ou lâmina giratória permite obter produtos de diversos tamanhos. O corpo do extrusor pode ser envolvido por camisas para aquecer ou resfriar a matéria tratada (ORDÓÑEZ et al., 2007).

Como vantagens do processo de extrusão podem ser citadas: versatilidade e alta produtividade, já que grande variedade de produtos pode ser obtida no mesmo sistema básico de extrusão; baixo custo, pelo fato dos requerimentos de trabalho e espaço por unidade de produção serem menores em relação a outros sistemas de cozimento; variada forma dos produtos; produção de novos alimentos com ingredientes modificados pelo processo; e não geração de efluentes (HARPER, 1981). Além disso, as altas temperaturas envolvidas no

processo promovem a inativação dos fatores antinutricionais presentes nos alimentos *in natura* e a satisfatória qualidade higiênica dos extrusados (MOUQUET, 2003).

A composição química e as propriedades físicas da matéria-prima têm importante influência na textura, expansão e coloração do produto extrusado. Os fatores mais importantes são: teor de umidade e composição química, particularmente, a quantidade e tipo de amido, proteínas, gorduras, fibras e açúcares (FELLOWS, 2002).

Assim, as características físicas e químicas dos produtos extrusados são afetadas pela viscosidade do material no interior do canhão, que está diretamente relacionada com o grau de gelatinização do amido. A extrusão ocasiona inchaço e ruptura dos grânulos de amido do material, que provocam alteração na solubilidade, viscosidade e propriedades da amilose e amilopectina, gelatinizando o amido e aumentando, de modo geral, sua digestibilidade (DUST et al., 2004; MURRAY; FLICKINGER; PATIL, 2001; SVIHUS; UHLEN; HARSTAD, 2005).

As alterações nas características viscoamilográficas sugerem que as farinhas pré-gelatinizadas, por apresentarem maior viscosidade e maior absorção e solubilização em água, podem ser empregadas em produtos que requerem menores temperaturas para ficarem prontos, como alimentos instantâneos e geleificados: macarrões, farinhas lácteas, pudins e sobremesas, ou nas formulações de produtos cárneos, empanados recheados congelados semi-prontos, sopas e molhos, iogurtes, na produção de pó para sorvete (como espessante, etc.) e em pudins e sobremesas (AUGUSTO-RUIZ et al., 2003; SOUZA; LEONEL, 2010; TROMBINI; LEONEL, 2010).

Dentre as interações de importância do amido no processo de extrusão estão as interações eletrostáticas do tipo ponte ou ligação de hidrogênio, que ocorrem entre as hidroxilas geralmente expostas nas partes externas das estruturas em hélice formada pelas macromoléculas de amilose e amilopectina. Essas interações são responsáveis pela formação da rede tridimensional que confere estrutura ao produto. A regularidade e a frequência com que ocorrem permite alta expansão do produto na saída do equipamento. Dadas as suas características, essas interações são facilmente rompidas por água, fazendo com que produtos altamente expandidos, contendo predominantemente amido, desintegrem-se facilmente quando umedecidos (ARÊAS, 1996).

Entretanto, condições severas de temperatura de extrusão podem ocasionar a formação de complexos de amido com lipídios através da ligação cruzada entre o núcleo hidrofóbico da molécula de amilose e ácidos graxos das moléculas lipídicas, diminuindo a acessibilidade das enzimas aos sítios de clivagem, com conseqüente redução da digestibilidade do amido. Sob

condições de alta umidade e temperatura, a extrusão também pode favorecer a formação de complexos entre lipídios e proteínas, pois a combinação de umidade, temperatura e força mecânica causam a hidrólise das moléculas lipídicas e aumentam a taxa de complexação de ácidos graxos com os aminoácidos hidrofóbicos das cadeias laterais das proteínas desnaturadas durante o processo, interferindo na digestibilidade protéica (ASP; BJORCK, 1989).

A solubilização da fibra alimentar insolúvel também é observada em condições severas de extrusão (alta temperatura, alta velocidade do parafuso e baixo teor de umidade), porém, em condições brandas ou moderadamente severas de processamento, não há mudanças no teor de fibra alimentar total de forma significativa (FERREIRA, 1999). Em condições mais severas de extrusão o conteúdo de fibra alimentar total tende a aumentar, principalmente devido a formação da fração amido-resistente (CHAMP, 1994).

A umidade tem efeito pronunciado nas características dos extrusados. Geralmente, baixos teores de umidade estão relacionados ao maior grau de dextrinização e menor viscosidade a frio (EL-DASH, 1982). A umidade exerce grande influência na qualidade do extrusado por afetar a estrutura celular e a fragilidade dos produtos expandidos (ONWULATA et al., 2001). Uma das funções da água é criar bolhas de vapor, o que leva a diferenças na expansão do extrusado. O aumento da umidade diminui o grau de degradação do amido durante o aquecimento e cisalhamento, devido à redução do estresse, que promove redução da viscosidade (VAN DEN EINDE et al., 2004).

Partículas pequenas, como as farinhas, são hidratadas mais facilmente e cozidas mais rapidamente que partículas maiores, alterando também a qualidade do produto. A gelatinização do amido normalmente causa aumento da viscosidade, mas em extrusão-cocção, o intenso cisalhamento também pode quebrar as macromoléculas em unidades menores, resultando na redução da viscosidade (FELLOWS, 2002). A seguir, algumas propriedades tecnológicas de farinhas extrusadas serão focadas.

Para que determinado ingrediente tenha aplicação alimentar, propriedades como absorção de água e de óleo e solubilidade em água são características importantes a serem avaliadas (MIZUBUTI et al., 2000).

A capacidade de absorção de água representa a quantidade de água que permanece ligada nas proteínas e carboidratos após exposição a um excesso de água e aplicação de uma força de centrifugação ou pressão. Solubilidade é a medida da capacidade de uma determinada substância dissolver-se em um líquido e é influenciada pela quantidade de grupos hidrofílicos e hidrofóbicos presente na superfície dos compostos a serem solubilizados, das

interações entre as próprias biomoléculas e entre essas moléculas e o líquido (ALONSO et al., 2000; HERNANDÉS-DIAS et al., 2007).

As condições de extrusão podem ocasionar gelatinização ou hidrólise da molécula de amido, que pode apresentar modificação na capacidade de interagir com as moléculas de água, o que interfere na capacidade de hidratação e na solubilidade em água (ALTAN; McCARTHY; MASKAN, 2009; FILLI; NKAMA, 2007).

O índice de absorção de água (IAA) e o índice de solubilidade em água (ISA) são explicados pelas interações amido – água e são importantes na avaliação da adequabilidade do uso de produtos amiláceos extrusados em suspensões ou em soluções. Assim, as alterações do amido no extrusor dependem dos parâmetros do processo tais como velocidade e configuração do parafuso, temperatura, taxa de fluxo do material, configuração da matriz e das características do material. O IAA está relacionado com a viscosidade de pasta a frio, por que somente os grânulos de amido danificados absorvem água a temperatura ambiente e incham, resultando em incremento da viscosidade. Depois de os grânulos de amido alcançarem um máximo de absorção, o IAA decresce com o começo da dextrinização (LUSTOSA; LEONEL; MISCHAN, 2009)

O ISA está relacionado à quantidade de sólidos solúveis em água de uma amostra seca, permitindo verificar o grau de severidade do tratamento (altas temperaturas e baixas umidades), em função da degradação, gelatinização, dextrinização e consequente solubilização do amido (LEONEL et al., 2006). O IAA e o ISA são parâmetros importantes para definir as aplicações dos extrusados como ingredientes. Elevados valores de ISA também estão relacionados a adesividade dos produtos extrusados (HASHIMOTO; GROSSMAN, 2003).

Os tratamentos térmicos podem ocasionar alterações no índice de absorção de óleo (IAO) por afetarem a estrutura protéica. Processos que ocasionam alterações de proteínas podem provocar alterações da hidrofobicidade e afetar sua interação com as moléculas lipídicas (ZHENG et al., 2008). Da mesma forma que o IAA está relacionado com os grupos hidrofílicos dos produtos, o IAO está relacionado com os grupos hidrofóbicos e com a capacidade de manter em sua estrutura certa quantidade de óleo (LEORO, 2007). López et al. (1999) obtiveram fibra alimentar de alcachofras e indicaram que as fibras insolúveis apresentam maiores IAO que as fibras solúveis, porque as fontes ricas em lignina são as que possuem maior capacidade de absorção de óleo.

2.3 BAGAÇO DE MANDIOCA

O processo de produção de fécula de mandioca, qualquer que seja o grau de tecnologia empregada, consiste nas etapas de lavagem e descascamento das raízes, ralação para a desintegração das células e liberação dos grânulos de amido, separação das fibras e do material solúvel e finalmente, secagem (Figura 2) (LEONEL; CEREDA, 2000).

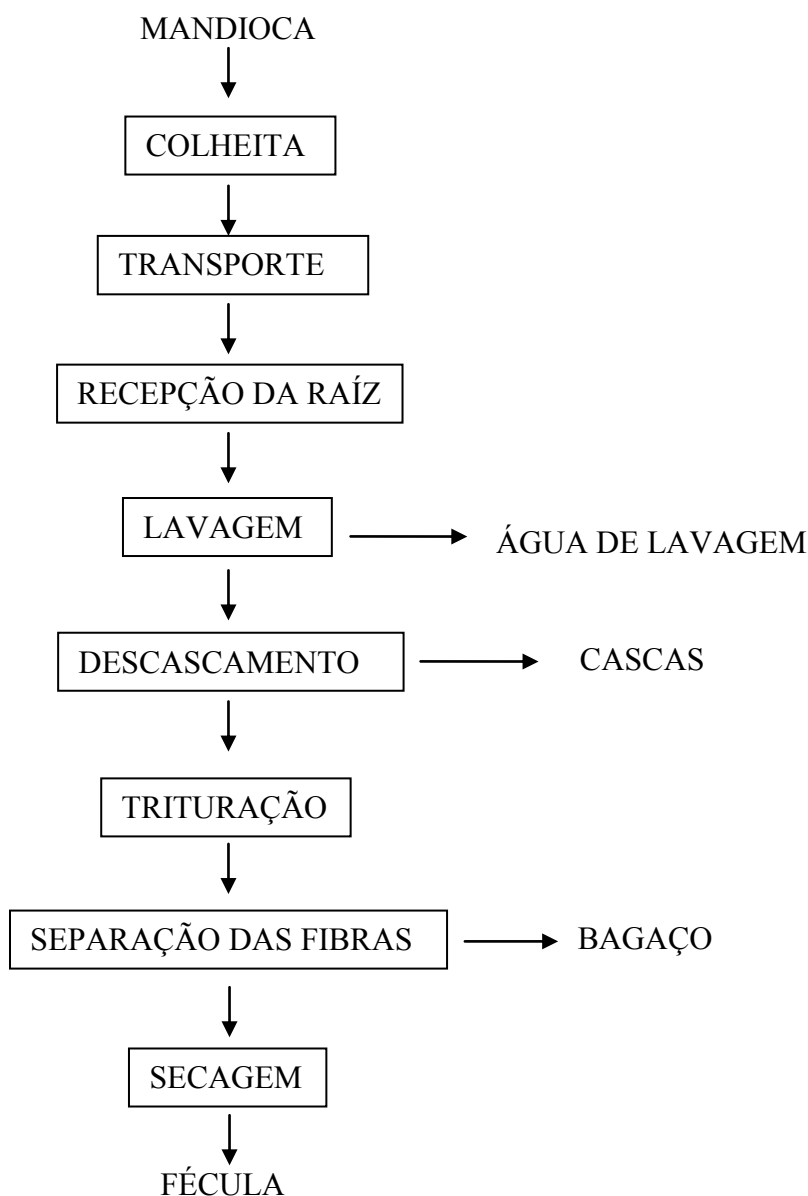


Figura 2. Processamento da mandioca para a produção de fécula
Fonte: ABAM (2009)

O processamento industrial da mandioca causa sérios problemas ambientais, pois, mesmo as pequenas unidades fabris, como as casas de farinha e polvilheiras, podem gerar

quantidades significativas de resíduos, visto ser comum a presença de várias unidades em uma mesma região (CAMARGO; LEONEL; MISCHAN, 2008).

Os principais tipos de processamento de raízes de mandioca no Brasil, são a fabricação da farinha e a extração da fécula, gerando resíduos que podem ser sólidos (casca, entrecasca e farelo ou bagaço) ou líquidos (manipueira e água vegetal). O bagaço de mandioca é composto pelo material fibroso da raiz, e contém parte do amido que não foi possível extrair no processamento. Este material é gerado na etapa de separação da fécula, e por ser intumescido de água, apresenta, em volume, teor de umidade maior que a própria matéria-prima, cerca de 75 a 85% (CEREDA, 2001).

Em cada fecularia brasileira que processa em torno de 100 t dia⁻¹ de raízes, o rendimento industrial de fécula é de 25%, o que significa que para cada tonelada de raiz de mandioca processada se produz 250 kg de fécula com cerca de 10% de umidade. Com relação ao bagaço, para cada tonelada de raiz são gerados 929 kg do resíduo com 85% de umidade. Considerando-se uma produção de 200 t dia⁻¹, são gerados cerca de 5.571 t mês⁻¹ de resíduo e 33.429 t em seis meses de produção, período correspondente à seca, cuja produção é mais elevada. Na secagem do bagaço para a obtenção de um produto final com 12% de umidade, é possível obter 251 kg de bagaço para cada tonelada de mandioca (LEONEL, 2001). O bagaço de mandioca *in natura* é uma matéria-prima disponível em grandes quantidades e possui valor comercial muito baixo, com preços da tonelada em torno de R\$ 15,00.

A produção mundial de féculas é de 70.000.000.000 t, sendo 11% correspondente a produção de fécula de mandioca e o Brasil contribui com 565.110.000 t por ano. Nas fecularias, para cada tonelada de raiz processada são produzidos cerca de 250 kg de fécula de mandioca e 928,6 kg de bagaço com 85% de umidade (LEONEL, 2011). Considerando a produção brasileira de mandioca destinada a produção de fécula, são gerados 2,09 milhões de toneladas deste resíduo úmido e 28,6 milhões de toneladas no mundo. Considerando este resíduo com 12% de umidade (farinha de bagaço de mandioca), poderiam ser gerados 566.740 t desta farinha no Brasil e 7.720.000 t no mundo (FAO, 2011; IBGE, 2011, ABIMA, 2011).

O bagaço de mandioca *in natura* é constituído de 85% de umidade inicial e 79% de amido, 15% de fibras, 2% de proteína, 1% de açúcares e 0,8% de matéria graxa, expressos em base seca. Os valores de pH e acidez são bastante variáveis, devido às fermentações naturais que ocorrem no resíduo úmido (LEONEL, 2001). Além do aspecto da agressão ao meio ambiente, deve ser também considerado que o despejo indevido de resíduos da mandioca constitui desperdício de rendimentos para o produtor, quando são consideradas as quantidades geradas e a composição dos mesmos (CAMARGO; LEONEL; MISCHAN, 2008).

Visando diminuição dos custos nos processos de agroindustrialização de matérias-primas vegetais, investigações têm sido realizadas para a transformação de resíduos em subprodutos e, deste modo, agregar valor ao sistema como um todo. Além disso, a utilização de resíduos agroindustriais é um meio para solucionar o problema ambiental (SAITO; CABELO; FUKUSHIMA, 2006). A extrusão de misturas de fécula de mandioca e bagaço de mandioca poderia solucionar alguns problemas da utilização de ambos os produtos. Por um lado, a extrusão poderia modificar as propriedades tecnológicas da fécula, como aumento da viscosidade a frio e da absorção de água e de óleo, possibilitando a sua utilização como ingrediente pré-gelatinizado em produtos instantâneos. Por outro lado, a extrusão poderia diminuir o problema da segurança microbiológica do bagaço de mandioca.

Souza (2011) observou em bagaço de mandioca a contagem de coliformes totais entre $3,19 \times 10^3$ e $5,13 \times 10^5$ UFC e contagem de bolores e leveduras entre $1,9 \times 10^3$ e $2,2 \times 10^5$ no produto *in natura* em função do tempo de armazenamento de 0 a 72 h, respectivamente, a temperatura ambiente.

Pesquisas vêm sendo realizadas visando desenvolver tecnologias de aproveitamento do bagaço de mandioca para a obtenção de produtos de elevado valor agregado, onde esses seriam utilizados como ingredientes para produtos alimentícios ricos em fibras (CEREDA, 1996; RODRIGUES, 2010; SAITO, 2005; SHITTU et al., 2008; SOUZA, 2011; SRIROTH et al., 2000).

2.4 FIBRA ALIMENTAR

O termo “fibras” abrange uma grande variedade de substâncias com diferentes propriedades físicas, químicas e fisiológicas. Portanto, é difícil chegar a uma definição ideal das fibras, embora várias definições tenham sido propostas (ROBERFROID, 1993; TROWELL et al., 1976).

As definições para fibra alimentar têm sido propostas com o intuito de reconhecer suas ações fisiológicas, demonstrar seu efeito na saúde e reduzir a ênfase nas fibras apenas como constituintes de alimentos (OHR, 2004). Fibras alimentares consistem em remanescentes de partes comestíveis de plantas e carboidratos análogos que são resistentes a digestão e absorção no intestino delgado humano, com fermentação completa ou parcial no intestino grosso. Quimicamente pode-se dizer que estas substâncias pertencem à família dos carboidratos e estão incluídos os polissacarídeos, oligossacarídeos, lignina e substâncias vegetais associadas. Exibem um ou mais efeitos laxativos (aumento do volume e maciez do bolo fecal;

aumentando a frequência e/ou regularidade), atenuação do colesterol e/ou glicose sanguíneos (RUPÉREZ; BRAVO, 2001).

As fibras alimentares vêm sendo reconhecidas como importantes componentes de dietas alimentares dos seres humanos, tanto as regulares como as dietas terapêuticas. As fibras alimentares consistem principalmente de frações de fibras solúveis e insolúveis, as quais exercem diferentes efeitos fisiológicos (FIGUEROLA et al., 2005; KNUDSEN, 2001; NAWIRSK; KWASNIEWSKA, 2005; REHMAN; ZIA-UR; SHAH, 2004; SANGNARK; NOOMHORM, 2004).

As fibras alimentares solúveis formam uma rede de gel ou uma rede viscosa, em determinadas condições físico-químicas, e desta forma se ligam a água, o que aumenta a capacidade de retenção de água e a absorção lipídica. Elas são vistas como substratos fermentativos, podendo modificar a microflora e levar a uma redução ou modificação de agentes mutagênicos (THEBAUDIN et al., 1997). O aumento da viscosidade está associado com o esvaziamento gástrico demorado; a fibra modifica a passagem no intestino, diminuindo a taxa de absorção de glicose, lipídios e esteróis (GORINSTEIN et al., 2002). Ainda, uma característica fundamental das fibras solúveis é a sua capacidade de ser metabolizada por bactérias, com a produção de substâncias que provocam a flatulência (RODRÍGUEZ; MEGÍAS; BAENA, 2003).

As fibras insolúveis aumentam o volume das fezes, portanto dilui o seu conteúdo, o que diminui a interação entre a mucosa intestinal e qualquer componente carcinogênico presente. Além disso, as fibras insolúveis auxiliam o trânsito intestinal, evitando que agentes mutagênicos presentes nas fezes interajam com o epitélio intestinal (THEBAUDIN et al., 1997).

Os produtos à base de cereais apresentam grande variação quanto ao teor de fibra alimentar, pelo fato de que esta se concentra, em sua maior parte, nas camadas externas do grão, as quais estão presentes nos produtos integrais, mas ausentes ou muito reduzidas nos refinados. Também há bastante variação quanto à proporção de fibra solúvel e insolúvel entre os diferentes cereais e mesmo entre variedades diferentes de um mesmo cereal (MENEZES; CARUSO; LAJOLO, 2001).

As fontes de fibras mais importantes estão nas cascas dos cereais. O farelo de trigo contém 45 g (100 g⁻¹), sendo mais de 90% na forma insolúvel, nas ervilhas secas 19% e nos feijões 17%. As frutas em geral, possuem menos fibras variando de 2% a 4% (THEBAUDIN et al., 1997).

Assim, ingredientes compostos de elevados teores de fibra têm sido utilizados para enriquecimento de alimentos com baixo teor deste componente, visando denotar aspectos de funcionalidade aos mesmos.

2.5 AMARANTO

O amaranto (*Amaranthus cruentus*) é uma dicotiledônea que compartilha algumas de suas características e propriedades com os cereais e, por isso, é classificado como um pseudo-cereal (APHALO et al., 2004). As sementes têm, em geral, de 1 a 1,5 mm de diâmetro, 0,5 mm de espessura e entre 0,49 e 0,93 mg de massa, são arredondadas, de coloração bege clara e se constituem em casca, embrião e perisperma (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1984).

Uma das características mais interessantes do grão de amaranto é o seu conteúdo de proteína, que varia de 12 a 18% (SEGURA-NIETO et al., 1992; TEUTONICO; KNORR, 1985), sendo a composição de aminoácidos dependente do genótipo e condições de cultivo (GORISTEIN et al., 2002). Apesar da baixa biodisponibilidade das proteínas de origem vegetal, o amaranto apresenta um conteúdo adequado de lisina (5%) e aminoácidos sulfurados (4,4%), diferindo da maioria dos cereais que são deficientes em lisina, do milho que é também deficiente em triptofano e do arroz que tem quantidades limitadas de lisina e treonina (BETSCHART et al., 1981).

O grão de amaranto, por não conter glúten, pode ser utilizado por portadores de doença celíaca (MARCÍLIO; AMAYA-FARAN; SILVA, 2005; MATUZ et al., 2000; TOSI; CIAPPINI; MASCIARELLI, 1996). Assim como a soja, o amaranto apresenta as globulinas como sua principal forma de proteína de reserva (GORISTEIN et al., 2002), já o trigo apresenta a fração gliadina, uma prolamina responsável pelas reações alérgicas relacionadas à doença.

A quantidade de amido do amaranto oscila entre 50 e 60% e a maioria das espécies apresenta um amido ceroso, rico em amilopectina (quase 95%), o que lhe confere um comportamento especial para utilização como ingrediente alimentar, visto a necessidade de modificação genética do milho, por exemplo, para alcançar essa composição (RAMÍREZ, 2007). O amaranto contém entre 5 e 8% de lipídeos, sendo que os ácidos graxos presentes em maiores quantidades são o palmítico (19%), o oléico (26%) e o linoléico (47%) (BERGER et al., 2003).

Embora o amaranto seja um pseudo-cereal, sua composição se assemelha à de um cereal verdadeiro, tendo ainda algumas vantagens: maior teor de riboflavina e de ácido

ascórbico que os cereais como trigo, cevada, aveia, centeio, arroz e milho (BRESSANI, 1983). Nas variedades de amaranto podem ser encontradas de 0,19 a 0,23 mg (100 g)⁻¹ de riboflavina, 1,17 a 1,45 mg (100 g)⁻¹ de niacina, até 4,5 mg (100 g)⁻¹ de ácido ascórbico e de 0,07 a 0,1 mg (100 g)⁻¹ de tiamina (ASCHERI; CARVALHO; SPEHAR, 2004). Ainda, expressivas quantidades de biotina e ácido fólico (GUZMÁN-MALDONADO; PAREDES-LÓPEZ, 2000).

Devido às vantagens nutricionais do amaranto, diversas pesquisas têm avaliado a incorporação do grão, sob a forma de farinha, em preparações culinárias como substituto da tradicional farinha de trigo, objetivando uma melhor qualidade nutritiva do produto final e também avaliando o impacto dessa substituição em sua estrutura. Dentre essas preparações, destacam-se a elaboração de *cookies* (MARCÍLIO; AMAYA-FARAN; SILVA, 2005; SINDHUJA; SUDHA; RAHIM, 2005), produtos de panificação (AYO, 2001; BURISOVA et al., 2001; CAPRILES et al., 2008; CAPRILES et al., 2006; CZUBASZEK, 2002; GAMBUS et al., 2002; KOVÁCS; MARAZ-SZABO; VARGA, 2002; TOSI; CIAPPINI; MASCIARELLI, 1996), *snacks* (CHÁVEZ-JÁUREGUI; PINTO E SILVA; ARÊAS, 2003; GUERRA-MATIAS; ARÊAS, 2005; ILO; BERGHOFER, 1999), bebidas instantâneas (ARCILA; MENDOZA, 2006; MENDOZA; BRESSANI, 1987), cereais matinais e barras de cereais (COELHO, 2006), entre outras.

Portanto, devido a suas excelentes características tecnológicas e composição química, o amaranto tem alto potencial como ingrediente para formulação de diferentes produtos para alimentação humana e em especial para portadores de doença celíaca, como em produtos de panificação, massas alimentícias, etc.

2.6 MASSAS ALIMENTÍCIAS

O Brasil está entre os cinco maiores produtores de macarrão do mundo e no ano de 2010 exportou 7,009 t de massas alimentícias para diversos países. De acordo com dados da Associação Brasileira das Indústrias de Massas Alimentícias (Abima), o consumo brasileiro *per capita* referente ao ano de 2010 de macarrão foi de 6,4 kg e cresceu de forma expressiva nos últimos anos (ABIMA, 2010).

Segundo a resolução da Agência Nacional de Vigilância Sanitária - Anvisa (BRASIL, 2000), a massa alimentícia é definida como o produto não fermentado, obtido pelo amassamento da farinha de trigo, da semolina ou da sêmola de trigo com água, e ou derivados de cereais, leguminosas, raízes ou tubérculos, adicionado ou não de outros ingredientes e

acompanhado ou não de temperos e ou complementos, isoladamente ou adicionados diretamente à massa. A Anvisa ainda classifica o macarrão quanto ao teor de umidade em seco e fresco. Macarrão seco é o produto que passa por secagem e no produto final a umidade máxima é de 13 g (100 g)⁻¹, enquanto macarrão fresco, é o produto que pode ou não ser submetido a um processo de secagem parcial, de forma que o produto final apresente umidade máxima de 35 g (100 g)⁻¹.

Do ponto de vista nutricional, as massas alimentícias são ricas em carboidratos complexos e geralmente possuem pequenas quantidades de sódio. Assim, encaixam-se na tendência atual de uma dieta mais saudável, em que se recomenda o consumo de alimentos ricos em carboidratos e com baixos teores de gordura. Por isso, as massas alimentícias são indicadas como a base da dieta, reduzindo a ingestão de gorduras, açúcares e derivados de origem animal. Se forem enriquecidas com vitaminas, minerais ou fibras, podem ser utilizadas como um dos meios mais baratos para melhorar a dieta nos países em desenvolvimento, além de poderem minimizar a fome nos países mais pobres (GUERREIRO, 2006).

De acordo com o levantamento feito pela Abima (2010), há cerca de mil tipos de macarrão instantâneo comercializados no Japão. São produzidos mais de 5,4 bilhões de pacotes anualmente, número equivalente a 42,4 porções *per capita*. A produção mundial de macarrão instantâneo é de 85,6 bilhões de porções por ano. O país que mais consome macarrão instantâneo é a China, com o consumo de 44,2 bilhões de porções por ano. Depois da China, os principais países consumidores deste tipo de massa são: Indonésia (12,4 bilhões de porções); Japão (5,4 bilhões de porções); Estados Unidos (3,9 bilhões de porções); Coréia do Sul (3,4 bilhões de porções); Vietnã (2,6 bilhões de porções); Filipinas (2,5 bilhões de porções); Tailândia (1,9 bilhão de porções); Rússia (1,6 bilhão de porções) e Brasil (1,3 bilhão de porções). No Brasil o consumo *per capita* no ano de 2010 foi de 0,9 kg, equivalente ao faturamento de R\$ 1.643 bilhões.

Na busca da melhoria nutricional de produtos fartamente utilizados pelos brasileiros, mantendo seu custo acessível às camadas menos favorecidas, uma alternativa seria estudar o comportamento tecnológico e nutricional da adição de subprodutos agroindustriais advindos da soja, arroz e mandioca (culturas já consolidadas e de grande importância econômica) na formulação de macarrão (NICOLETTI et al., 2007).

O uso de farinhas alternativas em formulações de macarrão pode conferir interessantes características de qualidade, proporcionando modificações na qualidade nutricional de várias formulações (INGLETT et al., 2005). Efeitos da adição de farinha de amaranto, fécula de

mandioca e mistura de fécula e bagaço de mandioca extrusada poderiam ser interessantes na elaboração de diferentes tipos de macarrão instantâneo.

2.7 DESENVOLVIMENTO DE NOVOS PRODUTOS

Farinhas provenientes de fontes alternativas como o milho, sorgo, mandioca e soja podem substituir parcialmente a farinha de trigo na fabricação de massas alimentícias frescas e secas sem afetar a qualidade do produto final e sem precisar fazer grandes modificações no processamento (EL-DASH; MAZZARI; GERMIANI, 1994).

Em geral, na produção de massas alimentícias, a substituição da farinha de trigo pela fécula de mandioca é na faixa de 25 a 50%, resultando em maiores rendimentos industriais, em razão da maior retenção de água, e, por isso, manutenção de seu peso, depois de seco, melhor que no produto tradicional. A massa feita com fécula apresenta coloração mais clara, com aspecto mais próximo ao dos macarrões caseiros (CEREDA, 2002).

Onyango, Undehend e Lindhauer (2009) estudaram o desenvolvimento de pães sem glúten preparados com sorgo e amidos de mandioca gelatinizados por extrusão e citam que o desenvolvimento de produtos alimentícios sem glúten, pode proporcionar aos consumidores produtos sensorialmente satisfatórios e com níveis nutricionais adequados.

Nabeshima, Hashimoto e El-dash (2003), estudaram os efeitos da adição de emulsificantes em massas alimentícias sem glúten produzidas a partir de farinha de arroz e verificaram melhora na qualidade do produto, principalmente pela propriedade lubrificante, que facilitou o processo de extrusão, possibilitando neste processo o uso de temperaturas acima de 90 °C sem formação de bolhas no interior das massas.

Estudos realizados por Borges et al. (2003), utilizando farinha de quinoa e de arroz para a produção de macarrões, constataram que houve homogeneidade no tamanho de partículas das matérias-primas permitindo a obtenção de produto uniforme e adequadamente cozido. Além disso, os macarrões pré-cozidos apresentaram tempo de cozimento correspondente à metade do tempo de cozimento do macarrão comercial de farinha de trigo.

Ao desenvolverem um macarrão instantâneo de trigo, mandioca e soja, Sannil et al. (2007) concluíram que o tratamento 60:30:10, apresentou ótima aceitação sensorial se aproximando à amostra controle, com 100% de trigo e que amostras adicionadas de mandioca apresentaram alto teor de fibras e carboidratos e baixa fração lipídica.

Testes antigluten realizadas por Marcílio, Amaya-faran e Silva (2005) em farinha de amaranto, utilizando indicador de presença de glúten ω -gliadina, obtiveram resultados negativos, confirmando dessa forma a ausência de glúten no amaranto brasileiro.

O desenvolvimento de massas alimentícias de amaranto enriquecidas com farinha de quinoa e ervilha foi estudado por Chillo et al. (2008), que concluíram que todos os tratamentos obtiveram excelentes propriedades sensoriais, apresentando volume, firmeza e tempo de cozimento satisfatórios.

Estudos realizados por Nabeshima, Hashimoto e El-Dash (2003), confirmaram que a maior mudança estrutural das massas alimentícias sem glúten ocorre a partir da gelatinização do amido, que contribui para a viscoelasticidade, sendo também identificado como o componente envolvido na adesividade e na desintegração das massas.

Toh (1996) patenteou um processo para produção de massas alimentícias instantâneas de arroz através do pré-tratamento da farinha de arroz com vapor para promover parcial gelatinização do amido, seguida da adição de água quente para obtenção da massa, extrusão para dar formato, gelatinização da superfície através da passagem das massas no vapor e na água quente, e finalmente, secagem até 15% de umidade. Os produtos obtidos eram firmes, claros, com boa qualidade de textura e baixa perda de sólidos.

Dutcosky et al. (1995), desenvolveram tecnologia de fabricação de massas alimentícias pré-cozidas e isentas de glúten a partir de farinha de arroz e amido de milho. Foram testados diferentes tempos de pré-cozimento em água fervente, formulações, ingredientes (albumina, ovo integral, emulsificante mono e diglicerídeo, methocel, ácido ascórbico) e perfis de secagem. O perfil de secagem não apresentou diferença significativa. Este produto atingiu o escore médio de 5,8 na análise sensorial (próximos a gostei ligeiramente), sendo considerado pelos autores um produto adequado já que os provadores não estavam habituados ao consumo deste tipo de produto.

Várias técnicas de produção de massas instantâneas, promovendo a pré-gelatinização do amido, vêm sendo estudadas. O processo de instantaneização pode ocorrer através do processo de fritura (KOHLWEY; KENDALL; MOHINDRA, 1995), da exposição da massa em água fervente (DUTKOSKY, 1995), do vapor (KOHLWEY; KENDALL; MOHINDRA, 1995; TOH, 1996), do uso de energia de micro-ondas antes da desidratação ou fritura (PAGANI, 1986) ou pelo processo de extrusão termoplástica (BORGES et al., 2003; CEREDA, 2002; CHILLO et. al., 2008; NABESHIMA; HASHIMOTO; EL-DASH, 2003).

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Determinar a viabilidade tecnológica e nutricional do bagaço e da fécula de mandioca na produção de farinhas e misturas cruas e pré-gelatinizadas, *snacks* e estudar a utilização de alguns destes ingredientes na elaboração de macarrão com amaranto.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar a farinha de bagaço de mandioca obtida do resíduo produzido em fecularia e determinar e comparar suas características com a fécula de mandioca produzida industrialmente, tanto nos aspectos físico-químicos, como nos tecnológicos, visando o aproveitamento deste resíduo agroindustrial de baixo custo em produtos alimentícios
- Estudar os efeitos da umidade da matéria-prima e da temperatura de extrusão sobre a qualidade dos extrusados de mistura de fécula e farinha de bagaço de mandioca (70:30), visando a produção de *snacks* expandidos.
- Determinar características tecnológicas da mistura de fécula e bagaço de mandioca (70:30) submetida ao processo de extrusão termoplasmática sob diferentes condições de temperatura e umidade, visando o desenvolvimento de farinhas pré-gelatinizadas com variadas características tecnológicas e aplicações em diferentes produtos alimentícios.
- Utilizar a farinha de amaranto, fécula de mandioca e farinha pré-gelatinizada na produção de massa alimentícia sem glúten, visando avaliar a influência de cada componentes da mistura na qualidade de cozimento e sensorial das formulações obtidas.
- Verificar o efeito dos componentes fécula e bagaço de mandioca e do amaranto como substituto da farinha de trigo na elaboração de massa alimentícia, sobre as características físicas, tecnológicas e nutricionais de massas alimentícias instantâneas isentas de glúten.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 MATERIAL

Amostras de fécula de mandioca (FM) e bagaço de mandioca (BM) da *cv.* IAC-12 colhida na safra de 2009 foram doadas pela Fecularia Bela Vista - Febela Ltda., localizada no município de Bela Vista de Goiás - GO, Brasil e a farinha de amaranto (FA) e as amostras de macarrão integral de trigo (MI) e macarrão de trigo comum (MT) foram adquiridas no comércio de Goiânia-GO, Brasil.

4.2 MÉTODOS

O experimento foi dividido em duas etapas. Na etapa 1 (Figura 3A) foram elaboradas as farinhas de bagaço de mandioca e mistura de fécula e bagaço de mandioca, e avaliado o efeito das variáveis de extrusão (umidade e temperatura) sobre a qualidade dos *snacks* e das farinhas pré-gelatinizadas. Na etapa 2 (Figura 3B), foi selecionada a melhor farinha extrusada, de acordo com parâmetros tecnológicos, para a elaboração do macarrão, utilizando delineamento de misturas com a farinha extrusada selecionada, fécula de mandioca e farinha de amaranto em diferentes proporções, segundo testes preliminares. Foi selecionada a melhor formulação de macarrão, com os resultados dos testes de cozimento através de um teste de desejabilidade, obtendo uma formulação final. Neste macarrão foi realizada a análise sensorial.

4.2.1 Processamento da farinha de bagaço de mandioca e da mistura (70:30) de fécula e farinha de bagaço de mandioca

Amostras de bagaço de mandioca (BM) foram coletadas na entrada do silo de armazenamento, em nove dias diferentes, acondicionadas em sacos de polietileno de baixa densidade e transportadas em caixas isotérmicas com gelo até o Laboratório de Tecnologia de Produtos de Origem Vegetal, do Setor de Tecnologia de Alimentos da Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Goiás (EA/UFG).

O BM foi imediatamente desidratado em estufa de bandejas com circulação de ar (Tecnal, TE-394/3, Piracicaba, Brasil) (Figura 4A), a 55 °C, por aproximadamente 24 h, até atingir umidade de 11 g (100 g)⁻¹, de acordo com balanço de massa demonstrado na equação 1. O bagaço seco foi triturado em moinho de rotor (Marconi, MA-090CFT), com peneira de 30 *mesh* (Figura 4B), obtendo-se a farinha de bagaço de mandioca (FBM).

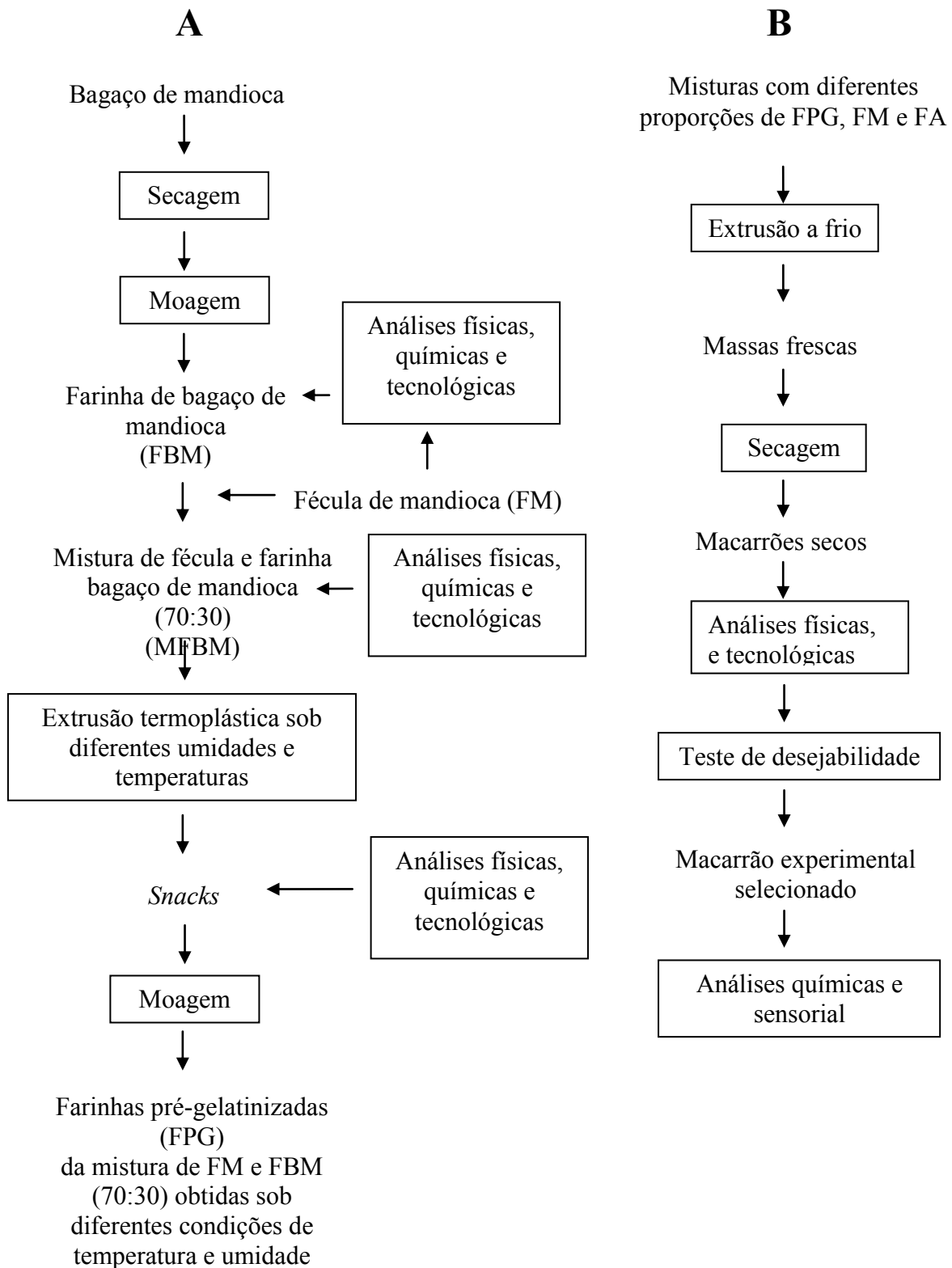


Figura 3. Fluxograma das etapas do experimento. A) Produção das farinhas de bagaço de mandioca, mista e pré-gelatinizadas B) Produção de macarrão com misturas de fécula de mandioca (FM), farinha pré-gelatinizada (FPG) e farinha de amaranto (FA).

$$m_f = m_s + m_w \quad (\text{Equação 1})$$

No qual,

$$m_s = m_t - (m_t \times U_i);$$

$$m_w = m_t \times U_f;$$

m_f = massa final (g);

m_s = massa seca (g);

m_w = massa de água (g);

m_t = massa total (g);

U_i = umidade inicial [g (100 g)^{-1}];

U_f = umidade final desejada [g (100 g)^{-1}]

A mistura (70:30) de FM e FBM (MFBM), foi processada em misturador homogeneizador tipo Y (TECNAL, TE 201/05, Piracicaba, Brasil), em bateladas de 1kg, durante 15 min (Figura 4C). As farinhas obtidas foram embaladas a vácuo e armazenadas a temperatura de 5 ± 1 °C. Utilizou-se essa proporção para manter um equilíbrio entre os teores de amido e fibra na farinha pré-gelatinizada, favorável em relação ao aspecto nutricional e tecnológico.

O tamanho das partículas da FM e da FBM foi determinado por análise granulométrica em equipamento vibratório (Produtest, MOD.T, São Paulo, Brasil) composto por 7 peneiras e fundo, cujas aberturas variaram de 1,41 a 0,053 mm. A amostra de 100 g foi agitada durante 15 min na vibração máxima, anotando-se a quantidade de amostra retida em cada peneira (DIAS; LEONEL, 2006).

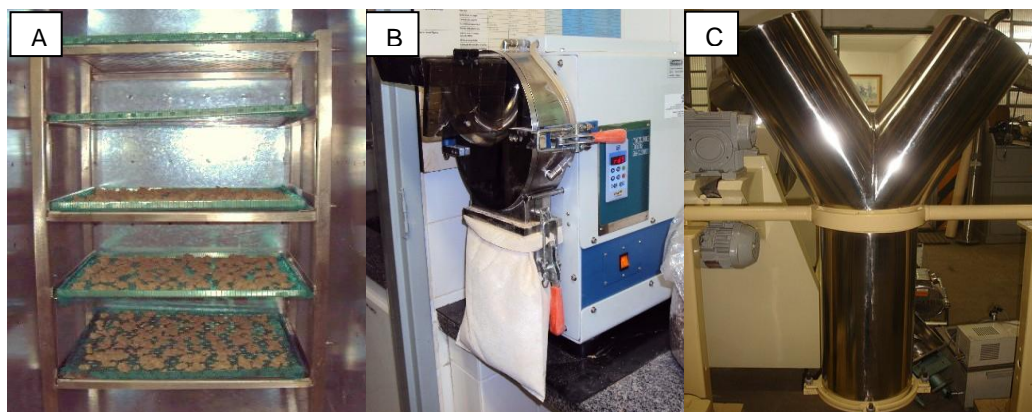


Figura 4. Equipamentos: A) Estufa de bandejas com circulação de ar. B) Moinho de rotor. C) Homogeneizador tipo Y

4.2.2 Processamento dos *snacks* e das farinhas pré-gelatinizadas

4.2.2.1. Planejamento experimental do ensaio de extrusão

Utilizou-se a metodologia de superfície de resposta e delineamento rotacional central composto, com quatro pontos fatoriais, quatro axiais e quatro repetições no ponto central, totalizando doze experimentos (BOX; HUNTER; HUNTER, 1978). As variáveis foram: temperatura da terceira seção de aquecimento do extrusor e teor de umidade das misturas. Os valores codificados e reais das variáveis independentes estão apresentados na Tabela 1. Na Tabela 2 estão apresentados o número de experimentos e os níveis codificados e reais de umidade e de temperatura utilizados no ensaio de extrusão.

Tabela 1. Níveis codificados e reais de temperatura (T) e umidade (U) utilizadas no ensaio de extrusão

Variável Independente	Níveis Codificados e Reais				
	$-\alpha = -1,41$	-1	0	1	$+\alpha = 1,41$
T (°C)	61,72	70	90	110	118,28
U [g (100 g) ⁻¹]	12	13,16	16	18,84	20

Tabela 2. Delineamento experimental utilizado para o estudo do efeito da temperatura de extrusão e da umidade das misturas (70:30) de fécula e farinha de bagaço de mandioca sobre a qualidade dos *snacks* e farinhas pré-gelatinizadas

Tratamentos	Variáveis independentes			
	Valores codificados		Valores reais	
	Temperatura	Umidade	T ¹	U ²
1	-1	-1	70	13,16
2	+1	-1	110	13,16
3	-1	+1	70	18,84
4	+1	+1	110	18,84
5	-1,41	0	61,72	16
6	1,41	0	118,28	16
7	0	-1,41	90	12
8	0	1,41	90	20
9	0	0	90	16
10	0	0	90	16
11	0	0	90	16
12	0	0	90	16

¹ °C;

² g (100 g)⁻¹

4.2.2.2. Acondicionamento da umidade

A MFBM foi acondicionada em diferentes níveis de umidade (Tabela 2) conforme valores estipulados no planejamento experimental. Para cada experimento foram preparadas 1 kg de MFBM. Na umidificação utilizou-se água destilada, borrifada manualmente sobre a MFBM revolvidas com o auxílio de espátulas. A quantidade de água a ser adicionada às amostras foi calculada considerando-se a massa de mistura a ser extrusada e a sua umidade inicial (Equação 2).

$$Q = \left[\left(\frac{100 - U_i}{100 - U_f} \right) \right] - 1 \times m \quad (\text{Equação 2})$$

No qual,

Q = quantidade de água a ser adicionada (mL);

U_i = umidade inicial da amostra [g (100 g)^{-1}];

U_f = umidade final desejada [g (100 g)^{-1}];

m = massa de material a ser acondicionado (g)

Após esta etapa, as amostras foram armazenadas *overnight* em sacos de polietileno de baixa densidade a 5 ± 1 °C, para garantir a homogeneização completa da umidade. Antes do início da extrusão, aguardou-se até que as amostras atingissem a temperatura ambiente.

4.2.2.3. Extrusão

O ensaio de extrusão termoplástica foi realizado no Centro de Raízes e Amidos Tropicais (Cerat) da Universidade Estadual de São Paulo (Unesp), Botucatu-SP, Brasil, utilizando extrusora (Imbramaq, PQ 30, Ribeirão Preto, Brasil), com motor de 10 HP, acoplado a um redutor de velocidade, com sistema de extrusão de fricção mecânica, com rosca simples, sistema de refrigeração com água gelada para controle de temperatura na camisa de extrusão, velocidade da rosca variável e capacidade de produção de 45 kg h^{-1} (Figura 5).

Os parâmetros de processamento foram divididos em parâmetros fixos e variáveis. Os parâmetros fixos foram: taxa de compressão da rosca de 3:1; taxa de alimentação de 350 g min^{-1} ; abertura da matriz circular de 4 mm de diâmetro; temperatura na

primeira e segunda seção de aquecimento do extrusor de 57 e 50 °C, respectivamente; rotação da rosca de 250 rpm. Os parâmetros variáveis foram umidade e temperatura, conforme o planejamento experimental (Tabela 2).



Figura 5. Extrusora (Imbramaq, PQ30, Ribeirão Preto, Brasil), utilizada na extrusão das farinhas pré-gelatinizadas de fécula e bagaço de mandioca

No início de cada experimento foi utilizado *gritz* de milho para estabilização do equipamento. Esta mistura foi introduzida, com o objetivo de estabilizar o processo de extrusão. As amostras dos experimentos só foram introduzidas na calha de alimentação quando a temperatura e rotação da rosca atingiram os valores desejados. Houve descarte do produto gerado inicialmente, sendo aproveitado apenas o material coletado após o processo atingir o equilíbrio, verificado pela estabilidade de consumo de energia pelo equipamento. Ao final do processamento foram aferidas medidas do índice de expansão e do volume específico de cada amostra de extrusado experimental. As amostras foram recolhidas, secas em estufa com circulação de ar a 30 °C, por 24 h, moídas em moinho de rotor (Marconi, MA-090CFT), e passadas em peneira de malha de 60 *mesh* (0,250 mm), embaladas em sacos de polietileno de baixa densidade e armazenadas a 5 ± 1 °C até a realização das análises físicas, químicas e tecnológicas ou até a elaboração dos macarrões experimentais.

4.2.3 Análises dos *snacks*

As análises de índice de expansão, volume específico e dos parâmetros instrumentais de cor (L^* , a^* , b^* e ΔE^*) dos *snacks* foram realizados no Laboratório de

Tecnologia de Produtos de Origem Vegetal, do Setor de Tecnologia de Alimentos da Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Goiás (EA/UFG).

4.2.3.1. Índice de expansão (IE)

O índice de expansão (IE) foi calculado através da razão entre o diâmetro dos extrusados e o diâmetro do orifício de saída da extrusora (Equação 3), conforme a metodologia proposta por FAUBION e HOSENEY (1982). Para a medida do diâmetro dos extrusados foi utilizado um paquímetro (Tramontina, 43175/301, Belém, Brasil) e o valor considerado foi obtido pela média aritmética de 10 medidas aleatórias.

$$IE = \frac{D_p}{D_m} \quad (\text{Equação 3})$$

No qual:

IE = índice de expansão;

D_p = diâmetro médio do produto (mm);

D_m = diâmetro médio da matriz (mm).

4.2.3.2. Volume específico (VE)

O volume específico (VE) dos extrusados (*snacks*) foi determinado por deslocamento de sementes de painço, conforme o método descrito por (LEONEL et al., 2006), a massa foi determinada em balança analítica e o volume específico foi determinado segundo Equação 4. O VE foi obtido a partir de 16 repetições de *snacks* escolhidos de forma aleatória.

$$VE = \frac{v}{m} \quad (\text{Equação 4})$$

No qual:

VE = volume específico (mL g^{-1});

m = massa (g);

v = volume (mL).

4.2.3.3. Cor

Os *snacks* foram avaliados em relação aos parâmetros instrumentais de cor de acordo com o sistema CIELab L^* , a^* , b^* em colorímetro (Color Quest, XE, Reston, EUA). Foram fixados ângulo de observação em 10° e o iluminante padrão como D65, que corresponde à luz natural do dia. Os resultados foram expressos em valores L^* , a^* e b^* , onde os valores de L^* (luminosidade ou brilho) variam do preto (0) ao branco (100), os de a^* do verde (-60) ao vermelho (+60) e os de b^* do azul (-60) ao amarelo (+60). Os resultados obtidos foram também apresentados em termos de diferença de cor (ΔE^*) entre a MFBM crua e FPGs (HUNTERLAB, 1998). Para tal, foi utilizada a equação 5. As análises foram realizadas em triplicatas.

$$\Delta E^* = (\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})^{1/2} \quad (\text{Equação 5})$$

No qual,

$\Delta L^* = L_o$ (luminosidade MFBM) - L_e (luminosidade FPG);

$\Delta a^* = a_o$ (valor de a^* da MFBM) - a_e (valor de a^* da FPG);

$\Delta b^* = b_o$ (valor de b^* da MFBM) - b_e (valor de b^* da FPG)

4.2.4 Análises das farinhas e mistura cruas e farinhas pré-gelatinizadas

Índice de absorção de água, índice de solubilidade em água, índice de absorção de óleo, atividade de água, composição centesimal e microscopia eletrônica foram determinados nas amostras de FM, FBM, FA, MFBM e FPGs, no Laboratório de Qualidade de Grãos do Centro Nacional de Pesquisas em Arroz e Feijão (CNPAP) da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (CNPAP/Embrapa) e no Laboratório de Análises Físico-Químicas de Alimentos do Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Estadual de Londrina (DCTA/UEL).

4.2.4.1. Índice de absorção de água (IAA) e índice de solubilidade em água (ISA)

O índice de absorção de água (IAA) e o índice de solubilidade em água (ISA) foram determinados segundo a metodologia de Anderson et al. (1969). Em tubos de centrífuga, previamente tarados, foram colocados aproximadamente 2,5 g de amostra peneirada (60 *mesh*) e 30 mL de água destilada a 28 °C. Os tubos permaneceram em agitação

mecânica em banho maria a 28 °C por 30 min e, em seguida, foram centrifugados (JOUAN/BR4-I, Saint Herblain, França), a 5300 rpm/ 2500 G, por 10 min. Do líquido sobrenadante, uma amostra de 10 mL foi pipetada cuidadosamente, depositada em placas de petri previamente tarada e levadas a estufa a 105 °C, por 8 h. Após esse período, o material foi resfriado em dessecador e pesado em balança analítica. A diferença de massa (g) foi multiplicada por 3, sendo o valor obtido o resíduo da evaporação. O líquido restante no tubo de centrífuga foi cuidadosamente descartado, o gel remanescente (resíduo de centrifugação) pesado e o IAA calculado conforme a equação 6.

$$IAA = \frac{M_{RC}}{M_A - M_{RE}} \quad (\text{Equação 6})$$

No qual,

IAA = índice de absorção de água [g de gel (g de matéria seca)⁻¹];

M_{RC} = massa do resíduo da centrifugação (g);

M_A = massa da amostra (g) (base seca);

M_{RE} = massa do resíduo da evaporação (g).

O índice de solubilidade em água foi calculado pela relação entre a massa do resíduo da evaporação e a massa seca da amostra, conforme a equação 7.

$$ISA = \frac{M_{RE}}{M_A} \times 100 \quad (\text{Equação 7})$$

No qual,

ISA = índice de solubilidade em água [g (100 g)⁻¹];

M_{RE} = massa do resíduo da evaporação (g);

M_A = massa da amostra na base seca (g).

4.2.4.2. Índice de absorção de óleo (IAO)

Para a determinação do IAO utilizou-se a metodologia de Anderson et al. (1969), adaptada, pela substituição da água por óleo de soja. Os resultados foram calculados utilizando a equação 8.

$$IAO = \frac{M_{RG}}{M_A} \quad (\text{Equação 8})$$

No qual,

IAO = índice de absorção de óleo [g de gel (g de matéria seca)⁻¹];

M_{RG} = massa do resíduo da centrifugação (g);

M_A = massa da amostra na base seca (g).

4.2.4.3. Atividade de água (Aw)

Para a determinação da atividade de água (Aw), utilizou-se aparelho (Aqua Lab, CX-2, Washington, EUA), à temperatura constante (24 ± 1 °C), fazendo-se as medições em triplicata.

4.2.4.4. Microscopia Eletrônica de Varredura

A MFBM e algumas FPGs foram observadas em microscópio eletrônico de varredura (Sputter Coater, SCD 050, Scotia, USA). As amostras foram completamente secas em estufa (Tecnal, TE-394/3, Piracicaba, Brasil) a 105 °C, durante 24 h e permaneceram em dessecador até o momento do preparo da amostra. O tempo de deposição de ouro nas amostras foi de 98 seg, representando uma camada de 15 nm sobre o material. Foi analisada a integridade dos grânulos de amido nas magnitudes de aumento de 100x, 400x e 1600x.

4.2.4.5. Composição centesimal

A umidade das amostras foi quantificada por dessecação a 105 °C em estufa com circulação de ar (NEVONI / N.V 1.5) até peso constante pelo método 925.09 da AOAC (1997); as cinzas, por incineração a 550 °C em mufla, com método 923.03 da AOAC (1997); proteína pela metodologia de micro-Kjeldahl para determinação do nitrogênio total, método 960.52 da AOAC (1990) e lipídeos por extração contínua em aparelho Soxhlet, de acordo com o método 920.39C da AACC (2000). Para determinação do teor de fibra alimentar total, solúvel e insolúvel utilizou-se a amostra desengordurada da extração por Soxlet, seguindo método enzimico-gravimétrico 985.29 da AOAC (1997). O teor de carboidratos foi calculado pelo método de diferença, subtraindo-se de cem os valores de umidade, cinzas, proteína e lipídeos. Todos os valores foram expressos em base seca. Todas as análises foram realizadas em triplicata. Para o cálculo do teor de proteínas do amaranto, o fator de conversão usado foi N x 5,85 (BERGHOFER; SHOENLECHNER, 2002), para as demais amostras utilizou-se 6,25.

4.2.4.6. Valor energético total

O valor energético total foi estimado seguindo os valores de conversão de Atwater, onde multiplicou-se o conteúdo de carboidrato (menos o teor de fibra alimentar insolúvel) e proteína por 4 kcal g⁻¹ e o de lipídeos por 9 kcal g⁻¹, sendo que os produtos somados constituíram o valor energético total (BRASIL, 2003).

4.2.5 Produção dos macarrões instantâneos

Para a elaboração dos macarrões foram utilizadas a FM, a FA e a FPG selecionada foi aquela que apresentou maior IAA e ISA, correspondendo ao experimento do ponto central, processado com umidade de 16 g (100 g)⁻¹ e temperatura de extrusão de 90 °C.

4.2.5.1. Delineamento experimental do ensaio de misturas

Utilizou-se delineamento de misturas (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2001) para a elaboração do macarrão tipo *talharim*, com os ingredientes: 1) Farinha pré gelatinizada (FPG) de fécula e farinha bagaço de mandioca extrusada (70:30); 2) Fécula de mandioca (FM); 3) Farinha de amaranto (FA) (Tabela 3).

Tabela 3. Concentrações mínimas e máximas estabelecidas para farinha pré-gelatinizada (FPG), fécula de mandioca (FM) e farinha de amaranto (FA) nas formulações dos macarrões.

Componente	Mínimo (% m/m)	Máximo (% m/m)
FPG	10	40
FM	50	70
FA	10	30

Os níveis dos ingredientes foram estabelecidos em testes preliminares. A partir das especificações acima, determinaram-se os pseudocomponentes, conforme equação 9. Estes valores foram utilizados para melhorar a visualização dos efeitos das variáveis independentes (teor de ingredientes) sobre as variáveis dependentes (características tecnológicas dos macarrões).

$$x_i = \frac{c_i - a_i}{1 - \sum_{i=1}^q a_i} \quad (\text{Equação 9})$$

No qual,

$$0 \leq a_i \leq c_i;$$

$\sum_{i=1}^q ai < 1$, ou seja, a soma de todos estes componentes deve ser menor que 1;

$i = 1, 2, 3, \dots, q$;

q = numero de componentes da mistura;

x_i = teor do componente, em termos de pseudocomponente;

c_i = proporção real do componente;

a_i = limite mínimo não-nulos da concentração do componente.

Assim, os ingredientes em estudo puderam ser expressos em pseudocomponentes, utilizando a equação 10 para FPG, equação 11 para FM e equação 12 para FA.

$$X_{\text{FPG}} = \frac{C_{\text{FPG}} - 0,10}{1 - 0,70} \quad (\text{Equação 10})$$

$$X_{\text{FM}} = \frac{C_{\text{FM}} - 0,50}{1 - 0,70} \quad (\text{Equação 11})$$

$$X_{\text{FA}} = \frac{C_{\text{FA}} - 0,10}{1 - 0,70} \quad (\text{Equação 12})$$

No qual,

x = teor do componente, em termos de pseudocomponente;

c = proporção real do componente.

O planejamento experimental, com os teores de cada ingrediente em valores reais e em pseudocomponentes são apresentados na Tabela 4. Introduziram-se duas repetições do experimento 6 (experimentos 7 e 8) para cálculo do erro experimental. A ordem do processamento dos experimentos foi sorteada. Nas amostras de macarrão de cada experimento foram determinadas as variáveis dependentes: tempo de cozimento, perda de sólidos na água, aumento de massa, cor (L^* , a^* e b^*) e atividade de água. Cada resposta foi submetida a análise de variância (ANOVA), para avaliar a significância ($p \leq 0,05$), o coeficiente de variação, o coeficiente de determinação ajustado (R_{aj}^2) e a falta de ajuste dos modelos matemáticos obtidos. Os modelos referentes aos testes de qualidade de macarrão (tempo de cozimento, perda de sólidos na água e aumento de massa), foram analisados em conjunto pela análise de desejabilidade. Utilizou-se o programa Statística versão 7.0 (STATSOFT, 2007),

para obtenção do planejamento experimental, análise estatística dos resultados e construção dos gráficos.

Tabela 4. Planejamento experimental para estudo do efeito da farinha pré-gelatinizada (FPG), fécula de mandioca (FM) e farinha de amaranto (FA) nas propriedades de cozimento dos macarrões experimentais. Valores em concentrações reais (g do componente por 100 g de mistura) e pseudocomponentes

Experimento	Proporções dos ingredientes na mistura ternária					
	Em concentrações reais			Em pseudocomponentes		
	FPG (c1)	FM (c2)	FA (c3)	FPG (X1)	FM (X2)	FA (X3)
1	0,40	0,50	0,10	1	0	0
2	0,10	0,70	0,20	0	0,67	0,33
3	0,20	0,70	0,10	0,33	0,67	0
4	0,20	0,50	0,30	0,33	0	0,67
5	0,10	0,60	0,30	0	0,33	0,67
6	0,20	0,60	0,20	0,33	0,33	0,33
7	0,20	0,60	0,20	0,33	0,33	0,33
8	0,20	0,60	0,20	0,33	0,33	0,33

Fonte: STATSOFT (2007)

$X1 + X2 + X3 = 1$ ou 100%

4.2.5.2. Processamento dos macarrões instantâneos experimentais

As formulações utilizadas neste ensaio foram definidas após realização de vários testes preliminares, em que foram testados diferentes corantes e quantidades de ovo e de água. Optou-se pela adição em todas as formulações de 2 g de corante urucum em pó, 10 g de água e 48 g ovo a cada 100 g de mistura seca.

Inicialmente os ingredientes secos foram misturados em homogeneizador tipo Y (Tecnal, TE 201/05, Piracicaba, Brasil), durante 15 min. Em seguida, foram adicionados os demais ingredientes. A massa foi misturada manualmente e moldada em pastaia (Imperia, Lusso-SP150, Pescara, Itália), conforme demonstrado na Figura 6. Utilizou-se a trefila para macarrão de massa longa tipo *talharim* e o corte foi manual em pedaços de 30 cm de comprimento (Figura 7). Os macarrões foram dispostos em bandejas teladas para facilitar a circulação do ar na secagem.



Figura 6. Pastaia para modelagem dos macarrões instantâneos tipo *talharim*



Figura 7. Aspecto dos macarrões experimentais tipo *talharim*

Os macarrões foram secos em estufa (Tecnal, TE-394/3, Piracicaba, Brasil) com circulação de ar a 40 °C, durante 90 min. A fim de garantir a qualidade da massa após a secagem, foi criado um ambiente dentro da estufa, com umidade relativa mais elevada. Foi colocado um recipiente com água potável na parte inferior do equipamento com esta finalidade. Após 60 min o recipiente foi removido e as amostras mantidas dentro da estufa por mais 30 min até restabelecer a umidade relativa do ambiente. Assim os macarrões alcançaram umidade final ao redor de 10 g (100 g)⁻¹.

4.2.6 Análises tecnológicas dos macarrões

As análises tecnológicas dos macarrões instantâneos foram realizadas no Laboratório de Análises Físico-Químicas de Alimentos do Departamento de Ciência e

Tecnologia de Alimentos da Universidade Estadual de Londrina (DCA/UUEL), no Laboratório de Tecnologia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas (TA/UNICAMP) e no Laboratório de Análise Sensorial do Centro Nacional de Pesquisas de Soja (CNPS) da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (CNPS/Embrapa).

4.2.6.1. Tempo ótimo de cozimento (TOC)

O tempo ótimo de cozimento foi definido como aquele requerido para o centro da massa tornar-se esbranquiçado, indicando que o amido neste local foi gelatinizado. Esta resposta foi determinada pela cocção de 10 g de amostra em 140 mL de água destilada em ebulição, conforme descrito por Chang e Flores (2004). O tempo ótimo de cozimento, em minutos, foi determinado pela compressão do produto cozido entre duas lâminas de vidro até o desaparecimento do eixo central, em intervalos de 30 seg, até 5 min de cozimento.

4.2.6.2. Aumento de massa (AM)

O aumento de massa foi determinado pela relação entre 10 g de macarrão seco e sua massa após a cocção, usando-se o tempo ótimo de cozimento de cada amostra, conforme descrito por Chang e Flores (2004). Os valores foram expressos em porcentagem, segundo equação 13.

$$\text{Aumento de massa (\%)} = \frac{(m_f - m_i) \times 100}{m_i} \quad (\text{Equação 13})$$

No qual,

m_f = massa da amostra cozida (g);

m_i = massa da amostra crua (g).

4.2.6.3. Perda de sólidos na água (PS)

A quantidade de sólidos perdidos na água de cozimento foi determinada pela evaporação de 25 mL da água de cozimento em estufa (Tecnal, TE-394/3, Piracicaba, Brasil) a 110 °C até peso constante, conforme descrito por Chang e Flores (2004). Os resultados foram expressos em porcentagem.

4.2.6.4. Cor

Para a determinação dos parâmetros instrumentais de cor, foram obtidas fotos digitais dos macarrões quebrados depositos em placas de petri de 15 cm de diâmetro, conforme realizado por Romão, Yamashita e Benassi (2006). Foi utilizada uma câmera digital (Olympus, D-360L), com resolução de 1280x960 pixels, lente de 5,5 mm, e abertura do diafragma de 2,8. A lente da câmera foi posicionada perpendicularmente a superfície do produto, a distância de 20 cm e ajustou-se o balanço de branco para a luz do dia. Utilizou-se um sistema de iluminação com duas fontes D65, incidindo com ângulo de 45° sobre o produto colocado sobre um fundo branco (Figura 8).

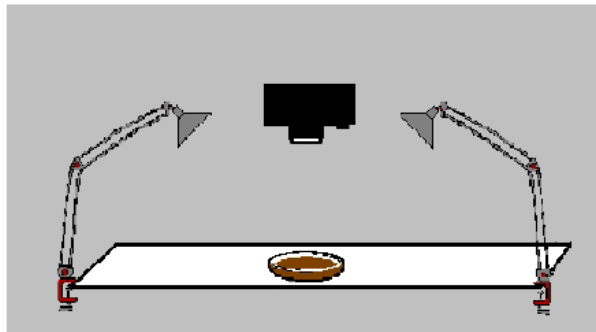


Figura 8. Esquema do sistema para fotografar as amostras

As imagens digitais das amostras foram processadas no programa “Microsoft Photo Editor 3.01”. Selecionou-se, em cada amostra, uma área da região central, de aproximadamente, 5x5 cm. Com o auxílio do programa “Conversor em cor média RGB para imagens Bitmap (BMP)” (SACHS et al., 2010). RGB é a abreviatura do sistema de cores aditivas formado por vermelho (Red), verde (Green) e azul (Blue). As imagens foram convertidas a valores RGB médios, utilizando-se um aplicativo de leitura de cor pixel a pixel. Posteriormente, converteram-se os dados para o sistema Cielab pelo programa “Munsell Conversion versão 4.01” (COLORPRO, 2010), obtendo-se valores de L* (luminosidade), a* (componente vermelho-verde) e b*(componente amarelo-azul). Para cada amostra, foram realizadas 20 replicatas em cada uma das fotos.

4.2.6.5. Atividade de água

Para a determinação da atividade de água (A_w), utilizou-se aparelho Aqqua Lab (CX-2, Washington, EUA), a temperatura constante de 24 ± 1 oC, fazendo-se as medições em triplicata.

4.2.6.6. Microscopia Eletrônica de Varredura

Nos macarrões que apresentaram valores extremos de FPG, FM e FA, experimentos 1, 2, 4 e 5 (Tabela 4) foram realizadas micrografias de fratura e de superfície em microscópio eletrônico de varredura (Sputter Coater, SCD 050, Scotia, USA). As amostras foram completamente secas em estufa a 105 °C, durante 24 h e permaneceram em dessecador até o momento do preparo da amostra. O tempo de deposição de ouro nas amostras foi de 98 seg, representando uma camada de 15 nm sobre o material. As amostras foram analisadas nas magnitudes de aumento de 200x e 1600x para superfície e de 200x e 800x para fratura.

4.2.6.7. Textura

Os parâmetros de firmeza e pegajosidade também foram analisados somente nas amostras dos experimentos 1, 2, 4 e 5, utilizando-se texturômetro (TA, XT2, Halesmere, Inglaterra), conforme método 16-50 da AACC (2000). O equipamento foi operado pelo programa Stable Micro Systems Ltda. O macarrão foi cozido (10 g de amostra em 140 mL de água) em seu tempo ótimo de cozimento (Figura 9), determinado anteriormente, drenado, lavado com aproximadamente 50 mL de água destilada, mantido durante 1 min em 300 mL de água fria e mantido em repouso por aproximadamente 15 min, conforme descrito por Ormenese e Chang (2002).

Para a determinação da firmeza, foram utilizadas 30 g de macarrão com 9 cm de comprimento (Figura 10). Foi utilizado o corpo de prova A/LKB-F e célula com capacidade de 5 kg. Os parâmetros fixos foram a velocidade do pré-teste (NA), a velocidade do teste ($0,17 \text{ mm seg}^{-1}$), a velocidade pós-teste (10 mm seg^{-1}) e a distância (4,5 mm), conforme descrito por Ormenese e Chang (2002).

Para a determinação da pegajosidade foram utilizadas 50 g de macarrão com 5 cm de comprimento (Figura 11). Foi utilizado corpo de prova HDP/PFS e célula com capacidade de 5 kg. Os parâmetros fixos foram a medida de força de compressão (1000 g), o tempo de compressão (2 seg), a velocidade do pré-teste (1 mm seg^{-1}), a velocidade de teste ($0,5 \text{ mm seg}^{-1}$), a velocidade pós-teste (10 mm seg^{-1}), a distância (10 mm) e o trigger (auto – 20 g). Foram realizadas 10 leituras para ambos os parâmetros avaliados.



Figura 9. Cozimento do macarrão para análise de textura

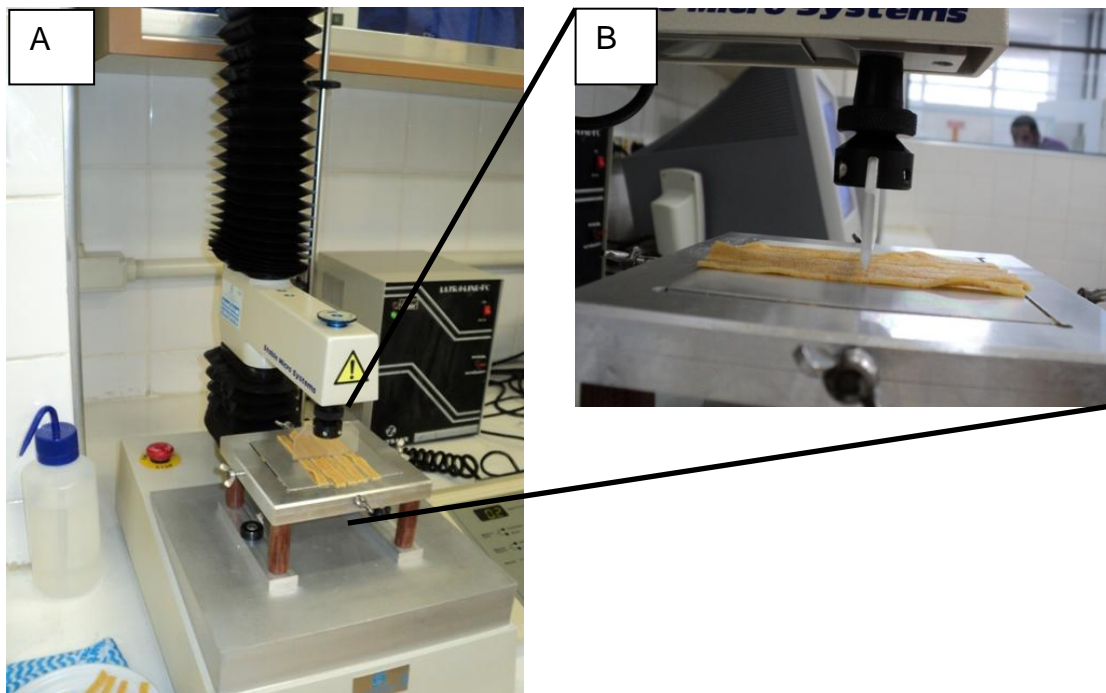


Figura 10. A) Análise de firmeza dos macarrões no texturômetro. B) Detalhe da lamina cortando a amostra

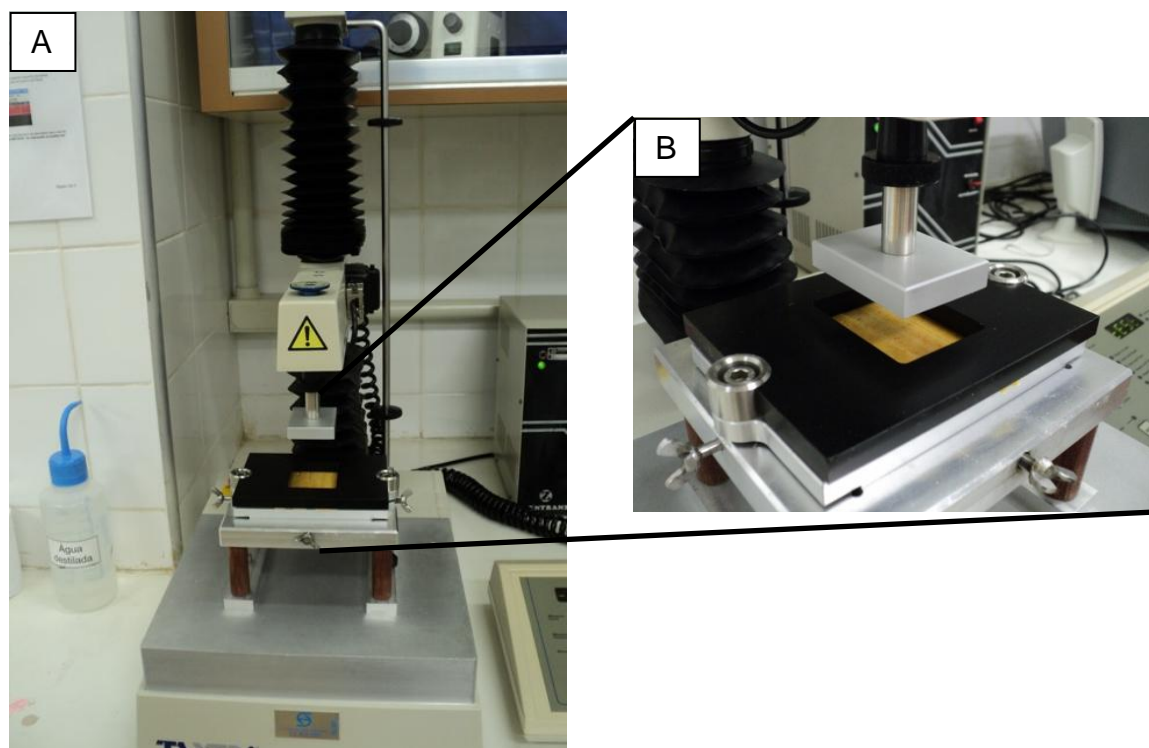


Figura 11. A) Análise de pegajosidade dos macarrões no texturômetro. B) Detalhe do probe HDP/PFS

4.2.7 Desejabilidade dos macarrões

Com os modelos matemáticos obtidos para as características tecnológicas do macarrão (tempo de cozimento, aumento de massa e perda de sólidos na água), gerados no planejamento experimental e com o auxílio da função “response desirability profiling”, do programa Statistica 7.0 (STATSOFT, 2007), realizou-se o cálculo para escolha da melhor formulação de macarrão, com base nas variáveis independentes utilizadas (FPG, FM e FA), obtendo-se como mais desejável a formulação com menor tempo de cozimento, menor perda de sólidos na água e aumento de massa intermediário.

4.2.8 Análise química e valor energético total do macarrão com maior desejabilidade

Os teores de umidade, cinzas, lipídios, proteína, fibra alimentar solúvel, fibra alimentar insolúvel, fibra alimentar total, carboidratos e valor energético total da amostra resultante do teste de desejabilidade, foram determinados pelos métodos oficiais descritos nos itens 4.2.4.5 e 4.2.4.6.

4.2.9 Análise sensorial

A amostra selecionada na análise de desejabilidade, foi submetida ao teste sensorial de aceitabilidade. Para este teste foi utilizada a escala hedônica de 9 pontos (9 = gostei extremamente, 5 = não gostei nem desgostei e 1 = desgostei extremamente). A intenção de compra foi avaliada, utilizando a escala de 5 pontos (5 = certamente compraria, 3 = talvez comprasse/talvez não comprasse, 1 = certamente não compraria), entre consumidores habituais de macarrão (Apêndice A).

Os testes foram realizados no Laboratório de Análise Sensorial, do Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Estadual de Londrina (DCTA/UEL) com 50 provadores. Foram recrutados consumidores adultos de ambos os sexos, conforme interesse e disponibilidade em participar da pesquisa, sendo excluídos do teste analfabetos, gestantes, fumantes e portadores de patologias que interferem na absorção intestinal e na sensibilidade gustativa, olfativa, ou que apresentaram redução da capacidade visual. Foi exigido de cada provador a leitura e assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Apêndice B) e o preenchimento do Questionário de Recrutamento de Provadores (Apêndice C) para participação na pesquisa, de acordo com o Comitê de Ética em Pesquisa da UFG (Protocolo nº 0177/10). Foram calculados a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação das notas recebidas.

As amostras foram servidas em cabines individuais, sob iluminação branca, a temperatura de 50 a 60 °C, em porções de 25 g e acompanhadas de molho a base de tomate (Figura 12). O macarrão foi preparado no seu tempo ótimo de cozimento, não sendo acrescentados sal e óleo na água de cocção. Após o cozimento, estes foram drenados por 10 min e logo após, acrescentados do molho de tomate.



Figura 12. Cabine, ficha, questionário e amostra de macarrão durante o teste de aceitabilidade

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados e discussões foram apresentados na forma de 5 artigos completos:

5.1) Desenvolvimento de farinha de bagaço de mandioca e comparação de suas propriedades físicas, químicas e tecnológicas com as de fécula de mandioca

5.2) Efeito do teor de umidade e da temperatura de extrusão sobre as características físicas dos snacks obtidos a partir da mistura (70:30) de fécula de mandioca e farinha de bagaço de mandioca

5.3) Efeito do teor de umidade e da temperatura de extrusão nas propriedades tecnológicas das farinhas pré-gelatinizadas obtidas a partir da mistura (70:30) de fécula e farinha de bagaço de mandioca

5.4) Influência das farinhas de amaranto e pré-gelatinizada e da fécula de mandioca sobre a qualidade tecnológica e sensorial de macarrões sem glúten

5.5) Propriedades físicas, texturais e nutricionais de macarrões instantâneos formulados com bagaço, fécula de mandioca e amaranto.

5.1 DESENVOLVIMENTO DE FARINHA DE BAGAÇO DE MANDIOCA E COMPARAÇÃO DE SUAS PROPRIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS E TECNOLÓGICAS COM AS DE FÉCULA DE MANDIOCA

Resumo

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é produzida em diferentes regiões do Brasil e faz parte do hábito alimentar do brasileiro. Caracteriza-se como alimento de alto valor energético, possui teor elevado de amido, contém fibras e alguns minerais como potássio, cálcio, fósforo, sódio e ferro. Na produção da fécula de mandioca são gerados resíduos sólidos como o bagaço de mandioca, que é caracterizado como o resíduo fibroso da raiz e contém parte do amido que não foi possível extrair no processamento da fécula. Tendo em vista que a produção mundial de fécula de mandioca é aproximadamente 7,7 milhões de toneladas por ano e que são gerados 928,6kg de bagaço úmido de mandioca para cada 250 kg de fécula processada, poderiam ser gerados 28,6 milhões de toneladas por ano de farinha de bagaço de mandioca (12% de umidade). Frente à importância econômica, físico-química, tecnológica e nutricional deste produto, com o presente trabalho, objetivou-se desenvolver e avaliar as propriedades da farinha de bagaço de mandioca e compará-las com as da fécula de mandioca e com isso fomentar seu uso e fornecer informações tanto para as indústrias produtoras quanto aos consumidores. Foram determinadas a composição centesimal, valor energético total, granulometria, atividade de água, índice de absorção e solubilidade em água, índice de absorção de óleo, cor (L^* , a^* e b^*), segundo métodos oficiais. As análises foram realizadas em triplicata. Os resultados foram avaliados por meio de análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de F. Os resultados obtidos mostraram que, quanto à composição centesimal, as farinhas analisadas diferem entre si, e a fécula de mandioca está de acordo com os limites impostos pela legislação. As farinhas de bagaço de mandioca apresentaram teores elevados de fibra alimentar total [63,95 g (100 g)⁻¹], fibra alimentar solúvel [3,51 g (100 g)⁻¹], e fibra alimentar insolúvel [56,84 g (100 g)⁻¹], sendo mais rico neste componente; em proteínas [1,97 g (100 g)⁻¹], cinzas [1,81 g (100 g)⁻¹], e lipídeos [2,35 g (100 g)⁻¹] e com propriedades tecnológicas desejáveis como IAA [6,73 g de gel (g de matéria seca)⁻¹], e ISA (1,23%), além de possuir baixo custo. A farinha de bagaço de mandioca é uma matéria-prima alternativa com características tecnológicas diferenciadas e sugere-se sua aplicação em alimentos tais como mingaus, sopas, cremes e alimentos infantis, e principalmente alimentos *diet* ou *light*.

Palavras-chave: *Manihot esculenta* Cranz; subproduto, amido; propriedades; caracterização.

5.1.1 Introdução

Mandioca (*Manihot esculenta* Cranz), também chamada de tapioca, aipim ou yuca, é uma das mais importantes culturas alimentares nos trópicos úmidos, e adapta-se particularmente em condições de baixa disponibilidade de nutrientes e água (BURRELL, 2003). Devido à mandioca apresentar uma série de vantagens em relação a outras culturas e ser um alimento de extrema importância para a população, principalmente de países tropicais, onde sua produção é mais elevada, sua industrialização vem ganhando destaque na economia,

sendo utilizada como matéria-prima para diversos produtos, como a fécula e seus subsequentes (FREITAS; LEONEL, 2008).

O processo de produção de fécula de mandioca, qualquer que seja o grau de tecnologia empregada, consiste das etapas de lavagem e descascamento das raízes, trituradas para a desintegração das células e liberação dos grânulos de amido, separação das fibras e do material solúvel e finalmente a secagem (LEONEL; CEREDA, 2000). O processamento industrial da mandioca causa sérios problemas ambientais, pois, mesmo as pequenas unidades fabris, como as casas de farinha e polvilheiras, podem gerar quantidades significativas de resíduos, que podem ser sólidos (casca, entrecasca e bagaço) ou líquidos (manipueira e água vegetal) (CAMARGO; LEONEL; MISCHAN, 2008).

O bagaço de mandioca é composto pelo material fibroso da raiz, e contém parte do amido que não foi possível extrair no processamento. Este material é gerado na etapa de separação da fécula, e por ser intumescido de água, apresenta, teor de umidade maior que a própria matéria-prima, cerca de 85% (CEREDA, 2001).

A produção mundial de féculas é de 70.000.000.000 t, sendo 11% correspondente a produção de fécula de mandioca e o Brasil contribui com 565.110.000 t por ano. Nas fecularias, para cada tonelada de raiz processada são produzidos cerca de 250 kg de fécula de mandioca e 928,6 kg de bagaço com 85% de umidade (LEONEL, 2011). Considerando a produção brasileira de mandioca destinada a produção de fécula, são gerados 2,09 milhões de toneladas deste resíduo úmido e 28,6 milhões de toneladas no mundo. Considerando este resíduo com 12% de umidade (farinha de bagaço de mandioca), poderiam ser gerados 566.740 t desta farinha no Brasil e 7.720.000 t no mundo (FAO, 2011; IBGE, 2011, ABIMA, 2011).

Visando a diminuição dos custos nos processos de agroindustrialização de matérias-primas vegetais, investigações têm sido realizadas para a transformação de resíduos em subprodutos e, deste modo, agregar valor ao sistema como um todo. Além disso, a utilização de resíduos agroindustriais é um meio para solucionar o problema ambiental (SAITO; CABELO; FUKUSHIMA, 2006).

O bagaço de mandioca além de ser um resíduo de baixo valor comercial (R\$15,00 a tonelada), é uma fonte de fibra de boa qualidade (LEONEL, 2001) e vem sendo estudado em pesquisas que visam o desenvolvimento de tecnologias de seu aproveitamento para a obtenção de produtos de elevado valor agregado, onde esses seriam utilizados como ingredientes para produtos alimentícios ricos em fibras (CEREDA, 1996; RODRIGUES, 2010; SAITO, 2005; SHITTU et al., 2008; SOUZA, 2011; SRIROTH et al., 2000).

O objetivo deste trabalho foi desenvolver a farinha de bagaço de mandioca obtida do resíduo produzido em fecularia e determinar suas características e comparar com as da fécula de mandioca produzida industrialmente, tanto nos aspectos físicos e químicos, como nos tecnológicos, visando o aproveitamento deste resíduo agroindustrial de baixo custo em produtos alimentícios.

5.1.2 Materiais e Métodos

A fécula de mandioca (FM) e o bagaço de mandioca (BM) da cultivar IAC-12 colhida na safra de 2009, foram doados pela Fecularia Bela Vista Ltda.- Febela, localizada no município de Bela Vista de Goiás – GO. A amostra de BM foi coletada na entrada do silo de armazenamento e imediatamente foram transportadas em caixas térmicas até o laboratório para ser desidratada em estufa de bandeja com circulação de ar (Tecnal, TE-394/3, Piracicaba, Brasil) a 55 °C, por aproximadamente 24 h e triturado em moinho de rotor (Marconi, MA-090CFT), com peneira de 30 *mesh*, obtendo-se a farinha de bagaço de mandioca (FBM). A FM e a FBM podem ser observadas na Figura 5.1.

O diâmetro das partículas das amostras foi determinado em equipamento vibratório (Produtest, MOD.T, São Paulo, Brasil) composto por sete peneiras e fundo, cujas aberturas variaram de 1,41 a 0,053 mm. A amostra de 100 g foi agitada durante 15 min na vibração máxima, anotando-se a quantidade de amostra retida em cada peneira (DIAS; LEONEL, 2006).



Figura 1.1. A) Amostras de fécula de mandioca. B) Farinha de bagaço de mandioca

As amostras de FM e FBM foram avaliadas quanto à umidade, cinzas e fibra alimentar total solúvel e insolúvel pelos métodos 925.09, 923.03 e 985.29, respectivamente (AOAC,

1997); proteínas pelo método 960.52 (AOAC, 1990) com fator de conversão de nitrogênio em proteína de 6,25 e lipídeos pelo método 920.39C (AACC, 2000). O teor de carboidratos foi calculado pelo método de diferença, subtraindo-se de cem os valores de umidade, cinzas, proteínas e lipídeos. O valor energético total foi estimado seguindo os valores de conversão de Atwater, no qual multiplicou-se o conteúdo de carboidratos (menos o teor de fibra alimentar insolúvel) e proteína por 4 kcal g⁻¹ e o de lipídeos por 9 kcal g⁻¹. Todos os valores foram expressos em base seca e as análises foram realizadas em triplicata.

Para a determinação da atividade de água (Aw), utilizou-se um medidor (Aqua Lab, CX-2, Washington, EUA) e para a determinação da cor utilizou-se colorímetro (Color Quest, XE, Reston, EUA) com sistema CIEL L*, a*, b*, onde os valores de L* (luminosidade ou brilho) variam do preto (0) ao branco (100), os valores de a* variam do verde (-60) ao vermelho (+60) e os valores de b* variam do azul (-60) ao amarelo (+60) (HUNTERLAB, 1998). O índice de absorção de água (IAA) e o índice de solubilidade em água (ISA) foram determinados segundo metodologia de Anderson et al. (1969). Para a determinação do IAO utilizou-se a mesma metodologia adaptada, ou seja, substituiu-se a água por óleo de soja.

Os dados foram avaliados pela análise de variância (ANOVA) e as médias foram comparadas pelo teste de F com o auxílio do aplicativo SAS (SAS, 2000).

5.1.3 Resultados e Discussões

Os resultados referentes à granulometria das amostras analisadas encontram-se na Tabela 1.1. Na FM, o percentual retido na peneira de abertura de 1 mm ficou dentro da faixa preconizado pela legislação (máximo 15%) para classificar a farinha como extra fina (BRASIL, 1995), o mesmo ocorrendo na FBM. Observou-se que a FM contém partículas maiores em relação a FBM, apresentado maior quantidade de partículas retidas até a peneira com orifícios de 0,25 mm e nas peneiras seguintes a FBM apresentou maior quantidade de partículas retidas.

A composição centesimal (b.s.) e o valor energético total da FM e FBM estão apresentados na Tabela 1.2. Todos os componentes analisados, assim como o valor energético total da FM e da FBM diferiram entre si ($p \leq 0,05$), com exceção do teor de carboidratos ($p \geq 0,05$). A FBM apresentou teores maiores de todos os componentes, com exceção do teor de umidade e do valor energético total.

Tabela 1.1. Percentual de amostra retida nas peneiras durante a distribuição granulométrica da fécula de mandioca (FM) e da farinha de bagaço de mandioca (FBM).*

Abertura (mm)	FM (%)	FBM (%)
1,41	6,37 ^a ± 0,20	2,42 ^b ± 0,38
1,00	8,96 ^a ± 0,65	0,74 ^b ± 0,54
0,71	12,16 ^a ± 0,48	1,00 ^b ± 0,16
0,50	18,06 ^a ± 0,24	1,22 ^b ± 0,35
0,250	27,53 ^a ± 0,87	16,29 ^b ± 3,50
0,150	17,51 ^b ± 0,71	41,93 ^a ± 5,40
0,053	7,61 ^b ± 0,26	32,88 ^a ± 1,28
0	1,75 ^b ± 0,64	3,45 ^a ± 1,14

*Médias seguidas pela mesma letra em cada linha não diferem estatisticamente pelo teste de F a 5% de probabilidade de erro, valores expressos em médias seguidas pelos desvios-padrão

Tabela 1.2. Umidade, cinzas, lipídeos, proteína, fibra alimentar total, solúvel e insolúvel e carboidratos (b.s) e valor energético total de fécula de mandioca (FM) e farinha de bagaço de mandioca (FBM).¹

Componente	FM	FBM
Umidade ²	12,65 ^a ± 0,01	9,02 ^b ± 0,07
Cinzas ²	0,12 ^b ± 0,19	1,81 ^a ± 0,17
Lipídeos ²	1,56 ^b ± 0,00	2,35 ^a ± 0,03
Proteína ²	0,14 ^b ± 0,01	1,97 ^a ± 0,03
Fibra Alimentar Total ²	0,61 ^b ± 0,02	63,95 ^a ± 2,54
Fibra Alimentar Solúvel ²	0,20 ^b ± 0,07	3,51 ^a ± 0,51
Fibra Alimentar Insolúvel ²	0,40 ^b ± 0,09	56,84 ^a ± 2,78
Carboidratos ²	85,52 ^a ± 0,18	84,84 ^a ± 0,26
Valor energético total ³	355,05 ^a ± 0,79	141,08 ^b ± 0,83

¹Médias seguidas pela mesma letra em cada linha não diferem estatisticamente pelo teste de F a 5% de probabilidade de erro, valores expressos em médias seguidas pelos desvios-padrão

² g (100 g)⁻¹

³ kcal (100 g)⁻¹

O bagaço de mandioca *in natura* apresentou umidade inicial de 79,5 g (100 g)⁻¹ e após a secagem e moagem (FBM) apresentou umidade inferior ($p \leq 0,05$) a FM. A legislação brasileira atual delimita a umidade máxima de 15 g (100 g)⁻¹ para farinhas e de 18 g (100 g)⁻¹ para amido ou fécula de mandioca (BRASIL, 2005). Considerando os resultados obtidos, observou-se que tanto a FM quanto a FBM estavam com umidade inferior a estes limites. As diferenças observadas nos teores de umidade refletem as intensidades de secagem que os produtos foram submetidos. A microbiota dos cereais e tubérculos é composta principalmente

por micro-organismos provenientes do solo, que podem ser subdivididos em dois grupos: aqueles que tendem a desaparecer após a colheita, e os que permanecem durante a estocagem. Outros micro-organismos contaminam durante o processamento, por falhas de higiene no processo de fabricação da farinha. Após a colheita e secagem, a contaminação microbiana reduz-se rapidamente, mas devido à umidade do ambiente e procedimentos inadequados de limpeza dos equipamentos, essa carga pode aumentar, com destaque para os fungos. O controle da umidade é particularmente importante, já que farinhas com umidade inferior a 12% não permitem a multiplicação microbiana (LOPES; FRANCO, 2006).

A FM apresentou alto teor de carboidratos (constituído principalmente de amido), apresentando baixos teores de cinzas, lipídios, proteína, fibra alimentar solúvel e insolúvel e valor energético total. Portanto, a FM apresentou-se nutricionalmente inferior a FBM. Camargo, Leonel e Mischan (2008) encontraram para a FM valores de $0,2 \text{ g (100 g)}^{-1}$ para cinzas, $4,6 \text{ g (100 g)}^{-1}$ para lipídeos, $0,14 \text{ g (100 g)}^{-1}$ para proteína, $0,4 \text{ g (100 g)}^{-1}$ para fibra bruta. Trombini (2010), caracterizando fécula de mandioca para a elaboração de farinhas pré-gelatinizadas, obteve valores de $0,07 \text{ g (100 g)}^{-1}$ para cinzas, $0,11 \text{ g (100 g)}^{-1}$ para lipídeos, $0,44 \text{ g (100 g)}^{-1}$ para proteínas, $0,39 \text{ g (100 g)}^{-1}$ para fibra bruta e $85,19 \text{ g (100 g)}^{-1}$ de carboidratos totais. Ambos os autores obtiveram dados diferentes dos encontrados no presente estudo, com exceção da proteína pelo primeiro autor. Esta diferença pode ter ocorrido devido à cultivar de mandioca utilizada, à época de plantio, ao tipo de solo e às condições climáticas a que a planta foi submetida durante seu desenvolvimento. Valores mais próximos foram encontrados por Vieira et al. (2010), que obtiveram para a FM valores de $13,99 \text{ g (100 g)}^{-1}$ de umidade, $0,17 \text{ g (100 g)}^{-1}$ de proteínas, $0,11 \text{ g (100 g)}^{-1}$ de cinzas e $0,30 \text{ g (100 g)}^{-1}$ de fibra alimentar total.

Com relação ao teor de cinzas, pode-se observar que os valores encontram-se dentro do limite fixado pela legislação, máximo de 2,0% (BRASIL, 2005). Valores maiores de cinzas podem indicar fraudes, como adição de areia ou processamento inadequado, como lavagem e descascamento incompletos. Um dos fatores que pode ter interferido nesses valores é a presença de sujidades inorgânicas, como terra e areia, provenientes do local de deposição das raízes descascadas, superestimando o conteúdo de cinzas na farinha.

A FBM apresentou alto teor de carboidratos (constituído principalmente por fibra alimentar total e amido). Camargo, Leonel e Mischan (2008) caracterizaram o bagaço de mandioca para uso na produção de biscoitos extrusados de polvilho azedo e encontraram valores de $1,3 \text{ g (100 g)}^{-1}$ para cinzas, $5,3 \text{ g (100 g)}^{-1}$ para lipídeos, $0,92 \text{ g (100 g)}^{-1}$ para proteínas, $79,32 \text{ g (100 g)}^{-1}$ para amido e $9,9 \text{ g (100 g)}^{-1}$ para fibras. Também Cereda (1996) reportou

que o bagaço de mandioca apresentou 75 g (100 g)⁻¹ de amido, 1,6 g (100 g)⁻¹ de cinzas, 2 g (100 g)⁻¹ de proteína, 1 g (100 g)⁻¹ de açúcares e 0,8 g (100 g)⁻¹ de lipídeos, 7 g (100 g)⁻¹ de fibra alimentar total, sendo 6 g (100 g)⁻¹ insolúvel e 1 g (100 g)⁻¹ solúvel. Valores bem diferentes aos encontrados no presente estudo principalmente em relação aos teores de fibra alimentar total, componente que apresenta grande variação no bagaço de mandioca, em função da otimização do processo de extração da fécula de mandioca nas indústrias. Portanto, quanto melhor a extração de fécula, maior o teor de fibra alimentar total no bagaço e menor o teor de amido.

A FBM possui teor de fibra alimentar total, solúvel e insolúvel 104, 141 e 92 vezes maior em relação a FM. Souza (2011), analisando bagaço de mandioca da cultivar IAC-12, cultivado na região de Goiânia, obteve resultados mais próximos aos obtidos no presente estudo, com teor de 1,7 g (100 g)⁻¹ para cinzas, 1,2 g (100 g)⁻¹ para lipídeos, 2,3 g (100 g)⁻¹ para proteína, 50,3 g (100 g)⁻¹ para fibra alimentar total, 9,2 g (100 g)⁻¹ para fibras solúveis, 41,1 g (100 g)⁻¹ para fibras insolúveis, 44,4 g (100 g)⁻¹ de carboidratos totais e valor energético de 127,1 kcal (100 g)⁻¹. Valores mais semelhantes também foram encontrados por Rodrigues (2010), analisando bagaço de mandioca da cultivar IAC-12, com 12 g (100 g)⁻¹ de umidade, 10,43 g (100 g)⁻¹ de proteínas, 4,49 g (100 g)⁻¹ de lipídeos, 1,98 g (100 g)⁻¹ de cinzas, 71,49 g (100 g)⁻¹ de carboidratos, 60,28 g (100 g)⁻¹ de fibra alimentar total, 50,01 g (100 g)⁻¹ de fibra alimentar insolúvel e 10,27 g (100 g)⁻¹ de fibra alimentar solúvel.

Os resultados encontrados neste trabalho foram parcialmente semelhantes aos reportados por Hashimoto e Grossmann (2003) ao caracterizarem fécula de mandioca, com valores de 99,7 g (100 g)⁻¹ de carboidratos, 0,05 g (100 g)⁻¹ de proteína, 0,11 g (100 g)⁻¹ de lipídeos e 0,12 g (100 g)⁻¹ de cinzas. Estes autores também caracterizaram bagaço de mandioca, cujos valores encontrados foram 2,58 g (100 g)⁻¹ de proteína, 0,16 g (100 g)⁻¹ de lipídeos, 33,83 g (100 g)⁻¹ de fibra alimentar total, sendo 3,29 g (100 g)⁻¹ de fibra alimentar solúvel e 30,54 g (100 g)⁻¹ de fibra alimentar insolúvel.

Um produto sólido pronto para o consumo, para ser fonte de fibra, deve ter 3 g (100 g)⁻¹ de fibra alimentar total, já para ser considerado com alto teor de fibras, 6 g (100 g)⁻¹ (BRASIL, 2009). Mattos e Martins (2000) propuseram a seguinte classificação para o teor de fibras presente em 100 g de alimentos: muito alto (maior que 7 g); alto (4,5 a 6,9 g); moderado (2,4 a 4,4 g) e baixo (inferior a 2,4 g). Considerando esta classificação, a FBM pode ser considerada como alimento com elevado teor de fibras. Portanto, é interessante o uso desta farinha como fonte de fibras para enriquecimento de vários produtos alimentícios, justificando seu aproveitamento para formulação de produtos funcionais.

O consumo regular de fibras alimentares tem sido uma das mais constantes recomendações feitas por nutricionistas e órgãos oficiais. Estas vêm sendo reconhecidas como importantes componentes de dietas alimentares dos seres humanos (FIGUEROLA et al., 2005; KNUDSEN, 2001; NAWIRSK; KWASNIEWSKA, 2005; REHMAN; ZIA-UR; SHAH, 2004; SANGNARK; NOOMHORM, 2004). São vistas como substratos fermentativos e podem modificar a microflora e levar a uma redução ou modificação de agentes mutagênicos (THEBAUDIN et al., 1997) e modificar a passagem no intestino, diminuindo a taxa de absorção de glicose, lipídios e esteróis (GORINSTEIN et al., 2002). Além disso, as fibras possuem a capacidade de serem metabolizadas por bactérias, com a produção de flatulência (RODRÍGUEZ; MEGÍAS; BAENA, 2003). Na tabela 1.3 estão apresentadas algumas características físicas e tecnológicas da FM e da FBM.

Tabela 1.3. Atividade de água (Aw), índice de absorção de água (IAA), índice de solubilidade em água (ISA), índice de absorção de óleo (IAO) e parâmetros instrumentais de cor (L*, a* e b*) da fécula de mandioca (FM) e da farinha de bagaço de mandioca (FBM).¹

Propriedade	FM	FBM
Aw	0,516 ^a ± 0,00	0,387 ^b ± 0,00
IAA [g de gel (g de matéria seca) ⁻¹]	1,66 ^b ± 0,04	6,73 ^a ± 0,42
ISA g (100 g) ⁻¹	0,30 ^a ± 0,03	1,23 ^a ± 0,10
IAO [g de gel (g de matéria seca) ⁻¹]	12,41 ^a ± 1,12	0,59 ^b ± 0,20
L*	82,22 ^a ± 1,74	41,03 ^b ± 0,60
a*	2,37 ^b ± 0,14	7,01 ^a ± 0,64
b*	6,64 ^b ± 0,45	20,28 ^a ± 0,46

¹Médias seguidas pela mesma letra em cada linha não diferem estatisticamente pelo teste de F a 5% de probabilidade de erro. Valores expressos em médias seguidas pelos desvios-padrão

Houve diferenças entre a FM e a FBM ($p \leq 0,05$) em relação à Aw, IAA, L*, a* e b* e não houve em relação ao ISA ($p > 0,05$). O IAA, a* e b* foram maiores na FBM, enquanto que o IAO, L* e Aw foram maiores na FM.

A Aw das amostras foi inferior a 0,60, considerado limitante para a multiplicação microbiana (AZEREDO; BRITO; GARRUTI, 2004) e foram superiores a 0,30, condições susceptíveis à oxidação de lipídios. A Aw de um alimento, quando reduzida a um nível mínimo ($< 0,3$), não terá mais água disponível para o crescimento microbiano, porém, poderá acelerar o processo de oxidação de lipídios (FERREIRA NETO; FIGUEIREDO; QUEIROZ 2005). Quando a atividade de água é menor que 0,2, a oxidação é acelerada e quando a atividade de água é aumentada para 0,3, a oxidação é retardada. Assim, as amostras são consideradas, sob o ponto de vista microbiológico, estáveis e quando se reduz a Aw para

valores entre 0,30 e a 0,60, a vida-de-prateleira se prolonga, desde que o produto seja embalado de modo a manter a atividade de água constante durante todo o processo de armazenamento, impedindo, assim a oxidação e o desenvolvimento de micro-organismos deteriorantes e a consequente deterioração do produto (BARBUTI; PAROLARI, 2000; SARANTÓPULUS; OLIVEIRA; CANAVES, 2001).

O índice de absorção de água (IAA) está relacionado com a disponibilidade de grupos hidrofílicos (-OH) em se ligar às moléculas de água e a capacidade de formação de gel das moléculas de amido. Ao analisar o IAA na FBM, observou-se que não houve formação de gel, mas a ocorrência de um precipitado. A propriedade higroscópica das fibras possibilitou a absorção de água, pelo bagaço de mandioca, e as fibras ficaram decantadas e sedimentadas no precipitado (FONSECA FILHO et al., 1997).

Trombini (2010), analisando misturas de fécula, bagaço de mandioca e farelo de soja relatou variações de IAA de 2,35 a 2,92 g de gel (g de matéria seca)⁻¹, cujo o menor valor foi observado na mistura com maior porcentagem de fécula (70%). Leonel et al. (2006), em estudos com farinha pré-gelatinizada de inhame, encontraram valores de IAA de 3,03 g de gel (g de matéria seca)⁻¹ na farinha crua, valores superiores ao encontrado neste trabalho.

O índice de solubilidade em água (ISA) é um parâmetro que mede o grau de degradação total do grânulo de amido. Os valores de ISA da FM e da FBM foram semelhantes, provavelmente devido ao baixo teor de substâncias solúveis em água de suas composições (minerais e açúcares solúveis). Observa-se que a FBM apresentou teor de cinzas maior e o ISA da FM foi 4 vezes menor, apesar de não haver diferença significativa entre as amostras quanto ao ISA. Os valores de IAA e ISA encontrados por Barbosa et al. (2006) em FM foram de 1,70 g de gel (g de matéria seca)⁻¹ e 1,55 g (100 g)⁻¹, respectivamente. O valor de ISA neste trabalho foi menor ao obtido por estes autores provavelmente devido às características da cultivar de mandioca ou à granulometria das farinhas utilizadas nas análises.

Segundo Ravi e Suselamma (2005), o IAO consiste na capacidade de sítios apolares das cadeias das proteínas aprisionarem óleo. Desse modo, o conteúdo e tipo de proteína presente na farinha determinam a capacidade de absorção de óleo dos alimentos. No entanto, observa-se que apesar da FM possuir menor teor protéico, apresentou maior IAO em relação a FBM, provavelmente o elevado teor de fibras presentes na FBM impediram uma maior absorção do óleo nesta matéria-prima. Apesar do IAO da FM ser maior que o da FBM, ainda é um valor muito baixo quando comparado a concentrados protéicos como o de soja (226 a 254%) e de girassol (119 a 154%) (GLÓRIA; REGITANO D'ACRE, 2000).

O resultado de L^* obtido para a FM confirma a claridade da amostra, pois indica a tendência de coloração clara, tendendo ao branco, sendo os valores obtidos mais próximos de 100. Dias e Leonel (2006), analisando farinhas de mandioca de diversas classificações, observaram luminosidade variável de 78,43 a 92,8, croma a^* de - 6,33 a 4,10 e croma b^* de 6,33 a 38,77, valores semelhantes aos encontrados no presente estudo. A FBM apresentou o menor valor de luminosidade e maiores valores de coordenadas de cromaticidade a^* e b^* , indicando maior coloração escura, avermelhada e amarelada em relação a FM, devido aos maiores teores de cinzas e fibras presentes na FBM. Tendência observada em todas as farinhas integrais que possuem teores elevados destes componentes, pois os mesmos se acumulam nas camadas exteriores dos grãos, como por exemplo, no farelo de trigo, de milho e de arroz. Pois, quanto menor o grau de polimento destes grãos, menor a remoção das camadas periféricas, ocasionando maior escurecimento das farinhas (LAMBERTS et al., 2008). Rodrigues (2010), estudando biscoitos de polvilho enriquecidos com bagaço de mandioca, observou parâmetros de cor na FBM menos clara ($L^* = 28,7$), mais avermelhada ($a^* = 7,1$) e menos amarela ($b^* = 12,9$). Os resultados encontrados na FBM neste estudo assemelham-se parcialmente aos encontrados por Souza (2011), com 60,8 de luminosidade, 6,2 para o croma a^* e 20,4 para croma b^* .

5.1.4 Conclusão

É possível verificar que existem diferenças nutricionais e tecnológicas entre a fécula e a farinha de bagaço de mandioca. A farinha de bagaço de mandioca é rica nutricionalmente, com elevados teores de fibra alimentar total, solúvel e insolúvel e maiores teores de proteínas, cinzas e lipídeos e com propriedades tecnológicas desejáveis como maiores índices de absorção e solubilidade em água, além de possuir menor custo. A farinha de bagaço de mandioca é uma matéria-prima alternativa com características tecnológicas diferenciadas e sugere-se sua aplicação em alimentos tais como mingaus, sopas, cremes e alimentos infantis e, principalmente em alimentos *diet* ou *light*.

5.1.5 Agradecimentos

À Capes pelo apoio financeiro e bolsa de mestrado, à FAPEG pelo apoio financeiro, à fecularia FEBELA e à Universidade Estadual de Londrina pela parceria.

5.1.6 Referências

- A.A.C.C. American Association of Cereal Chemists. **Approved methods of the American Association of Cereal Chemists**. 10. ed. Saint Paul: AACCC Internacional, 2000.
- A.O.A.C. Association of Official Analytical Chemists (United States of America). **Official methods of analysis of AOAC International**. 16. ed. Gaithersburg: AOAC International, 1997.
- A.O.A.C. Association of Official Analytical Chemists (United States of America). **Official methods of analysis**. 15. ed. Washington D.C.: AOAC, 1990.
- ANDERSON, R. A.; CONWAY, H.F.; PFEIFER, V. F.; GRIF-FN, L. J. Gelatinization of corn grit by roll and extrusion cook. **Cereal Science Today**, Saint Paul, v. 14, n. 1, p. 4-11, 1969.
- AZEREDO, H. M. C.; BRITO, E. S.; GARRUTI, D. S. Alterações químicas durante a estocagem. In: **Fundamentos da estabilidade de alimentos**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2004, cap. 2, p. 37-64.
- BARBOSA, N. L.; GARCIA, L. V.; TOLOTTI, K. D.; GOELLNER, T.; AUGUSTO-RUIZ, W.; SANTO, M. E. Elaboração de embutido tipo mortadela com farinha de arroz. **Vetor**, Rio Grande, v. 16, p. 11-20, 2006.
- BARBUTI, S.; PAROLARI, G. Causes and prevention of dry-cured ham defects. In: II SYMPOSIUM INTERNACIONAL DEL JAMON CURADO. **Anais...** Barcelona, Espanha, 2000, p. 19-25.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Portaria nº 554**, de 30 de agosto de 1995. Especificações para a padronização e classificação da farinha de mandioca, destinada à comercialização no mercado interno. Diário Oficial da União, Brasília, DF. Disponível em <http://www.claspar.pr.gov.br/arquivos/File/pdf/farinhamandioca554_95.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2011.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Resolução nº. 18/99**. Alimentos com Alegações de Propriedades Funcionais e ou de Saúde, Novos Alimentos/Ingredientes, Substâncias Bioativas e Probióticos. IX - Lista de alegações de propriedade funcional aprovadas. Diário Oficial do Estado de São Paulo, 2009. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/18_99.htm>. Acesso em: 03 mar. 2011.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Resolução RDC nº. 263**, de 22 de setembro de 2005. Regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 23 set. 2005. Disponível em: <http://www.abima.com.br/dload/13_46_resol_263_05_leg_alim_nac.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2011.
- BURRELL, M. M. Starch: the need of improved quality or quantity – an overview. **Journal of Experimental Botany**, Swansea, v. 54, n. 382, p. 451-456, 2003.
- CAMARGO, K. F.; LEONEL, M.; MISCHAN M. M. Produção de biscoitos extrusados de polvilho azedo com fibras: efeito de parâmetros operacionais sobre as propriedades físicas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 3, p. 586-591, 2008.
- CEREDA, M. P. Caracterização de subprodutos da industrialização da mandioca. In: FUNDAÇÃO CARGIL. **Manejo, uso e tratamento de subprodutos da industrialização da mandioca**. 2001. v. 4. cap. 15, p. 13-37. (Série Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas).

CEREDA, M. P. **Caracterização, usos e tratamentos de resíduos da industrialização da mandioca**. Botucatu. Ed. Unesp, 1996. 56 p.

DIAS, L. T.; LEONEL, M. Caracterização físico-química de farinhas de mandioca de diferentes localidades do Brasil. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 4, p. 692-700, 2006.

FAO. Food and Agriculture Organization. **Prognóstico Agropecuário** - análise da conjuntura agropecuária safra 2010/11 – mandioca. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>> . Acesso em: 23 fev. 2011.

FERREIRA NETO, C. J.; FIGUEIREDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Avaliação sensorial e da atividade de água em farinhas de mandioca temperadas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 4, p. 794-802, 2005.

FIGUEROLA, F.; HURTADO, M. L.; ESTEVEZ, A. M.; CHIFELLE, I.; ASENJO, F. Fiber concentrates from apple pomace and citrus peel as potential fiber sources for food enrichment. **Food Chemistry**, Londres, v. 91, p. 395-401, 2005.

FONSECA FILHO, A.; ARAÚJO, W.; FALCIROLLI, D.; PILLA, N.; MARQUES, A. Avaliação da qualidade tecnológica de pães enriquecidos com farelo de trigo. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 8, n. 3 , p. 17-25, 1997.

FREITAS, T. S.; LEONEL, M. Amido resistente em fécula de mandioca extrusada sob diferentes condições operacionais. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 19, n. 2, p. 183-190, 2008.

GLORIA, M. M.; REGITANO-D'ARCE, M. A. B. Concentrado e isolado protéico de torta de castanha do pará: obtenção e caracterização química e funcional. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 20, n. 2, p. 240-245, 2000.

GORINSTEIN, S.; PAWELZIK, E.; DELGADO-LICON, E.; HARUENKIT, R.; WEISZ, M.; TRAKHTENBERG, S. Characterization of pseudocereal and cereal by protein and amino acid analyses. **Journal of Food Science and Agriculture**, Easton, v. 82, p. 886-891, 2002.

HASHIMOTO, J. M.; GROSSMAN, M. V. E. Effects of extrusion conditions on quality of cassava bran/cassava starch extrudates. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 38, n. 5, p. 511-517, 2003.

HUNTERLAB. **User's manual with universal software** versions 3.5. Reston, Hunterlab, 1998.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Prognóstico da produção agrícola nacional** – comparativo entre as safras de 2010/2011. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa_201101.pdf>. Acesso em: 23 fev. 2011.

KNUDSEN, K. E. B. The nutritional significance of “dietary fiber” analysis. **Animal Feed Science and Technology**, Chicago, v. 90, p. 3-20, 2001.

LAMBERTS, L.; ROMBOUTS, I.; BRIJS, K.; GEBRUERS, K.; DELCOUR, J. A. Impact of parboiling conditions on maillard precursors and indicators on long-rain rice cultivars. **Food Chemistry**, Londres, v. 110, n. 4, p. 916-922, 2008.

LEONEL, M. O. O farelo, subproduto da extração da fécula de mandioca. In: FUNDAÇÃO CARGIL. **Manejo, uso e tratamento de subprodutos da industrialização da mandioca**. 2001. v. 4, cap. 15, p. 211-216. (Série Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas).

- LEONEL, M.; CEREDA, M. P. Extração da fécula retida no resíduo fibroso do processo de produção de fécula de mandioca. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 20, n. 1, p. 122-127, 2000.
- LEONEL, M.; MISCHAN, M. M.; PINHO, S. Z.; IATAURO R. A.; DUARTE FILHO, J. Efeitos de parâmetros de extrusão nas propriedades físicas de produtos expandidos de inhame. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 2, p. 459-464, 2006.
- LOPES, E. A.; FRANCO, B. D. G. M. Influência do controle da etapa de molhagem dos grãos na qualidade microbiológica da farinha de trigo. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 17, n. 2, p. 209-218, 2006.
- MATTOS, L. L.; MARTINS, I. S. Consumo de fibras alimentares em população adulta. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 34, n. 1, p. 50-55, 2000.
- NAWIRSK, A.; KWASNIEWSKA, M. Dietary fiber fractions from fruit and vegetable processing waste. **Food Chemistry**, Londres, v. 91, p. 221-225, 2005.
- RAVI, R.; SUSELAMMA, N. S. Simultaneous optimization of a multy-response system by desirability function analysis of boondi making: A case study. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 70, p. S539-S547, 2005.
- REHMAN, ZIA-ur; SHAH, W.H. Domestic processing effects on some insoluble dietary fiber components of various food legumes. **Food Chemistry**, Londres, v. 87, p. 613-617, 2004.
- RODRIGUES, J. P. M. **Caracterização e análise sensorial de biscoitos de polvilho enriquecidos com farelo de mandioca**. 2010. 81 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010. Disponível em: <http://bdtd.ufg.br/tesesimplificado/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=1509>. Acesso em: 15 fev. 2011.
- RODRIGUEZ, M. B. S.; MEGIAS, S. M.; BAENA, B. M. Alimentos funcionales y nutrición óptima. **Revista Española de Salud Pública**, Madrid, v. 77, n. 3, p. 317-331, 2003.
- SAITO, I. M. **Produção de hidrolisados e fibras a partir de resíduo da industrialização da mandioca submetido a pré-tratamento hidrotérmico**. 2005. 97 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2005. Disponível em: <http://www.fca.unesp.br/pos_graduacao/Teses/PDFs/Arq0403.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2009.
- SAITO, I.; CABELO, C.; FUKUSHIMA, R. S. Caracterização das fibras do farelo de mandioca residual após tratamento hidrotérmico. **Raízes e Amidos Tropicais**, Botucatu, v.2, p. 1-11, 2006.
- SANGNARK, A.; NOOMHORM, A. Chemical, physical and baking properties of dietary fiber prepared from rice straw. **Food Research International**, Toronto, v. 37, p. 66-74, 2004.
- SARANTÓPOULOS, C. I. G. L.; OLIVEIRA, L. M.; CANAVES, E. Requisitos de conservação de alimentos em embalagens flexíveis. Campinas: CETEA/ITAL, 2001, 213 p.
- SAS. **The SAS System 6.11 for Windows** – Computer program manual, 2000. CD Room.
- SHITTU, T. A.; DIXON, A.; AWONORIN, S. O.; SANNI, L. O.; MAZIYA-DIXON, B. Bread from composite cassava–wheat flour. II: Effect of cassava genotype and nitrogen fertilizer on bread quality. **Food Research International**, Toronto, v. 41, n. 1, p. 569–578, 2008.

SOUZA, T. A. C. **Segurança microbiológica de resíduos sólidos de fecularia de mandioca e aplicação em bolos para a alimentação humana**. 2011. 87 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Escola de Agronomia e Engenharia de alimentos. Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011. Disponível em: <http://bdtd.ufg.br/tesesimplificado/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=1509>. Acesso em: 15 abr. 2011.

SRIROTH, K.; CHOLLAKUP, R.; CHOTINEERANAT, S.; PIYACHOMKWAN, K.; OATES, C. G. Processing of cassava waste for improved biomass utilization. **Bioresource Technology**, Londres, v.71, p. 63-69, 2000.

THEBAUDIN, J. Y.; LEFEBRE, A. C.; HARRINGTON, M.; BOURGEOIS, C. M. Dietary fibers: Nutritional and technological interest. **Trends in Food Science and Technology**, Cambridge, v. 8, p. 41-48, 1997.

TROMBINI, F. R. M. **Caracterização de produtos extrusados de misturas de farinha de soja, fécula e farelo de mandioca**. 2010. 100 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010. Disponível em: <http://www.fca.unesp.br/pos_graduacao/Teses/PDFs/Arq0444.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2009.

VIEIRA, J. C.; MONTENEGRO, F. M.; LOPEZ, A. S.; PENA, R. S. Influência da adição de fécula de mandioca nas características do pão tipo chá. **Boletim Ceppa**, Curitiba, v. 28, n. 1, p. 37-48, 2010.

5.2 EFEITO DO TEOR DE UMIDADE E DA TEMPERATURA DE EXTRUSÃO SOBRE A QUALIDADE DOS *SNACKS* OBTIDOS A PARTIR DA MISTURA DE FÉCULA DE MANDIOCA E FARINHA DE BAGAÇO DE MANDIOCA

Resumo

Mistura de fécula e farinha de bagaço de mandioca (70:30) foi processada em extrusor monorosca, para a produção de *snacks*. Foi empregada a metodologia de Superfície de Resposta para avaliar os efeitos da umidade [12 a 20 g (100 g)⁻¹] e da temperatura de extrusão (61,7 a 118,3 °C) nas características dos extrusados. A matéria prima foi caracterizada quanto a composição centesimal, valor energético e cor utilizando métodos oficiais. Nos *snacks* foram determinados o índice de expansão, volume específico, parâmetros instrumentais de cor (L*, a*, b*) e diferença de cor (ΔE^*) entre a farinha antes e após extrusão. Maiores valores de expansão, luminosidade L*, croma a* e croma b* foram encontrados em níveis intermediários de umidade e temperatura de extrusão, enquanto que nestas condições obtiveram-se os menores valores de volume específico e diferença de cor ΔE^* . Produtos claros, com elevada expansão e volume específico, foram obtidos em temperatura de extrusão de 90 °C, e umidade das misturas de 16 g (100 g)⁻¹. A mistura de fécula e farinha de bagaço de mandioca (70:30) pode ser utilizada na elaboração de *snacks* extrusados com apelo funcional, rico em fibras.

Palavras-chave: *Manihot esculenta* Craz, subprodutos, processamento, propriedades físicas.

5.2.1 Introdução

Devido à mandioca (*Manihot esculenta* Craz) apresentar uma série de vantagens em relação a outras culturas e ser um alimento de extrema importância para a população, principalmente de países tropicais, onde sua produção é mais elevada, sua industrialização vem ganhando destaque na economia, sendo utilizada como matéria-prima para diversos produtos, como a fécula e seus subsequentes (FREITAS; LEONEL, 2008).

O farelo, massa ou bagaço, é o resíduo sólido da etapa de extração da fécula de mandioca, caracterizado como material fibroso da raiz e contém parte do amido que não foi possível extrair no processamento (LEONEL; CEREDA, 1999). Apresenta 85% de umidade, que dificulta o transporte e armazenamento deste resíduo, composição média em base seca de 75% de amido e 16% de fibras (CEREDA, 2001) e tem se apresentado como um grande problema para os industriais, que doam ou vendem o resíduo a preços muito baixos a fazendeiros para a alimentação animal (LEONEL; CEREDA, 2000).

O elevado teor de umidade dificulta a industrialização do bagaço pelas fecularias, pois há grande possibilidade de contaminação do produto, proporcionando uma fermentação indesejada, além disso, o custo necessário para a secagem também dificulta a sua industrialização. Neste sentido, é necessária a aplicação de processos tecnológicos, como por exemplo, a secagem de forma simultânea à produção do resíduo. Porém, para que o emprego

da secagem se torne um processo interessante para os empresários, é necessário o desenvolvimento de alternativas para o emprego deste resíduo, destinando-o a alimentação humana.

A obtenção de um produto industrializado, com valor comercial, a partir da mandioca, pode ser condição prévia à exploração do potencial agroindustrial desta espécie. Estudos poderiam ser desenvolvidos objetivando a sua utilização na alimentação humana, dada a necessidade crescente de alimentos com qualidade nutritiva para atender a demanda populacional (ALVES; GROSSMANN, 2002).

Uma possível aplicação para a fécula e o bagaço de mandioca seria a sua utilização para a produção de *snacks*, aplicando-se a tecnologia de extrusão. Estes produtos apresentam um grande mercado consumidor e possibilitam a agregação de valor para farinhas de diferentes fontes. O desafio da indústria de alimentos é desenvolver produtos de conveniência, como cereais matinais e *snacks* de alto valor nutricional, usando matérias-primas alternativas para atender às necessidades da população. Os salgadinhos extrusados incluem uma variedade de produtos com diferentes formas, que tiveram seu consumo aumentado devido à praticidade, sendo consumidos principalmente entre as refeições. A nova geração de salgadinhos extrusados tenta promover uma imagem de saúde com baixo teor de gordura e alto teor de fibras (CEREDA; VILPOUX; FRANCO, 2003). A produção de salgadinhos no Brasil está ganhando importância e o seu potencial de crescimento no mercado é promissor (LIMBERGER, 2008).

O objetivo deste trabalho foi estudar os efeitos da umidade da matéria-prima e da temperatura de extrusão sobre a qualidade dos extrusados de mistura de fécula e farinha de bagaço de mandioca (70:30), visando a produção de *snacks* expandidos.

5.2.2 Materiais e Métodos

Amostras de fécula de mandioca (FM) e bagaço de mandioca (BM) provenientes da cultivar IAC-12, da safra 2009, foram doadas pela Fecularia Bela Vista - Febela Ltda., localizada no município de Bela Vista de Goiás – GO. Amostras de bagaço de mandioca (BM) foram coletadas na entrada do silo de armazenamento e desidratadas em estufa (TECNAL, TE 394/3, Piracicaba, Brasil), com circulação de ar a 55 °C, por 24 h, e trituradas em moinho de rotor, com peneira de 30 *mesh*, obtendo-se a farinha de bagaço de mandioca (FBM).

Para o experimento da extrusão utilizou-se uma mistura (70:30) de fécula e farinha de bagaço de mandioca (MFBM), obtida em misturador homogeneizador tipo Y, (TECNAL, TE 201/05, Piracicaba, Brasil), durante 15 min.

A MFBM foi acondicionada, quanto aos diferentes níveis de umidade, conforme os valores estipulados no planejamento experimental. A quantidade de água a ser adicionada às amostras foi calculada considerando-se a quantidade de mistura a ser extrusada e a sua umidade inicial.

O processo de extrusão termoplástica foi realizado em extrusora (Imbramaq, PQ 30, Ribeirão Preto, Brasil), com motor de 10 HP, acoplado a um redutor de velocidade, com sistema de extrusão através de fricção mecânica, com rosca simples, sistema de refrigeração com água gelada para controle de temperatura na camisa de extrusão, velocidade da rosca variável e capacidade de produção de 45 kg h⁻¹. Os parâmetros de processamento foram divididos em parâmetros fixos e variáveis. Os parâmetros fixos foram: taxa de compressão da rosca de 3:1; taxa de alimentação de 350 g min⁻¹; abertura da matriz circular de 4 mm de diâmetro; temperatura na primeira e segunda seção de aquecimento do extrusor de 57 e 50 °C, respectivamente; rotação da rosca de 250 rpm. Os parâmetros variáveis foram: temperatura da terceira seção de aquecimento do extrusor e teor de umidade das misturas. Os valores codificados e reais das variáveis independentes estão apresentados na Tabela 2.1.

Tabela 2.1. Níveis codificados e reais de temperatura (T) e umidade (U) utilizadas no ensaio de extrusão

Variável Independente	Níveis Codificados e Reais				
	$-\alpha = -1,41$	-1	0	1	$+\alpha = 1,41$
T (°C)	61,72	70	90	110	118,28
U [g (100 g) ⁻¹]	12	13,16	16	18,84	20

A amostra de mistura de FM e FBM (70:30) crua foi avaliada quanto à umidade, cinzas e fibra alimentar total solúvel e insolúvel pelos métodos n^{os}. 925.09, 923.03 e 985.29, respectivamente (AOAC, 1997); proteínas pelo método no. 960.52 (AOAC, 1990) com fator de conversão de nitrogênio e proteína de 6,25 e lipídeos pelo método no. 920.39C (AACC, 2000). O teor de carboidratos foi calculado pelo método de diferença, subtraindo-se de cem os valores de umidade, cinzas, proteínas e lipídeos. O valor energético total foi estimado seguindo os valores de conversão de Atwater, no qual se multiplicou o conteúdo de carboidratos (menos o teor de fibra alimentar insolúvel) e proteína por 4 kcal g⁻¹ e o de lipídeos por 9 kcal g⁻¹. Todos os valores foram expressos em base seca e as análises foram realizadas em triplicata.

A determinação da cor dos extrusados foi realizada em colorímetro Color Quest (XE, Reston, EUA) com sistema CIEL L^* , a^* , b^* , onde os valores de L^* (luminosidade ou brilho) variam do preto (0) ao branco (100), os valores de a^* variam do verde (-60) ao vermelho (+60) e os valores de b^* variam do azul (-60) ao amarelo (+60). Também foi obtida a diferença de cor (ΔE^*) entre a farinha crua (FC) e FPG (HUNTERLAB, 1998). Para tal, foi utilizada a equação 2.1. As análises foram realizadas em triplicatas. Os parâmetros instrumentais de cor foram também determinados para a mistura (70:30) de FM e FBM.

$$\Delta E^* = (\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})^{1/2} \quad (\text{Equação 2.1})$$

No qual,

$\Delta L^* = L_o$ (luminosidade FC) - L_e (luminosidade FPG);

$\Delta a^* = a_o$ (valor de a^* da FC) - a_e (valor de a^* da FPG);

$\Delta b^* = b_o$ (valor de b^* da FC) - b_e (valor de b^* da FPG).

O índice de expansão (IE) foi obtido logo após a extrusão e calculado através da razão entre o diâmetro dos extrusados e o diâmetro do orifício de saída da extrusora (FAUBION; HOSENEY, 1982). Para a medida do diâmetro dos extrusados foi utilizado um paquímetro (Tramontina, 43175/301, Belém, Brasil) e o valor considerado foi obtido pela média aritmética de 10 medidas aleatórias. O volume específico dos extrusados foi determinado por deslocamento de sementes de painço (LEONEL et al., 2006). O valor considerado foi obtido pela média aritmética de 16 medidas aleatórias.

Utilizou-se metodologia de superfície de resposta e delineamento rotacional central composto, com quatro pontos fatoriais, quatro axiais e quatro repetições no ponto central, totalizando doze experimentos (BOX; HUNTER; HUNTER, 1978). Os dados foram avaliados por meio de análise de variância com elaboração de modelos de regressão múltipla e construção de gráficos de superfície de resposta e curvas de nível para visualização do efeito das variáveis independentes sobre as variáveis dependentes.

Com os modelos matemáticos obtidos para as características dos *snacks* (índice de expansão, volume específico, luminosidade, croma b^* e diferença de cor ΔE^*), gerados no planejamento experimental e com o auxílio da função “response desirability profiling”, do programa Statistica 7.0 (STATSOFT, 2007), realizou-se o cálculo para escolha das melhores condições de extrusão, baseado nas variáveis independentes utilizadas (umidade das misturas e temperatura de extrusão), obtendo-se como desejável a formulação com máxima expansão,

volume específico intermediário, máxima luminosidade (L^*) e croma b^* e menor diferença de cor (ΔE).

5.2.3 Resultados e Discussões

Composição centesimal, valor energético e cor

A composição centesimal (b.s.), o valor energético total e os parâmetros instrumentais de cor da mistura (70:30) de fécula e farinha de bagaço de mandioca (MFBM) estão apresentados na Tabela 2.2.

Tabela 2.2. Umidade, cinzas, lipídeos, proteína, fibra alimentar total, solúvel e insolúvel e carboidratos (b.s.) e valor energético total e parâmetros instrumentais de cor da mistura (70:30) de fécula e farinha de bagaço de mandioca (MFBM)

Característica	MFBM ¹
Umidade ²	12,41 ± 0,22
Cinzas ²	0,71 ± 0,04
Lipídeos ²	1,87 ± 0,01
Proteína ²	0,60 ± 0,02
Fibra Alimentar Total ²	23,5 ± 2,43
Fibra Alimentar Solúvel ²	5,25 ± 0,82
Fibra Alimentar Insolúvel ²	18,25 ± 1,53
Carboidratos ²	83,81 ± 0,55
Valor energético total ³	286,87 ± 1,33
L^*	56,23 ± 0,55
a^*	3,32 ± 0,55
b^*	14,30 ± 0,55

¹Valores expressos em médias seguidas pelos desvios-padrão

² g (100 g)⁻¹

³ kcal (100 g)⁻¹

Foi observado que a umidade e o teor de cinzas da MFBM esteve abaixo dos limites máximos exigidos pela legislação de 15 g (100 g)⁻¹ e 2,0 g (100 g)⁻¹, respectivamente (BRASIL, 2005). Valores maiores de cinzas podem indicar fraudes, como adição de areia ou processamento inadequado, com lavagem e descascamento incompletos (DIAS; LEONEL, 2006). Considerando-se que um produto sólido pronto para o consumo para ser fonte de fibra, deve ter como atributo a proporção de 3 g (100 g)⁻¹ de fibra, já para ser considerado com alto teor de fibras, 6 g (100 g)⁻¹, pode-se dizer que a MFBM possui elevado teor deste componente (BRASIL, 2009). Entre as fibras ocorreu predominância da fibra alimentar insolúvel, mas a sua fração solúvel também foi expressiva (Tabela 2.2). Os teores de proteína e lipídeos foram baixos

devido ao pequeno teor destes componentes observados na fécula de mandioca e na farinha de bagaço de mandioca 0,14 e 1,97 g (100 g)⁻¹ para proteína e 1,56 e 2,35 g (100 g)⁻¹ para lipídeos respectivamente. A MFBM pode ser empregada na formulação de alimentos com baixo valor energético total e altos teores de fibra alimentar total, como os alimentos *light* e *diet*.

Trombini (2010), caracterizando misturas de farinha de soja (10 a 30%), fécula (50 a 70%) e bagaço de mandioca (10 a 30%) para a elaboração de farinhas pré-gelatinizadas encontrou valores de 4,18 a 8,37 g (100 g)⁻¹ para fibra alimentar total, 2,28 a 6,52 para lipídeos, 12,55 a 5,5 para proteína, valores inferiores de fibra alimentar total e superiores de lipídeos e proteína aos encontrados no presente estudo. A adição de farinha de soja nas misturas realizadas no estudo citado elevou os teores de proteína e lipídeos e provavelmente o teor de fibra alimentar total do bagaço de mandioca utilizado foi menor.

A MFBM apresentou luminosidade intermediária, considerando-se escala de 0 a 100, e tom amarelado e pequena influência do espectro vermelho, próximo a neutralidade, devido a inexistência de pigmentos vermelhos e presença de pigmentos amarelos nas matérias primas, provavelmente devido aos teores de cinzas e fibras presentes na FBM.

Alguns estudos também relatam que a utilização de farinhas e farelos alternativos ricos em fibras torna os produtos alimentícios mais escuros que os tradicionais (LACERDA et al., 2009; SAYDELLES et al., 2010; SOARES JÚNIOR et al., 2009).

Trombini (2010) obteve ainda valores de luminosidade variando entre 87,5 a 91, croma a* de 0,03 a 0,89 e croma b* de 9,7 a 12,6. Valores diferentes dos reportados no presente estudo, mais claros, menos avermelhados e amarelados, provavelmente devido ao menor teor de fibras e cinzas do bagaço de mandioca utilizado em seu estudo.

Propriedades de extrusão e cor dos snacks

No anexo A1, estão apresentados os resultados obtidos de índice de expansão (IE) e volume específico (VE), luminosidade (L*), coordenadas de cromaticidade (a* e b*) e diferença de cor (ΔE^*) em função dos níveis codificados e os valores reais de umidade da mistura e de temperatura de extrusão. A partir dos dados obtidos na caracterização dos *snacks* foram elaborados modelos matemáticos de regressão que expressam a relação entre as condições codificadas de processamento empregadas em cada experimento e os valores obtidos para o índice de expansão, volume específico e parâmetros instrumentais de cor. Os modelos de regressão ajustados e os coeficientes de determinação (R^2) para as características dos *snacks*, em função do teor de umidade e da temperatura de extrusão, estão apresentados

na Tabela 2.3. Os modelos completos e alguns parâmetros da Anova estão nos Anexos A2 e A3.

Todos os modelos ajustados foram significativos ($p \leq 0,05$), com coeficientes de determinação explicando entre 77,3 a 95,80% das respostas. Somente foi significativo ($p \leq 0,05$) o efeito linear da temperatura de extrusão (x_1) para o IE. O efeito linear da umidade (x_2) foi significativo ($p \leq 0,05$) para os modelos de IE, luminosidade L^* e diferença de cor ΔE^* , e não foi significativo para o VE, croma a^* e b^* . O efeito quadrático da temperatura foi significativo para todos os modelos, exceto para o VE. O efeito quadrático da umidade somente foi significativo ($p \leq 0,05$) para os parâmetros instrumentais de cor (L^* , a^* , b^* e ΔE^*). O efeito da interação da temperatura com o teor de umidade foi significativo ($p \leq 0,05$) para a luminosidade L^* , croma a^* e diferença de cor ΔE^* . Apesar de não significativos ($p > 0,05$), o efeito linear da umidade (x_2) foi mantido no modelo de croma a^* ($p=0,13$) e VE ($p=0,055$); e efeito quadrático da umidade no IE ($p=0,06$) e VE ($p=0,07$). O efeito linear da temperatura (x_1) apesar de também não significativo foi mantido nos modelos de croma b^* ($p=0,13$), luminosidade L^* ($p=0,108$), diferença de cor ΔE^* ($p=0,104$) e IE ($p=0,26$) e o efeito quadrático da temperatura no modelo para o VE ($p=0,09$). O efeito da interação da temperatura com o teor de umidade apesar de não significativo foi mantido nos modelos de b^* ($p=0,35$) e VE ($p=0,09$). Os efeitos não significativos foram mantidos, pois melhoraram o ajuste dos modelos, ou seja, estes modelos apresentaram os melhores coeficientes de determinação ajustados.

Tabela 2.3. Modelos de regressão múltipla ajustado e coeficiente de determinação (R^2) para índice de expansão (IE), volume específico (VE) e parâmetros instrumentais de cor (L^* , a^* , b^* , c^* e ΔE^*) dos *snacks* constituídos de mistura de fécula e farinha de bagaço de mandioca em função dos níveis codificados de temperatura de extrusão (x_1) e da umidade (x_2).

Componente	Modelo*	R^2
IE	$y_1 = 1,905 - 0,07x_1 - 0,26x_2 - 0,23x_1^2 - 0,15x_2^2$	0,824
VE	$y_2 = 7,029 + 1,59x_1 - 1,23x_2 + 1,17x_1^2 - 1,43x_1x_2 + 1,28x_2^2$	0,813
L^*	$y = 45,189 + 1,37x_1 - 2,00x_2 - 3,00x_1^2 + 4,67x_1x_2 - 8,25x_2^2$	0,958
a^*	$y = 7,497 + 0,23x_2 - 0,77x_1^2 + 0,60x_1x_2 - 1,53x_2^2$	0,946
b^*	$y = 17,835 + 0,29x_1 - 0,50x_1^2 - 0,24x_1x_2 - 0,79x_2^2$	0,773
ΔE^*	$y = 12,391 - 1,31x_1 + 2,01x_2 + 2,54x_1^2 - 4,60x_1x_2 + 7,60x_2^2$	0,957

* Efeitos em itálico não foram significativos, porém foram mantidos para melhoria do ajuste do modelo

Os produtos extrusados geralmente são expandidos, pois a alta pressão existente próxima à descarga da matriz normalmente é reduzida quando o produto sai do extrusor, ocasionando a evaporação instantânea da água e a expansão do produto. O índice de expansão (IE) provavelmente é a característica física mais importante de produtos extrusados (ASCHERI; ASCHERI; CARVALHO, 2006). Pelo VE, assim como o IE, busca-se descrever, de forma indireta, o grau de "transformação" do grânulo de amido e as variações de massa e volume que sofreu a massa amilácea ao sair do extrusor (CARVALHO; ASCHERI; CAL-VIDAL, 2002). Os gráficos de superfície de resposta e curvas de nível elaborados a partir do modelo ajustado para o IE está apresentado na Figura 2.1.

O máximo valor de IE (2,0) foi determinado quando a amostra foi extrusada com menores teores de umidade [até 15,92 g (100 g)⁻¹] e temperatura intermediária (72,44 a 102,68 °C). Por outro lado, os menores valores de IE (abaixo de 1,0) foram obtidos em condições de maior umidade [acima de 18,84 g (100 g)⁻¹] e de temperatura acima de 110 °C. Segundo Ding et al. (2005), o aumento da quantidade de água, durante a extrusão, pode mudar a estrutura molecular da amilopectina do material, agindo como um plastificante para materiais amiláceos, reduzindo a viscosidade e a dissipação da energia mecânica na extrusora e o produto fica mais denso e o crescimento de bolhas é comprimido, diminuindo assim a sua expansão.

Vários trabalhos têm demonstrado que o IE decresce significativamente com o incremento do teor de umidade. Estas evidências foram constatadas por Clerice e El-Dash (2008), extrusando farinha de arroz e por Chang e El-Dash (2003), extrusando fécula de mandioca. Esse fenômeno acontece pela relação que ocorre entre a quantidade de água e a força do gel formado durante a extrusão. Em amostras extrusadas com alto teor de umidade, o gel tende a ser mais elástico, formando uma matriz de pequenas células uniformes. No caso de baixa umidade, o *snack* apresentará células maiores e pouco uniformes, pois o gel formado é pouco elástico (MILLER, 1985). Borba, Sarmiento e Leonel (2005), avaliando o efeito de parâmetros operacionais na extrusão de farinha de batata doce, obtiveram IE de 1,9 a 2,6, sendo que nas condições de baixa umidade (15%) foram obtidos os maiores IE, assim como neste estudo.

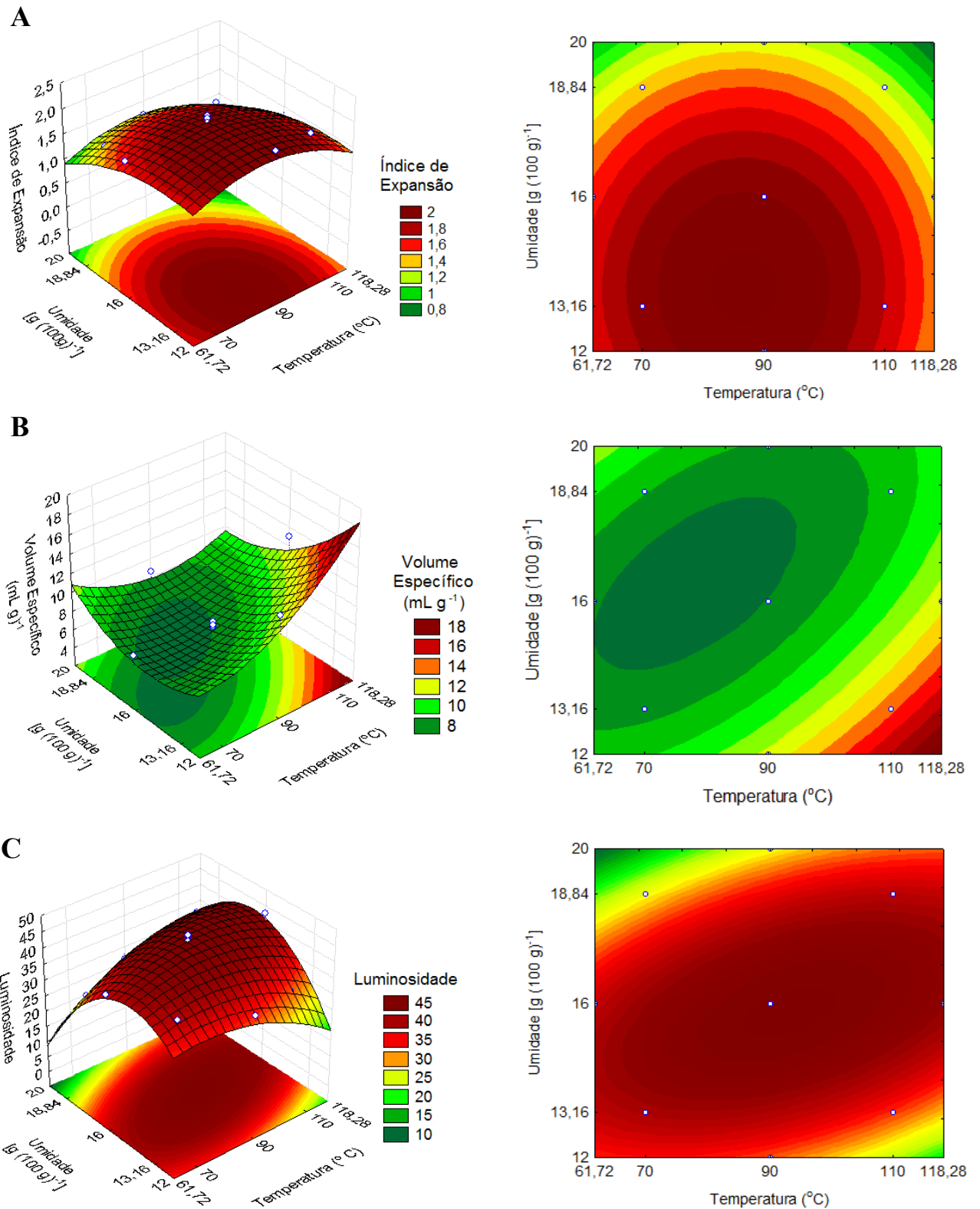


Figura 2.1. A- Índice de expansão (IE), B - volume específico (VE) e C - Luminosidade dos *snacks* constituídos da mistura de fécula e farinha de bagaço de mandioca (70:30) em função da umidade [g (100 g)⁻¹] e da temperatura de extrusão (°C)

Observa-se uma tendência a diminuição do IE com o aumento do teor de umidade, independente da temperatura. Segundo Mercier, Linko e Harper (1998), em temperaturas baixas de extrusão, a expansão diminui porque o amido não é completamente fundido. E o grau de expansão radial é proporcional à temperatura até certo valor, para depois decrescer em temperaturas elevadas. A diminuição da expansão a temperaturas muito altas é atribuída ao aumento da dextrinização e enfraquecimento da estrutura.

Os IEs dos extrusados foram inferiores aos valores reportados Leonel et al. (2006) para extrusados de inhame, produto semelhante à mandioca, cujos valores variaram de 1,94 a 3,94, utilizando matriz de 3 mm de diâmetro, umidades semelhantes às utilizadas no presente trabalho (12 a 18%) e temperaturas de 100 a 130 °C, justificando os maiores valores de IE. O alto teor de fibra presente na FBM pode ter exercido influência na expansão dos extrusados. Segundo Lue, Hsieh e Huff (1991), a presença de fibras podem romper as paredes das bolhas de ar impedindo a sua máxima expansão. Guy (1985) sugere que o bagaço de mandioca interfere na expansão das bolhas de ar através da redução da extensibilidade das paredes celulares, que causa a ruptura prematura destas, o que está relacionado ao tamanho das partículas do bagaço. Ou seja, quanto maior o teor de fibras, menor o índice de expansão dos extrusados.

Hashimoto e Grossmann (2003), analisando o efeito das condições de extrusão sobre a qualidade de extrusados, de misturas de bagaço (10 a 50%) e de fécula de mandioca (50 a 90%), utilizando matriz de 4 mm de diâmetro, temperaturas entre 150 e 200 °C e teor de umidade com variações de 16 a 20%; obtiveram IE, variando de 1,6 a 3,2, valores maiores que os obtidos neste experimento. Leonel, Souza e Mischán (2010), em estudos com extrusados de FM e fibra de laranja (90:10), com temperaturas entre 40 e 90 °C, teores de umidade de 12,5 a 19,5; obtiveram resultados de IE variando de 1,93 a 2,99, cujos maiores valores foram observados em condições de temperatura de extrusão e teor umidade intermediários.

Mendonça, Grossmann e Verbé (2000), avaliando o uso de farelo de trigo como fonte de fibra em produtos extrusados expandidos, observaram efeito significativo da temperatura, umidade e porcentagem de farelo, sendo que o aumento da porcentagem de farelo levou a uma redução na expansão radial dos produtos (índice de expansão), os quais variaram de 1,2 a 2,8, faixa que inclui os valores encontrados no presente estudo.

Observa-se na Figura 2.1B, que os maiores valor de volume específico (VE), acima de 14 mL g⁻¹, foram obtidos quando a amostra foi extrusada com menores teores de umidade [abaixo de 15,02 g (100 g)⁻¹] e temperatura elevada (acima de 97,54 °C). Como foi

demonstrado por outros autores, que utilizaram diferentes matérias-primas (CHINNASWAMY; HANNA, 1988; MENDONÇA; GROSSMANN; VERBÉ, 2000; SOARES JÚNIOR et al., 1999) as temperaturas mais elevadas promoveram um maior grau de gelatinização da fração amilácea, diminuindo o VE dos produtos. Segundo Hashimoto e Grossman (2003), embora as temperaturas mais elevadas e umidades mais baixas causem menores IE, como foi constatado no presente estudo, os maiores VEs encontrados nestas condições, podem ser ocasionados por uma maior expansão axial, devido a adição do bagaço de mandioca, resultando em extrusados mais longos, porém mais finos. O VE é uma medida de expansão volumétrica, ou seja, a soma das expansões radial e axial. De acordo com Liang et al. (1994), o aumento do VE pode ser explicado pela maior expansão em ambas as direções axial e radial. Launay e Lisch (1983) relatam que o fenômeno da expansão é basicamente dependente das propriedades viscoelásticas da massa derretida. Quanto a temperatura aumenta, a viscosidade do fundido é reduzida e a expansão axial também aumenta.

Por outro lado, o menores valores de VE (abaixo de 8 mL g^{-1}), foram encontrados em condições intermediárias de teor de umidade, de 14,26 a 18,49 g $(100 \text{ g})^{-1}$ e temperaturas abaixo de $93,77 \text{ }^\circ\text{C}$. Pois com a diminuição da temperatura a gelatinização do amido é reduzida e o crescimento das bolhas é comprimido, resultando em um produto final mais denso e de baixa crocância (DING et al., 2005).

Hashimoto e Grossman (2003), em estudo com misturas de bagaço e FM extrusados, observaram que o VE dos extrusados aumentou quando o conteúdo de umidade foi mantido entre 16 e 18 g $(100 \text{ g})^{-1}$ e temperaturas de extrusão entre 177 e $200 \text{ }^\circ\text{C}$.

Os valores de VE variaram de 1,87 a $8,44 \text{ mL g}^{-1}$ em extrusados de FM e fibra de laranja (90:10) e observou-se que *snacks* com maior VE foram extrusados nas condições de baixa umidade e elevada temperatura de extrusão (LEONEL; SOUZA; MISCHAN, 2010), valores abaixo dos valores obtidos neste trabalho, mas com tendências dos efeitos de umidade e temperatura de extrusão semelhantes.

Em estudos com salgadinhos de polvilho azedo e bagaço de mandioca desidratado (CAMARGO; LEONEL; MISCHAN, 2008), o VE dos produtos extrusados com diferentes proporções de bagaço (0,5 a 7,5%) variou de 1,5 a $5,6 \text{ mL g}^{-1}$, sendo estes resultados inferiores aos encontrados no presente estudo, pois, segundo estes autores, altos teores de fibras aliados a teores de umidade de até 18 g $(100 \text{ g})^{-1}$, reduzem o VE dos produtos extrusados. Entretanto, no presente estudo, utilizou-se quantidade muito maior de FBM (30%) e umidades levemente superiores [até 20 g $(100 \text{ g})^{-1}$] e ainda assim, foram obtidos valores

superiores de VE, provavelmente devido a maior expansão axial ocasionada devido a adição da FBM, resultando em *snacks* mais longos, conforme discutido anteriormente.

A cor é uma qualidade sensorial importante dos produtos alimentícios. Existem algumas reações que ocorrem durante a extrusão que afetam a cor. Dentre elas, as mais comuns são as reações de escurecimento não-enzimático (reação de Maillard e caramelização) e a degradação de pigmentos. As condições de processamento utilizadas na extrusão (alta temperatura e baixa umidade) favorecem a reação entre açúcares redutores e aminoácidos, o que resulta na formação de compostos coloridos e na redução do aminoácido lisina. Se o escurecimento é intenso, cores e sabores indesejáveis podem aparecer. Assim, mudanças de cor durante o processo de extrusão podem ser um indicador para avaliar a intensidade do processo em relação às mudanças químicas e nutricionais (ILO; BERGHOFER, 1999).

Os valores de luminosidade dos *snacks* obtidos após a extrusão (Figura 2.1C) foram menores quando comparados com a luminosidade da mistura de fécula e farinha de bagaço de mandioca crua (Tabela 2.2), ou seja, o *snack* tornou-se mais escuro que sua matéria-prima. O escurecimento conforme a intensidade, pode comprometer a aceitação dos produtos extrusados obtidos (BORBA; SARMENTO; LEONEL, 2005).

Observou-se que em condições mais drásticas de processamento, ou seja, temperatura acima de 108,85 °C e umidade máxima de 12,6 g (100 g)⁻¹, os valores de L* foram baixos (até 22). Esses mesmos valores também foram encontrados em umidades acima de 18,19 g (100 g)⁻¹ e temperatura de extrusão até 82,46 °C. No entanto, com umidade e temperatura em níveis intermediários 14,42 a 16,68 g (100 g)⁻¹ e 80,57 a 108,85 °C, respectivamente, ocorreu menor escurecimento dos *snacks*, ou seja, obtêve-se a maior L* (45), representada no gráfico de superfície pela concavidade para baixo, que indica um ponto de máximo valor deste componente (Figura 2.1C). Segundo Badrie e Mellowes (1991), níveis intermediários de umidade e temperatura resultaram em produtos mais claros, e com o aumento da umidade reduz-se o tempo de residência, proporcionando menor escurecimento não enzimático dos produtos extrusados. Os gráficos de curvas de nível e de superfície de resposta elaborados a partir dos modelos ajustados para cor a* e b* e diferença de cor (ΔE^*) dos *snacks* estão apresentados na Figura 2.2.

Houve aumento de a* após a extrusão, pois o valor de a* da mistura de fécula e farinha de bagaço de mandioca crua foi menor (Tabela 2.1), mostrando que o processo de extrusão intensifica levemente cor vermelha dos *snacks*.

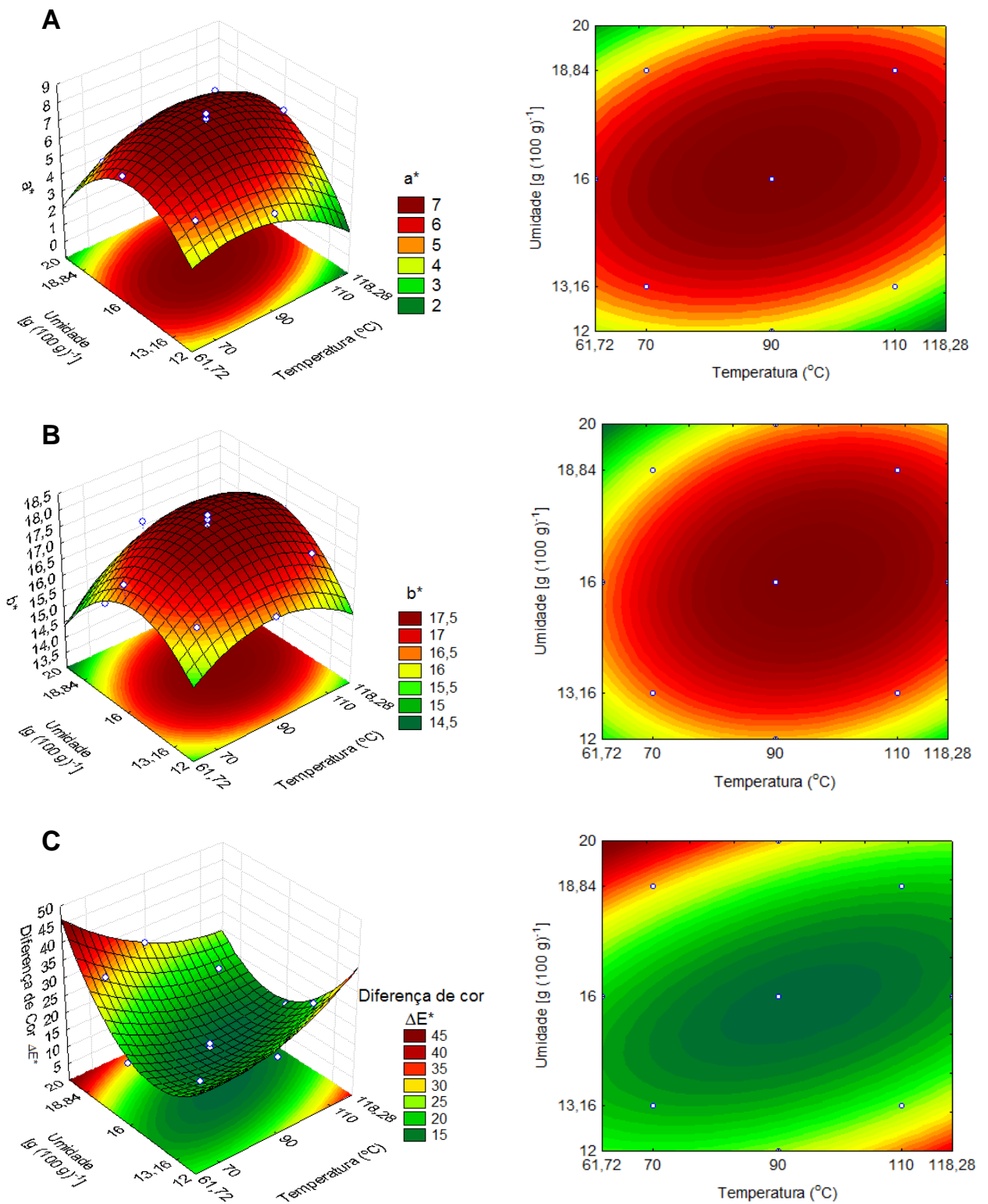


Figura 2.2. A) Coordenada de cromaticidade a^* . B) Coordenada de cromaticidade b^* . C) Diferença de cor ΔE^* dos *snacks* constituídos da mistura de fécula e farinha de bagaço de mandioca (70:30) em função da umidade [g (100 g)^{-1}] e da temperatura de extrusão ($^{\circ}\text{C}$).

O máximo valor de a^* (7) das misturas de fécula e farinha de bagaço de mandioca extrusados foi obtido entre 15,13 e 17,74 g (100 g)⁻¹ de umidade e 80,57 a 101,52 °C de temperatura. Foi observado que depois dos *snacks* alcançarem um máximo de a^* , este valor decresceu após 101,52 °C e 17,74 g (100 g)⁻¹ de umidade (Figura 2.2A). Ou seja, nas condições intermediárias de umidade e de temperatura de extrusão, ocorreram os maiores valores para o croma a^* .

A coordenada b^* , representa a variação de cor entre o azul (-60) e o amarelo (+60). Houve pequena variação entre os *snacks* para este componente de cromaticidade, contudo, todas as amostras mostraram presença de pigmentos amarelos, tendo ocorrido um aumento deste parâmetro quando comparado ao observado na farinha antes da extrusão (Tabela 2.2). O máximo valor de b^* (17,5) dos *snacks* foi obtido entre 14,94 e 17,22 g (100 g)⁻¹ de umidade e 85,81 – 107,81 °C de temperatura. Observou-se também que depois dos *snacks* alcançarem um máximo valor de b^* , ocorreu um decréscimo após 107,81 °C e 17,22 g (100 g)⁻¹ de umidade, diminuindo ligeiramente a intensidade do amarelo (Figura 2.2B).

A diferença de cor refletiu a influência das variáveis de extrusão nas características de cor das farinhas em relação ao seu aspecto antes do processamento. Observou-se que ocorreu diminuição da diferença de cor ΔE^* com teores de umidade e temperatura de extrusão intermediários. O menor ΔE^* (15) entre as misturas de fécula e farinha de bagaço de mandioca antes e após a extrusão foi encontrado entre 15,02 a 16,09 g (100 g)⁻¹ de umidade e temperaturas intermediárias 81,62 a 106,76 °C, provavelmente estes níveis de temperatura e umidade não favoreceram a ocorrência de reações de escurecimento não enzimático. Após 16,09 g (100 g)⁻¹ de umidade e 106,76 °C de temperatura, o valor de ΔE^* aumentou provavelmente porque se intensificam a velocidade de formação de polímeros com estrutura variável, como os caramelos.

Durante a caramelização, a termólise provoca desidratação e geração de ligações duplas com formação de anéis e compostos lábeis que se condensam e formam polímeros que dão a cor e o aroma de caramelo (OETTERER, 2006). Temperaturas inferiores a 75 °C e umidades abaixo de 15,02 g (100 g)⁻¹ não favoreceram a reação de caramelização e de Maillard, pois a cor mais escura adquirida pelos produtos extrusados pode ser consequência da caramelização ou da reação de Maillard (GUTKOSKI; EL-DASH, 1999), principalmente em materiais que apresentam teores relativamente altos de amido, como é o caso da fécula de mandioca. Este comportamento também foi parcialmente observado por SEBIO (1996), ao

extrusar farinha de inhame, verificando que a diferença de cor cresce à medida que a temperatura de processo se eleva. Os menores valores de ΔE^* ocorreram quando a temperatura e a rotação estavam em seus níveis mais baixos.

Gutkoski e El-Dash (1999), estudando produtos extrusados de aveia com umidade variando de 17 a 24 g (100 g)⁻¹, temperatura de extrusão de 90 a 150 °C e rotação constante de 100 rpm, verificaram que a luminosidade diminuiu linearmente com o aumento da umidade e com o aumento da temperatura de extrusão, tendências diferentes da observada neste trabalho.

Souza, Leonel e Mischon (2007) verificaram os efeitos de parâmetros de extrusão sobre a cor de produtos à base de fécula de mandioca e fibra de laranja (90:10) e observaram produtos mais claros (L^* entre 70,05 e 77,29) sob condições de maiores teores de umidade [22 g (100 g)⁻¹] e temperatura de 95 °C. As condições de processamento foram semelhantes as utilizadas no presente estudo, no entanto, os valores de luminosidade foram superiores, provavelmente devido a menor quantidade de fécula de mandioca e maior quantidade de material fibroso utilizada no presente estudo (70:30).

Leoro (2007) avaliando o efeito da umidade [18 a 28 g (100 g)⁻¹] e da temperatura de extrusão (120 a 160 °C) na cor de cereal matinal elaborado a partir de farinha de milho (70 a 100%) e farelo de maracujá comercial (0 a 30%), observou L^* variando entre 44,15 e 68,26, valores maiores que os obtidos neste trabalho, sendo que o aumento da temperatura na área com maior teor de umidade produziu *snacks* mais claros, comportamento semelhante ao ocorrido no presente estudo.

Borba, Sarmiento e Leonel (2005) avaliaram o efeito de parâmetros operacionais na extrusão de farinha de batata-doce e observaram o aumento do componente L^* com o aumento da umidade até 20 a 21 g (100 g)⁻¹, com temperatura de até 120 °C e rotação de 210 rpm. Os valores de L^* observados foram superiores aos reportados no presente estudo, variando entre 81 a 88 nas farinhas extrusadas. Os valores de croma a^* foram inferiores e variaram entre -1,9 a 4,6 e foram menores em relação ao croma b^* (17,5 a 24,7).

Trombini (2010) observou variação de 3,57 a 5,45 para a^* em extrusados de mistura de FM, bagaço de mandioca e farelo de soja. A coordenada de cromaticidade a^* foi menor nos produtos extrusados sob condições de baixa temperatura (45 a 60 °C) e rotação (190 a 210 rpm). Com maior teor de bagaço de mandioca na mistura (25 a 30%) e baixa rotação (190 a 210 rpm) foram obtidos os maiores valores do croma a^* , valores dentro da faixa de a^* observadas neste trabalho.

Ainsworth et al. (2007), estudando o efeito da rotação da rosca e da adição do resíduo fibroso da fabricação de cerveja nas características físicas e nutricionais de *snacks* produzidos

a partir de misturas de farinha de trigo, amido de milho, farinha de aveia e grão-de-bico, observaram variações nos componentes de cor com L^* de 51,7 a 65,3, a^* de -11,8 a -6,5 e b^* variando de 12,8 a 20,8. Apresentando-se como *snack* mais claro, menos avermelhados e próximos da tonalidade amarela do produto extrusado no presente estudo.

Leonel, Souza e Mischan (2010), analisando o efeito das condições de extrusão sobre a qualidade de extrusados de misturas de FM e fibra de laranja, obtiveram valores de luminosidade variando de 68,25 a 79,78 e relataram que sob condições de baixa umidade e alta rotação obtiveram menor luminosidade das amostras, enquanto que, nas condições de elevada temperatura e rotação, ficou mais evidenciada a influência das condições de processamento no escurecimento dos produtos. O valor de a^* variou de 2,52 a 5,54, indicando a presença reduzida de vermelho em todas as amostras e a variação do componente de cromaticidade b^* foi de 18,69 a 23,16, valores pouco superiores aos observados neste trabalho.

Em estudos utilizando misturas de farinha de mandioca e caseína, observaram-se que a extrusão influenciou diretamente a cor dos extrusados. Os resultados obtidos na análise de cor destas mostraram luminosidade L^* mais altas (80,36 a 77,53) e coordenadas de cromaticidade a^* e b^* positivas entre 3,17 e 2,68; 15,25 e 15,73, respectivamente, semelhantes as obtidas neste trabalho (LUSTOSA; LEONEL; MISCHAN, 2010).

Teste de desejabilidade

Após a realização das análises das características físicas e tecnológicas dos *snacks* realizou-se o teste de desejabilidade, onde a amostra desejável seria aquela com maior expansão, volume específico intermediário; visando diminuição dos custos com embalagem (maiores VE) e evitando perdas na qualidade (menor VE); mais claro, mais amarelado e com menor diferença de cor, conforme demonstrado na Figura 2.3. Não utilizou-se a coordenada a^* nesta desejabilidade, pois houve pequena variação do espectro vermelho nos *snacks*.

No quadro assinalado em vermelho (Figura 2.3), encontra-se o resultado do teste de desejabilidade, para a obtenção de *snacks* de FM e FBM (70:30) com máxima expansão, volume específico, luminosidade, croma b^* e menor diferença de cor, indicando como parâmetros codificados de extrusão de umidade das misturas e de temperatura de 0 e 0,705, respectivamente, correspondendo a 16 g (100 g)⁻¹ de umidade e temperatura de extrusão de 104,10 °C. A constatação deste teste de desejabilidade e da influência das variáveis independentes (umidade e temperatura de extrusão) sobre as propriedades tecnológicas pode ser também visualizada na Figura 2.4. Observou-se que o tratamento 8, extrusado a 90 °C e

com umidade de 20 g (100 g)⁻¹, apresentou *snack* com menor expansão, e os tratamentos 7 e 9 apresentaram maior expansão.

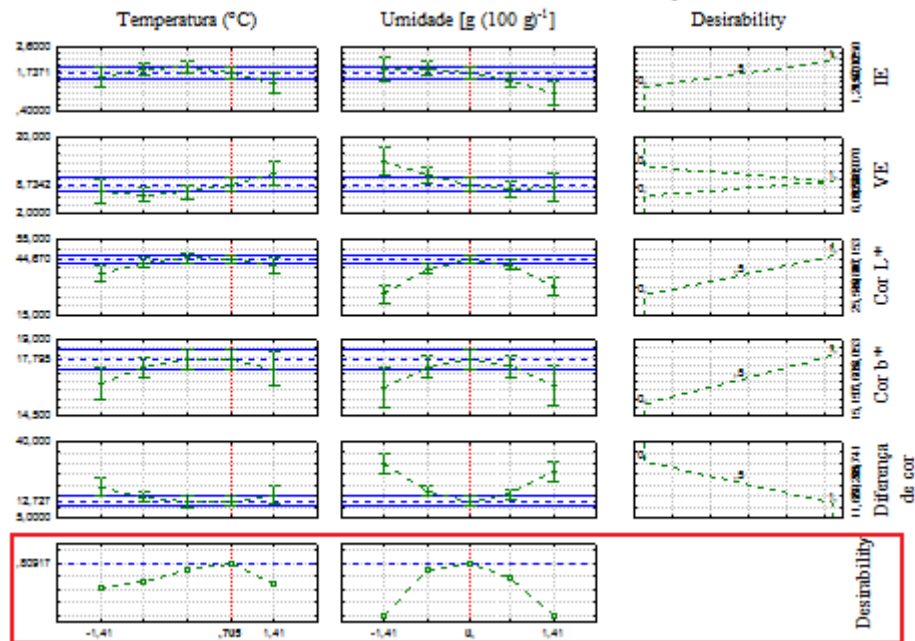


Figura 2.3. Teste de desejabilidade utilizando parâmetros de índice de expansão, volume específico e parâmetros instrumentais de cor (L*, b* e ΔE^*)

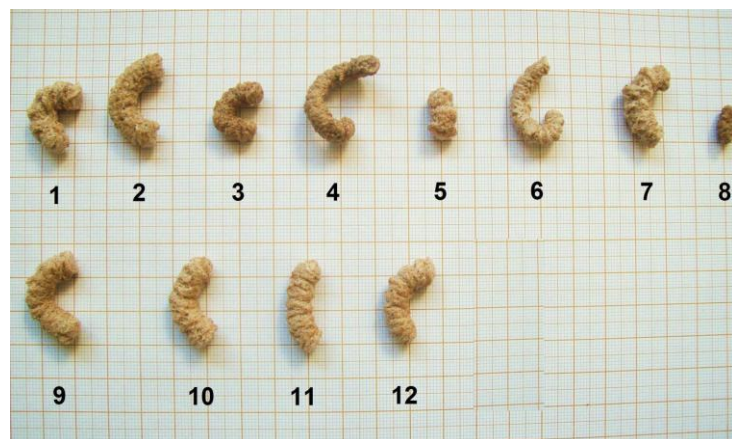


Figura 2.4. Índice de expansão de *snacks* de fécula e farinha de bagaço de mandioca em função do teor de umidade e da temperatura de extrusão. **1)** 70 °C e 13,1 g (100 g)⁻¹; **2)** 110 °C e 13,1 g (100 g)⁻¹; **3)** 70 °C e 18,8 g (100 g)⁻¹; **4)** 110 °C e 18,8 g (100 g)⁻¹; **5)** 61,7 °C e 16 g (100 g)⁻¹; **6)** 118,3 °C e 16 g (100 g)⁻¹; **7)** 90 °C e 12 g (100 g)⁻¹; **8)** 90 °C e 20 g (100 g)⁻¹; **9)** 90 °C e 16 g (100 g)⁻¹; **10)** 90 °C e 16 g (100 g)⁻¹; **11)** 90 °C e 16 g (100 g)⁻¹; **12)** 90 °C e 16 g (100 g)⁻¹

5.2.4 Conclusão

A umidade da mistura de fécula de mandioca e farinha de bagaço de mandioca (70:30) e temperatura de extrusão interferem significativamente nas propriedades físicas dos *snacks*. Produtos claros, mais amarelados e com elevada expansão e volume específico intermediário, foram obtidos nas condições intermediárias temperatura de extrusão (104,10 °C), e umidade das misturas [16 g (100 g)⁻¹], sendo estas as condições adequadas para a elaboração de *snacks* de mistura de fécula de farinha de bagaço de mandioca.

5.2.5 Agradecimentos

À Capes pelo apoio financeiro e bolsa de mestrado. À FAPEG pelo apoio financeiro. À fecularia FEBELA e à Universidade Estadual de Londrina pelas parcerias.

5.2.6 Referências

- A.A.C.C. American Association of Cereal Chemists. **Approved methods of the American Association of Cereal Chemists**. 10. ed. Saint Paul: AACCC Internacional, 2000.
- A.O.A.C Association Of Official Analytical Chemists (United States of America). **Official methods of analysis of AOAC International**. 16. ed. Gaithersburg: AOAC International, 1997.
- A.O.A.C. Association Of Official Analytical Chemists (United States of America). **Official methods of analysis**. 15. ed. Washington D.C.: AOAC, 1990.
- AINSWORTH, P.; IBANOGLU, S.; PLUNKETT, A.; IBANOGLU, E.; STOJCESKA, V. Effect of brewers spent grain addition and screw speed on the select physical and nutritional properties of an extruded snack. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 81, p. 702-709, 2007.
- ALVES, R. M. L.; GROSSMANN, M. V. E. Parâmetros de extrusão para a produção de *snacks* de farinha de cará (*Dioscorea alata*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 22, n. 1, p. 32-38, 2002.
- ASCHERI, D. P. R.; ASCHERI, J. L. R.; CARVALHO, C. W. P. Caracterização da farinha de bagaço de jabuticaba e propriedades funcionais dos extrusados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 4, p. 897-905, 2006.
- BADRIE, N.; MELLOWES, W. A. Effect of extrusion variables on cassava extrudates. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 56, p. 1334-1337, 1991.
- BORBA, A. M.; SARMENTO, S. B. S.; LEONEL, M. Efeito dos parâmetros de extrusão sobre as propriedades funcionais de extrusados da farinha de batata-doce. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 4, p. 835- 843, 2005.
- BOX, G. E. P.; HUNTER, W. G.; HUNTER, J. S. **Statistics for Experimenters: An Introduction to Design, Data Analysis, and Model Building**, John Wiley and Sons. 1978.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Resolução nº. 18/99**. Alimentos com Alegações de Propriedades Funcionais e ou de Saúde, Novos Alimentos/Ingredientes, Substâncias Bioativas e Probióticos. IX - Lista de alegações de propriedade funcional aprovadas. Diário Oficial do Estado de São Paulo, 2009. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/18_99.htm>. Acesso em: 03 mar. 2011.

- BRASIL. Ministério da Saúde. **Resolução RDC nº. 263**, de 22 de setembro de 2005. Regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 23 set. 2005. Disponível em: < http://www.abima.com.br/dload/13_46_resol_263_05_leg_alim_nac.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2011.
- CAMARGO, K. F.; LEONEL, M.; MISCHAN M. M. Produção de biscoitos extrusados de polvilho azedo com fibras: efeito de parâmetros operacionais sobre as propriedades físicas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 3, p. 586-591, 2008.
- CARVALHO, R. V.; ASCHERI, J. L. R.; CAL-VIDAL, J. Efeito dos parâmetros de extrusão nas propriedades físicas de extrusados de misturas de farinhas de trigo, arroz e banana. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 5, p. 1006-1018, 2002.
- CEREDA, M. P. Caracterização de subprodutos da industrialização da mandioca. In: FUNDAÇÃO CARGIL. **Manejo, uso e tratamento de subprodutos da industrialização da mandioca**. 2001. v. 4. cap. 15, p. 13-37. (Série Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas).
- CEREDA, M. P.; VILPOUX. O.; FRANCO, C. M. L. Uso de amido e seus derivados na produção de salgadinhos extrusados (*snacks*). In: CEREDA, M. P.; VILPOUX, O. F. (Org.). **Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas Latino Americanas**. São Paulo: Fundação Cargill, 2003, v. 3, p. 132-142.
- CHANG, Y. K.; EL-DASH, A. A. Effects of acid concentration and extrusion variables on some physical characteristics and energy requirements of cassava starch. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, São Paulo, v. 20, n. 2, p. 129-137, 2003.
- CHINNASWAMY, R.; HANNA, M. A. Relationship between amylose content and extrusion-expansion properties of corn starches. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 65, n. 2, p. 138-143, 1988.
- CLERICI, M. T. P. S.; EL-DASH, A. A. Características tecnológicas de farinhas de arroz pré-gelatinizadas obtidas por extrusão termoplástica. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1543-1550, 2008.
- DIAS, L. T.; LEONEL, M. Caracterização físico-química de farinhas de mandioca de diferentes localidades do Brasil. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 4, p. 692-700, 2006.
- DING, Q.; AINSWORTH, P.; TUCKER, G.; MARSON, H. The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice based expanded *snacks*. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 66, n. 5, p. 283-289, 2005.
- FAUBION, J. M.; HOSENEY, R. C. High temperature and short time. Extrusion-cooking of wheat starch and flour. Effect of moisture and flour type on extrudate properties. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 59, n. 6, p. 529-533, 1982.
- FREITAS, T. S.; LEONEL, M. Amido resistente em fécula de mandioca extrusada sob diferentes condições operacionais. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 19, n. 2, p. 183-190, 2008.
- GUTKOSKI, L. C.; EL-DASH, A. A. Effect of extrusion process variables on physical and chemical properties of extruded oat products. **Plant Foods for Human Nutrition**, Huston, v. 54, p. 315-325, 1999.
- GUY, R. C. F. The extrusion revolution. **Food Manufacture**, Chicago, v. 60, p. 26-29, 1985.

- HASHIMOTO, J. M.; GROSSMAN, M. V. E. Effects of extrusion conditions on quality of cassava bran/cassava starch extrudates. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 38, n. 5, p. 511-517, 2003.
- HUNTERLAB. **User's manual with universal software** versions 3.5. Reston, Hunterlab, 1998.
- ILO, S.; BERGHOFER, E. Kinetics of colour changes during extrusion cooking of maize grits. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 39, n. 1, p. 73-80, 1999.
- LACERDA, D. B. C. L.; SOARES JÚNIOR, M. S.; BASSINELLO, P. Z.; SIQUEIRA, B. S.; KOAKUZU, S. N. Qualidade de biscoitos elaborados com farelo de arroz extrusado em substituição à farinha de trigo e fécula de mandioca. **Archivos Latinoamericanos de Nutricion**, Caracas, v. 59, n. 2, p. 199-205, 2009.
- LAUNAY, B.; LISCH, J. M. Twin-screw extrusion cooking of starches: flow behavior of starch pastes, expansion and mechanical properties of extrudates. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 2, p. 259-280, 1983.
- LEONEL, M. O. O farelo, subproduto da extração da fécula de mandioca. In: FUNDAÇÃO CARGIL. **Manejo, uso e tratamento de subprodutos da industrialização da mandioca**. 2001. v. 4, cap. 15, p. 211-216. (Série Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas).
- LEONEL, M.; CEREDA, M. P. Avaliação da celulase e pectinase como enzimas complementares, no processo de hidrólise-sacarificação do farelo de mandioca para produção de etanol. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 19, n. 1, p. 113-117, 1999.
- LEONEL, M.; CEREDA, M. P. Extração da fécula retida no resíduo fibroso do processo de produção de fécula de mandioca. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 20, n. 1, p. 122-127, 2000.
- LEONEL, M.; MISCHAN, M. M.; PINHO, S. Z.; IATAURO R. A.; DUARTE FILHO, J. Efeitos de parâmetros de extrusão nas propriedades físicas de produtos expandidos de inhame. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 2, p. 459-464, 2006.
- LEONEL, M.; SOUZA, L. B.; MISCHAN, M. M. Produção de *snacks* extrusados à base de polvilho doce e fibra de laranja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 6, p. 1411-1417, 2010.
- LEORO, M. G. V. **Desenvolvimento de cereal matinal extrusado orgânico à base de farinha de milho e farelo de maracujá**. 2007. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Alimentos) Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007. Disponível em: <http://www.fea.unicamp.br/alimentarium/ver_documento.php?did=388>. Acesso em: 20 jun. 2010.
- LIANG, M.; HSIEH, F.; HUFF, H. E.; HU, L. Barrel valve assembly affects twin-screw extrusion cooking of corn meal. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 59, p. 890-894, 1994.
- LIMBERGER, V. M.; SILVA, L. P. da.; EMANUELLI, T.; COMARELA, C. G.; DALPIEVE, L. Modificação química e física do amido de quirera de arroz para aproveitamento na indústria de alimentos. **Química Nova**, São Paulo, v. 31, n. 1, p. 84-88, 2008.
- LUE, S.; HSIEH, F.; HUFF, H. E. Extrusion cooking of corn meal and sugar beet fiber: effects on expansion properties, starch gelatinization and dietary fiber content. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 68, p. 227-234, 1991.

- LUSTOSA, B. H. B.; LEONEL, M.; MISCHAN, M. M. Parâmetros de extrusão na produção de *snacks* de farinha de mandioca enriquecidos com caseína. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, n. 1, p. 109-126, 2010.
- MENDONÇA, S.; GORSSMANN, M. V. E.; VERBÉ, R. Corn bran as a fiber source in expanded *snacks*. **LWT – Food Science and Technology**, Londres, v. 33, p. 2-8, 2000.
- MERCIER, C.; LINKO, P.; HARPER, J. M. **Extrusion cooking**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1998. 471 p.
- MILLER, R. C. Low moisture extrusion: effects of cooking moisture on products characteristics. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 50, n. 1, p. 249-253, 1985.
- OETTERER, M. **Fundamentos de ciência e tecnologia de alimentos**. Ed. Manole. 2006, p. 171-176.
- SAYDELLES, B. M.; OLIVEIRA, V. R.; VIERA, V. B.; MARQUES, C. T.; ROSA, C. S. Elaboração e análise sensorial de biscoito recheado enriquecido com fibras e com menor teor de gordura. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 3, p. 644-647, 2010.
- SEBIO, L. **Efeito de alguns parâmetros operacionais de extrusão nas propriedades físico-químicas da farinha de inhame (*Dioscorea rotundata*)**. 1996. 102 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1996. Disponível em: <<http://www.fea.unicamp.br/deptos/dta/.../dissertacoes.html>>. Acesso em: 10 mai. 2010.
- SOARES JÚNIOR, M. S.; BASSINELLO, P. Z.; CALIARI, M.; GEBIN, P. F. C.; JUNQUEIRA, T. L.; GOMES, V. A.; LACERDA, B. C. L. D. Qualidade de pães com farelo de arroz torrado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 29, n. 3, p. 636-641, 2009.
- SOARES JÚNIOR, M. S.; GROSSMANN, M. V. E.; SILVA, R. S. S. F.; CALIARI, M.; SPINOSA, W. A. Expansion and hydration properties of cassava starch extruded with emulsifier. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 2, n. (1,2), p. 57-61, 1999.
- SOUZA, L. B.; LEONEL, M.; MISCHAN, M. Efeito dos parâmetros de extrusão nas propriedades físicas de extrusados de misturas de fécula de mandioca e polpa cítrica. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 18, n. 1, p. 83-91, 2007.
- STATSOFT. **STATISTICA 7.0 for Windows** – Computer program manual. Tulsa: Statsoft, Inc., 2007. CD Room.
- TROMBINI, F. R. M. **Caracterização de produtos extrusados de misturas de farinha de soja, fécula e farelo de mandioca**. 2010. 100 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010. Disponível em: <http://www.fca.unesp.br/pos_graduacao/Teses/PDFs/Arq0444.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2009.

5.3 EFEITO DO TEOR DE UMIDADE E DA TEMPERATURA DE EXTRUSÃO NAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DAS FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS OBTIDAS A PARTIR DA MISTURA (70:30) DE FÉCULA E FARINHA DE BAGAÇO DE MANDIOCA

Resumo

Neste trabalho, foi avaliado o efeito de parâmetros operacionais de extrusão sobre o índice de absorção de água, de solubilidade em água, absorção de óleo e atividade de água de farinhas pré-gelatinizadas de mistura (70:30) de fécula e farinha de bagaço de mandioca. Delineamento central composto rotacional com cinco níveis de temperatura de extrusão de 61,2 a 118,2 °C e de umidade de 12 a 20 g (100 g)⁻¹ foi utilizado para avaliar as características físico-químicas das farinhas: índice de solubilidade em água (ISA), índice de absorção de água (IAA), índice de absorção de óleo (IAO) e atividade de água (Aw), segundo métodos oficiais. Foram obtidas farinhas com diferentes valores de IAA, ISA, IAO e Aw, ampliando sua aplicação em produtos alimentícios. Com o auxílio da função desejabilidade e com a escolha das condições mais propícias das variáveis dependentes obteve-se as condições mais adequadas de umidade e temperatura de extrusão para diversos tipos de alimentos. Para a utilização em formulação de macarrão instantâneo estes parâmetros foram 90 °C e 16 g (100 g)⁻¹. A aplicação da farinha pré-gelatinizada de mistura (70:30) de fécula e farinha de bagaço de mandioca em alimentos varia de acordo com as propriedades desejadas, obtidas com umidade e temperatura de extrusão diferenciadas.

Palavras-chave: absorção, solubilidade, atividade de água, farinha, amido.

5.3.1 Introdução

As unidades industriais que processam a mandioca produzem altas quantidades de resíduos considerados agressivos ao ambiente, sendo os principais a casca, a manipueira e o bagaço ou farelo (polpa residual). O bagaço é o principal descarte sólido produzido nas fecularias e é jogado nos cursos d'água ou deixado em valas que extravasam e carregam grande parte da carga orgânica para os mesmos (FREITAS; LEONEL, 2008).

A produção mundial de féculas é de 70.000.000.000 t, sendo 11% correspondente a produção de fécula de mandioca e o Brasil contribui com 565.110.000 t por ano. Nas fecularias, para cada tonelada de raiz processada são produzidos cerca de 250 kg de fécula de mandioca e 928,6 kg de bagaço com 85% de umidade (LEONEL, 2011). Considerando a produção brasileira de mandioca destinada a produção de fécula, são gerados 2,09 milhões de toneladas deste resíduo úmido e 28,6 milhões de toneladas no mundo. Considerando este resíduo com 12% de umidade (farinha de bagaço de mandioca), poderiam ser gerados 566.740 t desta farinha no Brasil e 7.720.000 t no mundo (FAO, 2011; IBGE, 2011, ABIMA, 2011).

Devido ao grande volume gerado, o bagaço tem se apresentado como problema para os industriais, que o vendem a preços muito baixos à fazendeiros para a alimentação animal

(LEONEL; CEREDA, 2000). A preocupação com o meio ambiente tem levado à viabilização de projetos que permitam a sustentabilidade do sistema de produção industrial. A indústria de alimentos produz uma série de resíduos com alto valor de (re)utilização. Inúmeros estudos utilizando resíduos industriais do processamento de alimentos têm sido realizados com objetivo de desenvolver novos produtos. Com isso, minimiza-se o impacto ambiental destes tipos de indústrias nas regiões onde estão situadas e ainda agrega-se valor aos resíduos (PELIZER; PONTINERI; MORAES, 2007).

Pesquisas vêm sendo realizadas visando desenvolver tecnologias de aproveitamento do bagaço de mandioca para a obtenção de produtos de elevado valor agregado, onde esses seriam utilizados como ingredientes para produtos alimentícios ricos em fibras (SAITO; CABELO; FUKUSHIMA, 2006; CASTIGLIONI et al., 2010; CEREDA, 1996; RAUPP et al., 2002; RODRIGUES, 2010; SAITO, 2005; SHITTU et al., 2008; SOUZA, 2011; SRIROTH et al., 2000).

A extrusão termoplástica é um processo contínuo, no qual a matéria-prima é forçada através de uma matriz ou molde, em condições de aquecimento, pressão e fricção molecular, que levam à gelatinização do amido, à desnaturação de proteínas e à ruptura de pontes de hidrogênio, provocando o cozimento, a mistura, a esterilização, a secagem, a reestruturação da matéria-prima e a criação de novas texturas e formatos, como a fração amido resistente, originada pela complexação do amido e retrogradação da amilose (BORBA; SARMENTO; LEONEL, 2005; SEBIO, 1996; THAKUR; SAXENA, 2000).

As condições de extrusão podem ocasionar gelatinização ou hidrólise da molécula de amido, que pode apresentar modificação na capacidade de interagir com as moléculas de água, o que interfere na capacidade de hidratação e na solubilidade em água (ALTAN; MCCARTHY; MASKAN, 2009; FILLI; NKAMA, 2007).

O índice de absorção de água (IAA) está relacionado com a disponibilidade de grupos hidrofílicos (-OH) em se ligar às moléculas de água e a capacidade de formação de gel das moléculas de amido. O índice de absorção de água (IAA) e o índice de solubilidade em água (ISA) são explicados pelas interações amido – água sendo importantes na avaliação da adequabilidade do uso de produtos amiláceos extrusados em suspensões ou em soluções.

As alterações nas composições destes produtos no extrusor dependem dos parâmetros de processo, tais como velocidade e configuração do parafuso, temperatura, taxa de fluxo do material, configuração da matriz e das características do material. O IAA está relacionado com a viscosidade de pasta a frio, por que somente os grânulos de amido danificados absorvem água a temperatura ambiente e incham, resultando em incremento da viscosidade.

Depois de os grânulos de amido alcançarem um máximo de absorção, o IAA decresce com o começo da dextrinização (LUSTOSA; LEONEL; MISCHAN, 2009). O ISA está relacionado à quantidade de sólidos solúveis em água de uma amostra seca, permitindo verificar o grau de severidade do tratamento (altas temperaturas e baixas umidades), em função da degradação, gelatinização, dextrinização e consequente solubilização do amido (LEONEL et al., 2006). O IAA e o ISA são parâmetros importantes para definir as aplicações dos extrusados como ingredientes de alimentos.

Já o índice de absorção de óleo (IAO) está relacionado com os grupos hidrofóbicos e com a capacidade de manter em sua estrutura certa quantidade de óleo (LEORO, 2007). A determinação da atividade de água não fornece uma estimativa real, entretanto correlaciona-se suficientemente bem com as velocidades de crescimento microbiano e de outras reações de deterioração, sendo, assim, um indicador útil quanto a estabilidade de uma matéria-prima e sua segurança microbiológica (RIBEIRO e SERAVALLI, 2004).

Objetivou-se neste trabalho avaliar algumas propriedades tecnológicas da mistura de fécula e bagaço de mandioca (70:30) submetida ao processo de extrusão termoplasmática sob diferentes condições de temperatura e umidade, visando o desenvolvimento de farinhas pré-gelatinizadas com variadas características tecnológicas e aplicações em diferentes produtos alimentícios.

5.3.2 Materiais e Métodos

Amostras de fécula de mandioca (FM) e bagaço de mandioca (BM) (cultivar IAC-12), da safra 2009, foram doadas pela Fecularia Bela Vista - Febela Ltda., Bela Vista de Goiás – GO. Amostras de bagaço de mandioca (BM) foram coletadas na entrada do silo de armazenamento e desidratadas em estufa (TECNAL, TE 394/3, Piracicaba, Brasil), com circulação de ar a 55 °C, por 24 h, e trituradas em moinho de rotor, com peneira de 30 *mesh*, obtendo-se a farinha de bagaço de mandioca (FBM).

Para o experimento da extrusão utilizou-se uma mistura (70:30) de fécula e farinha de bagaço de mandioca (MFBM), obtida em misturador homogeneizador tipo Y, (TECNAL, TE 201/05, Piracicaba, Brasil), durante 15 min.

A MFBM foi acondicionada, quanto aos diferentes níveis de umidade, conforme os valores estipulados no planejamento experimental. A quantidade de água a ser adicionada às amostras foi calculada considerando-se a quantidade de mistura a ser extrusada e a sua umidade inicial.

O processo de extrusão termoplástica foi realizado em extrusora (Imbramaq, PQ 30, Ribeirão Preto, Brasil), com motor de 10 HP, acoplado a um redutor de velocidade, com sistema de extrusão através de fricção mecânica, com rosca simples, sistema de refrigeração com água gelada para controle de temperatura na camisa de extrusão, velocidade da rosca variável e capacidade de produção de 45 kg h⁻¹. Os parâmetros de processamento foram divididos em parâmetros fixos e variáveis. Os parâmetros fixos foram: taxa de compressão da rosca de 3:1; taxa de alimentação de 350 g min⁻¹; abertura da matriz circular de 4 mm de diâmetro; temperatura na primeira e segunda seção de aquecimento do extrusor de 57 °C e 50 °C, respectivamente; rotação da rosca de 250 rpm. Os parâmetros variáveis foram: temperatura da terceira seção de aquecimento do extrusor e teor de umidade das misturas. Os valores codificados e reais das variáveis independentes estão apresentados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1. Níveis codificados e reais de temperatura (T) e umidade (U) utilizadas no ensaio de extrusão

Variável Independente	Níveis Codificados e Reais				
	- $\alpha = -1,41$	-1	0	1	+ $\alpha = 1,41$
T (°C)	61,72	70	90	110	118,28
U [g (100 g) ⁻¹]	12	13,16	16	18,84	20

O índice de absorção de água (IAA) e o índice de solubilidade em água (ISA) foram determinados segundo a metodologia de Anderson et al. (1969). Para a determinação do IAO utilizou-se a mesma metodologia adaptada, ou seja, substituiu-se a água por óleo de soja. Para a determinação da atividade de água (Aw), utilizou-se aparelho (Aqqua Lab, CX-2, Washington, EUA).

Utilizou-se metodologia de superfície de resposta e delineamento rotacional central composto, com quatro pontos fatoriais, quatro axiais e quatro repetições no ponto central, totalizando doze experimentos (BOX; HUNTER; HUNTER, 1978). Os dados obtidos foram avaliados por meio de análise de variância com elaboração de modelos de regressão múltipla e construção de gráficos de superfície de resposta e curvas de nível para visualização do efeito das variáveis independentes sobre as variáveis dependentes.

Com os modelos matemáticos ajustados obtidos para as características tecnológicas das farinhas pré-gelatinizadas (índice de absorção de água, índice de solubilidade em água, índice de absorção de óleo e atividade de água), gerados no planejamento experimental e com o auxílio da função “response desirability profiling”, do programa Statistica 7.0 (STATSOFT 2007), realizou-se o cálculo para escolha das melhores condições de extrusão (umidade das misturas e temperatura) para a obtenção de diferentes farinhas pré-gelatinizadas com

aplicação em produtos alimentícios como espessante em bebidas frias, farinhas para produtos cárneos empanados e ingrediente em macarrão instantâneo.

5.3.3 Resultados e Discussões

Propriedades tecnológicas da mistura crua

O índice de solubilidade em água (ISA), índice de absorção de água (IAA), índice de absorção de óleo (IAO) e atividade de água (A_w) da mistura (70:30) de fécula e farinha de bagaço de mandioca crua estão apresentados na Tabela 3.2.

Tabela 3.2. Índice de solubilidade em água (ISA), índice de absorção de água (IAA), índice de absorção de óleo (IAO) e atividade de água (A_w) de mistura (70:30) de fécula e farinha de bagaço de mandioca (MFBM)

Propriedade	MFBM*
IAA [g de gel (g de matéria seca) ⁻¹]	2,83 ± 0,08
ISA g (100 g) ⁻¹	0,78 ± 0,05
IAO [g de gel (g de matéria seca) ⁻¹]	0,64 ± 0,09
A_w	0,496 ± 0,00

*Valores expressos em médias seguidas pelos desvios-padrão

O valor de IAA obtido neste estudo para MFBM está dentro da faixa encontrada por Trombini (2010), analisando misturas de fécula de mandioca (50 a 70%), bagaço de mandioca (10 a 30%) e farelo de soja (10 a 30%), relatou variações no IAA de 2,35 a 2,92 g de gel (g de matéria seca)⁻¹, cujo o menor valor foi observado na mistura com maior porcentagem de FM (70%). Este mesmo autor encontrou valores de ISA entre 2,78 a 6,81 g (100 g)⁻¹, sendo o maior valor obtido na mistura com 30% de farinha de soja, valores estes bastante superiores ao encontrado no presente estudo, o que se deve provavelmente ao maior teor de proteína proveniente do farelo de soja, visto que a maior parte das proteínas da soja são as globulinas, que são solúveis em água (WANG et al., 1999).

Segundo Ravi e Sushelamma (2005), a absorção de óleo consiste na capacidade de sítios apolares das cadeias de proteínas aprisionarem óleo. Desse modo, o conteúdo e tipo de proteína presente na farinha determinam a capacidade de absorção de óleo dos alimentos. A MFBM apresenta baixo teor protéico [0,60 g de gel (g de matéria seca)⁻¹] e níveis inferiores de IAO quando comparada a outras matérias-primas ricas em proteína, como a soja que possui IAO com variações entre 1,2 a 1,48 g de gel (g de matéria seca)⁻¹ (ZHENG et al., 2008) e o feijão com IAO entre 1,23 a 1,52 g de gel (g de matéria seca)⁻¹ (SIDIQQ et al., 2009).

A atividade de água da MFBM, é classificada como atividade de água baixa (até 0,65) e, visto que a cinética de muitas reações depende da atividade de água, tais como inativação de enzimas, a destruição de micro-organismos, a reação de Maillard (DITCHFIELD, 2000), este parâmetro contribui em grande parte para a conservação dos produtos a serem elaborados com esta matéria-prima. Pode-se dizer que a MFBM é um produto seguro microbiologicamente, pois além de apresentar A_w abaixo de 0,6; este valor também é superior a 0,3. Atividade de água abaixo de 0,3 favorece à oxidação de lipídios (FERREIRA NETO; FIGUEIREDO; QUEIROZ 2005).

Propriedades tecnológicas da mistura extrusada com diferentes níveis de temperatura e umidade

No anexo B.1 estão apresentados os níveis codificados e valores reais da umidade e da temperatura de extrusão, bem como os dados de IAA, ISA, IAO e A_w para cada uma das farinhas pré-gelatinizadas experimentais. A partir dos dados obtidos na caracterização tecnológica das misturas extrusadas foram elaborados modelos matemáticos de regressão que expressam a relação entre as condições empregadas na extrusão e os valores obtidos para as variáveis respostas. Os modelos de regressão ajustados e o coeficiente de determinação (R^2) para cada propriedade tecnológica das misturas extrusadas, em função do teor de umidade e da temperatura de extrusão, estão apresentados na Tabela 3.3. Os modelos de regressão completos e alguns parâmetros da ANOVA estão apresentados nos Anexo B2.

Todos os modelos ajustados foram significativos ($p \leq 0,05$) com coeficientes de determinação explicando 71,6 a 98% das respostas. O efeito linear da temperatura de extrusão foi significativo para as respostas de IAA e IAO ($p=0,04$ e $p=0,000$, respectivamente), e não foi significativo ($p > 0,05$) para o ISA e para a A_w . O efeito linear da umidade (x_2) não foi significativo ($p > 0,05$) para o IAA e para o ISA, mas foi significativo para o IAO e para a A_w ($p=0,000$ e $p=0,03$, respectivamente). O efeito quadrático da temperatura foi significativo para o IAA e ISA ($p=0,003$ e $p=0,004$, respectivamente). O efeito quadrático do teor de umidade foi significativo para todas as respostas analisadas. O efeito da interação da temperatura com o teor de umidade não foi significativo ($p > 0,05$) para nenhuma das respostas analisadas, no entanto, optou-se por mantê-la nos modelos de ISA ($p=0,315$), IAO ($p=0,064$) e A_w ($p=0,20$). Apesar de também não ter sido significativo ($p > 0,05$), o efeito linear da temperatura foi mantido no modelo de A_w ($p=0,18$). Estes efeitos não significativos foram mantidos pois os modelos apresentaram maiores coeficiente de determinação ajustados.

Tabela 3.3. Modelos de regressão múltipla e coeficiente de determinação (R^2), para o índice de solubilidade em água – ISA [g de água (g de matéria seca)⁻¹], índice de absorção de água – IAA [g de gel (g de matéria seca)⁻¹], índice de absorção de óleo – IAO [g de gel (g de matéria seca)⁻¹] e atividade de água - Aw, das farinhas extrusadas em função da temperatura de extrusão (x_1) e da umidade (x_2).

Propriedade	Modelo*	R ²
IAA	$y = 9,624 - 0,61x_1 - 1,18x_1^2 - 1,87x_2^2$	0,880
ISA	$y = 76,084 - 5,97x_1^2 - 1,98x_1x_2 - 7,70x_2^2$	0,826
IAO	$y = 4,839 + 0,47x_1 - 0,97x_2 + 0,17x_1x_2 - 0,28x_2^2$	0,980
Aw	$y = 0,4107 + 0,02x_1 - 0,04x_2 + 0,03x_1x_2 - 0,05x_2^2$	0,716

* Efeitos em itálico não foram significativos ($p \geq 0,05$), porém foram mantidos para melhoria do ajuste do modelo

As curvas de nível e as superfícies de resposta elaborados a partir dos modelos ajustados para o IAA, ISA, IAO e Aw estão apresentado na Figura 3.1.

Os valores de IAA das misturas após extrusão com diferentes condições de umidade e de temperatura, foram superiores ao IAA da MFBM crua (Tabela 3.2), sendo que os maiores valores foram observados em condições intermediárias de umidade e temperatura, representado pela área vermelha mais escura do gráfico. O máximo valor de IAA [9 g de gel (g de matéria seca)⁻¹] foi obtido entre 14,67 e 17,14 g (100 g)⁻¹ de umidade e 73,5 a 97,07 °C de temperatura. Os valores altos da IAA encontrados na mistura extrusada em relação à mistura crua são considerados desejáveis na utilização destas em produtos de panificação e de preparo rápido, como produtos instantâneos (macarrões, pudins, sopas e mingaus), pois permite a adição de mais água à massa, melhorando suas características de manuseio e evitando o ressecamento do produto durante o armazenamento (CLERICI; EL-DASH, 2008).

O baixo cisalhamento e baixa temperatura no processo de extrusão resultam em cadeias de polímeros maiores e não danificadas e uma grande disponibilidade de grupos hidrofílicos, aos quais ligam-se a moléculas de água, resultando em altos valores de IAA. Valores elevados de IAA também podem estar relacionados a altos teores de umidade durante o processo de extrusão, combinados com baixas taxas de cisalhamento, pois a água funciona como lubrificante no meio de extrusão, ocasionando redução de atrito do parafuso e da parede interna do tubo extrusor sobre as moléculas de amido, resultando, assim, em menor degradação da amilose e amilopectina e conseqüentemente, em aumento do IAA (SILVA et al., 2008).

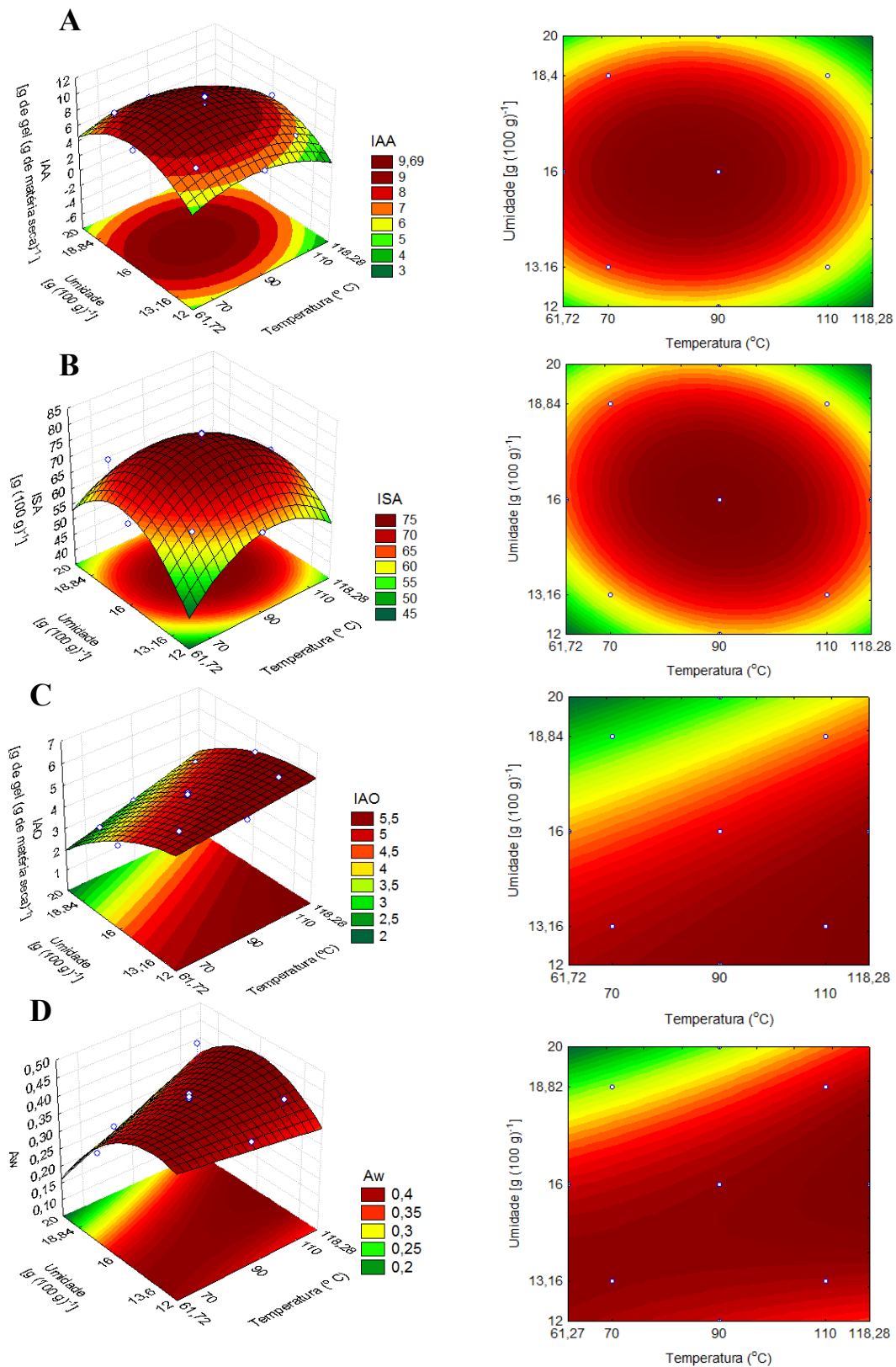


Figura 3.1. Índice de solubilidade em água – ISA (A), índice de absorção de água – IAA (B), índice de absorção de óleo – IAO (C) e atividade de água – A_w (D) da mistura de fécula e farinha de bagaço de mandioca extrusada (70:30) em função da umidade [$\text{g} (100\text{ g})^{-1}$] e da temperatura de extrusão ($^{\circ}\text{C}$)

Depois dos grânulos de amido alcançarem o máximo de capacidade de absorção de água, o IAA decresce com o começo da dextrinização (LUSTOSA; LEONEL; MISCHAN, 2009). Observa-se que o IAA das FPGs experimentais decresceu após 90 °C com aumento da temperatura, provavelmente por que ocorreu a dextrinização do amido. Com o aumento da temperatura e da umidade ocorreu também o aumento do grau de gelatinização, a fragmentação do amido aumentou e, com isso, diminuiu a absorção de água assim como nos estudos de Borba, Sarmiento e Leonel, (2005) e de Carvalho, Ascheri e Cal-Vidal, (2002). A baixa capacidade de absorver água poderia ser desejável em produtos onde a integridade estrutural e a termoestabilidade seriam importantes (CHANG et al., 2001). A elevação do IAA com o aumento da temperatura também foi observado por Hashimoto e Grossmann (2003), ao extrusar misturas de fécula e bagaço de mandioca, no qual a umidade variou de 16 a 20 g (100 g)⁻¹, os valores de temperatura de 150 a 210 °C e a rotação do parafuso do extrusor de 120 a 180 rpm. Segundo esses autores, isso acontece, provavelmente devido às mudanças estruturais nos componentes da fibra presente no bagaço, formando uma estrutura mais aberta, permitindo a absorção e retenção de água.

O decréscimo do IAA também foi observado por esses autores, que sugerem que houve degradação do amido, com a elevação da temperatura e o aumento da força de cisalhamento. Os valores encontrados variaram entre 3,5 a 6,0 g de gel (g de matéria seca)⁻¹, ligeiramente inferiores aos encontrados neste estudo, provavelmente porque esses autores utilizaram temperaturas maiores (150 a 210 °C), levando a menores valores de IAA. Os valores de IAA obtidos no presente estudo aproximaram-se dos obtidos em estudos com farinha de mandioca e caseína extrusada, que variaram de 3,45 a 11,01 g de gel (g de matéria seca)⁻¹ (LUSTOSA; LEONEL; MISCHAN, 2009). Em estudos com salgadinhos de polvilho azedo e bagaço de mandioca foram observados índices de absorção de água com variação de 4,8 a 11,9 g de gel (g de matéria seca)⁻¹, no qual tratamentos com maiores quantidade de bagaço proporcionaram efeito acentuado de elevação do IAA (CAMARGO; LEONEL; MISCHAN, 2008).

O valor de ISA da MFBM crua (Tabela 3.2) foi menor que os obtidos após a extrusão. Isso pode ser explicado pelo fato de que a mistura crua não apresentava amido dextrinizado, como nas farinhas pré-gelatinizadas. Observou-se que os maiores valores de ISA das misturas pré-gelatinizadas foram obtidos em condições intermediárias de umidade e temperatura, e decresceu com aumento do teor de umidade e da temperatura após a obtenção do máximo valor [75 g (100 g)⁻¹] que foi verificado entre 15,05 e 16,95 g (100 g)⁻¹ de umidade e 82,93 a 98,25 °C de temperatura (Figura 3.1.B).

O aumento da umidade pode ter contribuído para a diminuição do atrito, pois a água funciona como lubrificante, levando a menores valores de ISA (LUSTOSA; LEONEL; MISCHAN, 2009). A diminuição do ISA com a elevação da temperatura também foi observada por Hashimoto e Grossmann (2003), nas misturas extrusadas de fécula e bagaço de mandioca com maiores quantidades de bagaço de mandioca (50%). Segundo esses autores, a redução deste índice ocorreu devido a interações entre as fibras e o amido presentes no bagaço e na fécula de mandioca, respectivamente. Os resultados para ISA obtidos nos diferentes experimentos de extrusão deste estudo mostraram valores superiores aos encontrados por Lustosa; Leonel e Mischan (2009), em estudos com farinha extrusada de mandioca e caseína, no qual obtiveram ISA variando de 20,47 a 49,76 g (100 g)⁻¹. Entretanto, aproximam-se dos valores encontrados em farinha pré-gelatinizada de inhame, produto semelhante à mandioca por ser uma raiz amilácea, entre 47,15 e 70,38 g (100 g)⁻¹ (LEONEL et al., 2006).

Em estudo com a extrusão de misturas de farinha de banana, de arroz e de trigo, sob temperaturas entre 65 e 70 °C e 35 g (100 g)⁻¹ de umidade, Carvalho, Ascheri e Cal-Vidal (2002) observaram maior degradação dos grânulos de amido, o que contribuiu para o aumento do ISA. Ao extrusar fécula de mandioca com fibras de laranja (90:10) utilizando temperaturas entre 40 e 90 °C e teor de umidade de 12,5 a 19,5 g (100 g)⁻¹; Leonel, Souza e Mischan (2010), obtiveram ISA variando de 37,76 a 84,93 g (100 g)⁻¹, valores próximos aos obtidos neste trabalho. Farinhas com elevados valores de ISA, podem ser empregadas em produtos que requerem menores temperaturas para serem preparados como alimentos instantâneos e geleificados: sopas, molhos, pudins, sobremesas, etc. (AUGUSTO-RUIZ et al., 2003; SOUZA; LEONEL, 2010; TROMBINI; LEONEL, 2010).

O conhecimento do índice de absorção de óleo (IAO) de farinhas é importante para o desenvolvimento de novos produtos alimentícios e determinação da estabilidade no armazenamento, principalmente em relação ao desenvolvimento de *flavor* característico de rancidez oxidativa (SIDDIQ et al., 2009). Os valores de IAO das misturas extrusadas foram superiores ao IAO da mistura crua (Tabela 3.2), sendo que os maiores valores foram observados em condições de baixas de umidades e elevadas temperaturas. Segundo Alonso et al. (2000), as condições de extrusão podem provocar alterações nas moléculas de proteína, provocando sua desnaturação, alterando e aumentando a quantidade de sítios hidrofóbicos que reagem com os lipídeos do óleo de soja.

Pode-se observar na Figura 3.1C, que ocorreu elevação do IAO à medida que aumentou a temperatura de extrusão. Observou-se uma área com baixos valores de IAO [abaixo de 3 g de gel (g de matéria seca)⁻¹], em umidades acima de 18 g (100 g)⁻¹ e até 91,18 °

C de temperatura. O máximo valor de IAO [5,5 g de gel (g de matéria seca)⁻¹] das farinhas pré-gelatinizadas de fécula e bagaço de mandioca foi obtido acima de 100,61 °C de temperatura e até 14,73 g (100 g)⁻¹ de umidade. Os valores de IAO obtidos nos diferentes experimentos de extrusão foram ligeiramente superiores aos de 2,73 a 3,85 g de gel (g de matéria seca)⁻¹, reportados por Leoro (2007), em estudos com farelo de maracujá comercial, provavelmente porque o teor de fibra alimentar insolúvel presente no bagaço de mandioca [56,84 g (100 g)⁻¹] era maior quando comparado ao do farelo de maracujá [49,16 g (100 g)⁻¹], indicando que a fibra alimentar insolúvel afeta este índice. López et al. (1999) determinaram o teor fibra alimentar de alcachofras e concluíram que a fibra alimentar insolúvel apresentou maior IAO que a fibra alimentar solúvel, porque é constituída de lignina que possui alta capacidade de absorção de óleo.

A atividade de água (A_w) é definida como a água disponível para o crescimento microbiano e demais reações de natureza física, química e enzimática que deterioram os alimentos (FERREIRA NETO; FIGUEIREDO; QUEIROZ 2005; FERREIRA; PENNA, 2003). Neste estudo, ocorreu elevação da atividade de água das misturas extrusadas à medida que houve aumento da temperatura de extrusão em teores de umidade intermediários (Figura 3.1.D). Observou-se uma área no gráfico de curvas de nível com baixos valores de A_w (0,3) em umidades acima de 17,45 g (100 g)⁻¹ e temperaturas até 101,78 °C. O máximo valor de atividade de água (0,4) das farinhas pré-gelatinizadas de fécula e bagaço de mandioca foi obtido com umidade entre 14,55 e 17,64 g (100 g)⁻¹ e acima de 105,32 °C. Assim, os maiores valores de A_w foram observados em altas temperaturas e umidade intermediárias e os menores valores em baixas temperaturas e umidades elevadas.

Observou-se também que a A_w das farinhas pré-gelatinizadas depois de alcançar o valor máximo decresceu com a elevação da umidade, independente da temperatura. Ferreira Neto, Figueiredo e Queiroz (2005), realizaram a avaliação da atividade de água em farinhas de mandioca temperadas com corante natural de urucum e relataram valores de 0,38 a 0,48 para a farinha de mandioca crua e de 0,10 a 0,28 para as farinhas temperadas, valores semelhantes aos obtidos neste trabalho. Chisté et al. (2007), ao estudar as características de farinha de mandioca torradas, encontrou valores de atividade de água na faixa de 0,38 a 0,44, ligeiramente maiores que os das FPG deste trabalho.

O processo de extrusão reduz a umidade, implicando em uma diminuição automática da A_w . Essa diminuição é favorável para produtos alimentícios. A maioria das bactérias deteriorantes não se multiplica em A_w inferiores a 0,90, enquanto que os fungos podem fazê-lo em A_w de até 0,80. Há exceções para estas regras, como, por exemplo, as bactérias

halofílicas, que podem crescer em A_w de até 0,76, para bolores xerofílicos de 0,65 e para leveduras osmofílicas de 0,60. Desta forma, considera-se o valor de 0,60 limitante para a multiplicação microbiana, embora ainda possam sobreviver (AZEREDO; BRITO; GARRUTI, 2004).

Todas as amostras apresentaram A_w abaixo de 0,6, sendo consideradas, sob o ponto de vista microbiológico estáveis. No entanto, foi possível observar regiões do gráfico com A_w abaixo de 0,3, condições estas que tornam as FPG mais susceptíveis à oxidação de lipídios. Quando a atividade de água é inferior a 0,3, atinge-se a zona de adsorção primária, onde as moléculas de água poderão estar ligadas a grupos como as carboxilas (COOH) e, por sua vez, ligar-se a outras moléculas de água por pontes de hidrogênio. Esta água estaria recobrando o alimento, como uma camada, não utilizável para dissolver componentes do alimento, o que poderia levar a oxidação de lipídeos (AZEREDO; BRITO; GARRUTI, 2004; FERREIRA NETO; FIGUEIREDO; QUEIROZ 2005).

Em alimentos com atividade de água superior a 0,30 o processo de oxidação é amenizado pelo elevado teor de água, em razão da proteção conferida pelas proteínas hidratadas, que impedem o acesso do oxigênio, e em razão também da hidratação de íons metálicos, que são insolúveis na fração lipídica (ARAÚJO, 2001). Portanto, quando se reduz a A_w para valores entre 0,30 e 0,60, a vida-de-prateleira se prolonga, desde que o produto seja embalado de modo a manter a atividade de água constante durante todo o processo de armazenamento, impedindo, assim a oxidação e o desenvolvimento de micro-organismos deteriorantes e a consequente deterioração do produto (BARBUTI; PAROLARI, 2000; SARANTÓPULUS; OLIVEIRA; CANAVES, 2001).

Microscopia eletrônica de varredura

Pela análise das micrografias da MFBM e da FPG, correspondente ao ponto central (Figura 3.2); verifica-se que a microestrutura do produto foi completamente modificada pelo processo de extrusão.

Foi possível notar diferenças estruturais entre os grânulos de amido antes e após a extrusão. Antes os grânulos de amido apresentavam-se intactos com concavidades e depressões semi-esféricas aparentemente devido a proximidade entre os grânulos que durante sua formação perderam suas formas esféricas. Também puderam ser identificados materiais não amiláceos (provavelmente fibras e proteínas), que se encontravam aderidos entre si ou aos grânulos de amido, conforme indicado na Figura 3.2A.

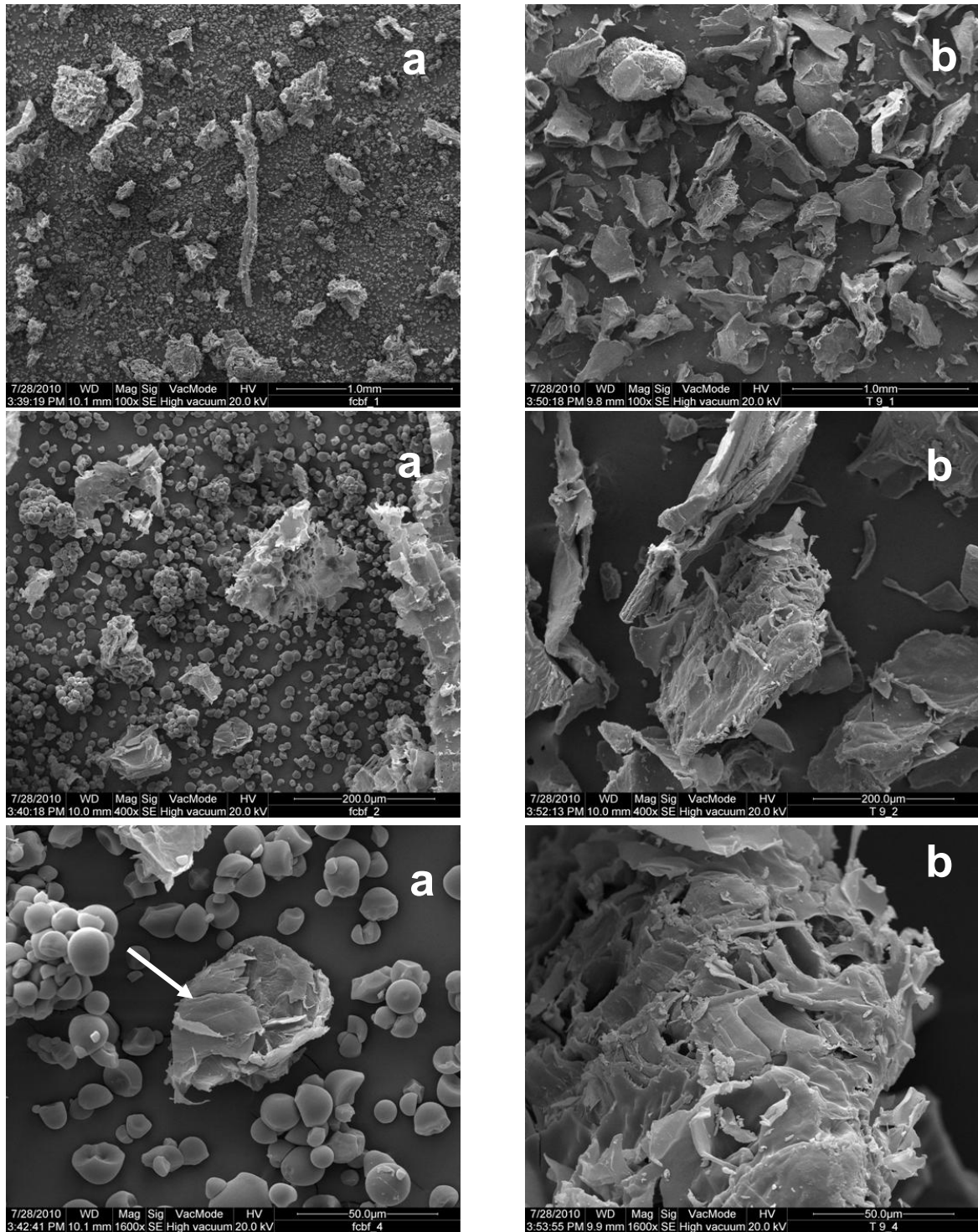


Figura 3.2. Micrografias da mistura de fécula e bagaço de mandioca - MFBM (a) e da farinha pré-gelatinizada – FPG do experimento central (b), nas magnitudes de aumento de 100x, 400x e 1600x.

Após o processo de extrusão ocorreu ruptura dos grânulos de amido do material, indicando a sua gelatinização e a desnaturação de proteínas. A ruptura de pontes de hidrogênio destes constituintes reflete em alterações na solubilidade, viscosidade e teores de amilose e amilopectina, aumentando, de modo geral, sua digestibilidade (DUST et al., 2004; MURRAY; FLICKINGER; PATIL, 2001; SVIHUS; UHLEN; HARSTAD, 2005; THAKUR; SAXENA, 2000). A mistura pré-gelatinizada apresentou-se como uma massa compacta, amorfa, onde não foi possível distinguir grânulos de amido e material não amiláceo. Observa-se também que o material extrusado apresentou superfície irregular, com partes lisas, partes estriadas e muitos orifícios formados devido a expansão do produto na saída do extrusor, em função do vapor de água liberado pelo produto e descompressão ocorrida no material.

Teste de desejabilidade

Após a realização das análises das características tecnológicas das farinhas pré-gelatinizadas, foram realizados os testes de desejabilidade para aplicação da FPG como espessante para bebidas frias e achocolatados, onde a amostra mais desejável seria aquela com maior IAA, visando evitar a formação de partículas não homogeneizadas, maior ISA, visando o aumento da viscosidade dos produtos e A_w superiores a 0,3, no qual o processo de oxidação é amenizado pelo elevado teor de água, em razão da proteção dada pelas proteínas hidratadas, que impedem o acesso do oxigênio, e em razão também da hidratação de íons metálicos, que são insolúveis na fração lipídica (Anexo B3).

Para a desejabilidade na aplicação da FPG como ingrediente em produtos cárneos empanados, a amostra mais desejável seria aquela com menor IAO, evitando a absorção do óleo na fritura, menor IAA, evitando a absorção de água dos produtos, obtendo-se alimentos mais crocantes após a fritura e A_w superiores a 0,3, impedindo a ocorrência da oxidação lipídica (Anexo B4). Para a desejabilidade na aplicação da FPG como ingrediente em macarrão instantâneo, a amostra mais desejável seria aquela com maior IAA, para melhorar o rendimento após o cozimento, maior ISA, para aumento da dextrinização e consequente aumento da capacidade de formar de gel; maior IAO, para melhorar a absorção de óleo presente no molho do macarrão e A_w acima de 0,3, pelo mesmo motivo citado para as demais aplicações (Anexo B5).

No quadro assinalado em vermelho nos Anexos B3, B4 e B5, encontra-se o resultado do teste de desejabilidade, para a obtenção de FPG em utilização como espessante para bebidas frias, na produção de alimentos empanados e como ingrediente em formulação de macarrão instantâneo, respectivamente.

As condições ideais de extrusão da FPG para ser utilizada como espessante em bebidas frias, foram temperatura na 3ª seção de extrusão de 90 °C e umidade de misturas de 16 g (100 g)⁻¹. Estas mesmas condições também foram ideais para a utilização da FPG em macarrões instantâneos. Para a aplicação da FPG em produtos cárneos empanados, os parâmetros de extrusão foram mais drásticos, ou seja, temperatura na terceira seção de 118,28 °C e umidade de 14 g (100 g)⁻¹.

5.3.4 Conclusão

A umidade da mistura de fécula e farinha de bagaço de mandioca (70:30) e a temperatura de extrusão interferiram significativamente nas propriedades tecnológicas das farinhas pré-gelatinizadas, indicando sua aplicação em diferentes produtos alimentícios. Farinhas com elevados índices de absorção e solubilidade em água e absorção de óleo foram obtidas nas condições de temperatura na 3ª seção de extrusão de 90 °C e umidade de misturas de 16 g (100 g)⁻¹.

5.3.5 Agradecimentos

À Capes pelo apoio financeiro e bolsa de mestrado. À FAPEG pelo apoio financeiro. À fecularia FEBELA e à Universidade Estadual de Londrina pelas parcerias.

5.3.6 Referências

- ALONSO, R.; ORÚE, E.; ZABALZA, M. J.; GRANT, G.; MARZO, F. Effects of extrusion cooking on structure and functional properties of pea and kidney bean properties. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Londres, v. 80, p. 397-493, 2000.
- ALTAN, A.; McARTHUR, T. L.; MASKAN, M. Effect of extrusion cooking on functional properties and in vitro starch digestibility of barley-based extrudates from fruit and vegetable by-products. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 89, p. 1587-1592, 2009.
- ANDERSON, R. A.; CONWAY, H.F.; PFEIFER, V. F.; GRIF-FN, L. J. Gelatinization of corn grift by roll and extrusion cook. **Cereal Science Today**, Saint Paul, v. 14, n. 1, p. 4-11, 1969.
- ARAÚJO, J. M. A. **Química de alimentos: teoria e prática**, 3. ed. Viçosa: UFV, 2001, 315 p.
- AUGUSTO-RUIZ, W.; BONATO, S. R.; SILVA ARRIECHE, L.; VAZ ALVES, F. Caracterização da farinha pré-gelatinizada de arroz integral produzida a partir de grãos quebrados. **Vetor**, Rio Grande, v. 13, n. 1, p. 25-46, 2003.
- AZEREDO, H. M. C.; BRITO, E. S.; GARRUTI, D. dos S. Alterações químicas durante a escotagem. In: **Fundamentos da estabilidade de alimentos**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2004, cap. 2, p. 37-64.
- BARBUTI, S.; PAROLARI, G. Causes and prevention of dry-crued ham defects. In: SYMPOSIUM INTERNACIONAL DEL JAMON CURADO, 2. **Anais...**Barcelona, Espanha, 2000, p. 19-25.

- BORBA, A. M.; SARMENTO, S. B. S.; LEONEL, M. Efeito dos parâmetros de extrusão sobre as propriedades funcionais de extrusados da farinha de batata-doce. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 4, p. 835- 843, 2005.
- BOX, G. E. P.; HUNTER, W. G.; HUNTER, J. S. **Statistics for Experimenters: An Introduction to Design, Data Analysis, and Model Building**, John Wiley and Sons. 1978
- CAMARGO, K. F.; LEONEL, M.; MISCHAN M. M. Produção de biscoitos extrusados de polvilho azedo com fibras: efeito de parâmetros operacionais sobre as propriedades físicas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 3, p. 586-591, 2008.
- CARVALHO, R. V.; ASCHERI, J. L. R.; CAL-VIDAL, J. Efeito dos parâmetros de extrusão nas propriedades físicas de extrusados de misturas de farinhas de trigo, arroz e banana. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 5, p. 1006-1018, 2002.
- CASTIGLIONI, G. L.; MORAIS, M. B.; CALIARI, M.; SILVA, F. A.; DAMIANI, C. SOARES JÚNIOR, M. S. Aceitação de pães de forma elaborados com farinha de bagaço de mandioca. In: II SIMPÓSIO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, Aracajú, 2010. Cd-room.
- CEREDA, M. P. **Caracterização, usos e tratamentos de resíduos da industrialização da mandioca**. Botucatu. Ed. Unesp, 1996. 56 p.
- CHANG, Y. K.; HASHIMOTO, J. M.; ACIOLI-MOURA, R.; FLORES, H. E. M.; BUSTOS, F. M. Influence of extrusion condition on cassava starch and soybean protein concentrate blends. **Acta Alimentaria**, Amsterdam, v. 30, n. 2, p. 189-203, 2001.
- CHISTÉ, R. C.; COHEN, K. de O.; MATHIAS, E. de A.; RAMOA JUNIOR, A. G. A. Estudo das propriedades físico-químicas e microbiológicas no processamento da farinha de mandioca do grupo d'água. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, n. 2, 2007.
- CLERICI, M. T. P. S.; EL-DASH, A. A. Características tecnológicas de farinhas de arroz pré-gelatinizadas obtidas por extrusão termoplástica. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1543-1550, 2008.
- DITCHFIELD. C. **Estudo dos métodos para a medida da atividade de água**. 2000. 195 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000. Disponível em <<http://www.teses.usp.br/teses/.../tde-06112001-090117/>>. Acesso em: 03 fev. 2011.
- DUST, J. M.; GAJDA, A. M.; FLICKINGER, E. A.; BURKHALTER, T. M.; MERCHEN, N. R.; FAHEY JR, G. C. Extrusion conditions affect chemical composition and in vitro digestion of select food ingredients. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 52, p. 2989-2996, 2004
- FAO. Food and Agriculture Organization. **Prognóstico Agropecuário - análise da conjuntura agropecuária safra 2010/11 - mandioca**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>> . Acesso em: 23 fev. 2011.
- FERREIRA NETO, C. J.; FIGUEIREDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Avaliação sensorial e da atividade de água em farinhas de mandioca temperadas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 4, p. 794-802, 2005.
- FERREIRA, C. D.; PENNA, R. S. Comportamento higroscópico da farinha de pupunha. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 23, n. 2, p. 251-255, 2003.

- FILLI, K. B.; NKAMA, I. Hydratation properties of extruded fura from millet and legumes. **British Food Journal**, Cambridge, v. 109, p. 68-80, 2007.
- FREITAS, T. S.; LEONEL, M. Amido resistente em fécula de mandioca extrusada sob diferentes condições operacionais. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 19, n. 2, p. 183-190, 2008.
- HASHIMOTO, J. M.; GROSSMAN, M. V. E. Effects of extrusion conditions on quality of cassava bran/cassava starch extrudates. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 38, n. 5, p. 511-517, 2003.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Prognóstico da produção agrícola nacional** – comparativo entre as safras de 2010/2011. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa_201101.pdf>. Acesso em: 23 fev. 2011.
- LEONEL, M.; CEREDA, M. P. Extração da fécula retida no resíduo fibroso do processo de produção de fécula de mandioca. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 20, n. 1, p. 122-127, 2000.
- LEONEL, M.; MISCHAN, M. M.; PINHO, S. Z.; IATAURO R. A.; DUARTE FILHO, J. Efeitos de parâmetros de extrusão nas propriedades físicas de produtos expandidos de inhame. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 2, p. 459-464, 2006.
- LEONEL, M. O. O farelo, subproduto da extração da fécula de mandioca. In: FUNDAÇÃO CARGIL. **Manejo, uso e tratamento de subprodutos da industrialização da mandioca**. 2001. v. 4, cap. 15, p. 211-216. (Série Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas).
- LEONEL, M.; SOUZA, L. B.; MISCHAN, M. M. Produção de *snacks* extrusados à base de polvilho doce e fibra de laranja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 6, p. 1411-1417, 2010.
- LEORO, M. G. V. **Desenvolvimento de cereal matinal extrusado orgânico à base de farinha de milho e farelo de maracujá**. 2007. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Alimentos) Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007. Disponível em: <http://www.fea.unicamp.br/alimentarium/ver_documento.php?did=388>. Acesso em: 20 jun. 2010.
- LÓPEZ, G; ROS, G; ORTUNO, J; MARTINEZ, C; RINCÓN, F. Influencia del tratamiento térmico y la fibra dietética en la calidad de la proteína de la alcachofa y su subproducto. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, Caracas, v. 49, n. 1, p. 49-54, 1999.
- LUSTOSA, B. H. B.; LEONEL, M.; MISCHAN, M. M. Influência dos parâmetros de extrusão na absorção e solubilidade em água de farinhas pré-cozidas de mandioca e caseína. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 20, n. 2, p. 223-229, 2009.
- MURRAY, S. M.; FLICKINGER, E. A.; PATIL, A. R. In vitro fermentation characteristics of native and processed cereal grains and potato starch using ileal chime from dogs. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 79, p. 435-444, 2001.
- PELIZER, L. H.; PONTINERI, M. H.; MORAES, I. O. Utilização de resíduos agroindustriais em processos biotecnológicos como perspectiva de redução do impacto ambiental. **Journal of Technology Management and Innovation**, Santiago, v. 2, n. 1, p. 118-127, 2007.
- RAUPP, D. S.; MARQUES, S. H. P.; ROSA, D. A.; CALDI, C. M.; CREMASCO, A. C. V.; BANZATTO, D. A. Arraste via fecal de nutrientes da ingestão produzido por bagaço de mandioca hidrolisado. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 2, p. 235-242, 2002.

RAVI, R.; SUSELAMMA, N. S. Simultaneous optimization of a multy-response system by desirability function analysis of boondi making: A case study. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 70, p. S539-S547, 2005.

RIBEIRO, E. P.; SERAVALLI, E. A. G. **Química de Alimentos**. São Paulo: Instituto Mauá de Tecnologia, 2004, 102 p.

RODRIGUES, J. P. M. **Caracterização e análise sensorial de biscoitos de polvilho enriquecidos com farelo de mandioca**. 2010. 81 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010. Disponível em: <http://bdtd.ufg.br/tesesimplificado/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=1509>. Acesso em: 15 fev. 2011.

SAITO, I. M. **Produção de hidrolisados e fibras a partir de resíduo da industrialização da mandioca submetido a pré-tratamento hidrotérmico**. 2005. 97 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2005. Disponível em: <http://www.fca.unesp.br/pos_graduacao/Teses/PDFs/Arq0403.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2009.

SAITO, I.; CABELO, C.; FUKUSHIMA, R. S. Caracterização das fibras do farelo de mandioca residual após tratamento hidrotérmico. **Raízes e Amidos Tropicais**, Botucatu, v. 2, p. 1-11, 2006.

SARANTÓPOULOS, C. I. G. L.; OLIVEIRA, L. M.; CANAVES, E. Requisitos de conservação de alimentos em embalagens flexíveis. Campinas: CETEA/ITAL, 2001, 213 p.

SEBIO, L. **Efeito de alguns parâmetros operacionais de extrusão nas propriedades físico-químicas da farinha de inhame (*Dioscorea rotundata*)**. 1996. 102 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1996. Disponível em: <<http://www.fea.unicamp.br/deptos/dta/.../dissertacoes.html>>. Acesso em: 10 mai. 2010.

SHITTU, T. A.; DIXON, A.; AWONORIN, S. O.; SANNI, L. O.; MAZIYA-DIXON, B. Bread from composite cassava–wheat flour. II: Effect of cassava genotype and nitrogen fertilizer on bread quality. **Food Research International**, Toronto, v. 41, n. 1, p. 569–578, 2008.

SIDDIQ, M. ; RAVI, R.; HARTE, J. B.; DOLAN, K. D.; Physcal end functional characteristic of selected dry bean flours. **LWT - Food Science and Technology**, Londres, v. 43, p. 232-237, 2009.

SILVA, E. M. M; ASCHERI, J. L. R.; ASCHERI, D. P. R.; CARVALHO, L. M. J. Efeito dos parâmetros de extrusão nas características de viscosidade de pasta e Índice de absorção de água de macarrões pré-cozidos elaborados a partir de farinha mista de arroz integral e milho obtidos por extrusão. **Boletim CEPPA**, Curitiba, v. 26, n. 2, p. 239-254, 2008.

SOUZA, L. B.; LEONEL, M. Efeito da concentração de fibra e parâmetros operacionais de extrusão sobre as propriedades de pasta de misturas de fécula de mandioca e polpa cítrica. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 30, n. 3, p. 686-692, 2010.

SOUZA, T. A. C. **Segurança microbiológica de resíduos sólidos de fecularia de mandioca e aplicação em bolos para a alimentação humana**. 2011. 87 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Escola de Agronomia e Engenharia de alimentos. Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011. Disponível em: <http://bdtd.ufg.br/tesesimplificado/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=1509>. Acesso em: 15 abr. 2011.

SRIROTH, K.; CHOLLAKUP, R.; CHOTINEERANAT, S.; PIYACHOMKWAN, K.; OATES, C. G. Processing of cassava waste for improved biomass utilization. **Bioresource Technology**, Londres, v. 71, p. 63-69, 2000.

STATSOFT. **STATISTICA 7.0 for Windows** – Computer program manual. Tulsa: Statsoft, Inc., 2007. CD Room.

SVIHUS, B. UHLEN, A. K. HARSTAD, O. M. Effect of starch granule structure, associated components and processing on nutritive value of cereal starch: A review. **Animal Feed Science and Technology**, Chicago, v. 122, n. 3-4, p. 303-320, 2005.

THAKUR, S.; SAXENA, D. C. Formulation of extruded snack food (gum based cereal-pulse blend): optimization of ingredients levels using response surface methodology. **Food Science and Technology**, Londres, v. 33, p. 354-361, 2000.

TROMBINI, F. R. M. **Caracterização de produtos extrusados de misturas de farinha de soja, fécula e farelo de mandioca**. 2010. 100 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010. Disponível em: <http://www.fca.unesp.br/pos_graduacao/Teses/PDFs/Arq0444.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2009.

TROMBINI, F. R. M.; LEONEL, M. Propriedades de pasta e térmicas de misturas instantâneas de farinha de soja, fécula e farelo de mandioca. **Energia na Agricultura**, Botucatu, vol. 25, n. 4, p. 50-71, 2010.

WANG, N.; BHIRD, P. R.; SOSULSKI, F. W.; TYLER, R. T. Pasta-like product from pea flour by twin-screw extrusion. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 64, n. 4, p. 671-678, 1999.

ZHENG, H.; YANG, X.; TANG, C.; LI, L.; AHMAD, I. Preparation of soluble soybean protein aggregates (SSPA) from insoluble soybean protein concentrates (SPC) and its functional properties. **Food Research International**, Toronto, v. 41, p. 154-164, 2008.

5.4 INFLUÊNCIA DAS FARINHAS DE AMARANTO E PRÉ-GELATINIZADA E DA FÉCULA DE MANDIOCA SOBRE A QUALIDADE TECNOLÓGICA E SENSORIAL DE MACARRÕES SEM GLÚTEN

Resumo

A mandioca caracteriza-se como alimento de alto valor energético, possui teor elevado de amido, contém fibras e alguns minerais como potássio, cálcio, fósforo, sódio e ferro. O bagaço de mandioca é composto pelo material fibroso da raiz e contém parte do amido que não foi possível extrair no processamento da fécula. Devido às vantagens nutricionais do amaranto, diversas pesquisas têm avaliado a incorporação do grão, sob a forma de farinha, em preparações culinárias como substituto da tradicional farinha de trigo, objetivando melhor qualidade nutritiva do produto final. A presente pesquisa teve por objetivo analisar o efeito dos componentes nas propriedades de cozimento de macarrões pré-cozidos à base de farinha pré-gelatinizada de fécula e bagaço de mandioca (70:30), fécula de mandioca e farinha de amaranto por meio de delineamento de misturas. Foi determinada uma formulação, pelo teste de desejabilidade, que foi comparada com macarrões comerciais de trigo comum e de trigo integral quanto as características de qualidade. O macarrão tipo *talharim* obtido neste estudo com proporção 10:60:30 (farinha pré-gelatinizada, fécula de mandioca, farinha de amaranto), foi a massa que apresentou melhores resultados nos testes de qualidade, com tempo de cozimento de 3 min, aumento de massa de 101,46 e 0,6% de perdas de sólidos na água de cozimento, sendo superior a dos macarrões comerciais. Foi realizada análise sensorial com o macarrão experimental selecionado. O teste de aceitação demonstrou que o macarrão avaliado foi considerado muito bom (escore de 7,2) e com intenção de compra de 42%. Verificou-se que a elaboração de massas alimentícias pré-cozidas de farinha pré-gelatinizada de fécula e bagaço de mandioca (70:30), fécula de mandioca e farinha de amaranto, é uma alternativa viável no aspecto tecnológico e sensorial, podendo ser consumidas por portadores da doença celíaca, que dispõem de poucas opções no mercado brasileiro de massas.

Palavras-chave: *Manihot esculenta* Crantz, delineamento de misturas, doença celíaca, cozimento, aceitabilidade.

5.4.1 Introdução

O processamento de raízes de mandioca consiste principalmente na fabricação da farinha e na extração da fécula, gerando resíduos que podem ser sólidos (casca, entrecasca e farelo ou bagaço) ou líquidos (manipueira e água vegetal). O bagaço de mandioca é composto pelo material fibroso da raiz, e contém parte do amido que não foi possível extrair no processamento. Este resíduo tem se apresentado como um grande problema para os industriais, que o doam ou vendem a preços muito baixos a fazendeiros para a alimentação animal, ou são depositados em valas. Além do aspecto da agressão ao meio ambiente, deve ser também considerado que o despejo indevido de resíduos da mandioca constitui desperdício de rendimentos para o produtor de fécula de mandioca, quando são consideradas as composições e as quantidades geradas (CAMARGO; LEONEL; MISCHAN, 2008).

A produção mundial de féculas é de 70.000.000.000 t, sendo 11% correspondente a produção de fécula de mandioca e o Brasil contribui com 565.110.000 t por ano. Nas fecularias, para cada tonelada de raiz processada são produzidos cerca de 250 kg de fécula de mandioca e 928,6 kg de bagaço com 85% de umidade (LEONEL, 2011). Considerando a produção brasileira de mandioca destinada a produção de fécula, são gerados 2,09 milhões de toneladas deste resíduo úmido e 28,6 milhões de toneladas no mundo. Considerando este resíduo com 12% de umidade (farinha de bagaço de mandioca), poderiam ser gerados 566.740 t desta farinha no Brasil e 7.720.000 t no mundo (FAO, 2011; IBGE, 2011, ABIMA, 2011).

Pesquisas vêm sendo realizadas visando desenvolver tecnologias de aproveitamento do bagaço de mandioca para a obtenção de produtos de elevado valor agregado, onde esses seriam utilizados como ingredientes para produtos alimentícios ricos em fibras (CEREDA, 1996; RODRIGUES, 2010; SAITO, 2005; SHITTU et al., 2008; SOUZA, 2011; SRIROTH et al., 2000).

O Brasil ocupa o terceiro lugar na produção mundial de macarrão, estando atrás apenas da Itália e dos Estados Unidos, com 1,3 milhões de toneladas por ano, e é sétimo maior consumidor das Américas. O consumo *per capita* de massas alimentícias no ano de 2010 no país foi de 6,4 kg, e aproximadamente 82% deste consumo correspondeu às massas secas (ABIMA, 2010).

A possibilidade de produzir industrialmente novos tipos de massas a partir de farinhas diferentes do trigo tem despertado interesse, não apenas pelo custo da matéria-prima, mas por permitir o uso de outros materiais largamente disponíveis. Uma das razões para a produção de massas alimentícias não-convencionais, além do fator econômico e ambiental, seria uma alternativa de produtos isentos de glúten (SILVA et al., 2008).

A farinha pré-gelatinizada de fécula e farinha de bagaço de mandioca obtida por extrusão, apesar de ser isenta de glúten e de possuir teor reduzido de proteína [0,74 g (100 g)⁻¹] se comparado ao trigo [9,8 g (100 g)⁻¹], possui capacidade de formar estrutura que proporciona firmeza ao macarrão, pois durante a extrusão, o grânulo de amido gelatinizado, perde a integridade provocando aumento sua capacidade de absorver água à temperatura ambiente, aumentando, conseqüentemente, a viscosidade a frio (25 °C) (EL-DASH, GONZALES e CIOL, 1984). O teor reduzido de proteína desta farinha pré-gelatinizada e conseqüentemente dos alimentos produzidos a partir dela, pode ser compensado com a adição de outras matérias-primas ricas neste componente.

O amaranto (*Amaranthus cruentus*) é uma dicotiledônea com conteúdo de proteína, variando de 12 a 18% (SEGURA-NIETO et al., 1992; TEUTONICO; KNORR, 1985) e, por

não conter glúten, pode ser utilizado por portadores de doença celíaca (MARCÍLIO; AMAYA-FARAN; SILVA, 2005; MATUZ et al., 2000; TOSI; CIAPPINI; MASCIARELLI, 1996), além de poder enriquecer massas alimentícias obtidas com os produtos de mandioca.

Portanto, este estudo teve como objetivo utilizar a farinha de amaranto, o bagaço e a fécula de mandioca na produção de massa alimentícia sem glúten, visando avaliar a qualidade de cozimento e sensorial das formulações obtidas.

5.4.2 Materiais e métodos

Para a elaboração dos macarrões foram utilizados os ingredientes: farinha pré gelatinizada (FPG) de fécula e farinha bagaço de mandioca (70:30), a fécula de mandioca (FM) e a farinha de amaranto (FA). A FPG foi extrusada com umidade de 16 g (100 g)⁻¹, taxa de compressão da rosca de 3:1; taxa de alimentação de 350 g min.⁻¹; abertura da matriz circular de 4 mm de diâmetro; temperatura na primeira, segunda e terceira seção de aquecimento do extrusor de 57, 50 e 90 °C, respectivamente; rotação da rosca de 250 rpm de extrusão. Delineamento de misturas (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2001) foi utilizado para a elaboração dos macarrões tipo *talharim* experimentais (Tabela 4.1).

Foram adicionados, em todas as formulações, 2 g de corante urucum em pó, 10 g de água e 48 g ovo a cada 100 g da mistura seca. Os ingredientes secos foram misturados em homogeneizador tipo Y (Tecnal, TE-394/3, Piracicaba, Brasil) durante 15 min e em seguida, foram adicionados os demais ingredientes. A massa foi misturada manualmente e moldada em pastaia (Imperia, Lusso-SP150, Pescara, Itália). Utilizou-se a trefila para macarrão de massa longa tipo *talharim* e o corte foi manual em pedaços de 30 cm de comprimento. Os macarrões foram dispostos em bandejas teladas para facilitar a circulação do ar e secos em estufa (Tecnal, TE-394/3, Piracicaba, Brasil) com circulação de ar a 40 °C, durante 60 min.

A fim de garantir a qualidade da massa após a secagem, criou-se um ambiente dentro da estufa com umidade relativa mais elevada (vapor). Colocou-se um recipiente com água potável na parte inferior do equipamento com esta finalidade. Após 60 min o recipiente foi removido e as amostras mantidas dentro da estufa por mais 30 min até restabelecer a umidade relativa do ambiente. Os macarrões foram secos até alcançarem umidade final ao redor de 10 g (100 g)⁻¹.

Tabela 4.1. Planejamento experimental para estudo do efeito da farinha pré-gelatinizada (FPG), fécula de mandioca (FM) e farinha de amaranto (FA) nas propriedades de cozimento dos macarrões experimentais. Valores em concentrações reais (g do componente por 100 g de mistura) e pseudocomponentes.

Experimento	Proporções dos ingredientes na mistura ternária					
	Concentrações reais			Pseudocomponentes		
	FPG (c1)	FM (c2)	FA (c3)	FPG (X1)	FM (X2)	FA (X3)
1	0,40	0,50	0,10	1	0	0
2	0,10	0,70	0,20	0	0,67	0,33
3	0,20	0,70	0,10	0,33	0,67	0
4	0,20	0,50	0,30	0,33	0	0,67
5	0,10	0,60	0,30	0	0,33	0,67
6	0,20	0,60	0,20	0,33	0,33	0,33
7	0,20	0,60	0,20	0,33	0,33	0,33
8	0,20	0,60	0,20	0,33	0,33	0,33

Fonte: STATSOFT (2007)
 $X1 + X2 + X3 = 1$ ou 100%

Foram realizadas micrografias da superfície das amostras em microscópio eletrônico de varredura (Sputter Coater, SCD 050, Scotia, USA). As amostras foram completamente secas em estufa a 105 °C, durante 24 h e permaneceram em dessecador até o momento de seu preparo. O tempo de deposição de ouro nas amostras foi de 98 seg, representando uma camada de 15 nm sobre o material. As imagens foram ampliadas nas magnitudes de 200X e 1600X.

As propriedades de cozimento foram determinadas conforme métodos descritos por Chang e Flores (2004). O tempo ótimo de cozimento (TOC) foi definido como aquele requerido para o centro da massa tornar-se esbranquiçado, indicando que o amido neste local foi gelatinizado. Esta variável resposta foi determinada pela cocção de 10 g de amostra em 140 mL de água destilada em ebulição. O TOC, expressos em min, foi determinado pela compressão do produto cozido entre duas lâminas de vidro até o desaparecimento do eixo central, em intervalos de 30 seg, após 5 min de cozimento. O aumento de massa (AM) foi determinado pela relação entre 10 g de macarrão seco e sua massa após a cocção, usando-se o TOC de cada amostra. Os valores foram calculados, segundo equação 4.1 e expressos em porcentagem.

$$AM = \frac{(m_f - m_i) \times 100}{m_i} \quad (\text{Equação 4.1})$$

No qual,

AM = aumento de massa;

m_f = massa da amostra cozida;

m_i = massa da amostra crua.

A perda de sólidos (PS) na água de cozimento foi determinada pela evaporação de 25 mL de água de cozimento em estufa (Tecnal, TE-394/3, Piracicaba, Brasil) a 110 °C, até peso constante. Os resultados foram expressos em porcentagem.

Para a determinação da atividade de água (A_w), utilizou-se aparelho (Aqua Lab, CX-2, Washington, EUA), a temperatura constante (24 ± 1 °C). Todas as análises foram realizadas em triplicata.

Os resultados obtidos na caracterização dos macarrões foram avaliados por análises de variância sendo elaborados modelos matemáticos de regressão, que expressam a relação entre os pseudocomponentes em cada experimento e os valores obtidos para o TOC, AM, PS e A_w dos macarrões experimentais e as respostas puderam ser visualizadas em gráficos triangulares de curvas de nível para cada variável dependente com base no modelo ajustado.

Com os modelos matemáticos ajustados obtidos para as propriedades de cozimento do macarrão (tempo de cozimento, aumento de massa e perda de sólidos na água) e com o auxílio da função “response desirability profiling”, do programa Statistica 7.0 (STATSOFT 2007), realizou-se o cálculo para escolha da melhor formulação de macarrão, com base nas variáveis independentes utilizadas (FPG, FM e FA), obtendo-se como mais desejável a formulação com menor tempo de cozimento, menor perda de sólidos na água e aumento de massa intermediário.

A amostra selecionada na análise de desejabilidade, foi submetida ao teste sensorial de aceitabilidade. Escala hedônica de 9 pontos (9 = gostei extremamente, 5 = não gostei nem desgostei e 1 = desgostei extremamente) foi utilizada. A intenção de compra foi avaliada, utilizando escala de 5 pontos (5 = certamente compraria, 3 = talvez comprasse/talvez não comprasse, 1 = certamente não compraria), entre consumidores habituais de macarrão. Os testes foram realizados em laboratório com 50 provadores não treinados e a amostra foi servida, em cabine individual, sob iluminação branca, a temperatura de 50 a 60 °C, em porção de 25 g e acompanhada de molho base de tomate. O macarrão foi preparado no seu TOC, não sendo acrescentados sal e óleo na água de cocção. Após o cozimento, este foi drenado por 10 min e logo após, acrescido do molho de tomate. Quanto à faixa etária, 65% dos consumidores tinham entre 15 e 25 anos, 19% com idade entre 25 e 35 anos e 17% entre 35 e 50 anos, sendo

54% do sexo feminino e 46% do sexo masculino. Destes, 100% disseram serem consumidores de macarrão, sendo que 67% consomem semanalmente em suas refeições, 23% consomem 3 vezes por semana e 10% consome 1 vez por mês, quando questionados sobre a frequência do consumo de macarrão. Foram calculados a média, o desvio-padrão e o coeficiente de variação das notas recebidas.

A amostra de macarrão experimental selecionada foi comparada com macarrões comerciais de trigo comum e de trigo integral em relação às propriedades de cozimento e atividade de água. As médias foram comparadas pelo teste de tukey a 5% de probabilidade de erro.

5.4.3 Resultados e Discussões

Propriedades tecnológicas e microestrutura dos macarrões

Os testes de cozimento podem ser influenciados pela natureza e qualidade da matéria-prima empregada, características do formato do produto final, sistemas de processamento, secagem e o próprio sistema de cozimento (NICOLLETI et al., 2007). Os macarrões pré-cozidos, avaliados no estado fresco e seco, mostraram uniformidade em termos de comprimento (300 mm), espessura (1 mm) e largura (5 mm). Apresentaram-se lisos, sem rugosidade e de coloração uniforme (Figura 4.1). Tais características de qualidade são fundamentais no aspecto comercial do produto (DEXTER; MATSUO; MORGAN, 1981; WALSH; GILLES, 1974).



Figura 4.1. Macarrão experimental (A) fresco e (B) seco

A maior mudança estrutural durante o cozimento das massas ocorreu a partir da gelatinização do amido e a coagulação das proteínas, pois o amido gelatinizado é identificado como o componente envolvido na adesividade e na manutenção da integridade das massas (CUNIN et al., 1995). O tempo ótimo de cozimento (TOC), o aumento de massa (AM) dos macarrões, perda de sólidos (PS) na água de cozimento e atividade de água (Aw), podem ser visualizados no Anexo D. Os modelos de regressão ajustados, o nível de significância (p), a falta de ajuste (FA) e os coeficientes de determinação (R^2) para as características dos macarrões estão apresentados na Tabela 4.2.

Todos os modelos analisados foram significativos ($p \leq 0,05$). Os efeitos da quantidade de FPG, FM e FA e a da interação entre FPG e FA foram significativos ($p \leq 0,05$), em todos os modelos analisados. O efeito da interação entre a FPG e a FM também foi significativo em todos os modelos, com exceção para o modelo de TOC. O efeito da interação entre a FM e a FA foi significativo para a PS e Aw, no entanto, optou-se por mantê-la no modelo de AM, pois melhorou o ajuste do modelo, ou seja, este modelo apresentou o melhor coeficiente de determinação ajustado.

Tabela 4.2. Modelos de regressão múltipla, nível de significância (p), falta de ajuste (FA) e coeficiente de determinação (R^2) para tempo ótimo de cozimento (TOC), aumento de massa (AM), perda de sólidos (PS) na água de cozimento e atividade de água (Aw) dos macarrões em função dos níveis codificados de farinha pré-gelatinizada (x_1), fécula de mandioca (x_2) e farinha de amaranto (x_3).

Propriedade	Modelo*	p	FA	R^2
TOC	$y_1 = 3,49x_1 + 4,96x_2 + 2,03x_3 + 8,70x_1x_3$	0,000	91,30	0,9856
AM	$y_2 = 87,35x_1 + 183,65x_2 + 69,07x_3 + 162,53x_1x_2 + 166,60x_1x_3 - 26,13x_2x_3$	0,005	179,16	0,9978
PS	$y_3 = 0,81x_1 + 1,52x_2 + 0,43x_3 - 2,80x_1x_2 + 1,53x_1x_3 - 1,94x_2x_3$	0,010	75,34	0,9947
Aw	$y_4 = 0,61x_1 + 0,40x_2 + 0,48x_3 + 0,50x_1x_2 - 0,09x_1x_3 + 0,67x_2x_3$	0,000	6184,1	0,9999

* Efeitos em *itálico* não foram significativos, porém foram mantidos para melhoria do ajuste do modelo

O tempo de cozimento é uma função da coesão da massa do amido pré-gelatinizado. Com o aumento do tempo de cozimento, as forças que mantêm a coesão começam a enfraquecer e facilitam a penetração de água no sistema (CRUZ; SOARES, 2002). Observou-se uma tendência ao maior TOC quanto menor a quantidade de FM e quantidades intermediárias de FPG e FA (Figura 4.2A). Teoricamente, o TOC do macarrão deveria ser menor quando se aumentasse o teor de FPG. No entanto, com a diminuição da quantidade de

FPG e aumento da FA, até a concentração de 32% de FPG e 18% de FA, observou-se no gráfico um aumento do TOC e após a concentração 22% de FPG e 28% de FA, a tendência foi de diminuição do TOC provavelmente porque as fibras e as proteínas presentes na FA absorveram mais a água de cozimento, reduzindo a disponibilidade desta água para a gelatinização do amido e acarretando a necessidade de maior tempo de cozimento, até que a capacidade de absorção de água destas substâncias chegou ao máximo e a tendência se inverteu.

Na Figura 4.2, estão apresentados os gráficos de curvas de nível obtidos a partir dos modelos para TOC, AM, PS e Aw em função das proporções de FPG, FM e FA em pseudocomponentes. O menor TOC (abaixo de 3,5 min), regiões representadas dentro das áreas claras delimitadas pelas linhas pontilhadas (Figura 4.2.A), que incluem os pontos experimentais 5 e 1, encontram-se em macarrões entre as formulações de FPG:FM:FA de 12:61:28; 10:65:25 e 10:60:30 (pontos A, B e 5, respectivamente) e na área próxima ao ponto experimental 1, entre as formulações 39:50:12; 35:55:10 e 40:50:10 e (pontos C, D e 1, respectivamente). O maior TOC (5 min), área representada dentro da área escura delimitada pela linha pontilhada, encontra-se em macarrões entre as formulações 32:50:18; 21:50:28; e 22:50:28 (pontos E, F e G, respectivamente). Portanto, os menores TOC (abaixo de 3,5 min), área próxima ao ponto 5, encontra-se em macarrões com quantidades máximas de FA (28 a 30%), e de FM (60 a 65%), e mínimas de FPG (10 a 12%) ou na área próxima ao ponto experimental 1, com FPG entre 33 a 40%, FM entre 50 a 55% e FA entre 10 a 12%. O maior TOC (5 min), encontra-se em macarrões entre com quantidade de FPG entre 21 e 32%, de FM entre 21 e 50% e de FA entre 18 a 28%.

O aumento de massa (AM) dos macarrões experimentais após o cozimento foi considerado bom, pois de acordo com Hummel (1966), massas alimentícias de boa qualidade devem apresentar AM após o cozimento de duas vezes em relação a massa original, ou seja, 100%.

Observou-se uma tendência de AM mais intenso quanto menor a quantidade de FPG e de FA e maior quantidade de FM nas formulações de macarrão (Figura 4.2B). Porém, como é desejável AM de 2 vezes (100%), observou-se que esta faixa de AM ocorre próxima aos pontos experimentais 1 e 5, ou seja, na área próxima ao ponto experimental 5 encontra-se entre as formulações de FPG:FM:FA de 14:58:28; 10:61:10 e 16:54:30 (pontos A, B e C, respectivamente) e nas formulações entre os pontos D, E, F, G, H e I (26:58:16, 23:67:10, 36:50:14, 29:58:14, 25:65:10 e 38:50:12, respectivamente). Ou seja, a quantidade de FPG varia entre 10 a 16%, a de FM entre 54 a 61%, com os maiores valores de FA (28 a 30%) ou

quando o teor de FPG e FM for entre 23 a 38% e 50 a 67%, respectivamente e FA entre 10 a 16%.

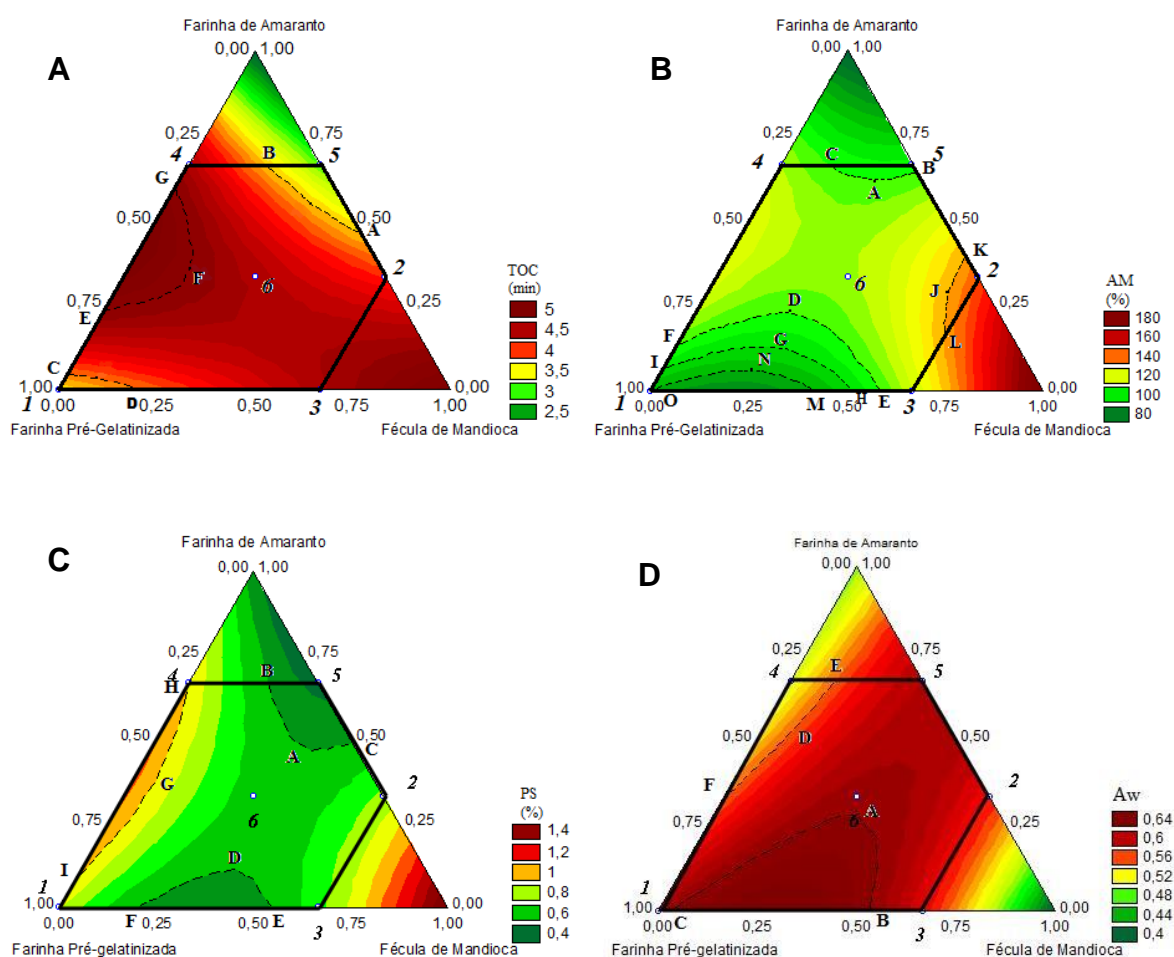


Figura 4.2. (A) tempo de cozimento (TOC), (B) aumento de massa (AM), (C) perda de sólidos (PS) e (D) atividade de água (Aw) em função das proporções em pseudocomponentes de farinha pré-gelatinizada (FPG), fécula de mandioca (FM) e farinha de amaranto (FA). Área demarcada entre os pontos experimentais demonstra a área do gráfico possível de ser analisada. Os vértices de cada extremidade da área demarcada representam o valor máximo do pseudocomponente de cada componente da mistura.

O maior AM (140%), área do gráfico representada dentro da área laranja delimitada pela linha pontilhada (pontos J, K e L), encontra-se em macarrões com formulações entre 13:69:19, 10:68:22 e 15:70:15 portanto, com quantidades mínimas de FA (15 a 22%) e FPG

(10 a 15%), e máxima de FM (68 a 70%). O menor AM (80%), área representada dentro da menor área verde delimitada pela linha pontilhada, encontra-se em macarrões com formulações de FPG:FM:FA entre 28:62:10, 32:57:12 e 39:51:10 (pontos M, N e O, respectivamente), ou seja, em macarrões com quantidades entre 28 a 39 % de FPG, 51 a 62% de FM, e 10 a 12% de FA.

Para a PS na água de cozimento observaram-se baixos valores, proporcionando ao macarrão boa qualidade de cozimento pois, de acordo com Hummel (1966), o macarrão que apresenta até 6% de perda de sólidos, pode ser considerado muito bom; até 8% regular; e acima de 10% ruim. Considerando esta forma de avaliação, os valores de perda de sólidos nos macarrões formulados com FM, FA e FFBME estão dentro dos parâmetros de qualidade de massas alimentícias, pois os valores não ultrapassaram 6%.

Observou-se uma tendência a menor PS, próximo ao ponto experimental 5, ou seja 10:60:20. No entanto, observa-se também uma área de baixos valores de PS em quantidades intermediárias de FPG e de FM e quantidades mínimas de FA. Observou-se também, que a FM exerce influencia neste índice, pois, nas regiões onde sua quantidade foi mínima ocorreram os maiores valores PS (1,2%). A menor PS (0,6%) ocorreu próximo ao ponto experimental 5, ou seja, entre as formulações correspondentes aos pontos A, B e C (14:61:25, 14:56:30 e 10:65:25, respectivamente), ou seja, a quantidade de FPG variou entre 10 a 14%, a de FM entre 56 a 65 % e com os maiores valores de FA (25 a 30%). Ou entre os pontos entre os pontos experimentais 1 e 3, quando os macarrões possuíam formulações de FPG:FM:FA entre 24:63:13, 24:66:10 e 34:56:10 (pontos D, E e F, respectivamente), portanto, quando o teor de FA for próximo ao mínimo (10 a 13%) e maior de FPG (24 a 34%) e FM intermediários (56 a 63%). A maior PS (1%) ocorreu entre as formulações 27:52:21, 21:50:29 e 36:50:14 (pontos G, H e I, respectivamente), assim, o teor de FM foi próximo ao mínimo (50 a 52%), teor de FPG intermediários (20 a 36%) e FA variou entre 14 a 29%.

Outra explicação para a baixa perda de sólidos nos experimentos estudados é a adição de ovos nas formulações, que exerceram função de emulsificante na massa, pois a albumina provavelmente auxiliou e melhorou o envolvimento do amido. A albumina neutraliza a carga superficial dos carboidratos, modificando suas propriedades reológicas. Com a neutralização das cargas superficiais não ocorre repulsão entre os grânulos de amido, facilitando a moldagem e fazendo com que o produto tenha superfície mais lisa e menor PS durante o cozimento (CIACCO; CHANG, 1986). Nabeshima, Hashimoto e El-dash (2003), avaliando o efeito da adição de emulsificantes em massas alimentícias produzidas com farinha de arroz polido, notou um decréscimo de até 71% da PS na água de cozimento, em comparação com

massas comerciais de trigo. Além disso, as baixas PSs podem ser justificadas pela possível formação de um complexo entre o emulsificante (albumina do ovo) e a amilose resultando em mudanças no transporte de água para dentro dos grânulos de amido. Se estes complexos forem formados na superfície do amido, um filme insolúvel poderá ser formado, resultando em menor saída dos sólidos do macarrão para a água durante a cocção (LAI, 2001).

Chillo et al. (2007) estudaram os efeitos da adição de emulsificante e de farinha pré-gelatinizada de amido de milho em massas alimentícias não convencionais produzidas a partir de FA e observaram que nas formulações adicionadas de emulsificante carboximetilcelulose, obteve-se TOC de 6,5 min e PS com variações entre 7,2 e 7,8 % no qual os maiores valores foram obtidos nos macarrões com maiores concentrações de emulsificante. Nas formulações onde foi utilizado a farinha de milho pré-gelatinizada, o TOC também foi de 6,5 min e a perda de sólidos de 10,6 a 11,8%. Tempo de cozimento e perda de sólidos maiores que os obtidos pelos macarrões do presente estudo.

Menegassi e Leonel (2005), em estudo com macarrão de mandioquinha-salsa (100%) e mistura com farinha de trigo (75:25), obtiveram AM de 108,3 e 158,33 %, respectivamente, e PS de 13,06% e 12,49%, não ocorrendo diferença significativa entre os macarrões em relação a este último parâmetro. Valores para AM semelhantes, porém PS superiores às obtidas neste trabalho para PS. Já Nabeshima, Hashimoto e El-dash (2003), com massas alimentícias pré-cozidas de farinha de arroz sem adição de emulsificante, obtiveram AM de 87,97%, valor inferior aos apresentados neste trabalho.

Ormenese e Chang (2002), analisando macarrão de arroz e de trigo, observaram nas características de cozimento uma PS de 6% na massa de trigo e 5,86% com arroz. Garib (2002), analisando massa alimentícia elaborada com 75% de farinha de trigo, 15% de farinha de milho pré-gelatinizada e 10% de farinha de soja, obteve como resultados dos parâmetros de qualidade, PS de 9,33% e AM de 100%. Ormenese (1998) avaliou as características de cozimento de massas alimentícias de arroz obtidas pelo processo convencional, cujos valores de perda de sólidos solúveis na água de cozimento variaram entre 7,8 a 8,5%. Estes autores encontraram valores de PS bem superiores aos obtidos neste trabalho.

A determinação da atividade de água não fornece uma estimativa real, entretanto correlaciona-se suficientemente bem com as velocidades de crescimento microbiano e de outras reações de deterioração, sendo, assim, um indicador útil quanto à estabilidade de um produto e sua segurança microbiológica (RIBEIRO; SERAVALLI, 2004), assim, pode-se dizer que a atividade de água em todos os tratamentos contribuiu satisfatoriamente para a garantia da conservação das amostras. Observou-se na figura 4.2D tendência à menor

atividade de água quanto maior a quantidade de FA e menor de FM e FPG nas amostras de macarrão. A maior atividade de água (acima de 0,60), representado pela coloração vermelha escura encontrou-se em macarrões com formulações de FPG:FM:FA entre 20:61:18, 25:65:10 e 39:51:10 (pontos A, B e C, respectivamente), ou seja, em macarrões com quantidades de FA entre 10 a 18%, de FM entre 51 a 65% e máximas de FPG (20 a 39%). A menor atividade de água (abaixo de 0,54), representado pela coloração amarela (entre os pontos D, E e F) encontrou-se em macarrões com formulações entre 22:53:25, 16:53:30 e 30:50:20, ou seja, naqueles macarrões com quantidades máximas de FA (20 a 30%), intermediárias de FPG (16 a 30%) e mínimas de fécula (50 a 53%).

A maioria dos alimentos apresenta A_w acima de 0,95 e a maioria das bactérias, leveduras e bolores crescerá acima deste ponto. Os esporos de *Clostridium botulinum* são, geralmente, inibidos em uma A_w ao redor de 0,93 ou menos. A A_w de 0,850 fornece uma larga margem de segurança e se a atividade de água de qualquer alimento for ajustada para 0,85 ou menos, nenhum processo térmico será necessário (ITAL, 1990). De forma excepcional, micro-organismos com tolerância especial, tais como as bactérias halófilicas e as leveduras osmofílicas podem se multiplicar em $A_w = 0,6$ aproximadamente. Desta forma, considera-se o valor de 0,60 como valor de A_w limitante para a multiplicação de qualquer micro-organismo (ARTHEY; DENNIS, 1992). Os menores valores de A_w foram superiores a 0,3, não oferecendo condições mais susceptíveis à oxidação de lipídios (FERREIRA NETO; FIGUEIREDO; QUEIROZ 2005). Em alimentos com atividade de água superior a 0,30, como ocorrido nos macarrões experimentais, o processo de oxidação é amenizado pelo elevado teor de água, em razão da proteção dada pelas proteínas hidratadas, que impedem o acesso do oxigênio, e em razão também da hidratação de íons metálicos, que são insolúveis na fração lipídica (ARAÚJO, 2001). Uma atividade de água desfavorável não só reduzirá a velocidade de crescimento dos micro-organismos, como também reduzirá a produção de células e seu metabolismo. Quanto mais desfavorável a atividade de água do substrato, mais prolongada será a fase de latência desses micro-organismos. Na conservação de alimentos este fato é tão importante quanto a diminuição na velocidade de crescimento dos micro-organismos (SILVA, 2002).

No caso de massas alimentícias não convencionais, como é o caso das elaboradas no presente estudo, procurou-se formar uma estrutura semelhante a do glúten através do emprego de tecnologias que explorem as propriedades funcionais do amido presente na matéria-prima e através da adição de aditivos, como a albumina do ovo, exercendo função de emulsificante. Foi possível verificar por meio das micrografias o efeito dos componentes

sobre a microestrutura dos macarrões correspondentes aos experimentos 1 (M1), 2 (M2), 4 (M4) e 5 (M5), (Figura 4.3), estas apresentaram a estrutura da superfície destes produtos. Estes macarrões foram selecionados por apresentarem valores extremos dos ingredientes FPG, FM e FA e por possuírem diferentes características de cozimento.

O macarrão com maior quantidade de FPG (M1), apresentou estrutura interna menos porosa, onde os grânulos de amido da FM não extrusada estavam profundamente embutidos na matriz formada pela FPG, que consistia em uma rede coagulada e densa. No entanto, como o macarrão foi analisado seco, esta estrutura caracterizou-se por uma gelatinização ainda incompleta. Na micrografia de superfície do macarrão M2, observou-se que os grânulos de amido aparecem menos cobertos pelo amido gelatinizado e o macarrão apresentou pequenas rachaduras, conforme indicado na figura 4.3.B, sugerindo certa descontinuidade, provavelmente por apresentar menor quantidade de FPG, e maior quantidade de FM. As estruturas observadas foram bastante similares à estrutura descrita por Siswoyo e Morita (2003), que notaram diferenças estruturais entre os grânulos de amido de trigo com e sem emulsificantes. A superfície do amido com emulsificante apresentava-se relativamente irregular, com algumas partículas ocas e apresentado uma estrutura perfurada na superfície.

Em todas as micrografias, observou-se que, embora as amostras tenham passado por um processo de secagem, apresentam, em sua estrutura, grânulos de amido intumescidos que não foram rompidos, indicados na figura 4.3.A. Isso, provavelmente, se deveu a interação da albumina do ovo, que exerceu função de emulsificante, com o amido, proporcionando maior resistência do grânulo em relação a sua deformação. Ghiasi, Hosney e Varriano-marston (1982) relataram comportamento similar em gelatinização de amido de trigo adicionado de monoglicérides, em que os grânulos mantiveram-se relativamente intactos depois de tratamento térmico bastante elevado (95 °C). A adição de emulsificantes restringe significativamente o intumescimento dos grânulos de amido, podendo retardar ou diminuir sua gelatinização (LAI, 2001; MARTIN; ZELEZNAK; HOSENEY, 1991).

O macarrão M4, possui uma estrutura menos porosa em alguns pontos e com superfície mais lisa e mais contínua com os grânulos de amido mais fortemente aderidos (indicado na figura 4.3.C), parecendo não haver distinção entre as partes protéicas e amiláceas, provavelmente por apresentar maior teor de proteína, proveniente da FA.

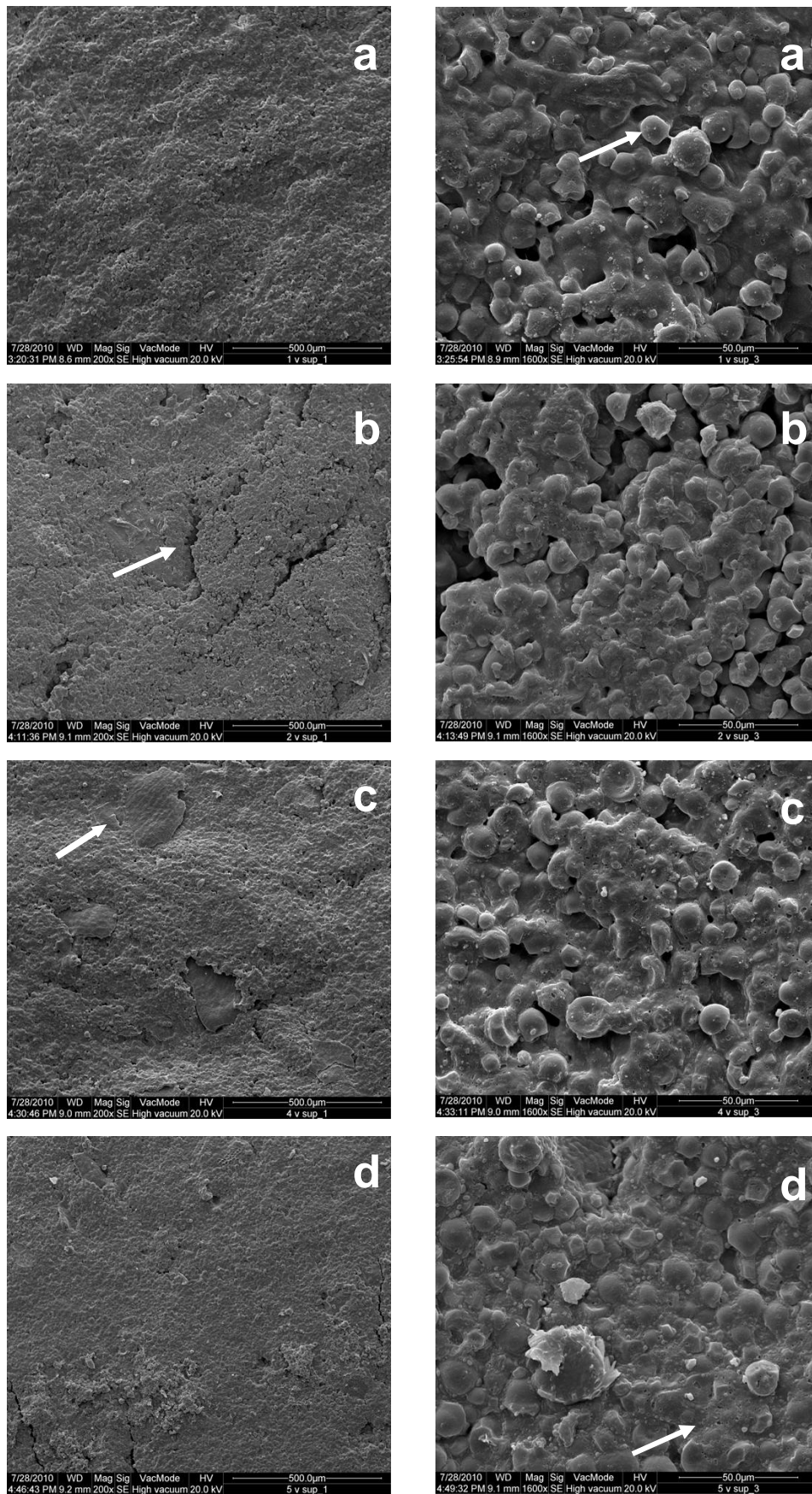


Figura 4.3. Micrografias referentes à superfície dos macarrões dos ensaios M1 (a), M2 (b), M4 (c) e M5 (d), nas magnitudes de ampliação de 200X e 1600X.
M1: 40% de FPG, 50%FM e 10% de FA / **M2:** 10% de FPG, 70%FM e 20% de FA / **M4:** 20% de FPG, 50%FM e 30% de FA / **M5:** 10% de FPG, 60%FM e 30% de FA

Teste de desejabilidade

Após o teste de cozimento realizou-se o teste de desejabilidade, onde a amostra mais desejável seria aquela com menor TOC, menor PS na água de cozimento e AM intermediário (Figura 4.4). O resultado do teste de desejabilidade indicou como a formulação mais desejada a mistura com 10% de FPG, 60% de FM e 30% de FA, correspondendo a formulação utilizada no experimento 5. A partir destes resultados, comparou-se o experimento 5 (macarrão experimental – ME), com o macarrão de trigo convencional (MT) e macarrão de trigo integral (MI) - ambas amostras comerciais - quanto às características de qualidade (tempo de cozimento, aumento de massa e perda de sólidos na água de cozimento) e quanto a atividade de água (Tabela 4.3).

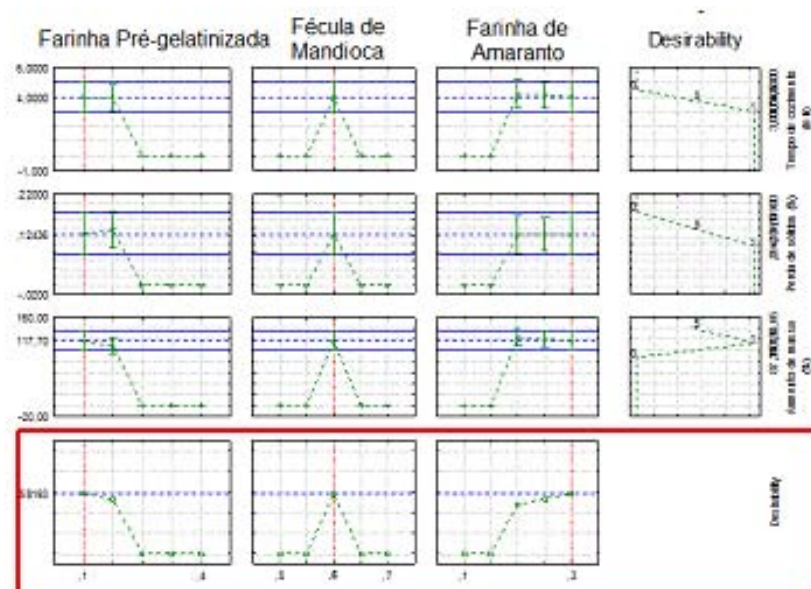


Figura 4.4. Teste de desejabilidade utilizando parâmetros de tempo ótimo de cozimento, aumento de massa e perda de sólidos na água.

Em relação às características de qualidade, houveram diferenças ($p > 0,05$) entre todas as amostras, com exceção da A_w , onde MT diferiu de MI, mas ME não diferiu ($p \leq 0,05$) das demais.

A A_w dos macarrões, segundo Ribeiro e Saravali (2004), é classificada como A_w baixa (até 0,65) e, visto que a cinética de muitas reações depende da A_w , tais como inativação de enzimas, a destruição de micro-organismos e a reação de Maillard (DITCHFIELD, 2000), este parâmetro contribui em grande parte para a conservação das amostras de macarrão.

Tabela 4.3. Características de qualidade de macarrão experimental selecionado (ME) formulado com 10% de FPG, 70% de FM e 20% de FA, macarrão de trigo convencional (MT) e macarrão de trigo integral (MI)

Característica	Macarrão ¹		
	ME	MT	MI
Atividade de água	0,601 ^{ab} ± 0,00	0,592 ^b ± 0,02	0,626 ^a ± 0,00
Tempo Ótimo de Cozimento (min)	3,00 ^c ± 0,29	5,17 ^b ± 0,29	7,17 ^a ± 0,29
Aumento de Massa (%)	101,46 ^b ± 0,11	83,01 ^c ± 1,38	107,31 ^a ± 0,46
Perda de sólidos (%)	0,37 ^c ± 0,01	0,85 ^b ± 0,01	1,98 ^a ± 0,02

¹Médias seguidas pela mesma letra na mesma linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro

O menor TOC foi do ME, e maior do MI, como era de se esperar, visto que o ME assemelha-se, em relação ao tempo de preparo, aos macarrões instantâneos comerciais. O TOC do ME correspondeu a aproximadamente metade do TOC do MI, o que oferece grande vantagem com relação às etapas de pré-preparo e preparo do prato. O maior AM foi do MI, seguido pelo ME, neste caso, provavelmente as fibras presentes, tanto no bagaço de mandioca quanto no macarrão integral, podem ter auxiliado na absorção da água, favorecendo o AM após o cozimento.

Segundo Dwards et al. (1993), além do TOC, o conteúdo de proteína pode também afetar a PS. Dexter e Matsuo (1979) verificaram que a qualidade superior de cozimento da massa do tipo espaguete pode estar relacionada com a proporção de proteína insolúvel no espaguete cozido, pois de acordo com esses autores, ocorre uma rápida diminuição de proteínas sal-solúveis (albuminas e globulinas) até cerca de 12 min de cozimento, com concomitante elevação do teor de proteínas insolúveis.

Casagrande et al. (1999) elaboraram misturas de macarrão de farinha de trigo e feijão-guandu (85:15), e obtiveram TOC de 12 min, AM de 145,7% e PS de 15,60%. Chillo et al. (2008) elaboraram massas alimentícias com misturas de farinha de amaranto, emulsificante e outras farinhas (85:0,1:14,9). Nas formulações contendo farinha de quinua, o TOC foi de 6 min e a PS de 11,4%. Nas formulações contendo farinha de feijão, o TOC foi de 7,5 min e PS também de 11,4%. Nas formulações contendo farinha de grão de bico, o TOC foi de 7 min e PS de 9,2 %. Todos esses autores reportavam valores maiores para TOC, PS e AM em relação aos apresentados no presente trabalho.

Análise sensorial

A avaliação da aceitação pelo consumidor é um ponto de máxima importância no desenvolvimento de um produto. Para essa avaliação, pode-se usar métodos afetivos, os quais medem as atitudes subjetivas de aceitação ou preferência de um produto de forma individual ou em relação a outros.

A amostra de ME avaliada pelos 50 consumidores potenciais, recebeu escore médio de 7,2; correspondente à classificação entre “gostei moderadamente” e “gostei muito”, estando, portanto, acima do índice de aceitação determinado por Dutcosky (1995), sendo o valor mínimo dos resultados aceito de 7,0. O produto pode ser considerado bem aceito uma vez que houve grandes porcentagens de aceitação (81%) nas três primeiras classificações.

Casagrande et al. (1999) elaboraram misturas de macarrão de farinha de trigo e feijão-guandu (85:15) e obtiveram escore médio de sabor de 6,92, e o macarrão controle (100% de trigo) obteve escore médio de 8,69, em escala hedônica de 9 pontos. Nicolletti et al. (2007) estudaram a aceitação pelos consumidores de amostra de macarrão de farelo de soja, farinha de arroz e farinha de arroz pré-gelatinizada (25:35:40) e obtiveram escore de 6,96 para o sabor e 6,39 para textura, ambos correspondendo entre “gostei levemente” e “gostei moderadamente” em uma escala de 9 pontos. Chillo et al. (2010) elaboraram três diferentes macarrões não convencionais, utilizando farinha de amaranto crua e farinha de amaranto pré-gelatinizada (70:30), farinha de aveia crua e pré-gelatinizada (70:30) e farinha de quinua crua e pré-gelatinizada (73:27). Em escala hedônica de 9 pontos, o macarrão de amaranto obteve escore de 6,2; o macarrão de aveia obteve escore médio de 6,1 e o macarrão de quinua obteve escore de 5,7. Massas alimentícias ricas em fibras, formuladas a partir de farinha de albedo de maracujá e farinha de trigo (20:80) elaboradas por Spanholi e Oliveira (2009), foram avaliadas, em teste de aceitação por 50 provadores e obtiveram escore médio de 2,52. Todos os trabalhos relatados tiveram escores menores que os obtidos neste trabalho.

Em relação a intenção de compra, o ME recebeu escore médio de 2,3; correspondente à classificação entre “possivelmente compraria” e “talvez comprasse/talvez não comprasse, se o macarrão fosse vendido como um produto integral.

5.4.4 Conclusão

O macarrão tipo *talharim* obtido neste estudo com farinha pré-gelatinizada de fécula e bagaço de mandioca (70:30), fécula de mandioca e farinha de amaranto na proporção

10:60:30, foi a massa que apresentou melhores resultados nos testes de qualidade, tais como menor perda de sólidos solúveis na água de cozimento (0,37%), satisfatório aumento de massa (101,46%) e tempo ótimo de cozimento característico de macarrão instantâneo (3,0 min). O teste de aceitação demonstrou que o macarrão foi avaliado entre “gostei moderadamente” e “gostei muito” pelo seu público-alvo, com intenção de compra entre possivelmente compraria” e “talvez comprasse/talvez não comprasse. Assim, a elaboração desta massa alimentícia pré-cozida, isenta de glúten, é uma alternativa viável, podendo ser utilizada tanto por indivíduos saudáveis, quanto por portadores da doença celíaca, que dispõem de poucas opções no mercado brasileiro de massas.

5.4.5 Agradecimentos

À Capes pelo apoio financeiro e bolsa de mestrado. À FAPEG pelo apoio financeiro. À fecularia FEBELA e à Universidade Estadual de Londrina pelas parcerias.

5.4.6 Referências

ABIMA. Associação Brasileira Das Indústrias De Massas Alimentícias. Disponível em: <<http://www.abima.com.br/noticias.aspx?id=1061>>. Acesso em: 16 fev. 2010.

ARAÚJO, J. M. A. **Química de alimentos: teoria e prática**, 3ª ed. Viçosa: UFV, 2001, pág. 315.

ARTHEY, D.; DENNIS, C. **Processado de hortaliças**. Zaragoza: Editorial Acribia, S.A., 1992, cap. 3, p. 42.

BARROS NETO, B. B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Como fazer experimentos: Pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**. Campinas: Unicamp, p. 289, 2001.

CAMARGO, K. F.; LEONEL, M.; MISCHAN M. M. Produção de biscoitos extrusados de polvilho azedo com fibras: efeito de parâmetros operacionais sobre as propriedades físicas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 3, p. 586-591, 2008.

CASAGRANDE, D. A.; CANNIATTI-BRAZACA, S. G.; SALGADO, J. M.; PIZZINATTO, A. NOVAES, N. J. Análise tecnológica, nutricional e sensorial de macarrão elaborado com farinha de trigo adicionada de farinha de feijão-guandu. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 12, n. 2, p. 137-143, 1999.

CEREDA, M. P. **Caracterização, usos e tratamentos de resíduos da industrialização da mandioca**. Botucatu. Ed. Unesp, 1996. 56 p.

CHANG, Y. K; FLORES, H. E. M. Qualidade tecnológica de massas alimentícias frescas elaboradas de semolina de trigo durum (*t. durum* l.) e farinha de trigo (*t. aestivum* l.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 24, n.4, p. 487-493, 2004.

CHILLO, S.; CIVICA, V.; IANNETTI, M.; MASTROMATTE, M.; SURIAN, N.; DEL NOBIL, M.A. Influence of repeated extrusions on some properties of non-conventional spaghetti. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 100, n. 2, p. 329-335, 2010.

- CHILLO, S.; LAVERSE J.; FALCONE P. M.; DEL NOBILE, M. A. Effect of carboxymethylcellulose and pregelatinized corn starch on the quality of amaranthus spaghetti. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 83, p. 492–500, 2007.
- CHILLO, S.; LAVERSE, J.; FALCONE, P. M.; DEL NOBILE, M. A. Quality of spaghetti in base amaranthus wholemeal flour added with quinoa, broad bean and chick pea. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 84, p. 101-107, 2008.
- CIACCO, C. F.; CHANG, Y. K. **Como fazer massas**. Campinas: [s.n.], 1986. 127 p. (Coleção Ciência e Tecnologia ao Alcance de Todos. Série Tecnologia de Alimentos).
- CRUZ, R. S.; SOARES, N. F. F. Efeito da adição de CO₂ sobre o crescimento microbiano em macarrão tipo massa fresca. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 22, n. 2, p. 147-150, 2002.
- CUNIN, C.; HANDSCHIN, S.; WALTHER, P.; ESCHER, F. Structural changes of starch during cooking of durum wheat pasta. **LWT – Food Science and Technology**, Londres, v. 28, p. 323-328, 1995.
- DEXTER, J. E.; MATSUO, R. R.; MORGAN, B. C. High temperature drying: Effect on spaghetti properties. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 46, n. 6, p. 1741-1746, 1981.
- DEXTER, J. E.; MATSUO, R. R. Changes in spaghetti protein solubility during cooking. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 56, p. 394-398, 1979.
- DITCHFIELD, C. **Estudo dos métodos para a medida da atividade de água**. 2000. 195 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000. Disponível em <<http://www.teses.usp.br/teses/.../tde-06112001-090117/>>. Acesso em: 03 fev. 2011.
- DUTCOSKY, S. D. **Desenvolvimento de tecnologia de biscoitos e massas alimentícias isentas de glúten, a partir de farinha de arroz**. 1995. 85 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1995. Disponível em: <http://www.bicen-tede.uepg.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo...>. Acesso em: 22 mar. 2010.
- DWARDS, N. M.; IZYDORCZYK, M. S.; DEXTER, J. E.; BILIADERIS, C. G. Cooked pasta texture: comparison of dynamic viscoelastic properties. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 70, p. 122-126, 1993.
- EL-DASH, A. A.; GONZALES, R.; CIOL, M. Response surface methodology in the control of thermoplastic extrusion of starch. In: JOWITT, R. (Ed.) **Extrusion cooking technology**. London: Elsevier Applied Science, 1984, p. 51-74.
- FAO. Food and Agriculture Organization. **Prognóstico Agropecuário - análise da conjuntura agropecuária safra 2010/11 – mandioca**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#anchor>> . Acesso em: 23 fev. 2011.
- FERREIRA NETO, C. J.; FIGUEIREDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Avaliação sensorial e da atividade de água em farinhas de mandioca temperadas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 4, p. 794-802, 2005.
- GARIB, C. C. **Alimentação balanceada: uma proposta alternativa d merenda escolar. Florianópolis**, 2002. 93 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002. Disponível em: <http://www.rebrae.com.br/artigo/tese_ae.pdf>. Acesso em: 25 mai. 2009.

GHIASY, K.; HOSENEY, R. C.; VARRIANO-MARSTON, E. Gelatinization of wheat starch. I. Excess-water systems. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 59, n. 2, p. 81-85, 1982.

HUMMEL, C. **Macaroni products**: manufacture processing and packing. 2. ed. London: Food Trade, 1966. 287 p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Prognóstico da produção agrícola nacional** – comparativo entre as safras de 2010/2011. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa_201101.pdf>. Acesso em: 23 fev. 2011.

ITAL. Instituto de Tecnologia de Alimentos, **Alimentos enlatados** – princípios de controle do processo térmico, acidificação e avaliação do tratamento de recipientes. 4ª edição traduzida. Campinas, 1990.

LAI, H. M. Effects of Rice properties and emulsifiers on the quality of the rice pasta. **Journal of the Science of Food Agriculture**, Londres, v. 82, n. 1, p. 203-216, 2001.

LEONEL, M. O. O farelo, subproduto da extração da fécula de mandioca. In: FUNDAÇÃO CARGIL. **Manejo, uso e tratamento de subprodutos da industrialização da mandioca**. 2001. v. 4, cap. 15, p. 211-216. (Série Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas).

MARCÍLIO, R.; AMAYA-FARAN, J.; SILVA, M. A. A. P. Evaluation of amaranth flour for the manufacture of gluten-free biscuits. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 28, n. 2, p. 175-181, 2005.

MARTIN, M. L.; ZELEZNAK, K. J.; HOSENEY, R. C. The mechanism of bread firming. I. Role of starch swelling. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 68, n. 5, p. 498-503, 1991.

MATUZ, J.; POKA, R.; BOLDIZSAR, I.; SZERDAHELYI, E.; HAJOS, G. Structure and potential allergenic character of cereal proteins. II Potencial allergens in cereal samples. **Cereal Research Communications**, Londres, v. 28, p. 433-442, 2000.

MENEGASSI, B.; LEONEL, M. Efeito da adição de farinha de mandioquinha-salsa nas características de massa alimentícia. **Ciências Exatas e da Terra**, Ponta Grossa, v. 11, n. 3, p. 13-19, 2005.

NABESHIMA, E. H.; HASHIMOTO, J. M.; EL-DASH, A. A. Efeito da adição de emulsificantes em massas alimentícias sem glúten produzidas com extrusora termoplástica. **Boletim CEPPA**, Curitiba, v. 21, n. 2, p. 223-238, 2003.

NICOLETTI, A. M.; SILVA, L. P.; HECKTHEUER, L. H.; TOLEDO, G. S. P.; GUTKOSKI, L. C. Uso de subprodutos agroindustriais no desenvolvimento de macarrão nutricionalmente melhorado. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 18, n. 4, p. 421-429, 2007.

ORMENESE, R. C. S. C.; CHANG, Y. K. Macarrão de arroz: características de cozimento e textura e comparação com o macarrão convencional e aceitação pelo consumidor. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 6, p. 91-97, 2002.

ORMENESE, R. C. S. C. **Influência da adição de emulsificantes nas características do cozimento do macarrão de arroz obtido pelo processo convencional de produção de massas alimentícias**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS – SBCTA, Poços de Caldas, 1998.

RIBEIRO, E. P.; SERAVALLI, E. A. G. **Química de Alimentos**. São Paulo: Instituto Mauá de Tecnologia, 2004, 102 p.

RODRIGUES, J. P. M. **Caracterização e análise sensorial de biscoitos de polvilho enriquecidos com farelo de mandioca**. 2010. 81 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e

Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010. Disponível em: <http://bdtd.ufg.br/tesesimplificado/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=1509>. Acesso em: 15 fev. 2011.

SAITO, I. M. **Produção de hidrolisados e fibras a partir de resíduo da industrialização da mandioca submetido a pré-tratamento hidrotérmico**. 2005. 97 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2005. Disponível em: <http://www.fca.unesp.br/pos_graduacao/Teses/PDFs/Arq0403.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2009.

SEGURA-NIETO, M.; VAZQUEZ-SANCHEZ, N.; RUBIOVELAZQUEZ, H.; OLGUIN-MARTINEZ, L. E.; RODRIGUEZ-NESTER, C. E.; HERRERAESTRELLA, L. Characterization of amaranth (*A .hypochondriacus* L.) seed proteins. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 40, n. 9, p. 1553-1558, 1992.

SHITTU, T. A.; DIXON, A.; AWONORIN, S. O.; SANI, L. O.; MAZIYA-DIXON, B. Bread from composite cassava–wheat flour. II: Effect of cassava genotype and nitrogen fertilizer on bread quality. **Food Research International**, Toronto, v. 41, n. 1, p. 569–578, 2008.

SILVA, E. M. M; ASCHERI, J. L. R.; ASCHERI, D. P. R.; CARVALHO, L. M. J. Efeito dos parâmetros de extrusão nas características de viscosidade de pasta e Índice de absorção de água de macarrões pré-cozidos elaborados a partir de farinha mista de arroz integral e milho obtidos por extrusão. **Boletim CEPPA**, Curitiba, v. 26, n. 2, p. 239-254, 2008.

SILVA, J. A. **Tópicos da tecnologia de alimentos**. São Paulo: Livraria Varela, 2002. 227 p.

SISWOYO, T. A.; MORITA, N. Physicochemical studies of defatted wheat starch complexes with mono and diacyl-sn-glycerophosphatidylcholine of varying fatty acid chains lengths. **Food Research International**, Toronto, v. 36, p. 729-737, 2003.

SOUZA, T. A. C. **Segurança microbiológica de resíduos sólidos de fecularia de mandioca e aplicação em bolos para a alimentação humana**. 2011. 87 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Escola de Agronomia e Engenharia de alimentos. Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011. Disponível em: <http://bdtd.ufg.br/tesesimplificado/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=1509>. Acesso em: 15 abr. 2011.

SPANHOLI, R.; OLIVEIRA, V. R. Utilização de farinha de albedo de maracujá (*passiflora edulis flavicarpa degener*) no preparo de massa alimentícia. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 20, n. 4, p. 599-603, 2009.

SRIROTH, K.; CHOLLAKUP, R.; CHOTINEERANAT, S.; PIYACHOMKWAN, K.; OATES, C. G. Processing of cassava waste for improved biomass utilization. **Bioresource Technology**, Londres, v. 71, p. 63-69, 2000.

STATSOFT. **STATISTICA 7.0 for Windows** – Computer program manual. Tulsa: Statsoft, Inc., 2007. CD Room.

TEUTONICO, R. A.; KNORR, D. Amaranth: composition, properties and applications of a rediscovered food crop. **Food Technology**, Chicago, v. 39, n. 4, p. 49-60, 1985.

TOSI, E. A.; CIAPPINI, M. C.; MASCIARELLI, R. Utilización de la harina integral de amaranto (*Amaranthus cruentus*) en la fabricación de galletas para celíacos. **Acta Alimentaria**, Amsterdam, p. 49-51, n. 269, 1996.

WALSH, D. E.; GILLES, K. A. Macaroni production. In: INGLET, G. (Ed.). **Wheat: production and utilization**. Westport: AVI, 1974. p. 333-354.

5.5 PROPRIEDADES FÍSICAS, TEXTURAIS E NUTRICIONAIS DE MACARRÕES INSTANTÂNEOS FORMULADOS COM BAGAÇO, FÉCULA DE MANDIOCA E AMARANTO

Resumo

Frente ao crescente mercado de massas alimentícias e da importância da mandioca e do amaranto por seus valores nutricionais e aspectos econômicos, este trabalho teve por objetivo avaliar características físicas, texturais e nutricionais de massas alimentícias instantâneas sem glúten com diferentes porcentagens de farinha pré-gelatinizada de fécula e farinha de bagaço de mandioca (70:30), fécula de mandioca e farinha de amaranto. As farinhas foram caracterizadas quanto à composição centesimal. As massas alimentícias foram formuladas utilizando-se delineamento de misturas para verificar o efeito dos componentes citados nos parâmetros instrumentais de cor dos macarrões. Realizaram-se análises de textura e microscopia eletrônica de varredura. Foi determinado uma formulação ideal que foi caracterizada quanto a composição centesimal e comparada com macarrões comerciais de trigo comum e de trigo integral. Os resultados obtidos demonstraram que o uso combinado de farinha pré-gelatinizada de fécula e bagaço de mandioca (70:30), fécula de mandioca e farinha de amaranto na proporção 10:60:30, permitiu desenvolver uma formulação de macarrão instantâneo com boas características físicas, químicas e texturais, com 9,37 g (100 g)⁻¹ de fibras, 10,41 g (100 g)⁻¹ de proteínas, 4449,09 gf de firmeza e pegajosidade baixa de 324,19 gf do macarrão cozido, possibilitando a aplicação de resíduos industriais na alimentação humana aliado a uma maior disponibilidade de produtos mais saudáveis e isentos de glúten.

Palavras-chave: *Manihot esculenta* Crazz, resíduo, *Amaranthus cruentus* L., macarrão sem glúten, cor, textura

5.5.1 Introdução

Muitas pessoas apresentam reações alérgicas a algum componente dos alimentos, o que pode colocar em risco sua saúde, além de reduzir o número de opções no momento da escolha dos alimentos que irão compor sua dieta diária. A doença celíaca ou enteropatia glúten-induzida é um tipo bem conhecido de intolerância alimentar associada especificamente a produtos que contêm glúten (trigo, centeio, cevada, aveia). Com a eliminação total do glúten ocorre o reaparecimento das vilosidades e recuperação das capacidades de digestão e absorção da mucosa. Estudos para avaliar potenciais alimentos, que tenham condições de substituir total ou parcialmente os alimentos ditos convencionais e combinar alimentos com diferentes características digestivas, são justificados pela necessidade de obter dietas que sejam uma alternativa produtiva e viável economicamente (MENEGASSI; LEONEL, 2005).

De acordo com o regulamento técnico para fixação de identidade e qualidade de massa alimentícia (BRASIL, 2000), massa alimentícia é o produto não fermentado, apresentado sob várias formas, recheado ou não, obtido pelo empasto, amassamento mecânico de farinha de

trigo comum e/ou sêmola/semolina de trigo, e/ou farinha de trigo integral, e/ou derivados de cereais, leguminosas, raízes ou tubérculos, adicionado ou não de outros ingredientes e acompanhado ou não de temperos e/ou complementos, isoladamente ou adicionados diretamente à massa.

O uso de farinhas alternativas em formulações de macarrão pode conferir interessantes características de qualidade, proporcionando modificações na qualidade nutricional de várias formulações (INGLETT et al., 2005). A adição de farinha de amaranto, de fécula de mandioca e de mistura de fécula e bagaço de mandioca extrusada podem ser interessantes na elaboração de diferentes tipos de macarrão instantâneo isentos de glúten.

A raiz da mandioca (*Manihot esculenta* Cranz) caracteriza-se por ser um alimento de alto valor energético e rico em amido (LUSTOSA; LEONEL; MISCHAN, 2009). Os principais tipos de processamento de raízes de mandioca são a fabricação da farinha e a extração da fécula e são gerados grandes quantidades de resíduos sólidos que são destinados a alimentação animal ou depositados no ambiente. Um destes resíduos é o bagaço de mandioca, composto pelo material fibroso da raiz e que contém parte do amido que não foi possível extrair no processamento (CEREDA, 2001). As fibras alimentares vêm sendo reconhecidas como importantes componentes de dietas alimentares dos seres humanos, tanto as regulares como as dietas terapêuticas. As fibras alimentares consistem principalmente de frações de fibras solúveis e insolúveis, as quais exercem diferentes efeitos fisiológicos (FIGUEROLA et al., 2005; KNUDSEN, 2001; NAWIRSK; KWASNIEWSKA, 2005; REHMAN; ZIA-UR; SHAH, 2004; SANGNARK; NOOMHORM, 2004).

A fécula de mandioca apresenta características físico-químicas de grande interesse industrial, por isso é empregada na sua forma nativa diretamente na formulação de alimentos como, pães, bolos, biscoitos e massas alimentícias (EL-DASH; MAZZARI; GERMIANI, 1994; MENEGASSI; LEONEL, 2005; RODRIQUES, 2010; SHITTU et al., 2008), ou é modificada por processos físicos, químicos e enzimáticos para ampliar suas aplicações devido as mudanças decorrentes em suas propriedades tecnológicas. Por exemplo, quando extrusado, promovendo a gelatinização do amido (CHILLO et. al., 2008; LUSTOSA; LEONEL; MISCHAN, 2009; NABESHIMA; HASHIMOTO; EL-DASH, 2003; ONYANGO; UNDEHEND; LINDHAUER, 2009; SANNIL et al., 2007).

O processo de extrusão vem ganhando destaque e expansão na indústria alimentícia por apresentar muitas vantagens quando comparado com sistemas tradicionais de processamento. Constitui tecnologia alternativa para o aproveitamento de grande quantidade de produtos e subprodutos, favorecendo a alimentação humana no que diz respeito a misturas

enriquecidas por contribuir para a melhoria do valor nutricional dos alimentos (BORGES et al., 2003).

Tendo em vista o alto valor nutritivo do amaranto (MENDONÇA et al., 2009) foi de interesse estudar o desempenho da farinha de amaranto (*Amaranthus cruentus* L.) no desenvolvimento de um produto para o consumidor em geral e, em especial, para indivíduos portadores da doença celíaca.

Diante da possibilidade da introdução da fécula e bagaço de mandioca e do amaranto como substituto da farinha de trigo na elaboração de massa alimentícia, neste trabalho buscou-se avaliar o efeito de cada um destes componentes sobre as características físicas, tecnológicas e nutricionais de massas alimentícias instantâneas isentas de glúten.

5.5.2 Materiais e Métodos

Para a elaboração dos macarrões foram utilizados os ingredientes a farinha pré-gelatinizada (FPG) de fécula e farinha bagaço de mandioca (70:30), a fécula de mandioca (FM) e a farinha de amaranto (FA). A FPG foi extrusada com umidade de 16 g (100 g)⁻¹, taxa de compressão da rosca de 3:1; taxa de alimentação de 350 g min.⁻¹; abertura da matriz circular de 4 mm de diâmetro; temperatura na primeira, segunda seção e terceira seção de aquecimento do extrusor de 57, 50 e 90 °C, respectivamente; rotação da rosca de 250 rpm de extrusão. Utilizou-se delineamento de misturas (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2001) para a elaboração dos macarrões experimentais tipo *talharim* (Tabela 5.1).

Foram adicionados, em todas as formulações, 2 g de corante urucum em pó, 10 g de água e 48 g de ovo a cada 100 g da mistura seca. Os ingredientes secos foram misturados em homogeneizador tipo Y (Tecnal, TE 201/05, Piracicaba, Brasil), durante 15 min. Em seguida, foram adicionados os demais ingredientes. A massa foi misturada manualmente e moldada em pastaia (Imperia, Lusso-SP150, Pescara, Itália). Utilizou-se a trefila para macarrão de massa longa tipo *talharim*, o corte foi manual em pedaços de 30 cm de comprimento. Os macarrões foram dispostos em bandejas teladas para facilitar a circulação do ar. Os macarrões foram secos em estufa (Tecnal, TE-394/3, Piracicaba, Brasil) com circulação de ar a 40 °C, durante 60 min. A fim de garantir a qualidade da massa após a secagem, criou-se um ambiente dentro da estufa com umidade relativa mais elevada (vapor). Colocou-se um recipiente com água potável na parte inferior do equipamento com esta finalidade. Após 60 min o recipiente foi removido e as amostras mantidas dentro da estufa por mais 30 min até restabelecer a umidade

relativa do ambiente. Assim os macarrões alcançaram umidade final próximas de 10 g (100 g)⁻¹.

Tabela 5.1. Planejamento experimental para estudo do efeito da farinha pré-gelatinizada (FPG), fécula de mandioca (FM) e farinha de amaranto (FA) nas propriedades de cozimento dos macarrões experimentais. Valores em concentrações reais (g do componente por 100 g de mistura) e pseudocomponentes.

Experimento	Proporções dos ingredientes na mistura ternária					
	Concentrações reais			Pseudocomponentes		
	FPG (c1)	FM (c2)	FA (c3)	FPG (X1)	FM (X2)	FA (X3)
1	0,40	0,50	0,10	1	0	0
2	0,10	0,70	0,20	0	0,67	0,33
3	0,20	0,70	0,10	0,33	0,67	0
4	0,20	0,50	0,30	0,33	0	0,67
5	0,10	0,60	0,30	0	0,33	0,67
6	0,20	0,60	0,20	0,33	0,33	0,33
7	0,20	0,60	0,20	0,33	0,33	0,33
8	0,20	0,60	0,20	0,33	0,33	0,33

Fonte: STATSOFT (2007)

X1 + X2 + X3 = 1 ou 100%

As amostras de FPG, FM, FA, macarrão experimental selecionado (ME), macarrão integral de trigo (MI) e macarrão comum de trigo (MT) foram avaliadas quanto à umidade, cinzas e fibra alimentar total, solúvel e insolúvel pelos métodos 925.09, 923.03 e 985.29, respectivamente (AOAC, 1997); proteínas pelo método 960.52 (AOAC, 1990) com fator de conversão N x 6,25 e lipídeos pelo método 920.39C (AACC, 2000). O teor de carboidratos foi calculado pelo método de diferença, subtraindo-se de cem os valores de umidade, cinzas, proteínas e lipídeos. O valor energético total foi estimado seguindo os valores de conversão de Atwater, no qual multiplicou-se o conteúdo de carboidratos (menos o teor de fibra alimentar insolúvel) e proteína por 4 kcal g⁻¹ e o de lipídeos por 9 kcal g⁻¹. Todos os valores foram expressos em base seca e as análises foram realizadas em triplicata.

Para a determinação dos parâmetros instrumentais de cor, foram obtidas fotos digitais dos macarrões quebrados depositos em placas de petri de 15 cm de diâmetro, conforme descrito por Romão, Yamashita e Benassi (2006). Utilizou-se um sistema de iluminação com duas fontes D65, incidindo com ângulo de 45° sobre o produto colocado sobre um fundo branco. As imagens digitais das amostras foram processadas no programa “Microsoft Photo Editor 3.01”. Selecionou-se, em cada amostra, uma área da região central, de aproximadamente, 5x5 cm. Com o auxílio do programa “Conversor em cor média RGB para imagens Bitmap (BMP)” (SACHS et al., 2010). RGB é a abreviatura do sistema de cores

aditivas formado por vermelho (Red), verde (Green) e azul (Blue). As imagens foram convertidas a valores RGB médios, utilizando-se um aplicativo de leitura de cor pixel a pixel. Posteriormente, converteram-se os dados para o sistema Cielab pelo programa “Munsell Conversion versão 4.01” (COLORPRO, 2010), obtendo-se valores de L^* (luminosidade), a^* (componente vermelho-verde) e b^* (componente amarelo-azul). Para cada amostra, foram realizadas 20 replicatas em cada uma das fotos.

Os parâmetros de firmeza e pegajosidade foram analisados nas amostras dos experimentos 1, 2, 4 e 5, utilizando-se texturômetro (TA, XT2, Halesmere, Inglaterra), conforme método 16.50 da AACC (2000). O equipamento foi operado pelo programa Stable Micro Systems Ltda. O macarrão foi cozido (10 g de amostra em 140 mL de água) em seu tempo ótimo de cozimento, determinado anteriormente, drenado, lavado com aproximadamente 50 mL de água destilada, mantido durante 1 min em 300 mL de água fria e permaneceu em repouso por aproximadamente 15 min, conforme descrito por Ormenese e Chang (2002). Para a determinação da firmeza, foram utilizadas 30 g de macarrão com 9 cm de comprimento. Foi utilizado o corpo de prova A/LKB-F e célula com capacidade de 5 kg. Os parâmetros fixos foram a velocidade do pré-teste (NA), a velocidade do teste ($0,17 \text{ mm seg}^{-1}$), a velocidade pós-teste (10 mm seg^{-1}) e a distância (4,5 mm), conforme descrito por Ormenese e Chang (2002).

Para a determinação da pegajosidade foram utilizadas 50 g de macarrão com 5 cm de comprimento. Foi utilizado corpo de prova HDP/PFS e célula com capacidade de 5 kg. Os parâmetros fixos foram a medida de força de compressão (1000 g), o tempo de compressão (2 seg), a velocidade do pré-teste (1 mm seg^{-1}), a velocidade de teste ($0,5 \text{ mm seg}^{-1}$), a velocidade pós-teste (10 mm seg^{-1}), a distância (10 mm) e o *trigger* (auto – 20 g). Foram realizadas 10 leituras para ambos os parâmetros avaliados.

Foram realizadas micrografias de fratura das amostras em microscópio eletrônico de varredura (Sputter Coater, SCD 050, Scotia, USA). Estas foram completamente secas em estufa a $105 \text{ }^\circ\text{C}$, durante 24 h e permaneceram em dessecador até o momento de seu preparo. O tempo de deposição de ouro nas amostras foi de 98 seg, representando uma camada de 15 nm sobre o material. As imagens foram ampliadas nas magnitudes de 200X e 800X.

Os dados obtidos na caracterização dos macarrões foram avaliados por análises de variância sendo elaborados modelos matemáticos de regressão, que expressam a relação entre os pseudocomponentes em cada experimento e os valores obtidos para L^* , a^* e b^* dos macarrões experimentais e as respostas puderam ser visualizadas em gráficos triangulares de curvas de nível para cada variável dependente com base no modelo ajustado. Nas análises de

composição centesimal e de textura as médias foram comparadas pelo teste de tukey a 5% de probabilidade de erro.

5.5.3 Resultados e Discussões

Comparação química e cor das matérias-primas farináceas

A composição centesimal (base seca), o valor energético total e algumas características tecnológicas da farinha pré-gelatinizada (FPG) de fécula e bagaço de mandioca (70:30), da fécula de mandioca (FM) e da farinha de amaranto (FA) estão apresentados na Tabela 5.2.

Todos os componentes foram significativamente diferentes ($p \leq 0,05$) entre as farinhas analisadas, com exceção do teor de proteína que não diferiu entre a FM e a FPG, que apresentaram os menores valores. O maior valor deste componente foi encontrado na FA, que apresentou-se dentro da faixa de 8 à 15% preconizado para a farinha de trigo como ingrediente em massas alimentícias (BRASIL, 2000), ou seja, a FA foi capaz de substituir o teor de proteínas da farinha de trigo, com a vantagem de ser isenta de glúten.

Tabela 5.2. Umidade (b.s), cinzas, lipídeos, proteína, fibra alimentar total, solúvel e insolúvel e outros, carboidratos (b.s), valor energético total e parâmetros instrumentais de cor L*, a* e b* de fécula de mandioca (FM), farinha de amaranto (FA) e farinha pré-gelatinizada (FPG)¹

Característica	FM	FA	FPG
Umidade ²	12,65 ^a ± 0,19	4,27 ^c ± 0,22	9,90 ^b ± 0,15
Cinzas ²	0,12 ^c ± 0,01	2,49 ^a ± 0,05	0,67 ^b ± 0,01
Lipídeos ²	1,56 ^b ± 0,00	7,09 ^a ± 0,55	0,41 ^c ± 0,02
Proteína ²	0,14 ^b ± 0,01	15,32 ^a ± 0,55	0,75 ^b ± 0,03
Fibra Alimentar Total ²	0,61 ^c ± 0,10	12,2 ^b ± 1,23	18,93 ^a ± 2,04
Fibra Alimentar Solúvel ²	0,20 ^c ± 0,07	1,48 ^b ± 0,78	4,74 ^a ± 1,25
Fibra Alimentar Insolúvel ²	0,40 ^c ± 0,12	10,43 ^b ± 1,43	14,19 ^a ± 1,52
Carboidratos ²	85,52 ^b ± 0,18	70,83 ^c ± 1,09	88,27 ^a ± 0,17
Valor energético total ³	355,05 ^b ± 0,79	365,49 ^a ± 2,16	303,01 ^c ± 0,64
L*	82,22 ^a ± 1,74	70,03 ^b ± 1,79	44,49 ^c ± 1,33
a*	2,37 ^c ± 0,14	5,30 ^b ± 0,34	7,43 ^a ± 0,67
b*	6,64 ^c ± 0,45	19,90 ^a ± 0,60	17,93 ^b ± 0,39

¹Médias seguidas pela mesma letra na mesma linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro - valores expressos em médias seguidas pelos desvios-padrão

² [g (100 g)⁻¹]

³ kcal (100 g)⁻¹

Observou-se que a umidade de cada matéria-prima ficou abaixo do limite exigido pela legislação brasileira, máximo de 15 g (100 g)⁻¹ para farinhas e 18 g (100 g)⁻¹ para amido ou fécula de mandioca (BRASIL, 2005). Os teores de umidade determinados foram suficientes para inibir o desenvolvimento de micro-organismos e são favoráveis para obtenção de vida-de-prateleira longa.

A FA apresentou maiores valores de cinzas, lipídeos, proteínas e valor energético total quando comparada as demais farinhas. Estes resultados estão de acordo com os reportados pela literatura: proteína, em torno de 15 g (100 g)⁻¹, considerando o fator de conversão de 5,85 e lipídeos, em torno de 7 g (100 g)⁻¹ (AMAYA-FARFAN; MARCÍLIO; SPEHAR, 2005; CAPRILES et al., 2006; COELHO, 2006). Capriles et al. (2006) reportaram valores de 66,33 g (100 g)⁻¹ para carboidratos, fibra alimentar total [10,05 g (100 g)⁻¹], fibra alimentar solúvel [0,98 g (100 g)⁻¹], fibra alimentar insolúvel [8,90 g (100 g)⁻¹], cinzas [2,28 g (100 g)⁻¹], e proteína [13,31 g (100 g)⁻¹], valores semelhantes aos reportados neste trabalho.

Camargo, Leonel e Mischán (2008) encontraram para a FM valores de 0,2 g (100 g)⁻¹ para cinzas, 4,6 g (100 g)⁻¹ para lipídeos, 0,14 g (100 g)⁻¹ para proteína, 0,4 g (100 g)⁻¹ para fibra bruta. Trombini (2010), caracterizando fécula de mandioca para a elaboração de farinhas pré-gelatinizadas, obteve valores de 0,07 g (100 g)⁻¹ para cinzas, 0,11 g (100 g)⁻¹ para lipídeos, 0,44 g (100 g)⁻¹ para proteínas e 0,39 g (100 g)⁻¹ para fibra bruta e 85,19 g (100 g)⁻¹ de carboidratos totais. Ambos os autores obtiveram dados parcialmente diferentes dos resultados encontrados no presente estudo. Estas diferenças podem ser devido a cultivar de mandioca utilizada, à época de plantio, ao tipo de solo e às condições climáticas a que a cultivar foi submetida.

Houve redução do teor de lipídeos na FPG quando comparada a farinha crua [2,47 g (100 g)⁻¹] e isto se deve ao próprio processo de extrusão, devido à formação de interações moleculares envolvendo os lipídeos. Segundo Camire, Camire e Krumhar (1990), há uma certa dificuldade de extração de lipídeos a partir de produtos extrusados, já que durante a extrusão as moléculas de lipídeos podem se ligar a outros componentes do alimento como proteínas e carboidratos, dificultando a sua extração na análise.

Considerando-se que um produto sólido pronto para o consumo para ser fonte de fibra, deve ter como atributo a proporção de fibra de 3 g (100 g)⁻¹, já para ser considerado com alto teor de fibras, 6 g (100 g)⁻¹, pode-se dizer que as FA e a FPG possuem elevado teor deste componente (BRASIL (2009)). O teor elevado de fibras na FPG pode ser ocasionado, pelo teor de fibras presentes no bagaço de mandioca e também devido à complexação do amido, ocasionado pela retrogradação da amilose durante a extrusão, originando um polímero

resistente à hidrólise enzimática do processo digestivo. Esta fração é denominada amido resistente e apresenta comportamento similar ao da fibra alimentar, e tem sido relacionada a efeitos benéficos no intestino grosso, através de uma série de mecanismos (LOBO; LEMOS-SILVA, 2003).

Houve diferença ($p > 0,05$) quanto ao teor de carboidratos entre as matérias-primas, sendo maior na FPG, seguido pela FM e pela FA. O maior valor energético total foi apresentado na FA, seguido pela FM e pela FPG.

A FM apresentou-se como a mais clara, menos avermelhada e menos amarelada e a FPG foi a mais escura e mais avermelhada e a FA foi a mais amarelada, quando comparadas entre si. Pois segundo Ilo, Liu e Berghofer (1999), durante a extrusão a qual foi submetida a FPG, o componente L^* diminui, enquanto os componentes a^* e b^* aumentam. Essas mudanças acontecem, porque ocorreram reações de escurecimento não-enzimático (reação de Maillard e caramelização) e degradação de pigmentos que afetaram a cor. Assim, as condições de processamento utilizadas na extrusão favoreceram a reação entre açúcares redutores e aminoácidos, o que resultou na formação de compostos coloridos e na redução do aminoácido lisina.

Cor dos macarrões

A cor do macarrão seco é um dos fatores de qualidade mais observados pelos consumidores, sendo uma característica sensorial de grande importância tecnológica e fundamental para a sua comercialização. A cor é diretamente influenciada pelas matérias-primas utilizadas na formulação do macarrão. As cores dos macarrões experimentais podem ser visualizadas na Figura 5.1, no qual é possível observar que o macarrão mais escuro foi o M1 e o mais claro M2 seguido pelo M5. Os resultados dos parâmetros L^* , a^* e b^* estão apresentados no Anexo D.

A partir dos dados instrumentais de cor obtidos no delineamento de mistura foram elaborados modelos matemáticos de regressão que expressam a relação entre os pseudocomponentes e os parâmetros de cor L^* , a^* e b^* dos macarrões tipo *talharim*. Assim, o modelo de regressão, o nível de significância (p), a falta de ajuste (FA) e o coeficiente de determinação (R^2) para L^* , a^* e b^* dos macarrões experimentais estão apresentados na Tabela 5.3.



Figura 5.1. Cores dos macarrões tipo *talharim* elaborados com farinha pré-gelatinizada de fécula de mandioca e farinha de bagaço de mandioca (70:30), fécula de mandioca e farinha de amaranto, conforme delineamento experimental de misturas.

M1: 40% de FPG, 50%FM e 10% de FA / **M2:** 10% de FPG, 70%FM e 20% de FA / **M3:** 20% de FPG, 70%FM e 10% de FA / **M4:** 20% de FPG, 50%FM e 30% de FA / **M5:** 10% de FPG, 60%FM e 30% de FA / **M6:** 20% de FPG, 60%FM e 20% de FA / **M7:** 20% de FPG, 60%FM e 20% de FA / **M8:** 20% de FPG, 60%FM e 20% de FA /

Tabela 5.3. Modelo de regressão múltipla, nível de significância (p), falta de ajuste (FA) e coeficiente de determinação (R^2) para os parâmetros de cor L^* , a^* e b^* dos macarrões em função dos níveis de farinha pré-gelatinizada (x_1), fécula de mandioca (x_2) e farinha de amaranto (x_3).

Parâmetro	Modelo	p	FA	R^2
L^*	$y_1 = 52,51x_1 + 71,33x_2 + 56,93x_3 - 32,80x_1x_2 + 11,11x_1x_3$	0,002	13,96	0,949
a^*	$y_2 = 15,64x_1 + 8,12x_2 + 15,20x_3 + 23,88x_1x_2 + 16,30x_2x_3$	0,11	4,93	0,868
b^*	$y_3 = 32,23x_1 + 45,97x_2 + 45,51x_3 - 4,68x_1x_3 + 8,63x_2x_3$	0,001	91,29	0,991

* Efeitos em *italico* não foram significativos, porém foram mantidos para melhoria do ajuste do modelo

Os modelos para os parâmetros de cor L^* e b^* foram significativos ($p=0,002$ e $p=0,001$, respectivamente), enquanto para croma a^* não ($p=0,11$). Porém, este foi apresentado por possuir alguns efeitos significativos, não podendo ser utilizado para fins preditivos, mas somente para verificar a tendência da resposta. Os efeitos da quantidade de FPG, FM e FA foram significativos ($p \leq 0,05$), em todos os modelos analisados. O efeito da interação entre a FPG e a FM foi significativo ($p \leq 0,05$) para o croma a^* , não sendo significativo para b^* e L^* ($p=0,06$), porém foi mantido neste último. A interação entre a FPG e a FA não foi

significativa em nenhum dos modelos analisados, no entanto, também optou-se por mantê-la no modelos L^* e b^* ($p=0,40$ e $p=0,39$, respectivamente). O efeito da interação entre a FM e a FA também não foi significativo em nenhum dos modelos analisados, no entanto, optou-se por mantê-la no modelos de croma a^* e b^* ($p=0,06$ e $p=0,17$, respectivamente), pois com a manutenção destes efeitos não significativos os modelos apresentaram maiores coeficientes de determinação ajustados (R_{aj}^2).

Os gráficos de curvas de nível elaborados a partir dos modelos ajustados para L^* , croma a^* e b^* dos macarrões estão apresentados na Figura 5.2. Os vértices de cada extremidade da área demarcada destes gráficos representam os valores máximos em pseudocomponentes de cada componente da mistura.

A luminosidade está relacionada com a quantidade de luz que é refletida pela amostra, ou seja, quanto mais luz é refletida, maior será o valor de L^* e vice-versa. Este componente expressa a intensidade do branco nas amostras (TEBA, 2009). Observou-se uma tendência à menor luminosidade quanto menor a quantidade de FM e de FA e maior quantidade de FPG nas formulações de macarrão, pois a FPG apresentou-se mais escura (Figura 5.2 A). Valores maiores de luminosidade (acima de 66) foram encontrados em regiões com formulações de FPG:FM:FA entre 32:55:13, 27:64:10 e 39:50:11 (pontos A, B e C, respectivamente da Figura 5.2 A), ou seja, em quantidades máximas de FPG (27 a 39%), mínimas de FA (10 a 13%) e intermediárias de FM (50 a 64%) visto que valor elevado de L^* significa brilho mais intenso, aproximando-se da cor da fécula de mandioca ($L^* = 82,22$). A menor luminosidade (54), área representada dentro da área verde escura delimitada pela linha pontilhada entre os pontos C, D e E, encontra-se em macarrões com formulações de FPG:FM:FA entre 12:67:21, 10:65:25 e 13:70:18, ou com quantidades de FA entre 18 e 25%, de FM de 65 a 70% e de FPG entre 10 e 13%.

Observou-se que na área experimental estudada (Figura 5.2 B), as formulações apresentaram valores de a^* entre 15 e 18, sendo que o menor valor (15) foi verificado nos macarrões com formulações de FPG:FM:FA entre; 14:70:17; 10:68:22 e 10:70:20 (pontos A, B e 2, respectivamente), ou com quantidades de 10 a 14% de FPG, 17 a 22% de FA e quantidades máximas (68 a 70%) de FM. O maior croma a^* (18), encontrou-se nos macarrões na área entre os pontos C, D e E com formulações entre 34:56:10; 26:59:15, 26:64:10 e, respectivamente, ou seja, FPG entre 26 e 34%, entre 56 a 64% de FM e FA entre 10 e 15%.

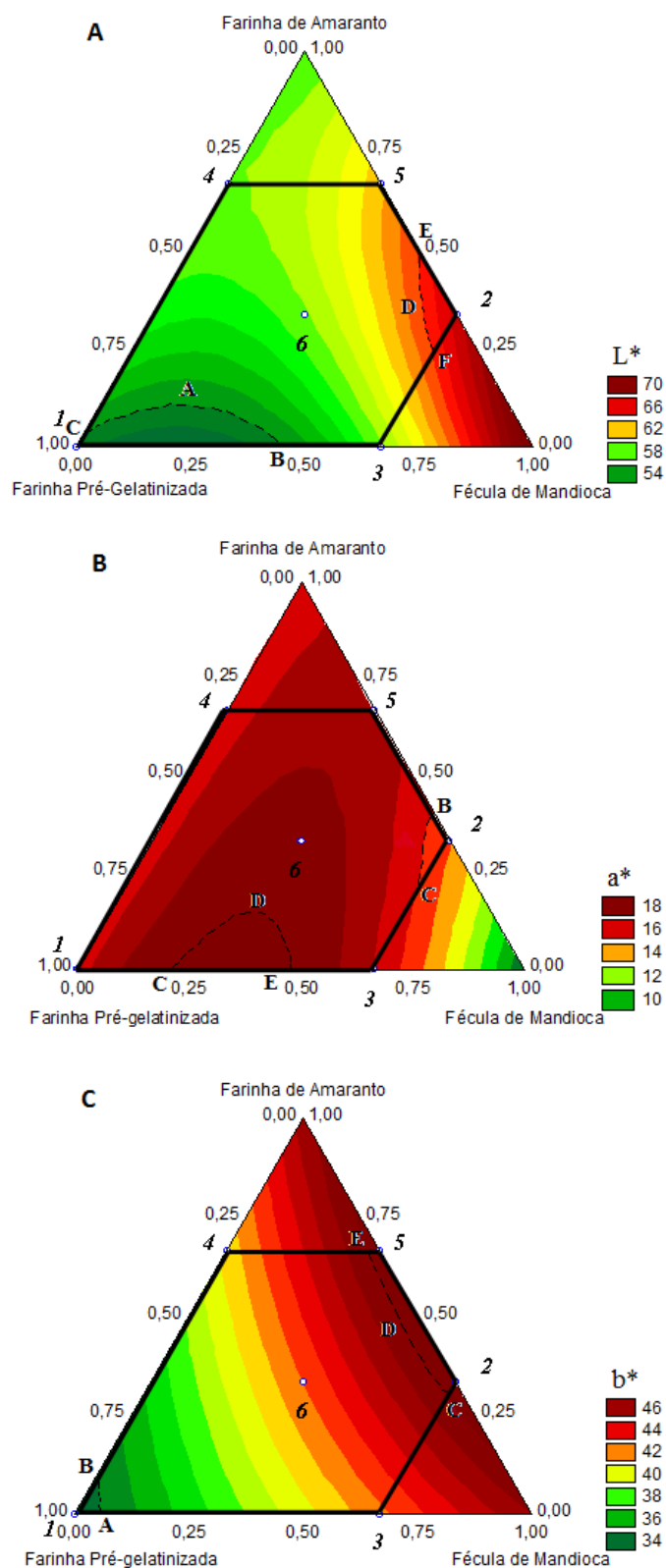


Figura 5.2. Luminosidade (A), croma a* (B) e croma b* (C) em função das proporções de farinha pré-gelatinizada, fécula de mandioca e farinha de amaranto, em pseudocomponentes. A área demarcada entre os pontos experimentais demonstra a área do gráfico possível de ser analisada.

Observou-se uma tendência a menor croma b^* (Figura 5.2 C), quanto menor a quantidade de FM e de FA e maior quantidade de FPG nas amostras de macarrão, tendendo a amostras menos amareladas. A menor croma b^* (34), área representada dentro da área verde escuro delimitada pela linha pontilhada entre os pontos A, B e 1, foi verificada nos macarrões com formulações de FPG:FM:FA entre 39:52:10; 37:50:13 e 40:50:10, e, ou seja, com quantidades de FPG entre 37 a 40%; entre 50 a 52% de FM e quantidades de FA entre 10 a 13%. Os maiores valores de b^* (46); área representada dentro da área vermelho escuro delimitada pela linha pontilhada entre os pontos C, D e E; são encontrados em macarrões com formulações entre 11:70:19; 12:64:25 e 10:60:30 e, ou seja, em quantidades mínimas de FPG (10 a 12%), entre 19 a 30% de FA e quantidades de FM entre 60 a 70% nas amostras de macarrão, que tenderam para a coloração mais amarelada.

Martinez et al. (2007), compararam cinco diferentes marcas comerciais de macarrão de trigo, sendo uma delas elaborada com semolina de trigo durum e as demais com farinha de trigo comum e obtiveram valores de L^* variando entre 48,2 a 51,0, faixa de luminosidade mais escura que a encontrada no presente trabalho. Quanto à coordenada b^* , estes autores obtiveram valores entre 17,3 e 33,9 e para a^* entre -1,9 e 3,6, ou seja, menos amarelada e avermelhada que os macarrões experimentais deste estudo.

Ormenese et al. (2004), elaborando massas alimentícias de trigo com ovo líquido pasteurizado e ovo desidratado observaram que luminosidade dos macarrões variaram de 89,11 a 91,78, a cor a^* variou de -0,2 a -0,51 e para a cor b^* variações de 15,57 a 17,47, obtendo massas mais claras, menos avermelhadas e menos amareladas que os macarrões experimentais deste estudo.

Limroongreungrat e Huang (2007) avaliaram a cor de macarrão sem glúten, utilizando misturas de batata doce com farinha de soja desengordurada (85:15, 70:30 e 55:45), obtiveram menor L^* (41,9 a 48,9), maior a^* (18,7 a 19,6) e valores próximos de b^* (35,0 a 35,6), em relação ao presente estudo. Com misturas de batata doce com concentrado protéico de soja (85:15, 70:30 e 55:45), obtiveram valores menores de L^* , variando de 42,0 a 47,9, e próximos valores de a^* (15,2 a 19,5) e de b^* (35,6 a 38,4) aos reportados no presente trabalho. E em amostra comercial de macarrão de trigo, tipo *spagethi*, obtiveram valor de L^* de 40,6, componente a^* de 21,6 e b^* de 34,1, sendo mais escuro e avermelhado e menos amarelado que os macarrões experimentais analisados neste trabalho.

Manthey e Schorno (2001) analisaram a cor de macarrões elaborados com farinha de trigo integral e farinha de semolina de trigo, e obtiveram valores de L^* 55,1 a 57,6, para

componente a*, valores de 1,67 a 2,20 e para b*, valores entre 27,2 a 28,5 para as amostras com farinha de trigo integral. Em macarrões elaborados com semolina de trigo, obtiveram valores de L* variando entre 36,3 a 37,7, valores de a* entre 8,29 a 8,78 e valores de b* entre 14,3 a 14,9. Portanto, mais escuros e menos amarelados que os valores obtidos para os macarrões elaborados com FPG, FM e FA. As diferentes observações entre as amostras dos autores citados e do presente estudo são decorrentes da qualidade e quantidade dos pigmentos existentes nas matérias-primas utilizadas nas diferentes formulações.

Características de textura

Entre as características sensoriais de aceitação, tais como aparência, textura e sabor, a textura é um atributo extremamente importante em produtos como macarrão. Existem alimentos em que a textura é o fator mais importante na escolha do consumidor, como biscoitos, *snacks*, massas alimentícias, pães, bolos e outros produtos de panificação (MARTINEZ et al., 2007). Assim como a textura, a cor dos macarrões secos também é um fator de qualidade para os consumidores, que desejam massas mais claras, menos avermelhadas e mais amareladas. Assim, para a análise de textura, foram selecionados 4 macarrões experimentais (M1, M2, M4 e M5) com valores extremos dos ingredientes FPG, FM e FA e com diferentes valores de L*, a* e b*. As médias de firmeza e pegajosidade dos macarrões cozidos selecionados estão apresentados na Tabela 5.4.

Tabela 5.4 Firmeza e pegajosidade de macarrões formulados com diferentes concentrações de farinha pré-gelatinizada, fécula de mandioca e farinha de amaranto.

Atributo de textura	Macarrão ¹			
	M 1	M 2	M 4	M 5
Firmeza (gf)	458,15 ^a ± 18,39	308,35 ^b ± 52,39	444,90 ^a ± 8,26	444,09 ^a ± 11,24
Pegajosidade (gf)	1209,99 ^b ± 58,96	1537,25 ^a ± 87,00	651,11 ^c ± 69,54	324,19 ^d ± 26,03

¹Médias seguidas pela mesma letra na mesma linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

M1: 40% de FPG, 50%FM e 10% de FA

M2: 10% de FPG, 70%FM e 20% de FA

M4: 20% de FPG, 50%FM e 30% de FA

M5: 10% de FPG, 60%FM e 30% de FA

Firmeza é definida como o trabalho em gramas-força requeridos para partir um pedaço de amostra cozida (AACC, 1983). Na avaliação estatística dos parâmetros de firmeza estudados, verificou-se que o M2 diferiu significativamente ($p > 0,05$) dos demais macarrões, que não diferiram ($p \leq 0,05$) entre si, sendo estes mais firmes que o macarrão M2,

provavelmente a baixa firmeza do M2 esteja relacionada com a baixa quantidade de FPG e com o elevado valor de FM.

O macarrão cru M1, por possuir 40% de FPG, possuiu atributo de firmeza elevado, provavelmente por possuir característica de farinha pré-gelatinizada, sendo capaz de reter mais água, e também por possuir maior quantidade de fibras. No entanto, não diferiu do macarrão M5, que possui menor quantidade de FPG (10%), provavelmente por este possuir maior quantidade de FA, que possui elevado teor de proteínas e, juntamente com a albumina do ovo, que exerceu função de emulsificante, auxiliaram na formação de uma rede protéica (diferente da rede de glúten), indicada na figura 5.3 C e 5.3 D, melhorando o envolvimento do amido, e limitando a quantidade de grânulos (presentes nas farinhas cruas), a serem submetidos à gelatinização durante o cozimento, restringindo o intumescimento do grânulo e diminuindo a solubilidade da amilose, formando um filme de amido mais resistente na superfície da pasta (LAI et al., 2001) e, conseqüentemente, aumentando a firmeza da massa.

A estrutura dos macarrões pode ser observada pela análise das micrografias de fratura apresentadas na Figura 5.3, sendo possível verificar o efeito dos componentes sobre a microestrutura do produto. A secção transversal (fratura) dos macarrões mostraram que muitos grânulos de amido não foram completamente gelatinizados, nem rompidos, havendo grânulos de amido intactos.

Oh et al., (1985) estabeleceram que existem relações entre, tanto no teor de proteína quanto nas características da proteína, e as características de firmeza de macarrões. Kruger, Matsuo e Dick (1996) explicam que nas massas à base farinhas ricas em proteína, estas são ligadas por pontes dissulfeto e de hidrogênio e por ligações hidrofóbicas que formam uma matriz que confere à massa cozida suas características viscoelásticas.

O macarrão M2, além de possuir maior quantidade de FM, também possui a quantidade mínima de FPG, o que pode ter contribuído negativamente com a firmeza. Na análise das micrografias do M2, observa-se que os grânulos de amido aparecem menos cobertos pela farinha pré-gelatinizada e apresenta pequenas rachaduras (indicado na figura 5.3 B), sugerindo certa descontinuidade, provavelmente por apresentar menor quantidade de FPG, e menor quantidade de FA (proteína), demonstrado pela porosidade (indicado na figura 5.3 B) ou seja, pouca massa fundida, resultando em um macarrão com menor valor de firmeza, quando comparado aos outros macarrões experimentais.

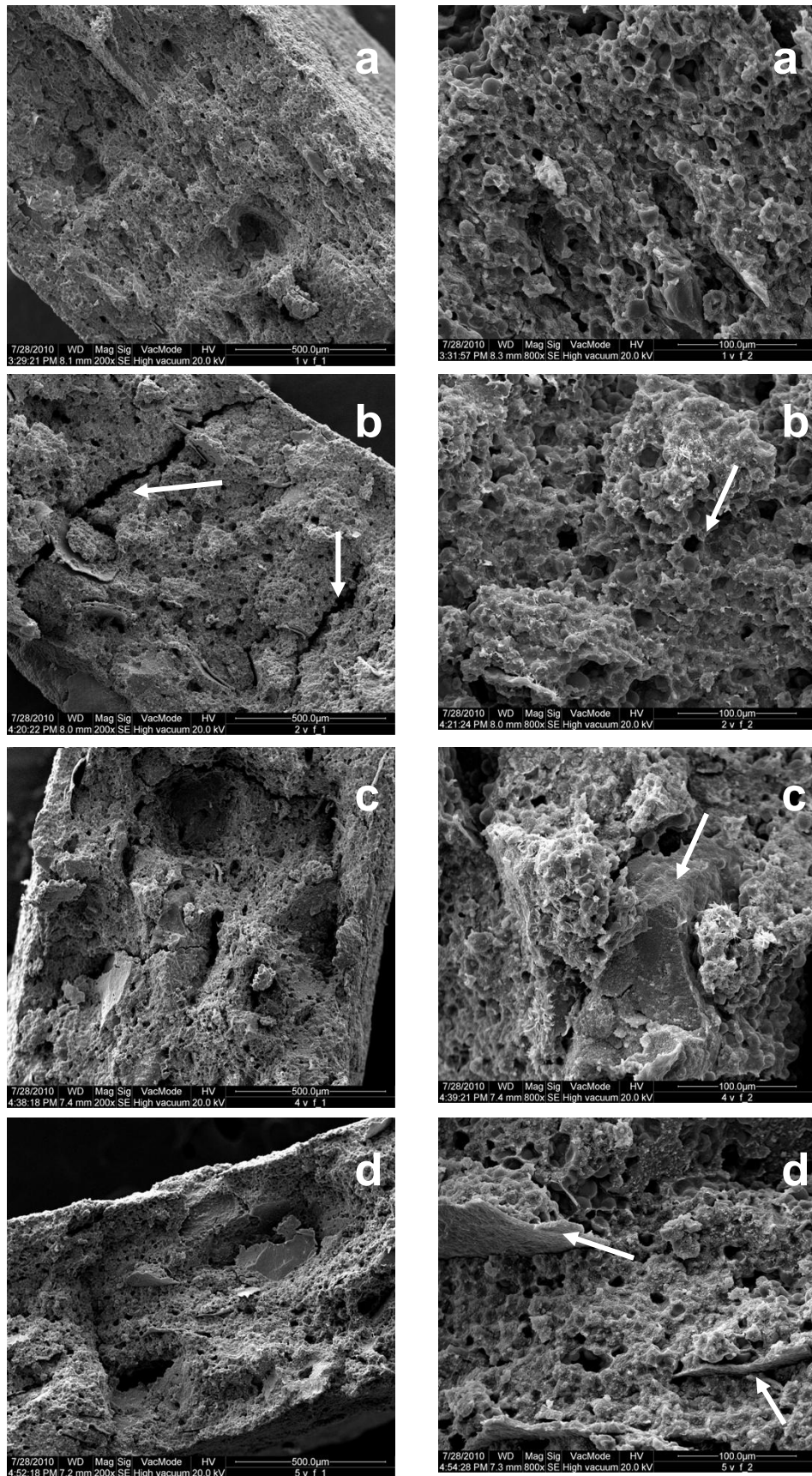


Figura 5.3. Micrografias referentes à fratura dos macarrões dos ensaios M1 (a), M2 (b), M4 (c) e M5 (d), nas magnitudes de 200x e 800x.
M1: 40% de FPG, 50%FM e 10% de FA / **M2:** 10% de FPG, 70%FM e 20% de FA / **M4:** 20% de FPG, 50%FM e 30% de FA / **M5:** 10% de FPG, 60%FM e 30% de FA

A pegajosidade é definida como o trabalho necessário para vencer as forças atrativas entre a superfície do alimento e a superfície de outros materiais, como ocorre com o alimento na boca entre o palato, a língua ou o dente (SZCZENSNIAK; BRANDT; FRIEDMAN, 1963). Conforme o Tabela 5.4, os valores de pegajosidade das massas alimentícias experimentais cozidas diferiram entre si ($p \leq 0,05$). A menor média desta resposta, que é desejável para a qualidade de massas alimentícias, foi obtida no macarrão M5, seguido pelo M4, com valores de 324,19 gfe 651,11 gf, respectivamente.

Os macarrões que obtiveram os menores valores foram obtidos utilizando maiores valores de FA (30%) e com quantidade intermediária de FM (60%) e mínima de FPG (10%) ou mínima de FM (50%) e intermediária de FPG (20%). Enquanto que a maior média foi obtida nos ensaios M2 seguido pelo M1. Provavelmente a FPG e a FM sejam os componentes que interferiram mais significativamente na pegajosidade dos macarrões, pois no primeiro ingrediente, o amido já se encontrava gelatinizado, e o segundo era composto praticamente de amido. A quantidade de amido no macarrão foi bastante elevada, além disso, ainda deve-se considerar o amido existente no bagaço de mandioca, que também compõe a FPG. O amido de mandioca possui elevado teor de amilopectina o que afetou diretamente a pegajosidade de macarrões elaborados com maior teor deste componente (SOARES JÚNIOR et al., 1999).

Limroongreungrat e Huang (2007) elaboraram macarrão sem glúten utilizando misturas de batata doce com farinha de soja desengordurada (85:15, 70:30 e 55:45) e com concentrado protéico de soja (85:15, 70:30 e 55:45) obtendo valores de firmeza variando de 101,97 a 40,78, gf, sendo que os maiores valores foram encontrados nas amostras com concentrações de farinha de soja desengordurada. Nas amostras com concentrado proteico obtiveram valores de firmeza variando de 112,17 a 40,79 gf, no qual os maiores valores foram encontrados nas menores concentrações deste componente. Em amostra comercial de macarrão de trigo, tipo *spagethi*, obtiveram valor de 183,55 gf, valores inferiores aos encontrados no presente estudo para todos os macarrões experimentais analisados.

Ormenese e Chang (2002), analisando macarrão de trigo e macarrão sem glúten, utilizando farinha de arroz (60%), farinha de arroz pré-gelatinizada (40%), monoglicerídeos destilados (2,0%) e clara de ovo desidratada (6,4%), observaram valores de firmeza de 182,23 gf para o macarrão de trigo e 225,9 gf para o macarrão sem glúten. Em relação ao atributo de pegajosidade, o macarrão sem glúten apresentou-se menos pegajoso (63,92 gf) que o macarrão de trigo (148,69 gf), mas com valores bem maiores aos obtidos neste trabalho.

Caperuto, Amaya-farfan e Camargo (2000) utilizaram delineamento central composto rotacional, cujas variáveis independentes foram o tempo do tratamento térmico, a umidade

das farinhas e quantidade de farinha de quinoa, na elaboração de macarrão sem glúten de amido de milho e obtiveram valores de pegajosidade variando entre 2859,83 a 1428,63 gf. Valores elevados quando comparados aos encontrados no presente estudo.

Segundo Deprieri (2004) a textura ideal de macarrões não é necessariamente a que apresenta maior ou menor valor de firmeza. Os valores extremos, tanto altos como baixos, implicam em textura indesejável. Valores baixos, geralmente se associam a falta de firmeza da pasta cozida, ao passo que valores muito altos indicam uma massa exageradamente elástica. Tendo em vista este critério, considera-se como ideal uma firmeza intermediária.

O M5, elaborado com 10% de farinha extrusada, 60% de fécula de mandioca e 30% de farinha de amaranto foi considerado, em função das características analisadas, como o macarrão experimental com maior potencial comercial por apresentar menor pegajosidade, firmeza desejável de massa cozida e valores elevados de L* e b*, ou seja, claros e amarelados, assim, foi selecionado para avaliação química.

Composição centesimal do macarrão experimental em comparação com macarrão integral e macarrão comum de trigo

O macarrão 5 selecionado (macarrão experimental - ME) foi comparado com um macarrão de trigo convencional (MT) e macarrão de trigo integral (MI), ambas amostras comerciais, quanto a composição centesimal (Tabela 5.5).

Tabela 5.5. Composição centesimal de macarrão experimental (ME), macarrão de trigo convencional (MT) e macarrão de trigo integral (MI)¹

Componente	Macarrão		
	ME	MT	MI
Umidade ²	12,64 ^a ± 0,65	11,29 ^{ab} ± 0,27	10,60 ^b ± 0,61
Cinzas ²	1,39 ^a ± 0,01	0,99 ^b ± 0,06	0,63 ^c ± 0,01
Lipídeos ²	5,26 ^a ± 0,31	0,55 ^b ± 0,06	0,69 ^b ± 0,10
Proteína ²	10,40 ^c ± 0,05	13,38 ^b ± 0,10	16,73 ^a ± 0,25
Fibra Alimentar Total ²	9,37 ^a ± 1,36	1,02 ^c ± 0,07	1,55 ^b ± 0,09
Fibra Alimentar Solúvel ²	1,51 ^a ± 0,08	0,24 ^c ± 0,04	0,46 ^b ± 0,08
Fibra Alimentar Insolúvel ²	7,86 ^a ± 0,52	0,78 ^c ± 0,09	1,09 ^b ± 0,10
Carboidratos ²	70,31 ^b ± 0,53	73,79 ^a ± 0,29	71,35 ^b ± 0,79
Valor energético total ³	338,72 ^b ± 3,63	350,51 ^a ± 1,26	354,15 ^a ± 2,82

¹ Médias seguidas pela mesma letra na mesma linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro - valores expressos em médias seguidas pelos desvios-padrão

² g (100 g)⁻¹

³ kcal (100 g)⁻¹

Observa-se que os componentes diferiram ($p \leq 0,05$) entre os três macarrões analisados, com exceção de carboidratos, que não diferiram ($p > 0,05$) entre o ME e o MI, do valor energético total, que não diferiu entre o MT e o MI e da umidade, que não diferiu entre o MT e as demais amostras, que diferiram entre si. Entretanto, todas as amostras encontraram-se abaixo do valor de umidade máximo (13%) tabelado para massas alimentícias (BRASIL, 2000). Esta característica pode conferir ao macarrão maior estabilidade e conservação durante seu armazenamento (TORBICA; HADNADEV; DAPCEVIC, 2010).

O teor de lipídios não diferiu entre o MT e o MI, que apresentaram menores valores em relação ao ME, além disso, todos os macarrões apresentaram-se fora do intervalo esperado que é de 0,8 à 1,1% para massas alimentícias (BRASIL, 2000). O alto teor de lipídeos do ME pode ser explicado devido à elevada adição do ovo a massa, que possui em média $11,15 \text{ g (100 g)}^{-1}$ de lipídios (ORMENESE et. al, 2004). O teor de cinzas foi maior no ME seguido pelo MT e pelo MI. O ME e o MT apresentaram valores de proteína, dentro da faixa de 8 à 15 % estabelecidas para massas alimentícias a base de trigo (BRASIL, 2000).

De modo geral, os macarrões, por serem constituídos de materiais basicamente amiláceos, apresentaram, em sua composição alto teor de carboidratos, sendo maior no MT e menores no ME e no MI, que não diferiram ($p \leq 0,05$). O valor energético total foi maior no MT e no MI, que não diferiram ($p \leq 0,05$) entre si.

Pode-se considerar que o ME é um alimento rico em fibras. O aumento no teor em fibras pode promover efeitos fisiológicos benéficos ao organismo, aumentando a saciedade, o bolo fecal e contribuindo para a regulação dos níveis de colesterol. O ME possui em relação ao MT, 818, 529 e 907% a mais de fibra alimentar total, solúvel e insolúvel, respectivamente. Em relação ao MI, possui 504, 228 e 621% a mais de fibra alimentar total, solúvel e insolúvel, respectivamente.

Além das características nutricionais encontradas no ME, pode-se dizer que este valor nutricional pode ser aumentado com o consumo da massa com acompanhamentos (molhos, recheios, queijos). No Brasil, para a expressão “com ovos”, o produto deve ter no mínimo 450 mg de colesterol por quilo de massa, expresso em base seca, o que corresponde em média, a 3 ovos inteiros ou 135 gramas de ovos por quilograma de farinha (BRASIL, 2000). Considerando que foi adicionado no ME 48 g ovo a cada 100 g de massa produzida, este macarrão poderá receber a expressão “com ovos”.

Martinez et al. (2007) compararam cinco diferentes marcas comerciais de macarrão de trigo, sendo uma delas elaborada com semolina de trigo durum e as demais com farinha de trigo. Obtiveram valores semelhantes de umidade [$10,5$ a $12,5 \text{ g (100 g)}^{-1}$], e inferiores de

proteína [10 a 11,1 g (100 g)⁻¹] e cinzas [0,54 a 0,58 g (100 g)⁻¹] quando comparados ao MT e ao MI. Ovando-Martinez et al. (2009), elaboraram diferentes formulações de macarrão de semola de trigo durum enriquecidos com farinha de banana verde em diferentes proporções (85:15, 70:30, 55:45) e encontraram valores de umidade com variações entre 4,95 a 8,50 g (100 g)⁻¹, 8,07 a 10,86 g (100 g)⁻¹ para proteínas, 0,46 a 0,51 g (100 g)⁻¹ de lipídeos e 1,49 a 1,93 g (100 g)⁻¹ de cinzas. A amostra controle era constituída de 9,62 g (100 g)⁻¹ de umidade, 12,53 g (100 g)⁻¹ de proteínas, 0,54 g (100 g)⁻¹ de lipídeos e 0,97 g (100 g)⁻¹ de cinzas, próximos aos encontrados no presente estudo para o MT.

Santuci et al. (2003), elaboraram formulações padrão de macarrão de trigo, obtendo valores inferiores de proteína [11,1 g (100 g)⁻¹], superiores de fibra alimentar total [2,8 g (100 g)⁻¹], e de lipídeos [1,7 g (100 g)⁻¹], e semelhantes de cinzas [0,8 g (100 g)⁻¹], de umidade [12 g (100 g)⁻¹] e de carboidratos [71,6 g (100 g)⁻¹] quando comparados ao MT analisado no presente estudo.

Formulações padrão de macarrão de trigo também foram analisadas por Rocha et al. (2008), que encontraram valores de 16,43 g (100 g)⁻¹ de proteína, 0,46 g (100 g)⁻¹ de fibra alimentar total, 0,79 g (100 g)⁻¹ de lipídeos, 2,88 g (100 g)⁻¹ de cinzas e 69,76 g (100 g)⁻¹ de carboidratos, parcialmente semelhantes aos encontrados no presente estudo quando comparados ao MT.

Borges et al. (2003) utilizando farinha integral de quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd.) e farinha de arroz branco (*Oryza sativa*, L.) polido, para a produção de macarrões sem glúten obtidos por extrusão termoplástica, obtiveram valores de 11,97 g (100 g)⁻¹ de proteína, 0,91 g (100 g)⁻¹ de lipídeos, 2,23 g (100 g)⁻¹ de cinzas e 85,37 g (100 g)⁻¹ de carboidratos, valores parcialmente semelhantes ao ME do presente estudo.

Nicolleti et al. (2007), estudaram as características químicas de macarrão sem glúten, elaborado com farelo de soja, farinha de arroz e farinha de arroz pré-gelatinizada (25:35:40) e obtiveram valores de 2,18 g (100 g)⁻¹ de cinzas, 5,55 g (100 g)⁻¹ de lipídios, 21,11 g (100 g)⁻¹ de proteínas, 5,35 g (100 g)⁻¹ de fibra insolúvel, 1,03 g (100 g)⁻¹ de fibras solúveis, 6,39 g (100 g)⁻¹ de fibras totais, 64,77 g (100 g)⁻¹ de carboidratos e valor energético de 393,7 kcal (100 g)⁻¹, valores parcialmente semelhantes em relação aos encontrados para o ME.

5.5.4 Conclusão

Os resultados obtidos demonstraram que o uso combinado de farinha pré-gelatinizada de fécula e bagaço de mandioca (70:30), fécula de mandioca e farinha de amaranto na proporção 10:60:30, permite desenvolver uma formulação de macarrão instantâneo com

melhor qualidade nutricional que o macarrão convencional e integral de trigo, aliado à manutenção de boas características tecnológicas de textura, obtendo massas pouco pegajosas e com firmeza adequada, além de obter macarrões claros e bem amarelados. Além disso, possibilitou a aplicação de resíduos industriais na alimentação humana aliando aos interesses do consumidor por produtos mais saudáveis e isentos de glúten para a categoria dos celíacos.

5.5.5 Agradecimentos

À Capes pelo apoio financeiro e bolsa de mestrado. À FAPEG pelo apoio financeiro. À fecularia FEBELA e à Universidade Estadual de Londrina pelas parcerias.

5.5.6 Referências

- A.A.C.C. American Association of Cereal Chemists. **Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists**, 8th ed. Saint Paul, AACCC International, 1983.
- A.A.C.C. American Association of Cereal Chemists. **Approved methods of the American Association of Cereal Chemists**. 10. ed. Saint Paul: AACCC Internacional, 2000.
- A.O.A.C international - ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of AOAC International**. 16. ed. Gaithersburg: AOAC International, 1997.
- A.O.A.C. Association Of Official Analytical Chemists (United States of America). **Official methods of analysis**. 15. ed. Washington D.C.: AOAC, 1990.
- AMAYA-FARFAN, J.; MARCÍLIO, R.; SPEHAR, C. R. Deveria o Brasil investir em novos grãos para a sua alimentação. A proposta do amaranto (*Amaranthus sp*). **Segurança Alimentar e Nutricional**, Campinas, v. 12, n. 1, p. 47-56, 2005.
- BARROS NETO, B. B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Como fazer experimentos: Pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**. Campinas: Unicamp, p. 289, 2001.
- BORGES, J. T. S.; ASCHERI, J. L. R.; ASCHERI, D. R.; NASCIMENTO, R. E.; FREITAS, A. S. Propriedades de cozimento e caracterização físico-química de macarrão pré-cozido à base de farinha integral de quinoa (*chenopodium quinoa, willd*) e de farinha de arroz (*oryza sativa*, l) polido por extrusão termoplástica. **Boletim CEPPA**, Curitiba, v. 21, n. 2, p. 302-322, 2003.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Resolução nº. 18/99**. Alimentos com Alegações de Propriedades Funcionais e ou de Saúde, Novos Alimentos/Ingredientes, Substâncias Bioativas e Probióticos. IX - Lista de alegações de propriedade funcional aprovadas. Diário Oficial do Estado de São Paulo, 2009. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/18_99.htm>. Acesso em: 03 mar. 2011.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Resolução nº. 93/2000**. Regulamento Técnico para Fixação de Identidade e Qualidade de Massa Alimentícia. Diário Oficial do Estado de São Paulo, 2000. Disponível em: <http://www.abima.com.br/dload/13_45_resol_93_00_leg_alim_nac.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2010.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Resolução RDC nº. 263**, de 22 de setembro de 2005. Regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos. Diário Oficial da

União, Brasília, DF, 23 set. 2005. Disponível em: < http://www.abima.com.br/dload/13_46_resol_263_05_leg_alim_nac.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2011.

CAMARGO, K. F.; LEONEL, M.; MISCHAN M. M. Produção de biscoitos extrusados de polvilho azedo com fibras: efeito de parâmetros operacionais sobre as propriedades físicas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 3, p. 586-591, 2008.

CAMIRE, M. E.; CAMIRE, A.; KRUMHAR, K. Chemical and nutritional changes in foods during extrusion. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Boca Raton, v. 19, p. 35-57, 1990.

CAPERUTO, L. C.; AMAYA-FARFAN, J.; CAMARGO, C. R. O. Performance of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) flour in the manufacture of gluten-free Spaghetti. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Londres, v. 81, p. 95-101, 2000.

CAPRILES, V. D.; COELHO, K. D.; MATIAS, A. C. G.; ARÊAS, J. A. G. Efeito da adição de amaranto na composição e na aceitabilidade do biscoito tipo *cookie* e do pão de forma. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 17, n. 3, p. 269-274, 2006.

CEREDA, M. P. Caracterização de subprodutos da industrialização da mandioca. In: FUNDAÇÃO CARGIL. **Manejo, uso e tratamento de subprodutos da industrialização da mandioca**. 2001, v. 4, cap. 15, p. 13-37. (Série Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas).

CHILLO, S.; LAVERSE, J.; FALCONE, P. M.; DEL NOBILE, M. A. Quality of spaghetti in base amaranthus wholemeal flour added with quinoa, broad bean and chick pea. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 84, p. 101-107, 2008.

CHISTÉ, R. C.; COHEN, K. de O.; MATHIAS, E. de A.; RAMOA JUNIOR, A. G. A. Estudo das propriedades físico-químicas e microbiológicas no processamento da farinha de mandioca do grupo d'água. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, n. 2, 2007.

COELHO, K. D. **Desenvolvimento e avaliação da aceitação de cereais matinais e barras de cereais à base de amaranto** (*Amaranthus cruentus* L.). 2006. 89 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/.../tde-25102006-105736/>>. Acesso em: 08 set. 2009.

COLORPRO – **Munsell Conversion versão 4.01**. Disponível em: <<http://www.colorpro.com/info/software/munsell.htm>>. Acesso em: 20 jul. de 2010.

DEPRIERI, M. **Desenvolvimento de pastas alimentícias instantâneas por processo de extrusão termoplástica: influência do tipo de trigo, teor de emulsificantes e parâmetros do processo na qualidade do produto**. 2004. 133 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de alimentos). Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004. Disponível em: <http://www.fea.unicamp.br/alimentarium/ver_documento.php?did=85>. Acesso em: 23 set. 2009.

EL-DASH, A.; MAZZARI, M. R.; GERMIANI, R. **Tecnologia de farinhas mistas**: uso de farinhas mistas na produção de massas alimentícias. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA-SPI), 1994, v. 5, cap. 1, p. 9-20.

FIGUEROLA, F.; HURTADO, M. L.; ESTEVEZ, A. M.; CHIFELLE, I.; ASENJO, F. Fiber concentrates from apple pomace and citrus peel as potential fiber sources for food enrichment. **Food Chemistry**, Londres, v. 91, p. 395-401, 2005.

- ILO, S.; BERGHOFER, E. Kinetics of colour changes during extrusion cooking of maize grits. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 39, n. 1, p. 73-80, 1999.
- ILO, S.; LIU, Y.; BERGHOFER, E. Extrusion cooking of rice flour and amaranth blends. **Food Science and Technology**, Londres, v. 32, p. 79-88, 1999.
- INGLETT, G. E.; PETERSON, S. C.; CARRIERE, C. J.; MANEEPUN, S. Rheological, textural, and sensory proprieties of Asian noodles containing on oat cereal hydrocolloid. **Food Chemistry**, Londres, v. 8, n. 1, p. 1-8, 2005.
- KNUDSEN, K. E. B. The nutritional significance of “dietary fiber” analysis. **Animal Feed Science and Technology**, Chicago, v. 90, p. 3-20, 2001.
- KRUGER, J. E.; MATSUO, R. B.; DICK, J. W. **Pasta and Noodle Technology**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1996, 356 p.
- LAI, H. M. Effects of Rice proprieties and emulsifiers on the quality of the rice pasta. **Journal of the Science of Food Agriculture**, Londres, v. 82, n. 1, p. 203-216, 2001.
- LIMROONGREUNGRAT, K.; HUANG, Y. H. Pasta products made from sweetpotato fortified with soy protein. **LWT – Food Science and Technology**, Londres, v. 40, n. 1, p. 200–206, 2007.
- LOBO, A. R.; LEMOS-SILVA, G. M. Amido resistente e suas propriedades físico-químicas. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 16, n. 2, p. 219-226, 2003.
- LUSTOSA, B. H. B.; LEONEL, M.; MISCHAN, M. M. Influência dos parâmetros de extrusão na absorção e solubilidade em água de farinhas pré-cozidas de mandioca e caseína. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 20, n. 2, p. 223-229, 2009.
- MANTHEY, F. A.; SCHORNO, A. L. Physical and cooking quality of spaghetti made from whole wheat durum. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 79, n. 4, p. 504–510, 2001
- MARTINEZ, C. S.; RIBOTTA, P. D.; LEÓN, A. E.; AÑÓN, M. A. Physical, sensory and chemical evaluation of cooked spaghetti. **Journal of Texture Studies**, Westport, v. 38, p. 666–683, 2007.
- MENDONÇA, S.; SALDIVA, P. H.; CRUZ, R. J.; ARÊAS, J. A. G. Amaranth protein presents cholesterol-lowering effects. **Food Chemistry**, Londres, v. 116, n. 3, p. 738-742, 2009.
- MENEGASSI, B.; LEONEL, M. Efeito da adição de farinha de mandioquinha-salsa nas características de massa alimentícia. **Ciências Exatas e da Terra**, Ponta Grossa, v. 11, n. 3, p. 13-19, 2005.
- NABESHIMA, E. H.; HASHIMOTO, J. M.; EL-DASH, A. A. Efeito da adição de emulsificantes em massas alimentícias sem glúten produzidas com extrusora termoplástica. **Boletim CEPPA**, Curitiba, v. 21, n. 2, p. 223-238, 2003.
- NAWIRSK, A.; KWASNIEWSKA, M. Dietary fiber fractions from fruit and vegetable processing waste. **Food Chemistry**, Londres, v. 91, p. 221-225, 2005.
- NICOLETTI, A. M.; SILVA, L. P.; HECKTHEUER, L. H.; TOLEDO, G. S. P.; GUTKOSKI, L. C. Uso de subprodutos agroindustriais no desenvolvimento de macarrão nutricionalmente melhorado. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 18, n. 4, p. 421-429, 2007.
- OH, N. H., SIEB, P. A., WARD, A. B. AND DEYOE, C. W. Noodles: IV. Influence of flour protein, extraction rate, particle size, and starch damage on the quality characteristics of dry noodles. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 62, p. 441-446, 1985.

- ONYANGO, C.; UNDEHEND, G.; LINDHAUER, M. G. Effect of cellulose-derivatives and emulsifiers on creep-recovery and crumb properties of gluten-free bread prepared from sorghum and gelatinized cassava starch. **Food Research International**, Toronto, v. 4, n. 11, p. 1-7, 2009.
- ORMENESE, R. C. C.; MISUMI, L.; ZAMBRANO, F.; FARIA E. V. Influência do uso de ovo líquido pasteurizado e ovo desidratado nas características da massa alimentícia. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 2, n. 24, p. 255-260, 2004.
- ORMENESE, R. C. S. C.; CHANG, Y. K. Macarrão de arroz: características de cozimento e textura e comparação com o macarrão convencional e aceitação pelo consumidor. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 6, p. 91-97, 2002.
- OVANDO-MARTINEZ, M.; SÁYAGO-AYERDI, S.; AGAMA-ACEVEDO, E.; GOÑI, I.; BELLO-PÉREZ, L. A. Unripe banana flour as an ingredient to increase the undigestible carbohydrates of pasta. **Food Chemistry**. Londres, v. 113, n. 1, p. 121-126, 2009.
- REHMAN, ZIA-UR; SHAH, W. H. Domestic processing effects on some insoluble dietary fiber components of various food legumes. **Food Chemistry**, Londres, v. 87, p. 613-617, 2004.
- ROCHA, D.; PEREIRA JÚNIOR, G.; VIEIRA, G.; PANTOJA, L.; SANTOS, A.; PINTO, N. Macarrão adicionado de ora-pro-nóbis (*pereskia aculeata miller*) desidratado. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 19, n. 4, p. 459-465, 2008.
- RODRIGUES, J. P. M. **Caracterização e análise sensorial de biscoitos de polvilho enriquecidos com farelo de mandioca**. 2010. 81 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010. Disponível em: <http://bdtd.ufg.br/tesesimplificado/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=1509>. Acesso em: 15 fev. 2011.
- ROMÃO, R. B. M.; YAMASHITA, F.; BENASSI, M. T. Metodologia para avaliação de cristalização em balas duras por imagem digitalizada. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 9, n. 2, p. 151-155, 2006.
- SACHS, L. G.; PORTUGUAL, A. P.; PRUDENCIO-FERREIRA, S. H.; FELINTO, A. S. **Conversor em cor média RGB para imagens BMP**. Disponível em: www.fflam.br. Acesso em: 20 jul. 2010.
- SANGNARK, A.; NOOMHORM, A. Chemical, physical and baking properties of dietary fiber prepared from rice straw. **Food Research International**, Toronto, v. 37, p. 66-74, 2004.
- SANNIL, O.; BAMGBOSE C, A.; BABAJIDEJ, M.; SANNIS, A. Production of instant cassava noodles. In: International Society for Tropical Root Crops Symposium, 13. **Anais...**Arusha, Tanzania, 2007, p. 466-472.
- SANTUCCI, M. C. C.; ALVIM, I. D.; SMITH, F.; FARIA, E. V.; SGARBIERI, C. V. Enriquecimento de macarrão tipo tubo (massa curta) com derivados de levedura (*saccharomyces* sp.): impacto nutricional e sensorial. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 2, n. 23, p. 290-295, 2003.
- SHITTU, T. A.; DIXON, A.; AWONORIN, S. O.; SANNI, L. O.; MAZIYA-DIXON, B. Bread from composite cassava–wheat flour. II: Effect of cassava genotype and nitrogen fertilizer on bread quality. **Food Research International**, Toronto, v. 41, n. 1, p. 569–578, 2008.

SOARES JÚNIOR, M. S.; GROSSMANN, M. V. E.; SILVA, R. S. S. F.; CALIARI, M.; SPINOSA, W. A. Expansion and hydration properties of cassava starch extruded with emulsifier. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 2, n. (1,2), p. 57-61, 1999.

SZCZENSNIAK, A. S.; BRANDT, M. A.; FRIEDMAN, H. H. Development of standard rating scales for mechanical parameters of texture and correlation between the objective and sensory methods of texture evaluation. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 28, p. 397-403, 1963.

TEBA, C. S. **Elaboração de massas alimentícias pré-cozidas à base de farinha mista de arroz polido e feijão preto sem casca pelo processo de extrusão termoplástica**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). 2009. 199 f. Instituto de Tecnologia. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <[http://www.dominiopublico.gov.br/.../DetalheObraForm.do?...>. Acesso em: 15 fev. 2011.](http://www.dominiopublico.gov.br/.../DetalheObraForm.do?...)

TORBICA, A.; HADNADEV, M.; DAPCEVIC, T. Rheological, textural and sensory properties of gluten-free bread formulations based on rice and buckwheat flour. **Food Hydrocolloids**, Chicago, v. 24, p. 626-632, 2010.

TROMBINI, F. R. M. **Caracterização de produtos extrusados de misturas de farinha de soja, fécula e farelo de mandioca**. 2010. 100 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010. Disponível em: <http://www.fca.unesp.br/pos_graduacao/Teses/PDFs/Arq0444.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2009.

6 CONCLUSÃO

O processo de extrusão termoplástica é uma tecnologia viável para a aplicação do bagaço de mandioca na elaboração de *snacks* e farinhas pré-gelatinizadas destinadas a alimentação humana.

A umidade da mistura de fécula de mandioca e farinha de bagaço de mandioca (70:30) e temperatura de extrusão interferem significativamente nas propriedades físicas dos *snacks*.

Produtos claros, mais amarelados e com elevada expansão e volume específico intermediário, foram obtidos nas condições intermediárias temperatura de extrusão (104,10 °C), e umidade das misturas [16 g (100 g)⁻¹], sendo estas as condições mais adequadas para a elaboração de *snacks* de mistura de fécula de farinha de bagaço de mandioca.

O macarrão tipo *talharim* obtido neste estudo com farinha pré-gelatinizada de fécula e bagaço de mandioca (70:30), fécula de mandioca e farinha de amaranto na proporção 10:60:30, foi a massa que apresentou melhores resultados nos testes de qualidade, tais como menor perda de sólidos solúveis na água de cozimento (0,37%), satisfatório aumento de massa (101,46%) e tempo ótimo de cozimento característico de macarrão instantâneo (3,0 min). Além disso, esta formulação apresenta melhor qualidade nutricional que o macarrão convencional e integral de trigo, aliado à manutenção de boas características tecnológicas de textura, obtendo massas pouco pegajosas e com firmeza adequada e obter macarrões claros e bem amarelados. O teste de aceitação desta formulação demonstrou que o macarrão foi avaliado entre gostei moderadamente e gostei muito, com intenção de compra entre possivelmente compraria e talvez comprasse/talvez não comprasse, pelo seu público-alvo.

REFERÊNCIAS

- A.A.C.C. American Association of Cereal Chemists. **Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists**, 8th ed. Saint Paul, AACCC International, 1983.
- A.A.C.C. American Association of Cereal Chemists. **Approved methods of the American Association of Cereal Chemists**. 10. ed. Saint Paul: AACCC Internacional, 2000.
- A.O.A.C international - Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis of AOAC International**. 16. ed. Gaithersburg: AOAC International, 1997.
- A.O.A.C. Association of Official Analytical Chemists (United States of America). **Official methods of analysis**. 15. ed. Washington D.C.: AOAC, 1990.
- ABAM. Associação Brasileira dos Produtores de Amido de Mandioca. **Processo de obtenção do amido**. Disponível em: <http://www.abam.com.br/includes/index.php.link_include=menu2/proc_ob_amido.php&menu=2&item=2>. Acesso em: 21 jun. de 2009.
- ABIMA. Associação Brasileira Das Indústrias De Massas Alimentícias. Disponível em: <<http://www.abima.com.br/noticias.aspx?id=1061>>. Acesso em: 16 fev. 2010.
- AINSWORTH, P.; IBANOGLU, S.; PLUNKETT, A.; IBANOGLU, E.; STOJCESKA, V. Effect of brewers spent grain addition and screw speed on the select physical and nutritional properties of an extruded snack. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 81, p. 702-709, 2007.
- ALONSO, R.; ORÚE, E.; ZABALZA, M. J.; GRANT, G.; MARZO, F. Effects of extrusion cooking on structure and functional properties of pea and kidney bean properties. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Londres, v. 80, p. 397-493, 2000.
- ALPEVICZ, K. S.; DEMIANTE, I. M. Caracterização de amidos de mandioca nativos e modificados e utilização em produtos panificados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, n. 3, p. 478-484, 2007
- ALTAN, A.; McARTHUR, T. L.; MASKAN, M. Effect of extrusion cooking on functional properties and in vitro starch digestibility of barley-based extrudates from fruit and vegetable by-products. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 89, p. 1587-1592, 2009.
- ALVES, R. M. L.; GROSSMANN, M. V. E. Parâmetros de extrusão para a produção de *snacks* de farinha de cará (*Dioscorea alata*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 22, n. 1, p. 32-38, 2002.
- AMAYA-FARFAN, J.; MARCÍLIO, R.; SPEHAR, C. R. Deveria o Brasil investir em novos grãos para a sua alimentação. A proposta do amaranto (*Amaranthus sp.*). **Segurança Alimentar e Nutricional**, Campinas, v. 12, n. 1, p. 47-56, 2005.
- ANDERSON, R. A.; CONWAY, H. F.; PFEIFER, V. F.; GRIF-FN, L. J. Gelatinization of corn grift by roll and extrusion cook. **Cereal Science Today**, Saint Paul, v. 14, n. 1, p. 4-11, 1969.
- APHALO, P.; CASTELLANI, O. F.; MARTINEZ, E. N.; AÑÓN, M. C. Surface physicochemical properties of Globulin-P amaranth protein. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 52, p. 616-622, 2004.
- ARAÚJO, J. M. A. **Química de alimentos: teoria e prática**, 3. ed. Viçosa: UFV, 2001, 315 p.

ARCILA, N.; MENDOZA, Y. Elaboración de una bebida instantánea a base de semillas de amaranto (*Amaranthus cruentus*) y su uso potencial en La alimentación humana. **Revista de la Facultad de Agronomía Universidad Del Zulia**, Maracaibo, v. 23, p. 110-119, 2006.

ARÊAS, J. A. G. Interações moleculares do amido durante o processo de extrusão. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 30, n 1, p.28-30, 1996.

ARTHEY, D.; DENNIS, C. **Processado de hortaliças**. Zaragoza: Editorial Acribia, S.A., 1992, cap. 3, p. 42.

ASCHERI, D. P. R.; ASCHERI, J. L. R.; CARVALHO, C. W. P. Caracterização da farinha de bagaço de jabuticaba e propriedades funcionais dos extrusados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 4, p. 897-905, 2006.

ASCHERI, J. L. R.; CARVALHO, C. W. P.; SPEHAR, C. R. Extrusão do amaranto no desenvolvimento de produtos: caracterização físico-química. Fortaleza: Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos, 2004, cap. 1, p. 1-30.

ASP, N. G.; BJORCK, I. Nutritional properties of extruded. In: MERCIER, C.; LINKO, P.; HARPER, J. M. (Eds.) **Extrusion cooking**. Saint Paul: AACC, 1989. p. 399-434.

AUGUSTO-RUIZ, W.; BONATO, S. R.; SILVA ARRIECHE, L.; VAZ ALVES, F. Caracterização da farinha pré-gelatinizada de arroz integral produzida a partir de grãos quebrados. **Vetor**, Rio Grande, v. 13, n. 1, p. 25-46, 2003.

AYO, J. A. The effect of amaranth grain flour on the quality of bread. **International Journal of Food Properties**, v. 4, n. 2, p. 341-351, 2001.

AZEREDO, H. M. C.; BRITO, E. S.; GARRUTI, D. Dos S. Alterações químicas durante a estocagem. In: **Fundamentos da estabilidade de alimentos**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2004, cap. 2, p. 37-64

BADRIE, N.; MELLOWES, W. A. Effect of extrusion variables on cassava extrudates. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 56, p. 1334-1337, 1991.

BARBOSA, N. L.; GARCIA, L. V.; TOLOTTI, K. D.; GOELLNER, T.; AUGUSTO-RUIZ, W.; SANTO, M. E. Elaboração de embutido tipo mortadela com farinha de arroz. **Vetor**, Rio Grande, v. 16, p. 11-20, 2006.

BARBUTI, S.; PAROLARI, G. Causes and prevention of dry-crued ham defects. In: SYMPOSIUM INTERNACIONAL DEL JAMON CURADO, 2. **Anais...**Barcelona, Espanha, 2000, p. 19-25.

BARROS NETO, B. B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Como fazer experimentos: Pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**. Campinas: Unicamp, 2001, 289 p.

BERGER, A.; GREMAUD, R.; BAUMGARTNER, M.; REIN, D.; MONNARD, I.; KRATKY, E.; GEIGER, W.; BURRI, J.; DIONISI, F.; ALLAN, M.; LAMBELET, P. Cholesterol-lowering properties of amaranth grain and oil in hamsters. **International Journal for Vitamin and Nutrition Research**, New York, v. 73, n. 1, p. 39-49, 2003.

BERGHOFER, E.; SCHOENLECHNER, R. Grain Amaranth. In: BELTON, P. S.; TAYLOR, J. R. N. **Pseudocereals and less common cereals: grain properties and utilization potential**. Springer, 2002, cap 7.

BETSCHART, A. A.; IRVING, D. W.; SHEPHERD, A. D.; SAUNDERS, R. M. *Amaranthus Cruentus*: Milling characteristics, distribution of nutrients within seed components, and the

effects of temperature on nutritional quality. **Journal of Food Science**, Londres, v. 46, p. 1181-1187, 1981.

BORBA, A. M.; SARMENTO, S. B. S.; LEONEL, M. Efeito dos parâmetros de extrusão sobre as propriedades funcionais de extrusados da farinha de batata-doce. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 4, p. 835- 843, 2005.

BORGES, J. T. S.; ASCHERI, J. L. R.; ASCHERI, D. R.; NASCIMENTO, R. E.; FREITAS, A. S. Propriedades de cozimento e caracterização físico-química de macarrão pré-cozido à base de farinha integral de quinoa (*chenopodium quinoa, willd*) e de farinha de arroz (*oryza sativa*, l) polido por extrusão termoplástica. **Boletim CEPPA**, Curitiba, v. 21, n. 2, p. 302-322, 2003.

BOX, G. E. P.; HUNTER, W. G.; HUNTER, J. S. **Statistics for Experimenters: An Introduction to Design, Data Analysis, and Model Building**, John Wiley and Sons. 1978.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC nº 360**, de 23 de dezembro de 2003. Aprova regulamento técnico sobre rotulagem nutricional de alimentos embalados, tornando obrigatória a rotulagem nutricional. Disponível em: <<http://e-legis.anvisa.gov.br/leisref/public/showAct.php?id=9059>>. Acesso em: 18 jul. 2009.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Portaria nº 554**, de 30 de agosto de 1995. Especificações para a padronização e classificação da farinha de mandioca, destinada à comercialização no mercado interno. Diário Oficial da União, Brasília, DF. Disponível em <http://www.claspar.pr.gov.br/arquivos/File/pdf/ farinhamandioca554_95.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2011.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Resolução nº. 18/99**. Alimentos com alegações de propriedades funcionais e ou de saúde, novos alimentos/ingredientes, substâncias bioativas e probióticos. IX - Lista de alegações de propriedade funcional aprovadas. Diário Oficial do Estado de São Paulo, 2009. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/18_99.htm>. Acesso em: 03 mar. 2011.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Resolução nº. 93/2000**. Regulamento técnico para fixação de identidade e qualidade de massa alimentícia. Diário Oficial do Estado de São Paulo, 2000. Disponível em: <http://www.abima.com.br/dload/13_45_ resol_93_00_leg_alim_nac.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2010.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Resolução RDC nº. 263**, de 22 de setembro de 2005. Regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 23 set. 2005. Disponível em: <http://www.abima.com.br/dload /13_46_ resol_263_05_leg_alim_nac.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2011.

BRESSANI, R. Calidad proteínica de la semilla de amaranto cruda y procesada. In: El amaranto y su potencial. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, Guatemala, v. 3. 1983.

BURISOVA, A.; DODOK, S.; SKROVANKOVA, S.; SERULOVA, D. The influence of substitution of wheat flour by amaranth flour on fermentative gas production and quality of bread. **Rostlinna Vyroba**, Praga, v. 47, n. 5, p. 276-279, 2001.

BURRELL, M. M. Starch: the need of improved quality or quantity – an overview. **Journal of Experimental Botany**, Swansea, v. 54, n. 382, p. 451-456, 2003.

CAMARGO, K. F.; LEONEL, M.; MISCHAN M. M. Produção de biscoitos extrusados de polvilho azedo com fibras: efeito de parâmetros operacionais sobre as propriedades físicas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 3, p. 586-591, 2008.

- CAMIRE, M. E.; CAMIRE, A.; KRUMHAR, K. Chemical and nutritional changes in foods during extrusion. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Boca Ranton, v. 19, p. 35-57, 1990.
- CAPERUTO, L. C.; AMAYA-FARFAN, J.; CAMARGO, C. R. O. Performance of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) flour in the manufacture of gluten-free Spaghetti. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Londres, v. 81, p. 95-101, 2000.
- CAPRILES, V. D.; ALMEIDA, E. L.; FERREIRA, R. E.; ARÊAS, J. A. G.; STEEL, C. J.; CHANG, Y. K. Physical and sensory properties of regular and reduced-fat pound cakes with added amaranth flour. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 85, p. 614-618, 2008.
- CAPRILES, V. D.; COELHO, K. D.; MATIAS, A. C. G.; ARÊAS, J. A. G. Efeito da adição de amaranto na composição e na aceitabilidade do biscoito tipo *cookie* e do pão de forma. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 17, n. 3, p. 269-274, 2006.
- CARVALHO, R. V.; ASCHERI, J. L. R.; CAL-VIDAL, J. Efeito dos parâmetros de extrusão nas propriedades físicas de extrusados de misturas de farinhas de trigo, arroz e banana. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 5, p. 1006-1018, 2002.
- CASAGRANDE, D. A.; CANNIATTI-BRAZACA, S. G.; SALGADO, J. M.; PIZZINATTO, A. NOVAES, N. J. Análise tecnológica, nutricional e sensorial de macarrão elaborado com farinha de trigo adicionada de farinha de feijão-guandu. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 12, n. 2, p. 137-143, 1999.
- CASTIGLIONI, G. L.; MORAIS, M. B.; CALIARI, M.; SILVA, F. A.; DAMIANI, C. SOARES JÚNIOR, M. S. Aceitação de pães de forma elaborados com farinha de bagaço de mandioca. In: II SIMPÓSIO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, Aracajú, 2010. Cd-room.
- CEREDA, M. P. Caracterização de subprodutos da industrialização da mandioca. In: FUNDAÇÃO CARGIL. **Manejo, uso e tratamento de subprodutos da industrialização da mandioca**. 2001. v. 4. cap. 1. p. 13-37. (Série Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas).
- CEREDA, M. P. **Caracterização, usos e tratamentos de resíduos da industrialização da mandioca**. Botucatu. Ed. Unesp, 1996, 56 p.
- CEREDA, M. P. Produção e uso de amido. In: FUNDAÇÃO CARGIL. **Propriedades gerais do amido**. 2002, v. 1, cap. 1, p. 21-56. (Série Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas).
- CEREDA, M. P.; VILPOUX, O.; FRANCO, C. M. L. Uso de amido e seus derivados na produção de salgadinhos extrusados (*snacks*). In: CEREDA, M. P.; VILPOUX, O. F. (Org.). **Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas Latino Americanas**. São Paulo: Fundação Cargill, 2003, v. 3, p. 132-142.
- CHAMP, M. Impact nutritionnel de la cuisson-extrusion. In: **Cuisson-Extrusion**. Paris, p. 203-229, 1994
- CHANG, Y. K.; EL-DASH, A. A. Effects of acid concentration and extrusion variables on some physical characteristics and energy requirements of cassava starch. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, São Paulo, v. 20, n. 2, p. 129-137, 2003.
- CHANG, Y. K.; HASHIMOTO, J. M.; ACIOLI-MOURA, R.; FLORES, H. E. M.; BUSTOS, F. M. Influence of extrusion condition on cassava starch and soybean protein concentrate blends. **Acta Alimentaria**, Amsterdam, v. 30, n. 2, p. 189-203, 2001.

- CHANG, Y. K.; FLORES, H. E. M. Qualidade tecnológica de massas alimentícias frescas elaboradas de semolina de trigo durum (*t. durum* L.) e farinha de trigo (*t. aestivum* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 24, n.4, p. 487-493, 2004.
- CHÁVEZ-JÁUREGUI, R. N.; PINTO E SILVA, M. E. M.; ARÊAS, J. A. G. Extrusion cooking process for amaranth (*Amaranthus cruentus* L.). **Journal of Food Science**, Chicago, v. 65, n. 6, p. 1009-1015, 2003.
- CHILLO, S.; CIVICA, V.; IANNETTI, M.; MASTROMATTE, M.; SURIAN, N.; DEL NOBIL, M.A. Influence of repeated extrusions on some properties of non-conventional spaghetti. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 100, n. 2, p. 329-335, 2010.
- CHILLO, S.; LAVERSE J.; FALCONE P. M.; DEL NOBILE, M. A. Effect of carboxymethylcellulose and pregelatinized corn starch on the quality of amaranthus spaghetti. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 83, p. 492–500, 2007.
- CHILLO, S.; LAVERSE, J.; FALCONE, P. M.; DEL NOBILE, M. A. Quality of spaghetti in base amaranthus wholemeal flour added with quinoa, broad bean and chick pea. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 84, p. 101-107, 2008.
- CHINNASWAMY, R.; HANNA, M. A. Relationship between amylose content and extrusion-expansion properties of corn starches. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 65, n. 2, p. 138-143, 1988.
- CHISTÉ, R. C.; COHEN, K. de O.; MATHIAS, E. de A.; RAMOA JUNIOR, A. G. A. Estudo das propriedades físico-químicas e microbiológicas no processamento da farinha de mandioca do grupo d'água. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, n. 2, 2007.
- CIACCO, C. F.; CHANG, Y. K. **Como fazer massas**. Campinas: [s.n.], 1986. 127 p. (Coleção Ciência e Tecnologia ao Alcance de Todos. Série Tecnologia de Alimentos).
- CLERICI, M. T. P. S.; EL-DASH, A. A. Características tecnológicas de farinhas de arroz pré-gelatinizadas obtidas por extrusão termoplástica. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1543-1550, 2008.
- COELHO, K. D. **Desenvolvimento e avaliação da aceitação de cereais matinais e barras de cereais à base de amaranto** (*Amaranthus cruentus* L.). 2006. 89 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/.../tde-25102006-105736/>>. Acesso em: 08 set. 2009.
- COLORPRO – **Munsell Conversion versão 4.01**. Disponível em: <<http://www.colorpro.com/info/software/munsell.htm>>. Acesso em: 20 jul. de 2010.
- CRUZ, R. S.; SOARES, N. F. F. Efeito da adição de CO₂ sobre o crescimento microbiano em macarrão tipo massa fresca. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 22, n. 2, p. 147-150, 2002.
- CUNIN, C.; HANDSCHIN, S.; WALTHER, P.; ESCHER, F. Structural changes of starch during cooking of durum wheat pasta. **LWT – Food Science and Technology**, Londres, v. 28, p. 323-328, 1995.
- CZUBASZEK, A. The influence of ground amaranth seeds addition on the baking value of commercial wheat flour. **Zywnosc**, Warsaw, v. 9, n. 3, p. 101-111, 2002.
- DEPRIERI, M. **Desenvolvimento de pastas alimentícias instantâneas por processo de extrusão termoplástica: influência do tipo de trigo, teor de emulsificantes e parâmetros do processo na qualidade do produto**. 2004. 133 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de

alimentos). Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004. Disponível em: <http://www.fea.unicamp.br/alimentarium/ver_documento.php?did=85>. Acesso em: 23 set. 2009.

DEXTER, J. E.; MATSUO, R. R. Changes in spaghetti protein solubility during cooking. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 56, p. 394-398, 1979.

DEXTER, J. E.; MATSUO, R. R.; MORGAN, B. C. High temperature drying: Effect on spaghetti properties. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 46, n. 6, p. 1741-1746, 1981.

DIAS, L. T.; LEONEL, M. Caracterização físico-química de farinhas de mandioca de diferentes localidades do Brasil. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 4, p. 692-700, 2006.

DING, Q.; AINSWORTH, P.; TUCKER, G.; MARSON, H. The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice based expanded *snacks*. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 66, n. 5, p. 283-289, 2005.

DITCHFIELD, C. **Estudo dos métodos para a medida da atividade de água**. 2000. 195 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000. Disponível em <<http://www.teses.usp.br/teses/.../tde-06112001-090117/>>. Acesso em: 03 fev. 2011.

DUST, J. M.; GAJDA, A. M.; FLICKINGER, E. A.; BURKHALTER, T. M.; MERCHEN, N. R.; FAHEY JR, G. C. Extrusion conditions affect chemical composition and in vitro digestion of select food ingredients. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 52, p. 2989-2996, 2004

DUTCOSKY, S. D. **Desenvolvimento de tecnologia de biscoitos e massas alimentícias isentas de glúten, a partir de farinha de arroz**. 1995. 85 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1995. Disponível em: <http://www.bicen-tede.uepg.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo>. Acesso em: 22 mar. 2010.

DWARDS, N. M.; IZYDORCZYK, M. S.; DEXTER, J. E.; BILIADERIS, C. G. Cooked pasta texture: comparison of dynamic viscoelastic properties. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 70, p. 122-126, 1993.

EL-DASH, A. A. Application and control of thermoplastic extrusion of cereals for food and industrial uses. In: POMERANZ, Y.; MUNCH, L. **Cereals a renewable resource: theory and practice**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1982. cap 10, p. 165-216.

EL-DASH, A. A.; GONZALES, R.; CIOL, M. Response surface methodology in the control of thermoplastic extrusion of starch. In: JOWITT, R. (Ed.) **Extrusion cooking technology**. London: Elsevier Applied Science, 1984, p. 51-74.

EL-DASH, A.; MAZZARI, M. R.; GERMIANI, R. **Tecnologia de farinhas mistas**: uso de farinhas mistas na produção de massas alimentícias. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA-SPI), 1994, v. 5, cap. 1, p. 9-20.

FAO. Food and Agriculture Organization. **Prognóstico Agropecuário** - análise da conjuntura agropecuária safra 2010/11 – mandioca. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>> . Acesso em: 23 fev. 2011.

FAUBION, J. M.; HOSENEY, R. C. High temperature and short time. Extrusion-cooking of wheat starch and flour. Effect of moisture and flour type on extrudate properties. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 59, n. 6, p. 529-533, 1982.

- FELLOWS, P. Extrusion. In: FELLOWS, P. **Food processing technology: principles and practice**. Cambridge: Woodhead Publishing, 2002. cap. 14, p. 294-308.
- FERREIRA NETO, C. J.; FIGUEIREDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Avaliação sensorial e da atividade de água em farinhas de mandioca temperadas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 4, p. 794-802, 2005.
- FERREIRA, C. D.; PENNA, R. S. Comportamento higroscópico da farinha de pupunha. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 23, n. 2, p. 251-255, 2003.
- FERREIRA, G. B.; MELO, V. V.; ALMEIDA, J. B. O.; EVANGELISTA, A. F.; SOUZA, R. R. Caracterização do Processo de Obtenção de Uma Aguardente de Mandioca. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, 5º SIPAL, p. 2-7, 2005.
- FERREIRA, T. A. P. C. **Avaliação nutricional do amaranto extrusado em diferentes condições de umidade**. 1999. 157 f. Tese (Doutorado em Ciência dos alimentos). Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999. Disponível em: <<http://serv-bib.fcfar.unesp.br/seer/index.php/alimentos/article/.../802>>. Acesso em: 15 jun. 2010.
- FIGUEROLA, F.; HURTADO, M. L.; ESTEVEZ, A. M.; CHIFELLE, I.; ASENJO, F. Fiber concentrates from apple pomace and citrus peel as potential fiber sources for food enrichment. **Food Chemistry**, Londres, v. 91, p. 395-401, 2005.
- FILLI, K. B.; NKAMA, I. Hydration properties of extruded fura from millet and legumes. **British Food Journal**, Cambridge, v. 109, p. 68-80, 2007.
- FONSECA FILHO, A.; ARAÚJO, W.; FALCIROLLI, D.; PILLA, N.; MARQUES, A. Avaliação da qualidade tecnológica de pães enriquecidos com farelo de trigo. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 8, n. 3, p. 17-25, 1997.
- FREITAS, T. S.; LEONEL, M. Amido resistente em fécula de mandioca extrusada sob diferentes condições operacionais. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 19, n. 2, p. 183-190, 2008.
- FREITAS, T. S.; LEONEL, M. Influência dos parâmetros operacionais na cor de féculas de mandioca pré-gelatinizadas por extrusão. In: XII CONGRESSO BRASILEIRO DA MANDIOCA, 2007, Paranavaí. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, Botucatu, v. 3. n. 1, p. 1-4, 2007.
- GAMBUS, H.; GAMBUS, F.; SABAT, R. The research on quality improvement of gluten free bread by amaranthus flour addition. **Zywnosc**, v. 9, n. 2, p. 99-112, 2002.
- GARIB, C. C. **Alimentação balanceada: uma proposta alternativa d merenda escolar**. Florianópolis, 2002. 93 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002. Disponível em: <http://www.rebrae.com.br/artigo/tese_ae.pdf>. Acesso em: 25 mai. 2009.
- GHIASY, K.; HOSENEY, R. C.; VARRIANO-MARSTON, E. Gelatinization of wheat starch. I. Excess-water systems. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 59, n. 2, p. 81-85, 1982.
- GLORIA, M. M.; REGITANO-D'ARCE, M. A. B. Concentrado e isolado protéico de torta de castanha do Pará: obtenção e caracterização química e funcional. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 20, n. 2, p. 240-245, 2000.
- GORINSTEIN, S.; PAWELZIK, E.; DELGADO-LICON, E.; HARUENKIT, R.; WEISZ, M.; TRAKHTENBERG, S. Characterization of pseudocereal and cereal by protein and amino acid analyses. **Journal of Food Science and Agriculture**, Easton, v. 82, p. 886-891, 2002.

GORINSTEIN, S.; ZACHWIEJA, Z.; FOLTA, M.; BARTON, H.; PIOTROWICZ, J.; GUERRA-MATIAS, A. C.; ARÊAS, J. A. G. Cinética de hidrólise do amido de produto extrusado (*snack*) a base de amaranto (*Amaranthus cruentus* L.) para pacientes celíacos. **Nutrire**, São Paulo, v. 27, n. 1, p. 43-54, 2004.

GUERRA-MATIAS, A. C.; ARÊAS, J. A. G. Glycemic and insulinemic responses in women consuming extruded amaranth (*Amaranthus cruentus* L). **Nutrition Research**, New York, v. 25, n. 9, p. 815-22, 2005.

GUERREIRO, L. **Dossiê Técnico de massas alimentícias**, Rio de Janeiro: BRT, 2006. (Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas)

GUTKOSKI, L. C.; EL-DASH, A. A. Effect of extrusion process variables on physical and chemical properties of extruded oat products. **Plant Foods for Human Nutrition**, Huston, v. 54, p. 315-325, 1999.

GUY, R. C. F. The extrusion revolution. **Food Manufacture**, Chicago, v. 60, p. 26–29, 1985.

GUZMÁN-MALDONADO, S. H.; PAREDES-LÓPEZ, O. Productos funcionales de plantas autóctonas de Latinoamérica: amaranto, quínoa, judías y plantas medicinales. In: MAZZA, G. **Alimentos funcionales: aspectos bioquímicos y de procesado**. Zaragoza: Acribia, 2000. cap 9.

HARPER, J.M. **Extrusion of foods**. Boca Raton: CRC Press, 1981. 212p.

HASHIMOTO, J. M.; GROSSMAN, M. V. E. Effects of extrusion conditions on quality of cassava bran/cassava starch extrudates. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 38, n. 5, p. 511-517, 2003.

HERNANDÉS-DIAS, J. R.; QUINTERO-RAMOS, A.; BERNARD, J.; BALANDRÁN-QUINTANA, R. R. Funcional properties of extrudates prepared with blends of wheat flour/pinto bean meal with added wheat bran. **Food Science and Technology International**, Londres, v. 13, p. 301-308, 2007.

HUMMEL, C. **Macaroni products: manufacture processing and packing**. 2. ed. London: Food Trade, 1966. 287 p.

HUNTERLAB. **User's manual with universal software** versions 3.5. Reston, Hunterlab, 1998.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Prognóstico da produção agrícola nacional – comparativo entre as safras de 2010/2011**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa_201101.pdf>. Acesso em: 23 fev. de 2011.

IEA. Instituto de Economia Agrícola. **Produção dos principais produtos da agropecuária**. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/out/banco/menu.php>>. Acesso em: 14 mar. 2011.

ILO, S.; BERGHOFER, E. Kinetics of colour changes during extrusion cooking of maize grits. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 39, n. 1, p. 73-80, 1999.

ILO, S.; LIU, Y.; BERGHOFER, E. Extrusion cooking of rice flour and amaranth blends. **Food Science and Technology**, Londres, v. 32, p. 79-88, 1999.

INGLETT, G. E.; PETERSON, S. C.; CARRIERE, C. J.; MANEEPUN, S. Rheological, textural, and sensory properties of Asian noodles containing oat cereal hydrocolloid. **Food Chemistry**, Londres, v. 8, n. 1, p. 1-8, 2005.

ITAL. Instituto de Tecnologia de Alimentos, **Alimentos enlatados** – princípios de controle do processo térmico, acidificação e avaliação do tratamento de recipientes. 4ª edição traduzida. Campinas, 1990.

KNUDSEN, K. E. B. The nutritional significance of “dietary fiber” analysis. **Animal Feed Science and Technology**, Chicago, v. 90, p. 3-20, 2001.

KOHLWEY, D. E.; KENDALL, J. H.; MOHINDRA, R. B. Using the physical properties of rice as a guide to formulation. **Cereal Foods World**, Saint Paul, v. 40, n. 10, p. 728-732, 1995.

KOVÁCS, E. T; MARAZ-SZABO, L; VARGA, J. Examination of the protein-emulsifier-carbohydrate interactions in amaranth based pasta products. **Acta Alimentaria**, Amsterdam, v. 30, n. 2, p. 173-187, 2002.

KRUGER, J. E.; MATSUO, R. B.; DICK, J. W. **Pasta and Noodle Technology**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1996, 356 p.

LACERDA, D. B. C. L.; SOARES JÚNIOR, M. S.; BASSINELLO, P. Z.; SIQUEIRA, B. S.; KOAKUZU, S. N. Qualidade de biscoitos elaborados com farelo de arroz extrusado em substituição à farinha de trigo e fécula de mandioca. **Archivos Latinoamericanos de Nutricion**, Caracas, v. 59, n. 2, p. 199-205, 2009.

LAI, H. M. Effects of Rice properties and emulsifiers on the quality of the rice pasta. **Journal of the Science of Food Agriculture**, Londres, v. 82, n. 1, p. 203-216, 2001.

LAMBERTS, L.; ROMBOUTS, I.; BRIJS, K.; GEBRUERS, K.; DELCOUR, J. A. Impact of parboiling conditions on maillard precursors and indicators on long-grain rice cultivars. **Food Chemistry**, Londres, v. 110, n. 4, p. 916-922, 2008.

LAUNAY, B.; LISCH, J. M. Twin-screw extrusion cooking of starches: flow behavior of starch pastes, expansion and mechanical properties of extrudates. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 2, p. 259–280, 1983.

LEONEL M.; JACKEY S.; CEREDA M. P. Processamento industrial de fécula de mandioca e batata doce - um estudo de caso. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 18, n. 3. p. 343-345, 1998.

LEONEL, M. O. O farelo, subproduto da extração da fécula de mandioca. In: FUNDAÇÃO CARGIL. **Manejo, uso e tratamento de subprodutos da industrialização da mandioca**. 2001. v. 4, cap. 15, p. 211-216. (Série Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas).

LEONEL, M.; CEREDA, M. P. Avaliação da celulase e pectinase como enzimas complementares, no processo de hidrólise-sacarificação do farelo de mandioca para produção de etanol. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 19, n. 1, p. 113-117, 1999.

LEONEL, M.; CEREDA, M. P. Extração da fécula retida no resíduo fibroso do processo de produção de fécula de mandioca. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 20, n. 1, p. 122-127, 2000.

LEONEL, M.; MISCHAN, M. M.; PINHO, S. Z.; IATAURO R. A.; DUARTE FILHO, J. Efeitos de parâmetros de extrusão nas propriedades físicas de produtos expandidos de inhame. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 2, p. 459-464, 2006.

LEONEL, M.; SOUZA, L. B.; MISCHAN, M. M. Produção de *snacks* extrusados à base de polvilho doce e fibra de laranja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 6, p. 1411-1417, 2010.

LEORO, M. G. V. **Desenvolvimento de cereal matinal extrusado orgânico à base de farinha de milho e farelo de maracujá**. 2007. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e

Tecnologia de Alimentos) Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007. Disponível em: <http://www.fea.unicamp.br/alimentarium/ver_documento.php?did=388>. Acesso em: 20 jun. 2010.

LIANG, M.; HSIEH, F.; HUFF, H. E.; HU, L. Barrel valve assembly affects twin-screw extrusion cooking of corn meal. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 59, p. 890–894, 1994.

LIMBERGER, V. M.; SILVA, L. P. da.; EMANUELLI, T.; COMARELA, C. G.; DALPIEVE, L. Modificação química e física do amido de quirera de arroz para aproveitamento na indústria de alimentos. **Química Nova**, São Paulo, v. 31, n. 1, p. 84-88, 2008.

LIMROONGREUNGRAT, K.; HUANG, Y. H. Pasta products made from sweetpotato fortified with soy protein. **LWT – Food Science and Technology**, Londres, v. 40, n. 1, p. 200–206, 2007.

LOBO, A. R.; LEMOS-SILVA, G. M. Amido resistente e suas propriedades físico-químicas. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 16, n. 2, p. 219-226, 2003.

LOPES, E. A.; FRANCO, B. D. G. M. Influência do controle da etapa de molhagem dos grãos na qualidade microbiológica da farinha de trigo. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 17, n. 2, p. 209-218, 2006.

LÓPEZ, G.; ROS, G.; ORTUNO, J.; MARTINEZ, C.; RINCÓN, F. Influencia del tratamiento térmico y la fibra dietética en la calidad de la proteína de la alcachofa y su subproducto. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, Caracas, v. 49, n. 1, p. 49-54, 1999.

LUE, S.; HSIEH, F.; HUFF, H. E. Extrusion cooking of corn meal and sugar beet fiber: effects on expansion properties, starch gelatinization and dietary fiber content. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 68, p. 227–234, 1991.

LUSTOSA, B. H. B.; LEONEL, M.; MISCHAN, M. M. Influência dos parâmetros de extrusão na absorção e solubilidade em água de farinhas pré-cozidas de mandioca e caseína. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 20, n. 2, p. 223-229, 2009.

LUSTOSA, B. H. B.; LEONEL, M.; MISCHAN, M. M. Parâmetros de extrusão na produção de *snacks* de farinha de mandioca enriquecidos com caseína. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, n. 1, p. 109-126, 2010.

MANTHEY, F. A.; SCHORNO, A. L. Physical and cooking quality of spaghetti made from whole wheat durum. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 79, n. 4, p. 504–510, 2001

MARCÍLIO, R.; AMAYA-FARAN, J.; SILVA, M. A. A. P. Evaluation of amaranth flour for the manufacture of gluten-free biscuits. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 28, n. 2, p. 175-181, 2005.

MARTIN, M. L.; ZELEZNAK, K. J.; HOSENEY, R. C. The mechanism of bread firming. I. Role of starch swelling. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 68, n. 5, p. 498-503, 1991.

MARTINEZ, C. S.; RIBOTTA, P. D.; LEÓN, A. E.; AÑÓN, M. A. Physical, sensory and chemical evaluation of cooked spaghetti. **Journal of Texture Studies**, Westport, v. 38, p. 666–683, 2007.

MATTOS, L. L.; MARTINS, I. S. Consumo de fibras alimentares em população adulta. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 34, n. 1, p. 50-55, 2000.

MATUZ, J.; POKA, R.; BOLDIZSAR, I.; SZERDAHELYI, E.; HAJOS, G. Structure and potential allergenic character of cereal proteins. II Potencial allergens in cereal samples. **Cereal Research Communications**, Londres, v. 28, p. 433-442, 2000.

- MENDONÇA, S.; GORSSMANN, M. V. E.; VERBÉ, R. Corn bran as a fiber source in expanded *snacks*. **LWT – Food Science and Technology**, Londres, v. 33, p. 2-8, 2000.
- MENDONÇA, S.; SALDIVA, P. H.; CRUZ, R. J.; ARÊAS, J. A. G. Amaranth protein presents cholesterol-lowering effects. **Food Chemistry**, Londres, v. 116, n. 3, p. 738-742, 2009.
- MENDOZA, C. M.; BRESSANI, R. Nutritional and functional characteristics of extrusion-cooked amaranth flour. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 64, n. 4, p. 218-222, 1987.
- MENEGASSI, B.; LEONEL, M. Efeito da adição de farinha de mandioca-salsa nas características de massa alimentícia. **Ciências Exatas e da Terra**, Ponta Grossa, v. 11, n. 3, p. 13-19, 2005.
- MENEZES, E. W.; CARUSO, L.; LAJOLO, F. M. Avaliação dos dados de fibra alimentar. Estudo em alimentos brasileiros. In: LAJOLO, F. M.; SAURA-CALIXTO, F.; PENNA, E. W.; MENEZES, E. W. (Ed.). **Fibra dietética en iberoamérica: tecnología y salud**. São Paulo: Livraria Varela, 2001, cap. 11, p. 165-178.
- MERCIER, C.; LINKO, P.; HARPER, J. M. **Extrusion cooking**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1998. 471 p.
- MILLER, R. C. Low moisture extrusion: effects of cooking moisture on products characteristics. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 50, n. 1, p. 249-253, 1985.
- MIZUBUTI, I.Y.; JÚNIOR, O.B.; SOUZA, L.V.O.; SILVA, R.S.F.S.; IDA, E.I. Propriedades funcionais da farinha e concentrado protéico de feijão guandu (*Cajanus cajan (L.) Millsp.*). **Archivos Latinoamericano de Nutricion**, Caracas, v. 50, n. 3, p. 274-280, 2000.
- MOUQUET, A., SALVIGNOL, B., VAN HOAN, N., MONVOIS, J., TRÈCHE, S. Ability of a "very low-cost extruder" to produce instant infant flours at a small scale in Vietnam. **Food Chemistry**, Londres, v. 82, p. 249-255, 2003.
- MURRAY, S. M.; FLICKINGER, E. A.; PATIL, A. R. In vitro fermentation characteristics of native and processed cereal grains and potato starch using ileal chime from dogs. **Journal of Animal Science**, Savoy, v. 79, p. 435-444, 2001.
- NABESHIMA, E. H.; HASHIMOTO, J. M.; EL-DASH, A. A. Efeito da adição de emulsificantes em massas alimentícias sem glúten produzidas com extrusora termoplástica. **Boletim CEPPA**, Curitiba, v. 21, n. 2, p. 223-238, 2003.
- NASSAR, N. M. A, Cassava in South America, Brazil's contribution and the lesson to be learned from India. **Genetics and Molecular Research**, Brasília, v. 5, n. 4, p. 688-695, 2006.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Amaranth: Modern prospects for an ancient crop**. Washington: National Academy Press, 1984.
- NAWIRSK, A.; KWASNIEWSKA, M. Dietary fiber fractions from fruit and vegetable processing waste. **Food Chemistry**, Londres, v. 91, p. 221-225, 2005.
- NICOLETTI, A. M.; SILVA, L. P.; HECKTHEUER, L. H.; TOLEDO, G. S. P.; GUTKOSKI, L. C. Uso de subprodutos agroindustriais no desenvolvimento de macarrão nutricionalmente melhorado. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 18, n. 4, p. 421-429, 2007.
- OETTERER, M. **Fundamentos de ciência e tecnologia de alimentos**. Ed. Manole. 2006, p. 171-176.

- OH, N. H., SIEB, P. A., WARD, A. B. AND DEYOE, C. W. Noodles: IV. Influence of flour protein, extraction rate, particle size, and starch damage on the quality characteristics of dry noodles. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 62, p. 441-446, 1985.
- OHR, L. M. Fortifying with fiber. **Food Technology**, Chicago, v. 58, n. 2, p. 71-75, 2004.
- ONWLATA, C. I.; SMITH, P. W.; KONSTANCE, R. P.; HOLSINGER, V. H. Incorporation on whey products in extruded corn, potato or rice *snacks*. **Food Research International**, Toronto, v. 34, p. 679-687, 2001.
- ONYANGO, C.; UNDEHEND, G.; LINDHAUER, M. G. Effect of cellulose-derivatives and emulsifiers on creep-recovery and crumb properties of gluten-free bread prepared from sorghum and gelatinized cassava starch. **Food Research International**, Toronto, v. 4, n. 11, p. 1-7, 2009.
- ORDÓÑEZ, J. A. P.; RODRIGUEZ, M. I. C.; ÁLVAREZ, L. F.; SANZ, M. L. G.; MINGUILLÓN, G. D. G. F.; PERALES, L. I. H.; CORTECERO, M. D. S. **Tecnología de Alimentos** – componentes dos alimentos e processos. vol. 2. Madrid, Ed. Artmed: 2007.
- ORMENESE, R. C. C.; MISUMI, L.; ZAMBRANO, F.; FARIA E. V. Influência do uso de ovo líquido pasteurizado e ovo desidratado nas características da massa alimentícia. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 2, n. 24, p. 255-260, 2004.
- ORMENESE, R. C. S. C. **Influência da adição de emulsificantes nas características do cozimento do macarrão de arroz obtido pelo processo convencional de produção de massas alimentícias**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS – SBCTA, Poços de Caldas, 1998.
- ORMENESE, R. C. S. C.; CHANG, Y. K. Macarrão de arroz: características de cozimento e textura e comparação com o macarrão convencional e aceitação pelo consumidor. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 6, p. 91-97, 2002.
- OVANDO-MARTINEZ, M.; SÁYAGO-AYERDI, S.; AGAMA-ACEVEDO, E.; GOÑI, I.; BELLO-PÉREZ, L. A. Unripe banana flour as an ingredient to increase the undigestible carbohydrates of pasta. **Food Chemistry**. Londres, v. 113, n. 1, p. 121-126, 2009.
- PAGANI, M. A. Pasta products from non convencional raw materials. In: MERCIER, C.; CANTARELLI, C. **Pasta and extrusion cooked foods – some technological and nutritional aspects**. London, 1986, p.52-68.
- PELIZER, L. H.; PONTINERI, M. H.; MORAES, I. O. Utilização de resíduos agro-industriais em processos biotecnológicos como perspectiva de redução do impacto ambiental. **Journal of Technology Management and Innovation**, Santiago, v. 2, n. 1, p. 118-127, 2007.
- RAMÍREZ, R. C. **Monografía de la Cadena de Amaranto**. Secretaría de Desarrollo Rural Del Estado de Puebla. México, 2007. Disponível em <<http://www.sdr.gob.mx/beta1/contenidos/CadenasAgropecuarias>> Acesso em: 10 dez. 2010.
- RAUPP, D. S.; MARQUES, S. H. P.; ROSA, D. A.; CALDI, C. M.; CREMASCO, A. C. V.; BANZATTO, D. A. Arraste via fecal de nutrientes da ingestão produzido por bagaço de mandioca hidrolisado. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 2, p. 235-242, 2002.
- RAVI, R; SUSELAMMA, N. S. Simultaneous optimization of a multy-response system by desirability function analysis of boondi making: A case study. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 70, p. S539-S547, 2005.

- REHMAN, ZIA-ur; SHAH, W.H. Domestic processing effects on some insoluble dietary fiber components of various food legumes. **Food Chemistry**, Londres, v. 87, p. 613-617, 2004.
- RIBEIRO, E. P.; SERAVALLI, E. A. G. **Química de Alimentos**. São Paulo: Instituto Mauá de Tecnologia, 2004, 102 p.
- ROBERFROID, M. Dietary fiber, inulin and oligofructose: a review comparing their physiological effects. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Boca Raton, v. 33, p. 103-148, 1993.
- ROCHA, D.; PEREIRA JÚNIOR, G.; VIEIRA, G.; PANTOJA, L.; SANTOS, A.; PINTO, N. Macarrão adicionado de ora-pro-nóbis (*pereskia aculeata miller*) desidratado. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 19, n. 4, p. 459-465, 2008.
- RODRIGUES, J. P. M. **Caracterização e análise sensorial de biscoitos de polvilho enriquecidos com farelo de mandioca**. 2010. 81 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010. Disponível em: <http://bdtd.ufg.br/tesesimplificado/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=1509>. Acesso em: 15 fev. 2011.
- RODRIGUEZ, M. B. S.; MEGIAS, S. M.; BAENA, B. M. Alimentos funcionales y nutrición óptima. **Revista Española de Salud Pública**, Madrid, v. 77, n. 3, p. 317-331, 2003.
- ROMÃO, R. B. M.; YAMASHITA, F.; BENASSI, M. T. Metodologia para avaliação de cristalização em balas duras por imagem digitalizada. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 9, n. 2, p. 151-155, 2006.
- RUPÉREZ, P.; BRAVO, L. Oligofructanos e gomas. **Fibra dietética in Iberoamérica: tecnologia y salud**. São Paulo: Sarvier, p. 61-75, 2001.
- SACHS, L. G.; PORTUGUAL, A. P.; PRUDENCIO-FERREIRA, S. H.; FELINTO, A. S. **Conversor em cor média RGB para imagens BMP**. Disponível em: www.fflam.br. Acesso em: 20 jul. 2010.
- SAITO, I. M. **Produção de hidrolisados e fibras a partir de resíduo da industrialização da mandioca submetido a pré-tratamento hidrotérmico**. 2005. 97 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2005. Disponível em: <http://www.fca.unesp.br/pos_graduacao/Teses/PDFs/Arq0403.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2009.
- SAITO, I.; CABELO, C.; FUKUSHIMA, R. S. Caracterização das fibras do farelo de mandioca residual após tratamento hidrotérmico. **Raízes e Amidos Tropicais**, Botucatu, v.2, p. 1-11, 2006.
- SANGNARK, A.; NOOMHORM, A. Chemical, physical and baking properties of dietary fiber prepared from rice straw. **Food Research International**, Toronto, v. 37, p. 66-74, 2004.
- SANNIL, O.; BAMGBOSE C, A.; BABAJIDEJ, M.; SANNIS, A. Production of instant cassava noodles. In: International Society for Tropical Root Crops Symposium, 13. **Anais...**Arusha, Tanzania, 2007, p. 466-472.
- SANTUCCI, M. C. C.; ALVIM, I. D.; SMITH, F.; FARIA, E. V.; SGARBIERI, C. V. Enriquecimento de macarrão tipo tubo (massa curta) com derivados de levedura (*saccharomyces* sp.): impacto nutricional e sensorial. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 2, n. 23, p. 290-295, 2003.

- SARANTÓPOULOS, C. I. G. L.; OLIVEIRA, L. M.; CANAVES, E. **Requisitos de conservação de alimentos em embalagens flexíveis**. Campinas: CETEA/ITAL, 2001, 213 p.
- SAS. **The SAS System 6.11 for Windows** – Computer program manual, 2000. CD Room.
- SAYDELLES, B. M.; OLIVEIRA, V. R.; VIERA, V. B.; MARQUES, C. T.; ROSA, C. S. Elaboração e análise sensorial de biscoito recheado enriquecido com fibras e com menor teor de gordura. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 3, p. 644-647, 2010.
- SEBIO, L. **Efeito de alguns parâmetros operacionais de extrusão nas propriedades físico-químicas da farinha de inhame (*Dioscorea rotundata*)**. 1996. 102 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1996. Disponível em: <[http:// www.fea.unicamp.br/deptos/dta/.../dissertacoes.html](http://www.fea.unicamp.br/deptos/dta/.../dissertacoes.html)>. Acesso em: 10 mai. 2010.
- SEGURA-NIETO, M.; VAZQUEZ-SANCHEZ, N.; RUBIOVELAZQUEZ, H.; OLGUIN-MARTINEZ, L. E.; RODRIGUEZ-NESTER, C. E.; HERRERAESTRELLA, L. Characterization of amaranth (*A .hypochondriacus* L.) seed proteins. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 40, n. 9, p. 1553-1558, 1992.
- SHITTU, T. A.; DIXON, A.; AWONORIN, S. O.; SANNI, L. O.; MAZIYA-DIXON, B. Bread from composite cassava–wheat flour. II: Effect of cassava genotype and nitrogen fertilizer on bread quality. **Food Research International**, Toronto, v. 41, n. 1, p. 569–578, 2008.
- SIDDIQ, M. ; RAVI, R.; HARTE, J. B.; DOLAN, K. D.; Physcal end functional characteristic of selected dry bean flours. **LWT - Food Science and Technology**, Londres, v. 43, p. 232-237, 2009.
- SILVA, E. M. M; ASCHERI, J. L. R.; ASCHERI, D. P. R.; CARVALHO, L. M. J. Efeito dos parâmetros de extrusão nas características de viscosidade de pasta e Índice de absorção de água de macarrões pré-cozidos elaborados a partir de farinha mista de arroz integral e milho obtidos por extrusão. **Boletim CEPPA**, Curitiba, v. 26, n. 2, p. 239-254, 2008.
- SILVA, J. A. **Tópicos da tecnologia de alimentos**. São Paulo: Livraria Varela, 2002. 227 p.
- SINDHUJA, A.; SUDHA, M. L.; RAHIM, A. Effect of incorporation of amaranth flour on the quality of cookies. **European Food Research and Technology**, Madrid, v. 221, p. 597-601, 2005.
- SISWOYO, T. A.; MORITA, N. Phsycochemical studies of deffated wheat starch complexes with mono and diacyl-sn-glycerophosphatidylcholineof varing fatty acid chains lengths. **Food Research International**, Toronto, v. 36, p. 729-737, 2003.
- SOARES JÚNIOR, M. S.; BASSINELLO, P. Z.; CALIARI, M., GEBIN, P. F. C.; JUNQUEIRA, T. L.; GOMES, V. A.; LACERDA, B. C. L. D. Qualidade de pães com farelo de arroz torrado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 29, n. 3, p. 636-641, 2009.
- SOARES JÚNIOR, M. S.; GROSSMANN, M. V. E.; SILVA, R. S. S. F.; CALIARI, M.; SPINOSA, W. A. Expansion and hydration properties of cassava starch extruded with emulsifier. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 2, n. (1,2), p. 57-61, 1999.
- SOUZA, L. B.; LEONEL, M. Efeito da concentração de fibra e parâmetros operacionais de extrusão sobre as propriedades de pasta de misturas de fécula de mandioca e polpa cítrica. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 30, n. 3, p. 686-692, 2010.

SOUZA, L. B.; LEONEL, M.; MISCHAN, M. Efeito dos parâmetros de extrusão nas propriedades físicas de extrusados de misturas de fécula de mandioca e polpa cítrica. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 18, n. 1, p. 83-91, 2007.

SOUZA, T. A. C. **Segurança microbiológica de resíduos sólidos de fecularia de mandioca e aplicação em bolos para a alimentação humana**. 2011. 87 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos. Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011. Disponível em: <http://bdtd.ufg.br/tesesimplificado/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=1509>. Acesso em: 15 abr. 2011.

SPANHOLI, R.; OLIVEIRA, V. R. Utilização de farinha de albedo de maracujá (*passiflora edulis flavicarpa degener*) no preparo de massa alimentícia. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 20, n. 4, p. 599-603, 2009.

SRIROTH, K.; CHOLLAKUP, R.; CHOTINEERANAT, S.; PIYACHOMKWAN, K.; OATES, C. G. Processing of cassava waste for improved biomass utilization. **Bioresource Technology**, Londres, v. 71, p. 63-69, 2000.

STATSOFT. **STATISTICA 7.0 for Windows** – Computer program manual. Tulsa: Statsoft, Inc., 2007. CD Room.

SVIHUS, B. UHLEN, A. K. HARSTAD, O. M. Effect of starch granule structure, associated components and processing on nutritive value of cereal starch: A review. **Animal Feed Science and Technology**, Chicago, v. 122, n. 3-4, p. 303-320, 2005.

SZCZENSNIK, A. S.; BRANDT, M. A.; FRIEDMAN, H. H. Development of standard rating scales for mechanical parameters of texture and correlation between the objective and sensory methods of texture evaluation. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 28, p. 397-403, 1963.

TEBA, C. S. **Elaboração de massas alimentícias pré-cozidas à base de farinha mista de arroz polido e feijão preto sem casca pelo processo de extrusão termoplástica**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). 2009. 199 f. Instituto de Tecnologia. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <<http://www.dominiopublico.gov.br/.../DetalheObraForm.do?>>. Acesso em: 15 fev. 2011.

TEUTONICO, R. A.; KNORR, D. Amaranth: composition, properties and applications of a rediscovered food crop. **Food Technology**, Chicago, v. 39, n. 4, p. 49-60, 1985.

THAKUR, S.; SAXENA, D. C. Formulation of extruded snack food (gum based cereal-pulse blend): optimization of ingredients levels using response surface methodology. **Food Science and Technology**, Londres, v. 33, p. 354-361, 2000.

THEBAUDIN, J. Y.; LEFEBRE, A. C.; HARRINGTON, M.; BOURGEOIS, C. M. Dietary fibers: Nutritional and technological interest. **Trends in Food Science and Technology**, Cambridge, v. 8, p. 41-48, 1997.

TOH, T. S. **Rice noodles preparation**. European patent 0738473A2, 1996.

TONUKARI, N. J. Cassava and the future of starch. **Biotechnology Issues for Developing Countries**, Valparaíso, v. 1, n. 1, p. 5-8, 2004.

TORBICA, A.; HADNADEV, M.; DAPCEVIC, T. Rheological, textural and sensory properties of gluten-free bread formulations based on rice and buckwheat flour. **Food Hydrocolloids**, Chicago, v. 24, p. 626-632, 2010.

TOSI, E. A.; CIAPPINI, M. C.; MASCIARELLI, R. Utilización de la harina integral de amaranto (*Amaranthus cruentus*) en la fabricación de galletas para celíacos. **Acta Alimentaria**, Amsterdam, n. 269, p. 49-51, 1996.

TROMBINI, F. R. M. **Caracterização de produtos extrusados de misturas de farinha de soja, fécula e farelo de mandioca**. 2010. 100 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010. Disponível em: <http://www.fca.unesp.br/pos_graduacao/Teses/PDFs/Arq0444.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2009.

TROMBINI, F. R. M.; LEONEL, M. Propriedades de pasta e térmicas de misturas instantâneas de farinha de soja, fécula e farelo de mandioca. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 25, n. 4, p. 50-71, 2010.

TROWELL, H.; SOUTHGATE, D.A.; WOLEVER, T.M.; LEEDS, A.R.; GASSUL, M.A.; JENKINS, D.J. Dietary fiber redefined. **Lancet**, v. 1, p. 967, 1976.

VAN DEN EINDE, R. M.; AKKERMANS, C.; VAN DER GOOT, A. J.; BOOM, R. M. Molecular breakdown of corn starch by thermal and mechanical effects. **Carbohydrate polymers**, Bromsgrove, v. 56, p. 415-422, 2004.

VIEIRA, J. C.; MONTENEGRO, F. M.; LOPEZ, A. S.; PENA, R. S. Influência da adição de fécula de mandioca nas características do pão tipo chá. **Boletim Ceppa**, Curitiba, v. 28, n. 1, p. 37-48, 2010.

WALSH, D. E.; GILLES, K. A. Macaroni production. In: INGLET, G. (Ed.). **Wheat: production and utilization**. Westport: AVI, 1974. p. 333-354.

WANG, N.; BHIRD, P. R.; SOSULSKI, F. W.; TYLER, R. T. Pasta-like product from pea flour by twin-screw extrusion. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 64, n. 4, p. 671-678, 1999.

ZHENG, H.; YANG, X.; TANG, C.; LI, L.; AHMAD, I. Preparation of soluble soybean protein aggregates (SSPA) from insoluble soybean protein concentrates (SPC) and its functional properties. **Food Research International**, Toronto, v. 41, p. 154-164, 2008.

APÊNDICES

APÊNDICE A. Ficha de avaliação da análise sensorial para aparência global e intensão de compra

Ficha de avaliação da análise sensorial para aparência global e intensão de compra

Nome: _____ Data: ___/___/___

Prove a amostra codificada e avalie o quanto você gostou ou desgostou da mesma em relação a aparência, odor, textura e sabor utilizando escala abaixo:

Amostra nº. _____

- 9. Gostei muitíssimo
- 8. Gostei muito
- 7. Gostei moderadamente
- 6. Gostei levemente
- 5. Indiferente
- 4. Desgostei levemente
- 3. Desgostei moderadamente
- 2. Desgostei muito
- 1. Desgostei muitíssimo

Nota:

Agora, com base em sua opinião sobre esta amostra de macarrão, se esta se encontrasse a venda, como produto integral, você:

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

Comentários: _____

APÊNDICE B. Termo de Consentimento Livre e Esclarecido**TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO**

Você está convidado (a) para participar, como voluntário, em uma pesquisa. Após ser esclarecido (a) sobre as informações a seguir, no caso de aceitar fazer parte do estudo, assine ao final deste documento, que está em duas vias. Uma delas é sua e a outra é do pesquisador responsável. Em caso de recusa, você não será penalizado(a) de forma alguma. Em caso de dúvida você pode procurar o Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Goiás pelo telefone 3521-1215 ou 3521-1076.

INFORMAÇÕES SOBRE A PESQUISA:

Título do Projeto: Utilização de bagaço e fécula de mandioca para a produção de massa alimentícia sem glúten

Pesquisadora Responsável: Fernanda Assumpção Fiorda (Engenheira de Alimentos)

Orientador: Prof. Dr. Manoel Soares Soares Júnior

Telefones para contato: 3280-1462 / 9601-2064 (pesquisadora)

A pesquisa tem por objetivo utilizar o bagaço de mandioca para a produção de farinhas, e utilizá-las como matéria prima na produção de massas alimentícias, substituindo a farinha de trigo usualmente utilizada nestes produtos, bem como determinar a aceitabilidade e a qualidade tecnológica dos produtos elaborados.

A análise sensorial será realizada por meio de teste de aceitabilidade com pessoas adultas de ambos os sexos, pelo interesse e disponibilidade em participar das análises. Serão excluídos da pesquisa fumantes, analfabetos, idosos, celíacos e portadores de patologias que interferem na absorção intestinal, sensibilidade gustativa, olfativa e/ou apresentarem redução da capacidade visual.

A aceitação global será avaliada em cabines individuais com luz vermelha. As amostras serão servidas à temperatura ambiente, codificadas com três dígitos. Cada provador avaliará o quanto gosta ou desgosta da amostra usando uma escala de 9 pontos.

A degustação do macarrão não implica em qualquer risco para os participantes da pesquisa. Além disso, os provadores não são obrigados a ingerir a amostra. O resultado da avaliação dos provadores será sigiloso.

Caso sejam comprovadas alterações na saúde dos provadores por causa da degustação do macarrão, a pesquisadora Fernanda Assumpção Fiorda se responsabilizará pelo encaminhamento aos serviços médicos hospitalares.

Pesquisadores:

Fernanda Assumpção Fiorda _____

Manoel Soares Soares Júnior _____

Data: _____

Assinatura do participante: _____

RG: _____

APÊNDICE C. Questionário para recrutamento de provadores**QUESTIONÁRIO PARA RECRUTAMENTO DE PROVADORES**

Desejamos provadores para avaliar a Aceitação de macarrão, que está sendo desenvolvido em nosso laboratório. Ser um provador não exigirá de você nenhuma habilidade excepcional e não envolverá nenhuma tarefa difícil, além disso, você não é obrigado a ingerir a amostra. Por favor, preencha este formulário. Se tiver qualquer dúvida ou necessitar de informações adicionais, por favor, entre em contato (Prof. Manoel, manojel@agro.ufg.br, ou Fernanda, fernandafiorda@hotmail.com).

Dados Pessoais

Nome _____

E-mail _____

1-Faixa etária

- 15-25
 25-35
 35-50
 acima de 50 anos

2-Sexo

- masculino
 feminino

3-Ocupação

- aluno
 funcionário
 professor
 outro _____

4-Escolaridade

- 1º grau
 2º grau
 3º grau
 outro _____

5) Experiência como provador:

Já participou de algum teste sensorial?

- Não Sim

6) Consome macarrão?

- Não Sim

7) Com qual frequência?

- Diariamente Semanalmente
 3 x por semana Outros. Qual? _____

ANEXOS

ANEXO A.1 Índice expansão (IE), volume específico (VE) e parâmetros instrumentais de cor (L*, a*, b* e ΔE^*) dos *snacks** em função da temperatura de extrusão e umidade da mistura

Experimento	Valores codificados		Valores Reais							
	T	U	Temperatura ¹	Umidade ²	IE	VE ³	L*	a*	b*	ΔE^*
1	-1	-1	70	13,1	1,54 ($\pm 0,07$)	6,47 ($\pm 2,08$)	37,03 ($\pm 0,95$)	5,02 ($\pm 0,53$)	16,37 ($\pm 0,62$)	19,395 ($\pm 0,90$)
2	1	-1	110	13,1	1,74 ($\pm 0,07$)	12,07 ($\pm 5,05$)	30,24 ($\pm 1,85$)	4,04 ($\pm 0,27$)	17,05 ($\pm 0,37$)	26,15 ($\pm 1,79$)
3	-1	1	70	18,8	1,29 ($\pm 0,05$)	7,46 ($\pm 5,25$)	25,54 ($\pm 1,24$)	4,75 ($\pm 0,52$)	15,16 ($\pm 0,42$)	30,74 ($\pm 1,21$)
4	1	1	110	18,8	1,23 ($\pm 0,05$)	7,34 ($\pm 2,38$)	37,44 ($\pm 1,29$)	6,13 ($\pm 0,29$)	16,81 ($\pm 0,24$)	19,17 ($\pm 1,22$)
5	-1,41	0	61,7	16	1,78 ($\pm 0,05$)	7,94 ($\pm 2,91$)	38,57 ($\pm 0,20$)	6,29 ($\pm 0,14$)	17,03 ($\pm 0,04$)	18,11 ($\pm 0,18$)
6	1,41	0	118,3	16	1,25 ($\pm 0,06$)	13,07 ($\pm 5,19$)	42,71 ($\pm 1,92$)	6,04 ($\pm 0,52$)	17,04 ($\pm 0,10$)	14,09 ($\pm 1,76$)
7	0	-1,41	90	12	2,13 ($\pm 0,10$)	12,87 ($\pm 4,94$)	34,34 ($\pm 0,52$)	4,64 ($\pm 0,26$)	16,29 ($\pm 0,27$)	22,02 ($\pm 0,55$)
8	0	1,41	90	20	1,22 ($\pm 0,06$)	8,56 ($\pm 3,37$)	26,05 ($\pm 0,82$)	4,67 ($\pm 0,23$)	16,63 ($\pm 0,29$)	30,30 ($\pm 0,81$)
9	0	0	90	16	1,82 ($\pm 0,05$)	6,09 ($\pm 3,16$)	44,49 ($\pm 1,08$)	7,43 ($\pm 0,55$)	17,93 ($\pm 0,31$)	12,98 ($\pm 0,87$)
10	0	0	90	16	2,00 ($\pm 0,08$)	7,11 ($\pm 2,22$)	45,89 ($\pm 0,42$)	7,68 ($\pm 0,19$)	17,74 ($\pm 0,19$)	11,88 ($\pm 0,27$)
11	0	0	90	16	1,94 ($\pm 0,09$)	7,65 ($\pm 2,25$)	46,15 ($\pm 1,81$)	7,73 ($\pm 0,34$)	18,05 ($\pm 0,12$)	11,67 ($\pm 1,49$)
12	0	0	90	16	1,86 ($\pm 0,09$)	7,24 ($\pm 2,24$)	44,19 ($\pm 0,41$)	7,14 ($\pm 0,12$)	17,62 ($\pm 0,36$)	13,06 ($\pm 0,33$)

*valores expressos em médias seguidas pelos desvios-padrão

¹ °C

² g (100 g)⁻¹

³ mL g⁻¹

ANEXO A. 2. Modelos de regressão múltipla, coeficiente de determinação (R^2), coeficiente de variação (CV), falta de ajuste (FA) e nível de significância (p) para o índice de expansão – IE (mm) e volume específico – VE (mL g^{-1}) das farinhas extrusadas em função da temperatura de extrusão (x_1) e da umidade (x_2).

Componente	Modelo	R^2	CV	FA	p
IE	$y = 1,905 - 0,08x_1 - 0,26x_2 - 0,23x_1^2 - 0,06x_1x_2 - 0,15x_2^2$	0,838	10,91	0,052	0,023
VE	$y = 7,029 + 1,59x_1 - 1,23x_2 + 1,17x_1^2 - 1,43x_1x_2 + 1,28x_2^2$	0,8139	16,94	0,054	0,034

ANEXO A. 3. Modelos de regressão múltipla, coeficiente de determinação (R^2), coeficiente de variação (CV), falta de ajuste (FA) e nível de significância (p) para o parâmetros instrumentais de cor L^* , a^* , b^* e ΔE^* das farinhas extrusadas em função da umidade (x_1) e da temperatura de extrusão (x_2).

Cor	Modelo	R^2	CV	FA	p
L^*	$y = 45,189 + 1,37x_1 - 2,00x_2 - 2,99x_1^2 + 4,67x_1x_2 - 8,24x_2^2$	0,958	5,46	0,063	0,0005
a^*	$y = 7,497 + 0,005x_1 + 0,23x_2 - 0,77x_1^2 - 0,59x_1x_2 - 1,53x_2^2$	0,947	6,92	0,158	0,0009
b^*	$y = 17,837 + 0,29x_1 - 0,12x_2 - 0,50x_1^2 + 0,24x_1x_2 - 0,79x_2^2$	0,789	2,99	0,032	0,0476
ΔE^*	$y = 12,391 - 1,31x_1 + 2,01x_2 + 2,54x_1^2 - 4,58x_1x_2 + 7,60x_2^2$	0,957	10,17	0,031	0,0005

ANEXO B.1 Índice de solubilidade em água (ISA), índice de absorção de água (IAA), índice de absorção de óleo (IAO) e atividade de água (A_w) da mistura de fécula e farinha de bagaço de mandioca extrusada (70:30) em função dos níveis codificados de temperatura de extrusão e de umidade *

Experimento	Valores codificados		Valores Reais		IAA ²	ISA ³	IAO ²	A_w
	T	U	T ¹	U ²				
1	-1	-1	70	13,1	7,61 (±0,34)	64,66 (±0,02)	5,42 (±0,45)	0,36 (±0,01)
2	1	-1	110	13,1	5,92 (±0,30)	61,83 (±0,04)	5,848 (±1,22)	0,42 (±0,02)
3	-1	1	70	18,8	7,77 (±0,53)	69,7 (±0,01)	3,124 (±0,04)	0,24 (±0,00)
4	1	1	110	18,8	5,6 (±0,35)	58,93 (±0,02)	4,265 (±0,12)	0,44 (±0,01)
5	-1,41	0	61,7	16	7,5 (±0,24)	61,26 (±0,02)	3,941 (±0,23)	0,42 (±0,00)
6	1,41	0	118,3	16	6,77 (±0,50)	64,43 (±0,03)	5,483 (±1,04)	0,38 (±0,00)
7	0	-1,41	90	12	5,76 (±0,13)	60,55 (±0,01)	5,408 (±0,29)	0,40 (±0,03)
8	0	1,41	90	20	5,75 (±0,22)	58,3 (±0,01)	2,915 (±0,12)	0,24 (±0,00)
9	0	0	90	16	9,19 (±0,74)	73,97 (±0,02)	4,753 (±0,31)	0,41 (±0,00)
10	0	0	90	16	8,48 (±0,11)	72,02 (±0,00)	4,844 (±0,23)	0,42 (±0,00)
11	0	0	90	16	10,48 (±0,26)	79,29 (±0,01)	4,941 (±0,13)	0,41 (±0,00)
12	0	0	90	16	10,36 (±0,80)	79,09 (±0,01)	4,856 (±0,13)	0,41 (±0,03)

*valores expressos em médias seguidas pelos desvios-padrão

¹ °C;

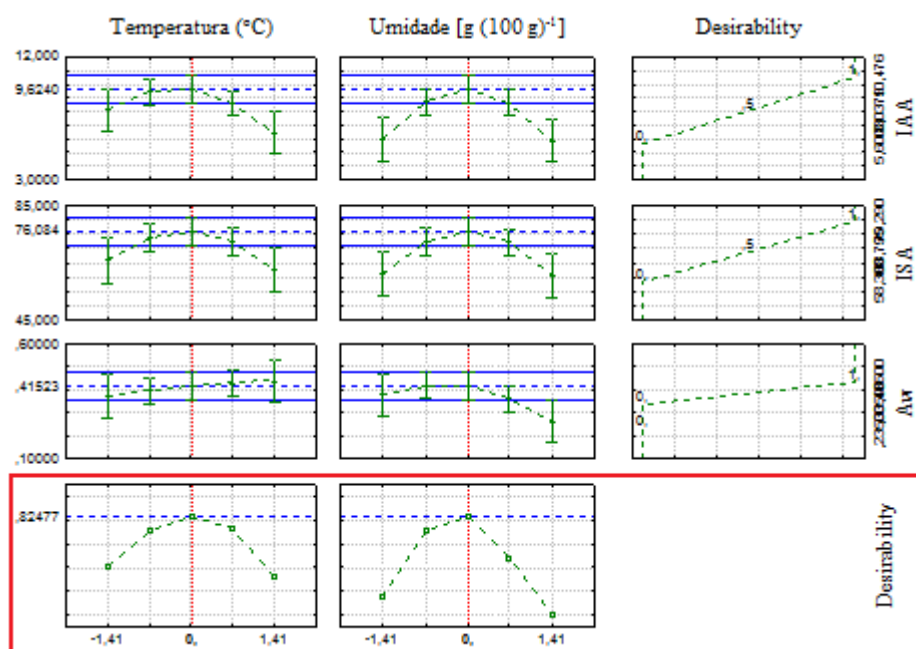
² g de gel (g de matéria seca)⁻¹;

³ g (100 g)⁻¹;

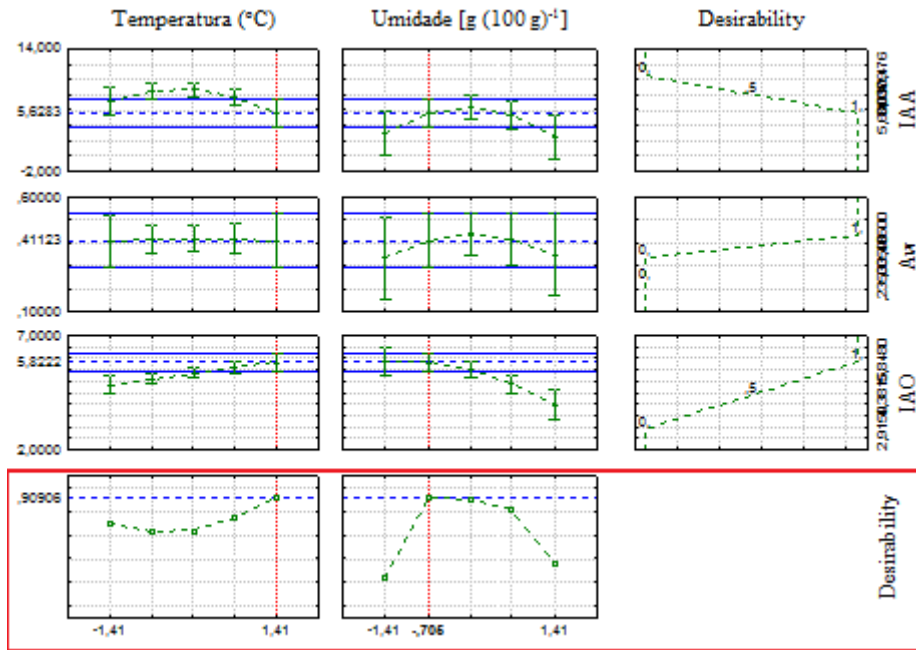
ANEXO B.2. Modelos de regressão múltipla, coeficiente de determinação (R^2), coeficiente de variação (CV), falta de ajuste (FA) e nível de significância (p) para o índice de solubilidade em água – ISA [g de água (g de matéria seca)⁻¹], índice de absorção de água – IAA [g de gel (g de matéria seca)⁻¹] e índice de absorção de óleo – IAO [g de gel (g de matéria seca)⁻¹] e atividade de água - Aw, das farinhas extrusadas em função da temperatura de extrusão (x_1) e da umidade (x_2).

Componente	Modelo	R^2	CV	FA	p
IAA	$y = 9,627 - 0,61x_1 - 0,02x_2 - 1,18x_1^2 - 0,12x_1x_2 - 1,87x_2^2$	0,882	10,67	0,750	0,009
ISA	$y = 76,084 - 1,14x_1 - 0,13x_2 - 5,97x_1^2 - 1,98x_1x_2 - 7,69x_2^2$	0,882	10,67	0,748	0,009
IAO	$y = 4,782 + 0,47x_1 - 0,93x_2 + 0,02x_1^2 + 0,18x_1x_2 - 0,25x_2^2$	0,971	4,24	0,238	0,000
Aw	$y = 0,4180 + 0,02x_1 - 0,04x_2 - 0,01x_1^2 + 0,03x_1x_2 - 0,05x_2^2$	0,720	12,16	0,006	0,003

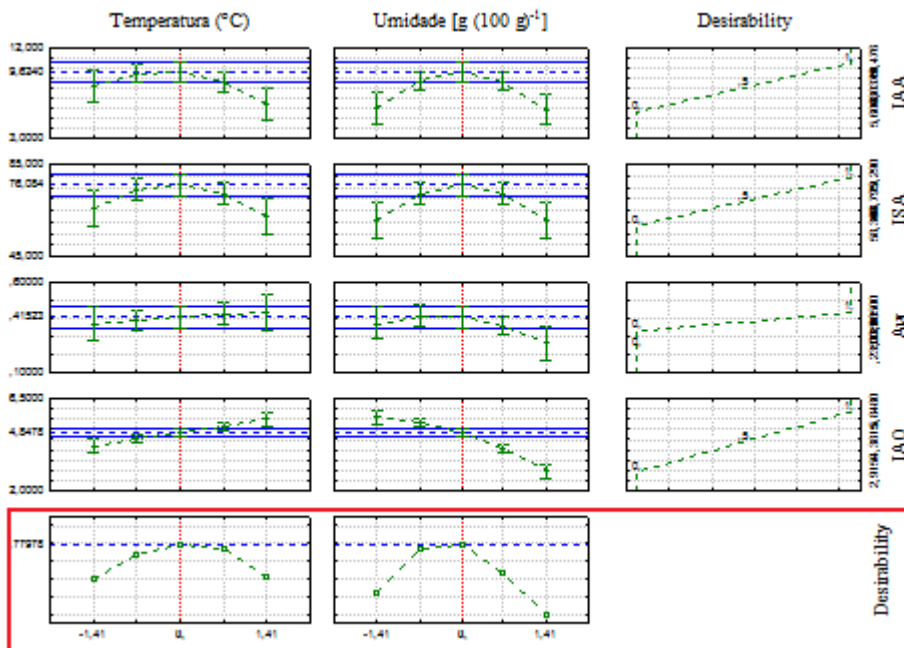
ANEXO B.3. Teste de desejabilidade para aplicação de FPG como espessante em bebidas frias



ANEXO B.4 Teste de desejabilidade para aplicação de FPG em produtos empanados



ANEXO B.5. Teste de desejabilidade para aplicação de FPG em formulações de macarrão instantâneo



ANEXO C. Tempo ótimo de cozimento (TOC), aumento de massa (AM), perda de sólidos (PS) e atividade de água (Aw) em função da proporção dos componentes farinha pré-gelatinizada (FPG), fécula de mandioca (FM) e farinha de amaranto (FA) da mistura ternária em valores reais e em pseudocomponentes.

Experimento	Proporções dos ingredientes na mistura ternária						Respostas*			
	Concentrações reais			Pseudocomponentes			TOC ¹	AM ²	PS ²	Aw
	FPG	FM	FA	FPG	FM	FA				
1	0,4	0,5	0,1	1	0	0	3,5 (±0,00)	87,35 (±4,26)	0,81 (±0,18)	0,61 (±0,01)
2	0,1	0,7	0,2	0	0,67	0,33	4,0 (±0,00)	139,65 (±9,27)	0,73 (±0,04)	0,57 (±0,00)
3	0,2	0,7	0,1	0,33	0,67	0	4,5 (±0,00)	115,43 (±6,33)	0,66 (±0,02)	0,58 (±0,00)
4	0,2	0,5	0,3	0,33	0	0,67	4,5 (±0,00)	112,19 (±4,13)	0,90 (±0,11)	0,50 (±0,02)
5	0,1	0,6	0,3	0	0,33	0,67	3,0 (±0,00)	101,46 (±0,11)	0,37 (±0,02)	0,60 (±0,00)
6	0,2	0,6	0,2	0,33	0,33	0,33	4,5 (±0,00)	109,42 (±3,39)	0,56 (±0,06)	0,62 (±0,01)
7	0,2	0,6	0,2	0,33	0,33	0,33	4,5 (±0,00)	111,56 (±3,93)	0,54 (±0,02)	0,62 (±0,00)
8	0,2	0,6	0,2	0,33	0,33	0,33	4,5 (±0,00)	111,74 (±2,97)	0,59 (±0,01)	0,61 (±0,01)

* valores expressos em médias seguidas pelos desvios-padrão

¹ min

² %

ANEXO D. Parâmetros instrumentais de cor (L*, a* e b*) dos macarrões experimentais em função do teor de farinha pré-gelatinizada (FPG), fécula de mandioca (FM) e farinha de amaranto (FA) no delineamento de misturas, dados em valores reais e em pseudocomponentes*

Experimento	Proporções dos ingredientes na mistura ternária						Respostas		
	Concentrações reais			Pseudocomponentes			L*	a*	b*
	FPG	FM	FA	FPG	FM	FA			
1	0,4	0,5	0,1	1	0	0	52,51 (±3,47)	15,51 (±1,58)	33,26 (±1,70)
2	0,1	0,7	0,2	0	0,67	0,33	66,53 (±2,52)	14,37 (±1,42)	47,86 (±2,67)
3	0,2	0,7	0,1	0,33	0,67	0	57,00 (±3,43)	15,67 (±1,54)	41,69 (±2,82)
4	0,2	0,5	0,3	0,33	0	0,67	57,16 (±2,26)	15,48 (±1,50)	40,44 (±2,68)
5	0,1	0,6	0,3	0	0,33	0,67	61,73 (±3,90)	15,94 (±1,48)	47,52 (±2,56)
6	0,2	0,6	0,2	0,33	0,33	0,33	57,19 (±2,79)	18,41 (±1,71)	41,66 (±1,38)
7	0,2	0,6	0,2	0,33	0,33	0,33	59,95 (±2,01)	17,01 (±1,21)	42,83 (±1,21)
8	0,2	0,6	0,2	0,33	0,33	0,33	57,93 (±0,75)	17,47 (±1,59)	41,41 (±2,65)

*valores expressos em médias seguidas pelos desvios-padrão